

О П Ш Т А Е Л Е К Т Р О Т Е Х Н И К А

ПРВА КЊИГА

ТЕОРИСКИ ДЕО

НАПИСАО
инж. Ј. СТОЈИЉКОВИЋ
УЗ САРАДЊУ
инж. Д. МИЛОСАВЉЕВИЋА



Издање
РАДИО-ЧАСОПИСА ТЕСЛА
Нови Сад 1936

ПРЕДГОВОР

Циљ је ове књиге да читаоцима систематски и приступачно објасни у форми једног уџбеника законе електрицитета и упозна их са разноврсним применама електрицитета у практичном животу.

Исто тако ова књига треба да даде читаоцу могућности да може после ње са успехом да разуме штаво стручних књига које третирају специјалне електротехничке гране као што су: радиотехника, телеграфија, телефонија, електрично осветљење, електрична вуча, електрични генератори и мотори итд. Једном речи ова треба да читаоцу даде основна стручна електротехничка знања како би могао са успехом да изучава и прати развој електротехнике слабе и јаке струје уопште.

Ради боље прегледности и лакшег проучавања, цела књига подељена је у два дела. У првом, *теориском* делу изложене су најважније особине и основни закони статичког електрицитета, једносмислене и ваизменичне струје и радио-таласа. Овај део књиге даје, дакле, општу теориску подлогу на којој базира примена електрицитета у савременом животу. У другом делу — *примењена електротехника* — читалац ће се систематски упознати са разноврсним практичним применама електрицитета. Енциклопедиско излагање штава у том другом делу књиге омогућиће му да схвати колико је огроман значај електрицитета у разноврсним грамама давашње делатности и колико је електрицитет значајан стуб давашње људске цивилизације.

Међутим, из ове књиге намерно је изостављен један велики део електротехнике: *Електрична мерења*. Заиста, опис метода и апарата за мерење као и излагање разноврсних система мерења претставља посебну врло важну опширну целину која ће се стога издати у посебној књизи и као таква чиниће целину са првом и другом књигом „Опште електротехнике“.

Основни принципи на којима почива електротехника, да би били схватљиви, објашњена су у књизи „Општа електротехника“, како на примерима постојећих апарата и постројења, тако и поређењем са сличним физичким појавама. Објашњавање путем мате-

матике нарочито је избежавано да би штавило било разумљиво и онима који немају нарочиту спрему из математике и да би и почетник у електротехници могао да добије јасне појмове о физичком механизму појединих електричних појава. Ипак нешто математичких образаца, који се налазе у књизи, не излази из оквира најелементарнијег познавања математике. Они служе само за то да се помоћу њих могу рачунати бројне вредности барем оних количина са којима се врло често срећемо у пракси.

Писац

САДРЖАЈ

Страна

УВОД

Енергија. Састав материје. Молекули, атоми, протони, електрони. Кретање. Природни закони. Мерење и помоћне науке. Наука о електрицитету и њено проучавање. Основне дефиниције. Систем мера С. Г. С. Закључак	1
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---

ПРВА ГЛАВА

Електростатика

1. Добивање електрицитета. Добри и рђави проводници	9
2. Позитиван и негативан електрицитет. Закон привлачења и одбијања	10
3. Кулонов закон	11
4. Електроскоп. Електрометар	13
5. Простирање електрицитета по површини	14
6. Густина електрицитета. Напон	15
7. Електрични капацитет. Кондензатори	15
8. Потенцијална разлика. Пражњење кондензатора. Електрична струја	18
9. Електрисање инфлуенцом	22
10. Атмосферски електрицитет	25
11. Разни извори електрицитета	26

ДРУГА ГЛАВА

Једносмислена електрична струја. Галвански и термоелектрични извори

1. Динамички електрицитет	29
2. Галвански елемент	30
3. Електромоторна сила галванског елемента	32
4. Основно мерење јачине струје. Волтаметар. Амперметар	33
5. Поларизација галванских елемената	37

	Страна
6. Деполаризација галванских елемената	37
7. Разне врсте галванских елемената	38
8. Наливни елементи	38
9. Суви елементи	38
10. Спрезање елемената	39
11. Термоелементи	41

ТРЕЋА ГЛАВА

Омов, Кирхофљев и Џаулов закон

1. Омов закон	45
2. Електрични отпор проводника	49
3. Мера за отпоре. Еталон	55
4. Везивање отпора на ред. Пад напона	58
5. Гранање струје. Паралелно везивање отпора	59
6. Кирхофљев закон	61
7. Мерење електричног отпора. Витстонов мост	61
8. Топлотно дејство струје. Џаулов закон	62
9. Светлосно дејство струја	64

ЧЕТВРТА ГЛАВА

Магнетизам

1. Природни и вештачки магнет	66
2. Магнетна игла	67
3. Магнетни спектар. Магнетно поље	68
4. Магнетна деklinација	69
5. Компас (бусола)	69
6. Магнетна инклинација	69

ПЕТА ГЛАВА

Електромагнетизам и електродинамика

1. Ерстедов принцип	71
2. Магнетно поље произведено електричном струјом	72
3. Обртање магнета помоћу струје	73
4. Соленоид	74
5. Електромагнет	75
6. Хистерезис	76
7. Обртање проводника струје помоћу магнета	78
8. Правило леве руке	79
9. Галванометри	79

	Страна
10. Амперметар са отоком	85
11. Волтметар	88
12. Галванометар са језгром од гвожђа	89
13. Галванометар са загревним влакном	90
14. Балистички галванометар	90
15. Принцип електричног телеграфа	91
16. Електрично звонце	92
17. Међусобни утицај двеју струја	93
18. Обртање једне струје под утицајем друге	95
19. Електродинамометар и његова примена	96

ШЕСТА ГЛАВА

Електромагнетска индукција

1. Значај електромагнетске индукције	99
2. Индукција при пуштању и прекидању струје	99
3. Индукција помоћу магнета	102
4. Један практичан пример индукције	102
5. Магнетни индуктор	103
6. Индукциони калем	104
7. Румкорфов калем	105
8. Трансформатори	108
9. Динамомашине	110
10. Машине за наизменичну струју (алтерватора)	115
11. Телефон	116
12. Радиотелеграфија и радиотелефонија	119
13. Самоиндукција	119

СЕДМА ГЛАВА

Својства наизменичне струје

1. Разлика у особинама једносмислених и наизменичних струја	123
2. Монофазна наизменична струја	124
3. Ефективна вредност интензитета и напона наизменичне струје	126
4. Привидни отпор (импеданца)	127
5. Разлика у фази	128
6. Коefицијент (чинилац) снаге ($\cos \varphi$)	130
7. Осцилограф	133
8. Мерење учестаности	135
9. Кондензатор у колу наизменичне струје	136
10. Пулвизација телефонских ливаја	139

ОСМА ГЛАВА

Принцип електричних мотора и полифазне струје

1. Обртање проводника у коме струја мења смер	145
2. Електромагнетни мотор	146
3. Електромотор за једносмислену струју	146
4. Синхронни мотор	148
5. Двофазна струја	150
6. Асинхронни мотор. Обртно магнетно поље	151
7. Трофазна наизменична струја	154
8. Значај индукционог мотора и вишефазних струја за развој електротехнике	157

ДЕВЕТА ГЛАВА

Струје високе учестаности

1. Алтернатор високе и високе учестаности	160
2. Електрични лук као генератор високоучестанних струја	163
3. Електрични осцилатори	164
4. Електричне осцилације (таласања)	166
5. Херцови огледа. Бранлијев кохерер	170
6. Електрична резонанција	176

ДЕСЕТА ГЛАВА

Електрична пражњења у гасовима

1. Гајслерова цев	179
2. Круксова цев	179
3. Браунова цев	183
4. Рентгенови или X-зраци. Поларна светлост	186
5. Пражњење електричним луком	188
6. Електрична варница. Муња	189
7. Радиоактивност	190
8. Цев са две електроде (диода)	194
9. Цев са три електроде	196
10. Карактеристика анодне плочице при сталном потенцијалу	197
11. Карактеристика решетке при сталном потенцијалу анодне плочице	198

ЈЕДНАЕСТА ГЛАВА

Исправљачи наизменичне струје

1. Класификација разноврсних начина исправљања наизменичне струје	200
2. Група мотор-генератор	201
3. Машине комутаторке	202
4. Вибрациони и ротациони исправљачи	204
5. Исправљачи са живином паром	206
6. Електролитски исправљачи	208
7. Суви исправљачи	210
8. Цевни исправљачи	211

ДВАНАЕСТА ГЛАВА

Акумулирање електрицитета

1. Генератори, потрошачи, трансформатори и акумулатори електричне енергије	213
2. Хемиске реакције у оловним акумулаторима	215
3. Електромоторна сила и унутрашњи отпор оловних акумулатора	216
4. Едисонов акумулатор	217
5. Капацитет акумулатора	218

УВОД

Енергија. Састав материје. Кретање. Природни закони. Мерење и помоћне науке. Наука о електрицитету. Основне дефиниције: сила, маса, поље дејства и линије сила, рад, ефекат, врста кретања. Систем С. Г. С. Закључак.

Енергија

Кад посматрамо појаве у природи, прво нам је опажање да се, све што се збива, састоји из две главне чињенице: *материје* и *кретања*. Оба ова фактора заједно чине *енергију*. Пошто у природи нема материје у апсолутном миру, нити може постојати кретање без материје, може се рећи да једино, што постоји у крајњој линији, јесу само разне врсте енергија. И електрицитет је енергија, што значи да је он маса у покрету. У природи имамо ову скалу и врсту енергија:

1. обичну механичку енергију;
2. енергију звука;
3. електромагнетску енергију и то:
 - а) енергију електричне струје и
 - б) енергију електричних таласа;
4. топлотну енергију;
5. светлосну енергију;
6. хемиску енергију; и
7. гравитациону енергију.

Састав материје. Молекули, атоми, протони, електрони

У суштини материју сачињава *маса*, која заузима простор, те стога има три димензије — дужину, ширину и висину. Поред ових *геометријских* особина, маса има *физичке* и *хемиске* особине и *моћ гравитације* — узајамног привлачења двеју маса.

Геометријске особине масе изучава *геометрија*, физичке и гравитационе *физика*, а хемиске *хемија*.

Научна истраживања о природи и саставу материје, односно

масе, довела су до следећег схватања, које се данас сматра као једино тачно.

Све материје, за које знамо, састоје се из *молекула*. То су најситнији делићи до којих се маса може делити, а да се индивидуална природа материје сачува тј. да и код најситнијег делића, вода остане вода, гвожђе — гвожђе итд. Молекули су, дакле, најситнији физички делови материје, који се зову *атоми*. Тако, ако молекул сасвим других материја, који се зову *атоми*. Тако, ако молекул воде поделимо на још ситније делиће, добићемо један атом кисеоника и два атома водоника. Делићи молекул кухињске соли, добићемо један атом натриума и један атом хлора, итд. Има материја, као што су гвожђе, бакар и сви други прости метали, затим сумпор, угљак итд. код којих, кад се молекули деле на атоме, и атоми остају исте природе као што су молекули. Атоми гвожђа остају гвожђе, атоми сумпора — сумпор итд. Као што се види, молекули свију тела састављени су из атома, који су готово свуда *различите природе него што је молекул*. Тек су у малом броју случајева исте природе. Где су атоми разне природе, молекул се назива *хемиско једињење* таквих атома. Где су исте природе материја се назива *хемиски елемент*. Атоми су најмањи *хемиски* делови материје односно масе. Из хемиских елемената саграђена је физичка структура материје. Тако су кисеоник, водоник, натриум, хлор, прости метали, сумпор, угљак итд., хемиски елементи, а све остале материје, које су из њих комбиноване, јесу хемиска једињења. До сада пронађених хемиских елемената има у природи свега око 90 а хемиских једињења има безбројно много.

Ни атом није најситнији део до кога се може делити материја. Са проналаском радиума, и после најновијих истраживања која су вршена од почетка овога века па до данас, утврдило се позитивно, да се и атом може разбити на још ситније делиће. При томе је важна чињеница, да су и ови делићи атома такође сасвим различите природе него ли што је атом из кога су издвојени. *Али, ови су делићи међу собом потпуно исте природе, без обзира дали су постали разбијањем атома гвожђа, кисеоника, сумпора, или ког било другог елемента.*

Једина је разлика у њиховом броју, који се добија из атома различитих елемената. Ипак, има две врсте ових најмањих делића из којих се састоји атом сваког тела. Једно су *протони*, честице које показују позитивно електрично стање и улазе у састав језгра сваког атома, и *електрони*, који су негативно напуњени и од којих

једни улазе у састав језгра, а други чине спољни омот језгра. Ови електрони ван језгра окрећу се око језгра и држе привлачним и одбојним снагама у његовој околини на отстојању које је релативно огромно према величини самих електрона и протона. На тај се начин атом сваке материје састоји само из две врсте честица: позитивних протона и негативних електрона, који сачињавају, у бескрајној минијатури, аналогну слику коју даје наш сунчани систем — наше сунце са нашим планетама — у коме би сунце било језгро, а планете електрони.

Резултат резултата ове научне анализе о природи материје, односно масе, јесте тај, који је данас у науци уопште признат — да је у крајној инстанцији сва материја, која нас окружује, састављена из електрицитета тј. из позитивних протона и негативних електрона, који, у заједници, дају атоме, од којих је, као од основне материјалне грађе, сачињен читав свемир. *Према томе, теориска електротехника изучава највећу тајну природе, електроне и протоне, на којима почива све што видимо и не видимо.*

Кретање

Кретање, особину масе да може мењати место, изучава наука која се зове *механика*. Зато, што маса може да се креће, то кретање мора да траје, оно мора да има свој *пух* којим се врши, и такође своју *брзину*. Појам кретања масе такође нам ствара појам *времена* тј. однос ма кога кретања према неком сталном кретању, као што је кретање сунца, месеца, часовника.

Природни закони

Све ове науке, поменуте у почетку овог увода, проучавајући свој делокруг, утврђују непроменљиве начине по којима се врше поједине појаве у природи. Тиме оне откривају тзв. *природне законе*. Тако су откривени и утврђени *геометриски закони, физички закони, закони механике* итд.

Откривање природних закона врши се путем проба — *експерименталних и опажанја*. Једна опажања могу се вршити директно, а друга посредно. По суштини појава у таквим случајевима доносе се закључци, који се онда проверавају, доказују. Ако се неке појаве не могу упознати овим методама, онда се чине претпоставке — *хипотезе и теорије* — које долазе на место позитивно утврђених чињеница. Уколико искуство и експерименти потврђују овакве хипотезе и теорије, оне добијају све више вредности тачних природних закона.

Мерење и помоћне науке

Да би се факта опажања и проба нотирала, сређивала и упо-ређивала, врше се *мерења*. Мери се увек *количина*: дужине, простора, времена, брзине, масе, енергије и свих других природних појава. За меру ових количина узимају се почетне количине (*јединице*) истих појава напр. за дужину једна одређена дужина, за време једно одређено време итд.

Све ове мере изражавају се, дакле, цифрама. У том циљу створене су *јединице мера* за дужину, време итд. Цифра измерене количине показује колико се пута одабрана јединица садржи у тој количини. Исто тако створени су *инструменти* за мерење: метар, вага, часовник.

Цифре, међутим, и њихове разне комбинације стоје између себе у извесном прецизираном односу тако, да ти односи, као што је сабирање, множење, степеновање, логаритмовање итд., дају посебне *математичке законе*. Њих изучава *математика*. У њој су бројеви обележени знацима, а бројни односи изражавају се *формулама*, обрасцима. Овакве формуле, кад у себи садрже напр. знаке и односе који владају између појединих чињеница механике, оне на најкраћи и на најподеснији начин изражавају у општем облику један одређени природни закон механике. Ако везују и изражавају појаве електротехнике — оне обележавају законе о електрицитету итд. Исто то важи и за остале поменуте науке, које се са математиком зову *основне егзактне науке*.

Као што се види, математика, поред експериментисања, јесте не само најсавршенији метод за научна испитивања и формулисање природних закона, већ је она исто тако подесна и неизбежна и за учење и искоришћавање егзактних наука за практичан живот, а електротехнике понаособ. Без математике, дубље познавање електротехнике и потпуно владање њоме као струком није могуће.

Наука о електрицитету и њено проучавање

Наука о електрицитету, којом ћемо се у овој књизи бавити, јесте у својој теориском делу део *физике*, а у свом другом делу, она је *техника* електрицитета тј. практична примена корисних особина електрицитета које износи теориски део. За опште популарно проучавање првога дела, може да буде довољно репродуковати експерименте који откривају поједине законе електрицитета. Наравно, као што рекосмо, за дубље и опширно учење ове веома

сложене гране физике, треба, поред тога, математике као и других помоћних наука. И, у колико се хоће дубље да улази у све веће познавање електрицитета, потребно је све веће и веће познавање у почетку ниже, а даље више математике.

За стручно и опсежно проучавање другог дела науке о електрицитету, електротехнике у ужем смислу, дакле, примењене науке о електрицитету, потребно је осим савршеног познавања првог — теориског — дела и математике са геометријом, још и одлично познавање физике уопште, знатан део хемије и такође потпуно познавање механике.

Природно је, да се ми у овом уџбенику о електрицитету нећемо бавити поменути помоћним наукама. Претпостављамо да наши читаоци, којима је ово дело намењено, располажу довољним познавањем ових основних наука, да би могли да разуму овај уџбеник, и да се њиме могу да користе. Међутим, што се математике тиче, она је употребљена само у најнижој мери, а појаве и закони изложени су популарно тако, да ће бити лако приступачни и ши-роком кругу читалаца.

Основне дефиниције

Ипак је потребно да овде у најкраћим потезима, пре него ли пређемо на сама излагања о електрицитету, потсетимо на извесне дефиниције из физике и механике, без којих се наука о електрицитету и његова техника не би могле успешно третирати.

Сила. Енергије се могу претварати једна у другу. При том претварању, као и при тежњи за претварањем, појављују се *силе* и то *динамичке*, односно *статичке*. И једне и друге су или привлачне или одбојне. Може се рећи и обрнуто, *сила је сваки онај утрк, који може изазвати или изменили кретање*. Отуда силе производе убрзање, или успорење тела у кретању, те је величина силе равна производу из масе и убрзања. Ако се неко тело креће по правој линији једнаком непроменљивом брзином, и без икаквих отпора, на њега тада не дејствује никаква сила. *Тежина тела јесте сила којом земљина кугла привлачи путем теже (гравитације) неку масу*. Услед земљине привлачне силе, неко слободно тело пада вертикално на земљу по правој линији добијајући у свакој секунди убрзање $g = 9,81 \text{ m}$. Иста маса има различиту тежину на разним местима земљине површине. На половима тежина је већа, а на екватору мања, због развог отстојања од земљишног центра тј. због развог привлачења од стране земљине теже.

Поље дејства и линије сила. Према томе, од које енергије постају, силе носе и свој назив напр. механичке, електростатичке, електромагнетске, гравитационе итд.

Свака сила има свој *извор, нападну тачку, линије сила* по којима се креће тело на које она дејствује, просторни домет — *поље* до кога досеже то дејство, *снагу* и *потенцијал*. Код гравитационе силе напр. извор силе је земљино средиште, нападна тачка тежиште тела на које дејствује, линије сила су вертикале по којима тела падају. Оне иду зракасто на све стране из земљиног центра. Поље земљине теже захвата сав лоптасти простор далеко у висиони докле њена привлачна моћ допире. *Снага њеног поља мери се тежином јединице масе, а потенцијал радом потребним да се јединица масе подигне до те висине.* Тачке на којима је исти потенцијал леже на тзв. *еквипотенцијалној* површини. Рад потребан да се маса пренесе из једног потенцијалног нивоа у други зове се *потенцијална разлика*. Иста маса ће тежити све мање у све већој висини, а имаће све већи потенцијал.

Слично поље има и свака друга сила. Напр. *магнетска сила* извири из магнета, има своје *магнетско поље* са *магнетским линијама* сила по којима се крећу магнетске масе, кад их магнет привлачи. И у њему на сваком месту постоји одређена снага и одређени потенцијал. Око наелектрисаног тела постоји *електростатичко поље*, линије сила, њихова снага, потенцијал. Око жице са електричном струјом постоји *електромагнетско поље*, линије сила, снага потенцијал итд. Поље сила не мора да буде лоптасто. И линије сила, иако су увек управне на еквипотенцијалне површине могу да буду и криве, као што су код магнетског поља.

Маса. Маса је количина материје на одређеном простору. Она је на сваком месту за исто тело једнака. Главна особина масе, поред просторности и гравитације, јесте *инерција*. То је особина по којој *маса није у могућности да сама промени своје стање ниши правац и брзину свога кретања.*

Рад и ефекат силе. Кад сила покреће једну масу, она производи рад. *Рад је производ из силе и пређеног пута у правцу силе.*

Ефекат некога рада, његова *снага* или *моћ*, којим сила дејствује, јесте *рад у једној секунди*. Ефекат се, дакле, израчунава, кад се количина произведенога рада за извесан број секунда подели тим бројем секунда.

Врста кретања. Кретање масе може бити *правoliniско, кружно и криволиниско*. Ако је кретање криволиниско, сила не стоји у правцу кретања масе, па се један њен део појављује као центрифугална или центрипетална сила, која тежи да тело одбаци у правцу радиуса кривине. Осим тога, кретање може да буде једнаке брзине, тада на масу не дејствује сила, затим *једнако убрзано*, тада на масу делује сила у правцу кретања, и то све већа, што је веће убрзање, и напослетку, *једнако успорено*, при чему је дејствујућа сила све мања. Осим тога, кретање може да буде осцилирајуће као што је код клатна на часовнику. Ово је кретање врло важно у електротехници као и у науци о звуку и светлости, јер се исто тако крећу честице материје при распрострањању звучних, светлосних и електромагнетских таласа.

Систем мера С. Г. С.

Као што се из досадањег излагања могло да закључи, у природи постоје само три основне мере, које се једна на другу не могу да сведу. То су мера за дужину (L), мера за масу (M), и мера за време (T). Пошто се ове мере изражавају јединицама сантиметар (cm), грам (gr) и секунда ($sec.$), то се овај систем мера зове систем С. Г. С. тј. систем „сантиметар-грам-секунда“. Све друге јединице мера могу се свести на ове три основне јединице. Тако је брзина пут за јединицу

времена тј. $\left(\frac{L}{T}\right)$; убрзање је брзина, подељена са временом тј.

$\left(\frac{L}{T^2}\right)$; $T = \frac{L}{T^2}$, а сила је маса помножена са убрзањем тј. $\left(\frac{ML}{T^2}\right)$ итд.

Потпун преглед јединица мера у систему С. Г. С., са свима електричним и магнетским јединицама, које се исто тако све могу да сведу на основне димензије (сантиметар, грам, секунда), биће дат на крају теориског дела ове књиге, пошто се упознамо са свима дефиницијама ових појединих електричних јединица. Тада ће се дати и преглед јединица које су у пракси употребљене. Овде ћемо напоменути само дефиниције основних јединица за мерење у систему С. Г. С.

Јединица дужине је један *сантиметар* ($1\ cm$): то је стоти део метра. Метар је 40 000 000-ти део земљиног полутара. Праметар (еталон) чува се у Паризу, и служи за контролу праве дужине метра.

Веће су јединице: $1\ \text{метар} (m) = 100\ cm$ и

$1\ \text{километар} (km) = 100\ 000\ cm$

а мања је: $1\ \text{милиметар} (mm) = \frac{1}{10}\ cm$

Јединица масе је један *грам масе* (1 gr). То је број који изражава тежину једног кубног сантиметра чисте воде на 4° C , мерење у Паризу. Ту је један грам масе једнак једном граму тежине. На земљиним половима, где је земљина тежа јача, један грам масе показиваће више од једног грама силе, а на полутару, где је тежа мања, један грам масе тежиће мање од грама тежине. Маса тела је непроменљива и не зависи од места где се мери њена количина, а тежина зависи од места где се мерење врши.

Већа је јединица: 1 килограм (kgr) = 1000 gr

а мање су: 1 сантиграм (cgr) = $\frac{1}{100} gr$ и

1 милиграм (mgr) = $\frac{1}{1000} gr$

Јединица времена је једна секунда ($1''$) тј. $1/86400$ део сунчаног дана.

Веће су јединице: 1 минут ($1'$) = 60'' и

1 сат (h) = 3600''

Закључак

На овај начин бацили смо један општи легитимични поглед на природу ствари које нас окружују, из чега смо закључили да је електрицитет основни фактор који сачињава материју те, дакле, и свемир. Исто тако одредили смо место које заузима електрицитет у природи и дотакли смо помоћне науке, и друга помоћна средства, која су потребна за успешно проучавање теориске и практичне науке о електрицитету.

Тек после овог општег увода прећи ћемо у овој првој књизи на систематско теориско проучавање електрицитета, а у другој на проучавање свакодневне његове примене у практичном животу.

ПРВА ГЛАВА

Електростатика

1. Добијање електрицитета. Добри и рђави проводници

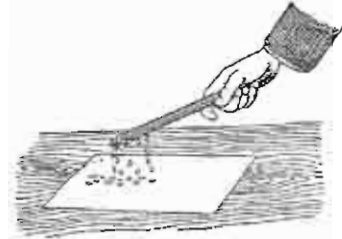
Кад штапић ћилибара протремо сувом вуненом крпом или кожом, па га приближимо комадићима хартије, он ће их привући (сл. 1). Ћилибар је наелектрисан. Сматра се да смо трећем откидали електроне са атома по површини ћилибара. Има и других тела која се могу на исти начин лако наелектрисати, напр. црвени восак, стакло, абанос и др.

Ову појаву приметио је још 600 година пре Христа грчки филозоф Талес на ћилибару, који се на грчком зове „електрон“. Од те грчке речи постао је и назив *електрицитет*.

Тела, код којих су сви електрони чврсто везани за атом, тешко пропуштају слободне електроне. Код метала пак електрони су у лабавијој вези са језгром, а има их и ван атома. Ако се неки метал јако загреје, онда се повећа брзина кретања његових електрона. Неки од њих добију толику снагу да избијају из састава атома, па излећу напоље усправно на површину метала брзоном која достиже 30—40 километара у секунди.

На тај се начин објашњава и функционисање радио-лампе. Кад се њено влакно усија, ослобођени електрони излазе из метала па огромном брзином иду на плочицу.

Електрицитет произведен при трењу ћилибара остаје на истом месту где је и постао. Електрицитет се, дакле, не шири по ћилибару. Електрони ћилибара су чврсто везани за његове атоме. Ћилибар не преноси електрицитет. Таква тела називамо *изолаторима* (рђавим проводницима) или *диелектричним* телима. Али, ако исто тако таремо бакарну шипку, држећи је у руци, видећемо да бакар

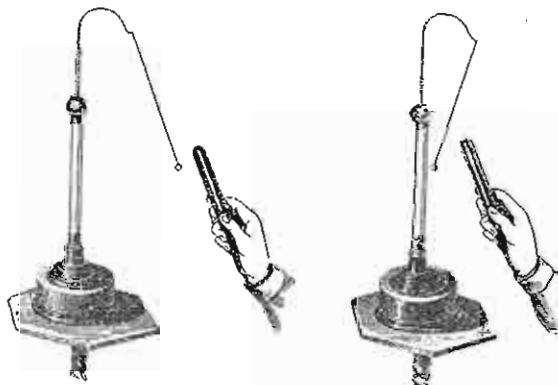


Сл. 1 Наелектрисани ћилибар привлачи комадиће хартије.

неће привлачити ситне хартијце. Као да се он није могао наелектрисати трењем. Уствари, и он се наелектрисао, али електрицитет, који трењем производимо на бакарној шипци, распростра се по целој шипци. Ослобођени електрони могли су са места постанка да иду свуда унаоколо па су прешли на нашу руку и тело, и отишли су у земљу. Зато бакарна шипка није показивала електрицитет. Она га даље спровела. Али, ако је бакарна шипка насађена на стаклену држаљу, па смо је ухватили за такав непроводан крај, и онда таремо бакарни део, она ће се наелектрисати. Произведени електрицитет ће доћи до непроводне држаље, али даље неће моћи да иде. Тада ће и бакар привлачити ситне хартијце као и филибар. Због тога, што бакар преноси електрицитет, назван је *добрим проводником*. Сви су метали добри проводници електрицитета. Рђави су проводници: уље, каучук, порцулан, кожа, свила, лискун, стакло, восак, парафин, сумпор, шелак, ваздух и гасови уопште. Метали иду овим редом по проводљивости: сребро, бакар, злато, алуминиум, цинак, гвозђе, никл, калај, олово итд.

1. Позитиван и негативан електрицитет, закон привлачења и одбијања

Посматрајмо лоптицу од зове обешену о сув свилени конач (сл. 2). Ако наелектрисану стаклену шипку приближимо лоптици,



Сл. 2
Електростатично привлачење и одбијање.

она ће бити привучена, додирнуће шипку, па ће се одмах одбити од шипке. Ако јој понова приближимо шипку, лопта ће се одбијати

(сл. 3). Али, ако таквој лопти приближимо наелектрисану шипку од смоле, лопта ће бити привучена. Да смо лопти, уместо шипке од стакла још у почетку приближили наелектрисани штап од смоле, лопта би и тада била привучена, додирнула би га, па би се такође одбила. Али би зато сада стаклена шипка привукла ову лопту, коју је шипка од смоле одбила. *Дакле, лопту коју је додирнула наелектрисана стаклена шипка привлачи наелектрисана шипка од смоле, али је та иста стаклена шипка одбија — и обрнуто.* Очеvidно је да постоји разлика између електрицитета са смоле и електрицитета са стакла. Овај са стакла назван је *позитиван*, а електрицитет, који се развија при трењу смоле, назван је *негативан*.

Кад је лоптица додирнула наелектрисано стакло, она је примила део стакленог, позитивног електрицитета. Из појаве, што се она одмах затим одбила од стаклене шипке, може се извести закључак *да се тела напуњена истим електрицитетом одбијају.*

Али, пошто лопту напуњену овим позитивним електрицитетом привлачи шипка од смоле напуњена негативним, излази: *да се тела напуњена електрицитетом супротних знакова привлаче.*

Ако додирнемо две суседне лоптице наелектрисаном стакленом шипком, оне ће се напунити истим електрицитетом. Приближимо ли једну другој, оне ће се одбијати. То исто ће се десити ако обе лопте додирнемо наелектрисаном шипком од смоле. Ово је доказ да је постављено правило тачно.

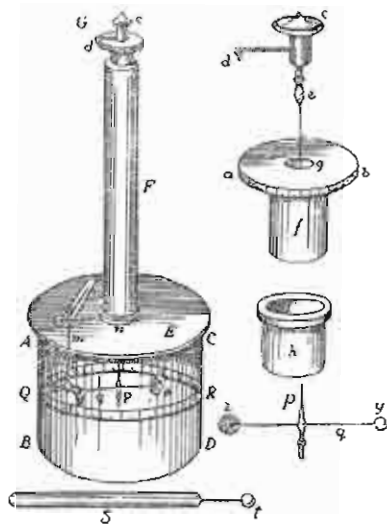
3. Кулонов закон

Кулон*) је практички мерио привлачење и одбијање два наелектрисана тела помоћу нарочите торзионе ваге, назване његовим именом.

Кулонова вага (сл. 4) је покривена стакленим цилиндром *ABCD*. Лаки штапић од изолатора уз са куглицом у виси о металан конач, и може се заједно са куглицом окретати уврћући конач, који је учвршћен за торзиону главу *G*. Она је снабдевана поделом на степене, те се може прочитати за колико се степени окренула. Други штапић *t* од изолатора носи непокретну лопту *x*. Кад су ненаелектрисане, покретна лоптица *y* и непокретна *x* додирују се.

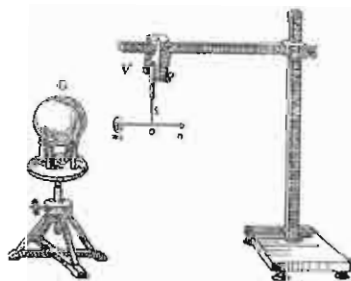
Ако се непокретна лопта *x* наелектрише, покретна се одбије

*) Шарл Аугустин де Кулон; француски физичар (1736—1806)



Сл. 4. Кулонова вага.

узајамног одбијања наелектрисаних тела. Међутим, експериментално приказивање закона узајамног привлачења наелектрисаних тела



Сл. 5. Метод осцилација.

да је јединица силе $\frac{1}{981}$ део грам-силе и да се назива *дин*. Према томе један грам-силе износи 981 дин, а један килограм 981 000 дина.

Кулонов закон, изражен математички гласи:

$$F = \frac{q_1 q_2}{d^2} \quad (1)$$

и удаљује упредајући ко-нац. Према величини упредања конца чита се на скали главе са коликом се снагом одбијају ове једнако наелектрисане лоптице.

На основу својих мерења Кулон је открио тзв. *Кулонов закон* који гласи:

Два тела напуњена истоименим електрицитетом одбијају се, а напуњена разноименим електрицитетом привлаче се и то снагом која је сразмерна производу количине електрицитета у оба тела, а обрнуто сразмерна квадрату растојања између та два тела.

Помоћу своје ваге Кулон је са успехом доказао закон да ће се, ако услови експеримента нису добро изабрани, покретна лопта устремити ка непокретној. Стога се Кулон, за доказ закона узајамног привлачења наелектрисаних тела, служио методом осцилација — помоћу прибора приказаног на сл. 5.

Из механике је познато

F је привлачна или одбојна сила у динама, q_1 и q_2 су количине електрицитета у *C. G. S.* систему мера, d је растојање између тежишта тела у сантиметрима.

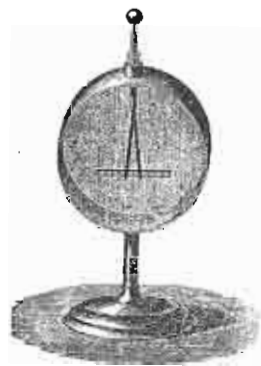
Јединица количине електрицитета у систему C. G. S. јесте она количина која делује силом од 1 дина на исто толику количину удаљену на 1 сантиметар.

Ова је јединица врло мала, те се зато за практичне циљеве узима јединица која је 300 000 000 већа. Она је названа *кулон* и обележава се са *C.*

Кулон је често пута као јединица врло велика, те се у обичајној пракси ради са *микрокулоном*, тј. милионитим делом кулона.

4. Електроскоп, електрометар

Електроскоп је инструмент помоћу кога можемо испитати да ли је неко тело наелектрисано или не (сл. 6). На врху месингане шипке, што пролази кроз отвор суда, налази се месингана кугла, а на њеном дну су два танка листића од злата или калаја.



Сл. 6. Електроскоп.

Кад додирнемо куглу наелектрисаним телом, она се наелектрише и листићи се рашире. Уколико је електрицитет јачи, листићи се више шире. Ако додирнемо куглу влажним прстом, или ма каквим добрим проводником, листићи ће се склопити, јер ће се преко руке и тела електрицитет спровести у земљу. Ако куглу додирнемо рђавим проводником, листићи се рашире и остају раширени. По томе закључујемо да ли је неко тело проводник или изолатор. Пошто у додиру са ваздухом, који се стално налази између кугле и земље, наелектрисани листићи остају растављени, значи да он спада у ред непроводника.

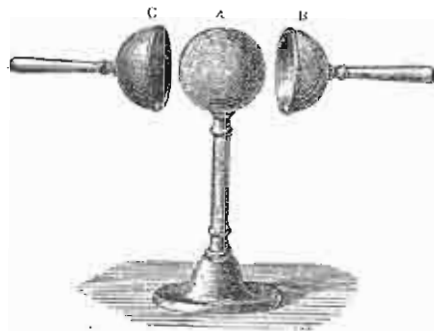
Ипак, и на ваздуху ће за дуже време листићи постепено падати, што значи да ни ваздух није апсолутни изолатор. Такви изолатори и непостоје, већ само су нека тела бољи проводници а друга лошији.

Електроскоп са калибрираном скалом може да нам покаже тзв. *напон*, *потенцијал* наелектрисаног тела. Такав електроскоп (сл. 7) назван је *електрометар*.

5. Простирање електрицитета по површини



Сл. 7. Електроскоп са скалом.



Сл. 8 Простирање електрицитета по површини проводника.

Потом је ушао унутра са најосетљивијим инструментом за опажање електрицитета — *галаноскопом*. Спољна страна коцке била је наелектрисана помоћу електростатичке машине до највеће мере. У унутрашњости коцке није се приметио ни најмањи траг електрицитета.

Ако додирнемо споља наелектрисану бакарну куглу *A* (сл. 8) са малим котурићем од бакра, који има изоловану дршку, и принесемо га електроскопу, листићи ће се раширити. Ако пажљиво додирнемо унутрашњост лопте, склопљене од две наелектрисане полусфере *B* и *C* (кроз нарочити отвор), па онда принесемо електроскопу, листићи ће остати мирни. Ово значи да у унутрашњости наелектрисане кугле нема електрицитета.

Ако ненаелектрисану куглу, склопљену од тих полусфера (сл. 8), додирнемо изнутра електрисаном лоптицом, унутрашњост кугле неће се наелектрисати, али ће њена спољна површина бити наелектрисана. Значи да електрицитет иде само на спољну површину, а унутрашњост остаје увек неутрална.

Године 1836 енглески физичар Фарадеј је начинио од бакарне жице коцку (Фарадејев кавез), чија је страна износила 3 метра тако, да се он могао слободно кретати у њеној унутрашњости. Зидове коцке обложио је калајним листићима и изоловао је од земље.

6. Густина електрицитета, напон

На лоптастом телу иста је *густина* електрицитета на целој површини. На јајастом телу густина електрицитета није свуда једнака. Она је највећа на врховима, а најмања на оном делу који је раван. У колико је испупчење веће и густина електрицитета је већа. Она је највећа на шиљцима, тако да он са њих одилази у ваздух.

И на површини проводника, где електрони сачињавају неку врсту електричног слоја, они се узајамно одбијају, па тиме стварају електрични *напон*, односно *потенцијал*.

Ако исту количину електрицитета, ставимо једанпут у малу а другипут у велику куглу, напон неће бити исти у оба случаја. *Код веће лопте напон ће бити мањи*, јер је иста количина распрострајена по већој површини. Електрони су мање збијени, растојање између њих је веће и према томе одбијање је мање.

Ако једној кугли дамо 10 пута веће пунење, унутрашњи притисак електрона — напон лопте — биће 10 пута јачи.

Напон једног наелектрисаног тела зависи, дакле, и од количине електрицитета, и од облика и величине тела. Слично је тако и код суда који садржи извесан гас. Уколико више доведемо гаса у њега, у толико је већи његов напон. *Што је овде напон, то је код електрицитета потенцијал. Уколико је неко тело више напуњено електрицитетом, уколико је његов потенцијал виши.*

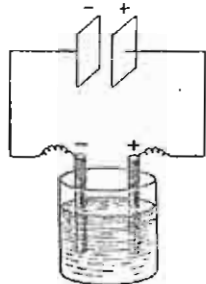
7. Електрични капацитет, кондензатори

Гас ће вршити мањи притисак у суду веће запремине, већег *капацитета*, док ће у суду са мањим капацитетом вршити већи притисак на зидове. Дакле, *однос између количине гаса и произведеног напона зависи једино од запремине-капацитета-суда*. То исто се дешава и код наелектрисаног тела. *Однос између количине електрицитета у једном шелу и потенцијала, који ошуда произлази, зависи само од капацитета тела.*

Проводници, који се употребљавају због свог капацитета, зову се *кондензатори* и, код погодне конструкције, њихов капацитет може да буде врло велики.

Кондензатор је састављен од две паралелне облоге (арматуре) које стоје једна према другој, а раздвојене су слојем неког изолатора. Кад се арматуре кондензатора преко својих прикључака доведу у везу са неким извором електрицитета, напр. са једним галанским елементом (сл. 9), онда кондензатор прима на једној облози

позитиван електрицитет, а на другој негативан. Између арматура у диелектрикуму постоји тада електрично поље чије линије сила иду управно на обе арматуре.



Сл. 9. Кондензатор.

Ако хоћемо да доведемо у везу арматуре напуњеног кондензатора преко проводника, онда ће се пре додира између њихових крајева појавити варница, јер у том моменту електрични напон пробије танки слој изолатора и спаја се позитиван и негативан електрицитет нагомилан на арматурама. Арматуре остају без електрицитета. *Кондензатор се исправнио.*

Ако више кондензатора разних величина пуњимо истим извором и за исто време, па их празнимо на исти начин, видећемо да варнице нису једнаке јачине, што значи да ни нагомилане количине електрицитета нису једнаке у свима кондензаторима. Кондензатори, који из истог извора приме више електрицитета, имају већи капацитет.

Ако арматуре једног кондензатора приближимо једну другој, капацитет постаје већи. *Капацитет, дакле, расте у колико растојање између арматура опада.*

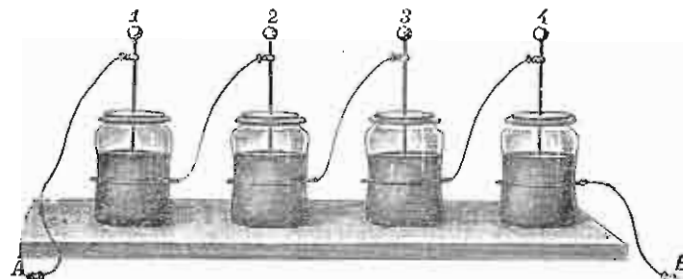
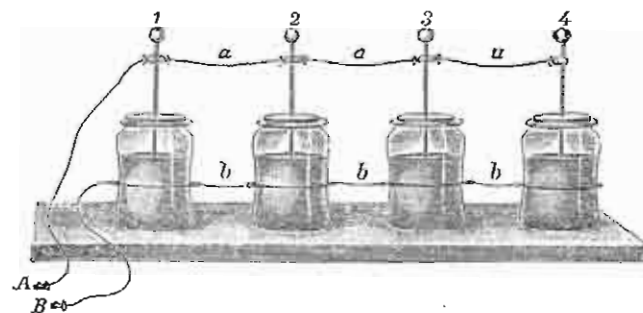
Ако се површине арматуре повећају, повећаће се и капацитет кондензатора и обрнуто,

Ваздух, или неко друго изолаторско тело, које се налази између арматура, назива се, као што смо рекли, *диелектрикум*. Ако место ваздуха узмемо каучук за диелектрикум, онда ће исти кондензатор моћи да прими скоро три пута већу количину електрицитета. Значи да је *специфична моћ* каучука као диелектрикума три пута већа од ваздуха. Број, који показује колико је пута већа ова специфична моћ за разне диелектрикуме према ваздуху — назива се *диелектрична константа* тога диелектрикума. Ако, дакле, диелектричну константу ваздуха обележимо са 1, онда она има ове вредности за друга тела која су у употреби као диелектрикуми и то за:

Гасове при нормалним условима	1,0
Сува хартију	1,5
Парафин (према каквоћи)	1,9—2,3
Петролеум	2,1
Каучук	2,3
Ебонит (према врсти)	2—3
Сумпор (према врсти)	2,4—3,2
Парафинисану хартију	3,1

Уље (према врсти)	2—5
Гутаперку (према врсти)	2,8—4,2
Миканит	2
Лискун (према врсти)	4—8
Стакло (према каквоћи)	6—15
Шпиритус (према врсти)	23—33
Глицерин	56
Воду (хемиски чисту) на 0° C	81
" " " " 16° C	84

Да би се добили већи капацитети, употребљава се *лајденска боца* (в. сл. 10 и 11). То је обична стаклена боца која је обложена



Сл. 10 и 11. Паралелно везивање кондензатора и везивање на ред.

и споља и изнутра листом од стањола (калаја), а стакло служи као *диелектрикум*. Унутрашњи лист стањола, унутрашња арматура, спојен је са излазним металним штапићем, који носи споља једну куглицу. Да би се повећао капацитет, треба повећати арматуре, а смањити дебелину диелектрикума.

Повећавање капацитета може се постићи и тзв. *паралелним ве-*

живањем више боца, као што се то види на сл. 10. Тога ради вежу се међу собом све унутрашње арматуре боца, а све спољне међу собом. Тада се добија резултат као да смо обе арматуре једне боце повећали четири пута. Капацитет целине је *збир капацитета свих овако повезаних кондензатора*.

Спајање кондензатора може бити и *на ред* (сериско) тј. кад се спољна арматура једног кондензатора (у овом случају једне лајденске боце) веже за унутрашњу арматуру другог кондензатора, спољна другог за унутрашњу трећег итд., као што се то види на сл. 11. При оваквом везивању, капацитет се смањује, јер негативан електрицитет са спољне арматуре првог кондензатора потире позитиван електрицитет на унутрашњој страни другог кондензатора, исто тако негативан са спољне арматуре другог потире позитиван на унутрашњој трећег итд., те у дејству остаје само унутрашња арматура првог и спољна арматура последњег кондензатора, а растојање између њих повећано је четвороструком дебљином диелектрикума. Отуда је капацитет оваквог споја 4 пута мањи: Али, тако повезани кондензатори могу да издрже 4 пута већи потенцијал. У првом случају може се нагомилати 4 пута већа количина електрицитета под малим потенцијалом, а у другом случају количина остаје иста, као и код једног кондензатора, али под 4 пута вишим потенцијалом, тако да је електрична енергија — производ из потенцијала и количине електрицитета — иста у оба случаја. Кондензатори спојени на један или на други начин дају тзв. *батерију* кондензатора.

Величина капацитета кондензатора мери се јединицом која се зове *фарад**) и обележава се са *F*. За праксу ова је јединица врло велика, те се употребљава њен $\frac{1}{1\,000\,000}$ део назван *микрофарад* (μF), а исто тако *један сантиметар (ст) капацитета* који износи $\frac{1}{900\,000\,000\,000}$ део фарада.

Јединицу капацитета — 1 фарад — има оно тело, које, кад прими јединицу количине електрицитета (један кулон), добије јединицу потенцијала (1 волт).

8. Потенцијална разлика. Пажњење кондензатора. Електрична струја

Као што вода тече са вишег места ка нижем, тако исто тече и електрицитет од вишег потенцијала ка нижем. Овим протицањем електрицитета врши се рад.

* По имену славног енглеског физичара Фарадеја (1791—1867).

За подизање обичне масе од једног килограма тежине на висину од једног метра *утроши се рад*, чија је величина 1 килограм-метар. Ако се пак један килограм спушта за један метар, *производи се рад* од 1 килограм-метра. Овај је рад утолико већи уколико је већа висинска разлика и уколико је већа тежина масе која се креће. На пример, ако тридесет килограма воде пада са висине од десет метра, производи се рад од $10 \times 30 = 300$ килограм-метра.

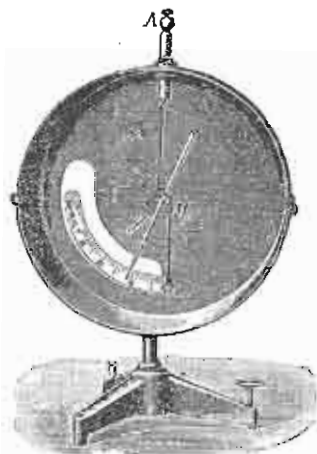
И електрична струја, идући са вишег потенцијала на нижи, врши извесан рад, који је утолико већи уколико је већа потенцијална разлика између крајева проводника кроз који струја тече, и што је већа количина електрицитета која се преноси. То је управо повраћај рада који је утрошен, док је одређена количина електрицитета, мимо свих одбојних сила, доведена у тело на тај потенцијал. Према величини рада, који треба утрошити да се јединица количине електрицитета, тј. 1 кулон, пренесе са неког места, одређује се потенцијал тога места. Јединица за мерење потенцијала, или још боље *потенцијалне разлике (напона)* између два проводника или два места једног проводника, назива се *волт (V)*. Да се 1 кулон електрицитета подигне за 1 волт напона утроши се рад од $\frac{1}{981}$ килограм-метра, те је 1 килограм-метар рада једнак подизању 1 кулона електрицитета на напон од 981 волт.

Према томе, потенцијална разлика између проводника *A* и *B* износи 1 волт, ако за пренос 1 кулона са *B* на *A* треба утрошити рад једнак $\frac{1}{981}$ килограм-метара.

Под потенцијалом тела A разуме се потенцијална разлика између тога тела и другог тела B које се налази на потенцијалу 0. Да би једно тело било на потенцијалу 0 треба да је бескрајно далеко од свих наелектрисаних тела, те да се њихов утицај на њега никако не осети. Због тога се за потенцијал једнога тела даје оваква математичка дефиниција: Потенцијал тачке A мери се радом који је потребан да се јединица електрицитета из бесконачности (где је потенцијал 0), доведе у тачку A. Место да се на тај начин мери потенцијал тела, у пракси се мери потенцијална разлика између тачке A и земље, сматрајући да се земља налази на потенцијалу 0, као што је висина једне тачке на земљи управо висинска разлика између ње и морске површине. Са практичног гледишта то је довољно тачно, јер је земља добар проводник електрицитета, а огромних је димензија и огромног капацитета, те ће се свака количина електрицитета расплинути у њој тако да се њен потенцијал неће мењати.

Кад кажемо да је потенцијал једнога проводника десет волта, онда

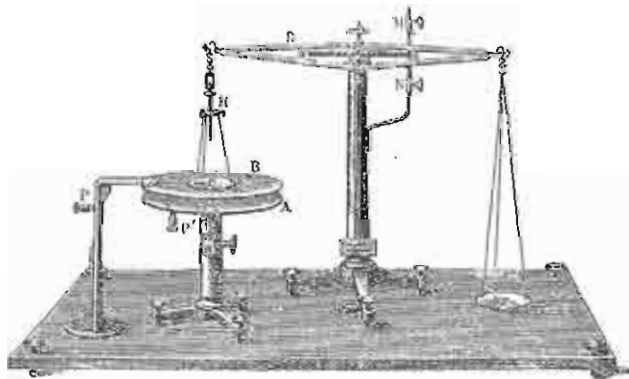
то значи да ће електричне силе извршити рад величине $10 \cdot \frac{1}{981}$ килограм-метра док 1 кулон електрицитета са тога проводника пређе на земљу, односно са тога потенцијала на потенцијал земље.



Сл. 12. Браунов електрометар.

Када апарат на овој слици свака цртица означава 100 волта.

Сл. 13 показује Томсонов*) електрометар начињен у виду



Сл. 13. Томсонов електрометар.

осетљиве ваге. Наелектрисано тело доведе се у везу са изолованим

*) Томсон Вилјем, славан енглески физичар (1824—1907).

котуром A . Бакрени прстен B преко спојнице P и жице доведе се у везу са земљом. Мали котур C начињен је од истог метала и исте дебљине као и прстен B и може лако да пролази кроз прстен B . C и B су спојени веома танком жицом, која чини да су C и B увек на истом потенцијалу, али тако, да та жица нимало не омета слободно кретање малог котура C .

Кад дамо по један кулон електрицитета телима разног капацитета, она ће имати разне потенцијале. Тело које је добило два пута виши потенцијал са истом количином електрицитета, има два пута мањи капацитет. Према томе, капацитет (C) једнога тела може се израчунати у фарадима кад се количина електрицитета (Q), изражена у кулонима, подели потенцијалом (V) израженим у волтима. Обрнуто, ако знамо капацитет једнога тела и количину електрицитета, коју је оно примило, онда можемо лако израчунати његов потенцијал. Треба само да количину електрицитета (Q) поделимо са капацитетом (C), тј.:

$$V = \frac{Q}{C}$$

Исто тако, ако знамо капацитет тела и његов потенцијал, можемо лако да израчунамо количину електрицитета. Она је: $Q = CV$.

Кадгод између два наелектрисана тела постоји разлика у потенцијалу, њихови електрицитети теже да се сједине. До сједињавања долази увек онда када снага разлике њихових напона може да савлада сметње слабих проводника електрицитета који им стоје на путу. Ово сједињавање електрицитета, пражњење наелектрисаних тела или кондензатора, може се десити на три начина.

Први је начин пражњења постепено отицање електрицитета са вишег потенцијала на нижи путем тзв. *кондуктивног* — проводног — пражњења кроз какав проводник. Тада је електрицитет обично у сталном кретању кроз нарочиту жицу (метални проводник) те се кроз њега успоставља *електрична струја*. Она се зове *једносмислена* ако тече увек у истом правцу. Али, ако се производи електрицитет час већег потенцијала на једном крају проводника, час већег на другом, онда и струја мења свој смисао па тече час у једном час у другом правцу. Таква се струја зове *наизменична*. Дакле, *електрична струја није ништа друго до преношење електрицитета кроз проводнике услед потенцијалне разлике која влада на њиховим крајевима*.

Други је начин пражњења тзв. *дисруптиван*, напрасан. У овом случају између два наелектрисана тела не постоји проводна веза већ слој ма каквог изолаторског материјала, обично ваздуха. Ако

разлика њихових потенцијала (те тиме и привлачна сила електрицитета) постане тако велика, да изолатор између њих не може да спречи сједињавање ова два електрицитета, они са праском, у виду електричне варнице (једне или више) пробијају изолациони међупростор и успостављају напрасну везу кроз коју се сједињују два електрицитета који имају врло велику потенцијалну разлику, често пута више милиона волта.

Трећи начин пражњења тела напуњеног електрицитетом јесте тзв. *конвективно* пражњење. Оно се састоји у томе, што електрони прелазе на суседне ваздушасте делиће који су у додиру са наелектрисаним телом. Они се пуне истоименим електрицитетом и одбијају, те постепено односе делић по делић електричног пуњења са једног тела на високом потенцијалу на оближња тела која су на нижем потенцијалу, док се наелектрисано тело сасвим не испразни. Овакво одилажење електрицитета најлакше се врши, као што смо видели, са шиљака на површини тела, јер је ту напон електрицитета највећи. Када је напон овакових тела веома висок, а количина електрицитета се обнавља, онда ова врста пражњења показује у ваздуху, у мраку светлуцаве праменове, нарочито са шиљака. Тада са њих пири струја ваздуха услед живог одбијања напуњених честица.

9. Електрисање инфлуенцом

Кадгод се неко проводно тело напр. ab (сл. 14) нађе у електро-статичном пољу једног наелектрисаног тела C , чије линије сила допиру до тела ab , у телу ab разлаже се неутрални електрицитет на позитиван и на негативан. Тако, кад само приближимо електроскопу наелектрисану шипку (сл. 15), приметимо да ће се његови листићи



Сл. 14. Индуковано тело и индуктор.



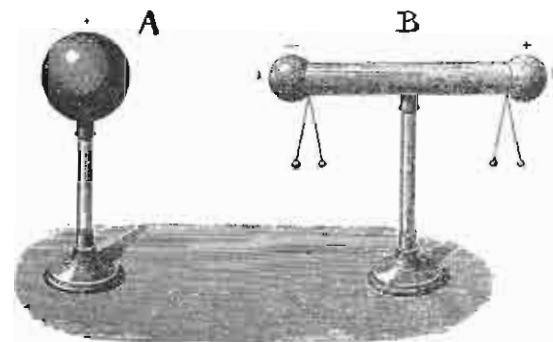
Сл. 15. Појава инфлуенце.

раширити и остаће раширени доклегод се шипка буде налазила у његовој близини. Кад се наелектрисана шипка удаљи, нестаје електрицитета у електроскопу. Значи да је наелектрисано тело у стању да већ својом близином изазове електрицитет у суседним телима.

Ова се појава зове *инфлуенца* или *индукција*, ма да је реч индукција употребљена за сличну појаву специјално код електричне струје. Тело, које изазива електрицитет путем инфлуенце, зове се *индуктор*, а тело, на коме се овим начином ослобађа електрицитет, зове се *индуковано шело* или просто *индукта*.

У индукованом телу раздваја се путем инфлуенце позитиван електрицитет од негативног и под уливом електрицитета са индуктора држе се тако раздвојени. Противни електрицитет налази се привучен према страни индуктора, а истоимени одбијен је на супротну страну. У кугли електроскопа скупиће се, дакле, позитиван електрицитет, ако је принесена шипка негативно наелектрисана, јер га привлачи негативан електрицитет из шипке, а негативан електрицитет из куглице електроскопа одбијен је у његове листиће.

Ово се може лако доказати и помоћу апарата на сл. 16. Овде наелектрисана кугла A дејствује на тело B које се услед инфлуенце



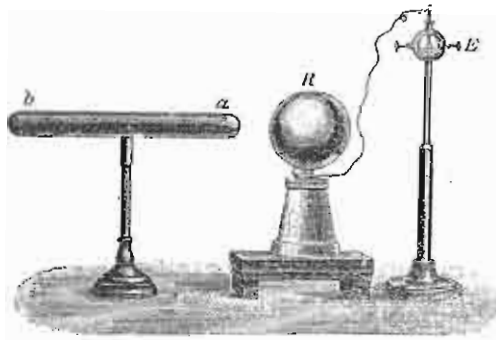
Сл. 16. Наелектрисан индуктор разлаже неутрални електрицитет у индукованом телу.

наелектрише, те се због тога електрична клатна на његовим крајевима a и b рашире. Помоћу електроскопа може се утврдити да се на крају a овога тела налази негативан електрицитет, а на крају b позитиван. Средина тела B не показује никакво електрично стање — она је остала неутрална.

Ако индуковано тело B додирнемо прстом ма на ком месту, онда ће позитиван електрицитет отићи преко руке и нашег тела у земљу, а негативан ће остати, јер га привлачи и држи позитиван електрицитет из индуктора A . На тај начин можемо да ослободимо и задржимо у индукованом телу *један електрицитет*, који остаје на њему

слободан и кад се индуктор удаљи. Према томе, наелектрисали смо тело B путем инфлуенце.

Ако је индуктор R (сл. 17) такођер од проводног материјала, онда изазвани електрицитет на индукованом телу ab дејствује повратно са своје стране на индуктор, привлачећи његов електрицитет према себи, те је густина и напон електрицитета у индуктору већи на оној страни која је окренута према индукованом телу него што је на супротној, услед чега би индуктор могао да прими још електрицитета, тј. његов капацитет самим тим постаје већи. То значи да присуство индукованог тела мења распоред електрицитета у про-



Сл. 17. Опadaње напона у индуктору.

водном индуктору. Између ова два тела постоји, дакле, међусобна индукција, а самом близином индукованог тела мења се и капацитет индуктора, пошто се привлачењем супротних електрицитета електрони у неку руку збију у индуктору те их може више да стане. То се даде лако доказати експериментом из кога се види да ће потенцијал на проводљивом индуктору опасти ако му приближимо индуковано тело. Ово опадање потенцијала у индуктору објашњава се на овај начин: *Потенцијал неког наелектрисаног тела мери се радом који треба утрошити да би се један кулон истоименог електрицитета довео на то тело са места где је потенцијал нула, сивлађујући одбојне силе које се том приликом јављају.* У нашем случају имамо у близини тело ab , које је у вези са земљом, тј. оно је на потенцијалу нула, а сем тога садржи негативан електрицитет. Кад на то тело пренесемо 1 кулон позитивног електрицитета, негативан из тела ab привлачиће га, те ће бити утрошен мањи рад, услед чега ће потенцијал на индуктору R постати нижи.

И обрнуто. Од висине позитивног потенцијала индуктора R зависи којом ће снагом бити одбијен 1 позитиван кулон електрицитета, и колики ће се рад добити док 1 кулон дође у положај на коме је потенцијал нула. Како се у овом случају у близини индуктора R налази и индуковано тело ab са негативним електрицитетом, електрична се енергија неће манифестовати сва у одбојним силама, већ ће један део ићи на привлачење, према томе произведен рад биће мањи но кад у близини не би постојало тело ab .

Како количина електрицитета у телу R остаје иста, а потенцијал пада, онда из тога произлази закључак да је, услед близине тела ab , порастао капацитет индуктора R , те се може додати нова, већа, количина електрицитета да би га довела на првобитни потенцијал.

Дакле, капацитет једнога тела зависи не само од његове величине и облика већ и од његовог положаја према другим телима. Он се нарочито повећава кад се исомаширано тело приближи телима која су у вези са земљом. Једна ваздушна електрична, телеграфска или телефонска линија има много мањи капацитет него иста таква подземна или подморска линија. Капацитет се повећава такође кад се један проводник налази у близини другог проводника који носи супротан електрицитет, напр. кад се налазе врло близу једна жица према другој које припадају истом дуплом телефонском ланцу. Исти је случај када је оближњи проводник у вези са земљом, као што је то са металним омотачем код подземних или подводних каблова.

Особина наелектрисаног тела, да путем инфлуенце изазива и ослобађа у индукованом проводном телу супротан електрицитет, послужила је као принцип за конструкцију разних врло савршених машина за добијање статичког електрицитета, који се у прво време добијао само трењем и машинама заснованим на принципу трења.

10. Атмосферски електрицитет

Атмосферски електрицитет производи се у атмосфери наше земље трењем између облака и ваздуха, трењем између појединих слојева атмосферских, кондензовањем водене паре, узајамном инфлуенцом и др.

Кад је један облак наелектрисан, па дође близу неутралног облака, онда он врши на њега инфлуенцу. Ако се ови облаци сувише приближе, или су сувише оптерећени електрицитетом, онда позитиван електрицитет из првог и негативан из другог могу толико снажно да се привуку, да наступи дисруптивно пражњење, и да се уз снажан потрес ваздуха на месту њиховог спајања појаве огромне електричне варнице, познате под именом *муње*.

Ако би први, позитивно наелектрисани облак био близу земље, онда се врши од његове стране инфлуенца на највише предмете на земљи. Ако је овакав облак, који се налази близу земље исувише оптерећен електрицитетом, позитиван електрицитет из облака и негативан електрицитет из земље дисруптивно се спајају производећи и јак звучни потрес ваздуха — грмљавину, која на све стране одјекује. Тада се каже да је „пао“ гром, односно да је гром „ударно“ на земљу или на неки предмет на њој, кућу, дрво итд.

Сама електрична варница при атмосферском пражњењу назива се, као што рекосмо, муња, а заједно са треском који се при томе произведе, зове се гром.

Ако се на земљи у оваквим случајевима налазе врло истакнути проводљиви шиљци, може да наступи са њих конвективно, постепено пражњење услед познатог дејства шиљака тј. да са њих постепено отиче електрицитет. Тада не долази до муње и до грома, већ се изједначавање потенцијала проведе постепено.

На овом принципу основан је уређај за заштиту зграда и других предмета од удара грома познат под именом *громобран*. То је добар шиљасти проводник који надвисује зграду на којој је постављен. Он је у доњем делу спојен што је могуће боље проводно са земљом, напр. помоћу велике металне плоче потопљене у бунар. Када су зграда и земља наелектрисане дејством облака, највећа је густина електрицитета на шиљку громобрана са кога електрицитет постепено иде у ваздух.

11. Разни извори електрицитета

До сада је било говора само о електрицетету добивеном путем трења или путем трења у вези са инфлуенцом. То је уствари и био први начин којим се добијао слободан електрицитет. Међутим, са истраживањима и развојем науке и технике пронађени су и други начини да се производи слободан електрицитет који данас, као што знамо, игра огромну улогу у модерном животу. Тако је славни италијански физичар Волта (1745—1827) пронашао тзв. *галански** електрицитет, који настаје као производ хемиског нагризања метала. Овај електрицитет и данас је у употреби. Он се добија из разноликих тзв. галанских елемената и акумулатора.

Доцније је Фарадеј пронашао *индукцију* и *индуковани* електрицитет. Овај се електрицитет добија индукцијом тј. путем електричне струје која мења своју јачину, или, много значајнијим начином, дејством магнета односно електромагнета на оближње проводнике. Тако је

*) Назван по имену италијанског анатома Галванија (1737—1798).

пронађена *електромагнетска индукција*, која је постала основни принцип свима машинама за модерно произвођење електрицитета путем динамомашина и алтернатора у огромним количинама, што никојим другим начинима није било дотле могуће. Да се путем магнета или електромагнета добије у оближњем проводнику слободан електрицитет, довољно је да се ма на који начин мења јачина магнетског поља у коме се тај проводник налази, што се најлакше постиже покретањем магнета поред спроводника или обрнуто.

Има и других начина за добијање електрицитета, као што је тзв. *термоелемент*, при коме се електрицитет ослобађа када се загрева спој два различита метала. Међутим, тако ослобођене количине електрицитета веома су незнатне, те за практичну употребу овај начин уопште не долази у обзир, осим за неке специјалне инструменте.

Главна три начина за добијање електрицитета јесу дакле: 1) *путем трења и електростатичке инфлуенце*, 2) *путем хемиског нагризања у хемиским елементима* и 3) *путем магнетске односно електромагнетске индукције*. У суштини, електрицитет добијен ма којим од ова три начина, потпуно је исти и по особинама и по квалитету. Овако добијени електрицитети ни у колико се не разликују један од другог. Може бити речи само о разлици у количини (броју кулона) у којој се електрицитет добија са разним изворима и у напону, напонској разлици (броју волта) са којом се ствара. Међутим, ова разлика у количини и напону код сва ова три начина добијања електрицитета, огромна је. Тако, док се путем трења и инфлуенце добијају огромни напони електрицитета, који могу прећи милионе волта али веома мале количине, дотле се путем хемиског нагризања метала добија електрицитет врло малог напона (око 1—2 волта) али у великим количинама. Само се, међутим, путем магнетске, а нарочито електромагнетске индукције, може добити електрицитет по вољи и у великим и малим напонима и у малим, великим па и највећим количинама. Кад се томе дода, да је само електрицитет произведен овим последњим начином у стању да даде без тешкоћа, и тако рећи изворно, и једносмислену и наизменичну електричну струју, односно да се на лак начин овакве струје могу једна у другу претварати путем нарочитих апарата (трансформатора, исправљача и др.), а осим тога да се без тешкоћа може по вољи мењати напон и количина једне струје, као и друге њене одлике — онда се види зашто је данас овај начин производње тако рећи једино и универзално употребљен у модерној електротехници. Хемиски начин производње задржао се у случајевима где је потребна мала јачина електричне струје и мали напони у виду галанских елемената и батерија, као у телеграфији

и телефонији, а највише као посредни начин код тзв. акумулатора, где је могуће да се претходно хемиским путем нагомила електрицитет произведен помоћу динамомашина, па да се после, из истих акумулатора, такође путем хемиског процеса, добија слободан за употребу.

Карактеристично је код свих ових разних начина производње електрицитета, да се овде управо не ради о неком оригиналном стварању електричне енергије, већ само о претварању неке друге енергије у електричну, при чему се на топлоту увек нешто изгуби у количини добивене енергије према количини енергије која се улаже. И у томе погледу начин добијања електрицитета путем трења у вези са инфлуенцом, уствари је претварање механичког рада у електричну енергију при трењу и приближавању и удаљавању индукваног тела према индуктору. Код произвођења електрицитета путем хемиског нагризања метала, претвара се хемиска енергија у електричну. Исто тако, код добијања електрицитета индукцијом путем динамомашина и алтернатора, претвара се у електрицитет уложена механичка енергија, која се троши на приближавање и удаљавање магнета и електромагнета према индукваним проводницима тј. на окретање машине.

До сада смо углавном проучавали електрицитет добијен путем трења и инфлуенце, и то његове особине које показује док је у миру на проводним телима. У идућим одељцима приступићемо систематском проучавању електрицитета добијеног на ова друга два начина, хемиским и индуктивним путем, и особине које електрицитет показује када је у кретању тј. када ствара електричну струју.

ДРУГА ГЛАВА

Једносмислена електрична струја. Галвански и термоелектрични извори

1. Динамички електрицитет

Наука која изучава електрицитет у стању мира зове се, као што знамо, *електростатика*, те се често и електрицитет у том стању назива статички. Наука пак која изучава електрицитет у кретању тј. електричну струју зове се *електродинамика*, а електрицитет у кретању *динамички електрицитет*.

„Динамички“ електрицитет тече кроз један проводник слично ономе како тече река дуж свога корита. По тој сличности добила је назив и електрична струја. Вода тече, као што знамо, са вишег нивоа на нижи. Тек тада вода може сама да се креће, ако, дакле, постоји извесна висинска разлика између извора и ушћа, а исто тако између свака два суседна места дуж корита. Без те разлике у висини водена струја не може да постоји. И обрнуто, кадгод вода тече, тј. кадгод постоји водена струја, можемо са сигурношћу рећи да постоји и разлика нивоа, па се вода креће са веће висине ка мањој.

И електрицитет кад се креће, иде са једне тачке проводника која је на вишем електричном нивоу тј. на вишем потенцијалу, и тече ка нижем нивоу, нижем потенцијалу. Ни електрична струја, као ни водена струја, не може да постоји ако не постоји разлика електричног нивоа тј. потенцијална разлика између сваке две тачке спојене електричним проводником. Као и код струје воде, и електрична струја може да траје дуже време тек онда, ако за исто време постоји и потенцијална разлика између суседних тачака проводника и, природно, ако се стално за то време производе све нове количине електрицитета који путем струје у неку руку отиче као и вода.

Хемиске реакције у галванском елементу имају ту особину да

стално обнављају електрицитет који са вишег потенцијала тече на нижи. Из њега, могло би се рећи, електрицитет извире.

И динамомашина, коју окреће какав мотор, такође производи електрицитет и одржава сталну потенцијалну разлику између својих полова.

Код воде се разлика нивоа мери метром. Јединица пак за мерење разлике електричних нивоа тј. потенцијалне, напонске, разлике између два пола неког електричног извора јесте, као што смо видели, један волт. Један волт је отприлике раван потенцијалној разлици која влада између полова Даниеловог галванског елемента.

Ево неколико вредности потенцијалних разлика које сретамо у практичном животу:

између полова галванских елемената 1 до 1,5 V,
 „ „ једног акумулатора 1,8 до 2,3 V,
 „ жица за осветлење код аутомобила 12 V,
 „ „ „ варошко осветлење 65, 90, 110, 115, 120, 220
 и 340 V (тежи се да се за осветлење уведе свуда напон од 220 волта),
 између жице и шине код трамваја 500, 550, 600 и 1000 V,
 „ жица код електричних возова 1000 до 4000 V,
 „ „ за пренос електричне енергије 2000 до 150 000 V,
 „ жице и земље у телеграфу 25 до 250 V итд.

Напон до 250 волта назива се *низак напон* и сматра се да је углавном безопасан по човечји живот; напон преко 250 волта назива се *висок напон* и увек је опасан по живот.

2. Галвански елемент

То је направа која је у стању да дуго времена и непрекидно производи позитиван и негативан електрицитет и на тај начин да одржава сталну потенцијалну разлику између своја два пола, чиме се омогућује стварање трајне електричне струје. Галвански елемент био је први извор електричне струје који је давао непрекидну струју кроз проводно коло које би било везано за његове полове.

Први галвански елемент конструисао је Волта 1800 год. на тај начин, што је узео више плочица од бакра и цинка, наслагао их наизменично једну на другу, а између њих ставио је комадиће крпе или хартије натопљене закишељеном водом. Тако је постао *Волтин стуб*, назван стубом због свога облика. Са њим су добивене прилично јаке електричне струје (сл. 18).

Данашњи галвански елементи, и ако су компоновани на принципу Волтиног стуба — немају више са њим никакве сличности.

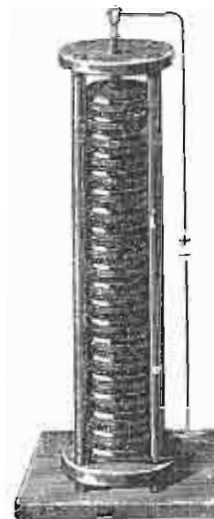
Сви ови електрохемиски извори састављени по принципу Волтиног стуба називају се општим именом, *галвански елементи*.

Њихов модеран прототип састоји се од једне плоче од цинка и друге од бакра (сл. 19) које су потопљене у разблаженој сумпорној киселини. Киселина нагриза цинкану плочу, „сагорева“ је, чиме се ослобађа електрицитет, као што се ослобађа топлота када у кисеонику сагорева угаљ. Од ослобођеног електрицитета цинак се наелектрише негативно, а бакар позитивно, те се на цинку ствара један, а на баку други потенцијал.

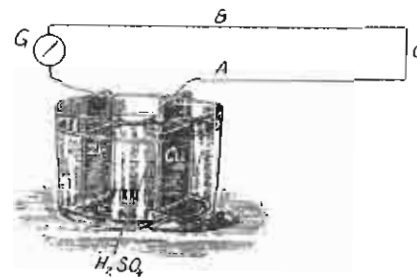
Ако обе плоче, бакар и цинак, спојимо изван елемента проводником *АСВ* у коме се налази уметнут апарат *G*, тзв. *галваноскоп*, чија казаљка скреће чим кроз њега пролази електрична струја, видећемо да ће његова казаљка и сада скренути, што показује да кроз проводник *АСВ* заиста струји електрицитет. Кадгод потопимо у какву хемиску течност два проводника, које она не нагриза подједнако, добијамо галвански елемент. Умочене проводне плоче зову се *електроде*, а употребљена течност зове се *електролит*. Електрода, коју течност јаке нагриза, сачињава *негативан пол* елемента, друга је електрода *позитиван пол*. Тако у елементу са цинком и баком *цинк је негативан пол*, а *бакар позитиван*.

Погрешно је уобичајено схватање да струја полази од позитивног пола, пролази кроз спољни проводник *АСВ* и улази у негативан пол, а да у унутрашњости елемента иде са негативног пола кроз течност на позитиван пол. (По учењу модерне електронске теорије стварни ток струје баш је обрнут). Ако на ма

ком месту прекинемо ово коло, кроз које протиче електрична струја, она престане да тече и укупчани галваноскоп *G* не показује ништа.



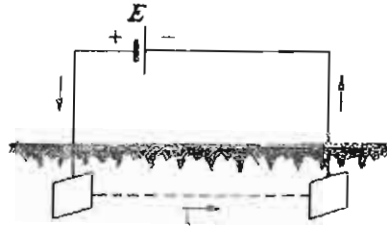
Сл. 18. Волтин стуб.



Сл. 19. Галвански елемент.

Из тога се види да струјни круг, струјно коло, мора да буде пошано затворено и без иједног прекида. Тек тада електрицитет може да струји са једног пола на други.

Елемент се шематички најчешће претставља једном дебљом краћом цртом и другом тањом и дужом паралелом са првом. Дебља



Сл. 20. Земља као проводник.

претставља позитиван а тања негативан пол. Проводник, који полази са позитивног пола, зове се одводни, а проводник, који је везан за негативан пол, зове се доводни проводник. Један од ова два проводника може се заменити земљом (сл. 20), као што се то чини код електричног телеграфа. Један пол елемента веже се проводно за земљу, а тако исто крај проводника који је везан за други пол елемента. Тада се коло струје затвара преко земље.

3. Електромоторна сила галванског елемента

Она снага, која у једном електричном извору раставља негативан електрицитет од позитивног, назива се електромоторна сила (ЕМС). Код галванског елемента, а исто тако и код других извора струје, електромоторна сила је једнаке величине са потенцијалном разликом између његових полова, кад они нису везани никаквим проводником.

Електромоторна сила зависи само од природе електрода и електролишта, а никако од њихове величине. Али, уколико је један елемент већи, иако је његова електромоторна сила исте величине, он може да даде јачу струју због тога, што се струја мање слаби идући кроз веће електроде, јер она тада наилази на мањи унутрашњи отпор. Нарочито је важно то да већи елемент даје много дуготрајнију струју, јер има већи капацитет. Његов цинак може дуже да траје. Већа је количина материјала који сагорева па разуме се, добија се и већа количина ослобођеног електрицитетa.

Да бисмо уочили разлику између јачине струје и електромоторне силе, а исто тако да бисмо добили појам о електричном капацитету једног галванског елемента, послужићемо се поређењем са воденом струјом. За снагу једне воденице, коју тера вода из јазу, мериодавна је прво количина воде, а затим висина са које вода пада, тј. висинска разлика између воденог нивоа горе у јазу и доле испод

воденице. Оно, што је висина воденог пада код водене струје, која управо производи притисак на воденично коло услед кога се оно окреће, то је електромоторна сила код галванског елемента. Јачина струје, међутим, може се упоредити са количином воде која протиче за једну секунду кроз канал. Код елемента то је, дакле, количина електрицитета, која протиче за једну секунду од једног пола елемента на други. Ако претпоставимо, да у јаз долази вода из једног великог резервоара, онда је јасно да ће воденица моћи да ради само донде, док у том резервоару траје воде, јер ће она само потле моћи да дотиче у јаз и да иде даље. Количина воде у резервоару одговара капацитету елемента, који је утолико већи, уколико су веће његове димензије. Јачина струје одговара величини водене струје, која са своје стране зависи такође од величине канала и глаткоће његових зидова.

Из свега овога изводи се закључак да електромоторна сила галванског елемента зависи само од природе електрода и електролишта, а никако од њихових димензија. Јачина струје, коју је један елемент у стању да да, зависи такође и од величине електрода. Већи елементи могу да даду јачу струју него ли мањи. Међутим, капацитет једног елемента сразмеран је његовој величини.

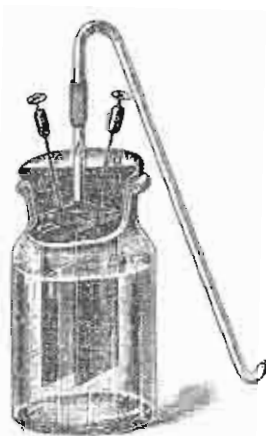
Поред јачине струје, коју један извор, напр. галвански елемент, може уопште да развије (рецимо при краткој вези тј. кад се његови полови споје одличним, кратким и дебелим проводником који готово и нема никаквог отпора) треба водити рачуна и о дозвољеној јачини струје тј. оној јачини коју може да издржи сам извор, а да се сувише не загреје (проводници се загревају кад кроз њих пролази електрична струја), а дозвољена јачина струје утолико је већа што су веће површине електрода елемента.

И електромоторна сила мери се истом јединицом као и напон, односно разлика потенцијала. Јединица за мерење јачине струје (интензитета) зове се ампер*) и означава се са А. Мања јединица зове се милиампер, обележава се са mA и износи $\frac{1}{1000}$ ампера.

4. Основно мерење јачине струје. Волтаметар. Амперметар

Суд (сл. 21) напуњен је водом у којој је растворена мала количина сумпорне киселине, да би вода постала добар проводник електрицитета. Он је херметички затворен запушачима AA. У воду су потопљене две плоче од платине (које се такође називају „електроде“).

*) По славном француском физичару Амперу (1755—1836).



Сл. 21. Волтаметар.

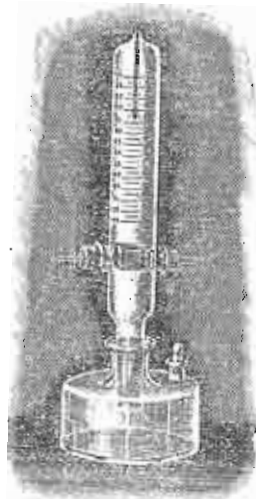
За њих су спојени проводници *c* и *d*. Ови проводници пролазе кроз запушаче *AA* и везани су за један електрични извор, рецимо за једну галванску батерију од 6 волта (батерија елемената сачињава се слично батерији Лајденских боца).

Кад струја почне да тече, са платинских електрода ће се развијати гасови, који ће се у виду мехурића скупљати у горњем делу суда и то на страни електроде везане за негативан пол извора развијаће се два пута већа запремина гаса него ли на позитивној електроди. Гас развијен на негативној електроди, која се зове још и *катода* јесте водоник, а гас на позитивној електроди (која се друкчије зове *анода*) јесте кисеоник. Дакле, кад кроз воду про-

пуштамо електричну струју, онда се она раставља на своје хемиске састојке, водоник и кисеоник. И друга хемиска једињења могу се једносмисленом електричном струјом разложити на своје делове. Овај начин разлагања хемског једињења путем електричне струје, назван је *електролиза*.

Ако гасове око електрода оставимо да се у горњем делу суда скупе и мешају, онда ће та мешавина (праскави гас) постепено потискивати воду из епрувете па ће се увек знати колико је кубних сантиметара гаса укупно издвојено из воде (в. сл. 22).

Ако кроз воду пропуштамо два пута јачу струју, онда ће се за исто време развити два пута већа количина праскавог гаса. Ако је струја три пута јача, биће и количина гаса три пута већа. Како постоји сталан однос између количине произведеног гаса и јачине струје, то увек можемо израчунати јачину струје кад знамо количину гаса и време за које је он произведен.



Сл. 22. Епрувета за мерење количине гасова.

Апарат, који служи за мерење количине тела која су издвојена помоћу електролизе, зове се *волтаметар*.

Место воде можемо узети раствор разних соли, напр. нитрат сребра ($AgNO_3$). Кад кроз такав раствор пропустимо струју, онда ће се из њега на катоди издвојити сребро, и она ће због тога постати тежа. Ако после тога измеримо катоду, моћи ћемо из разлике њене тежине пре и после пролаза струје сазнати колико је сребра издвојено из раствора путем електролизе. Ако при том знамо јачину струје која је вршила разлагање и време за које је то вршено, можемо тачно израчунати колика се количина сребра издвоји за једну секунду при јачини струје од једне јединице. Волтаметар са сребрним нитратом је најпрецизнији инструмент за мерење односа јачине струје и количине ослобођеног метала. *Због тога узета је за јединицу јачине струје она јачина која је у стању да из нитрата сребра за једну секунду издвоји 1,1183 милиграма сребра.* То је један ампер.

Количине издвојених тела путем електролизе могу се израчунати помоћу обрасца $G = a \cdot I \cdot t$ где означава:

G количину ослобођеног тела у милиграмима,

a коефицијент назван *електрохемиски еквивалент*. Он претставља количину тела у милиграмима која је ослобођена при електролизи за једну секунду при јачини струје од 1 ампера, *I* јачину струје у амперима, и

t време у секундама, за које струја пролази кроз волтаметар.

Електрохемиски еквивалент *a* има ове вредности за доле побројана тела:

Олово	1,0718
Гвожђе	0,2908
Злато	0,681
Бакар	0,328
Никел	0,304
Платина	1,009
Сребро	1,1183
Цинак	0,3381
Алуминиум	0,0935
Калај	0,62
Кисеоник	0,0829
Водоник	0,010386

Ево неколико примера за прорачунавање по горњем обрасцу.

1. Пример. *Колико ће милиграма бакра ослободити струја од 5 ампера за 60 секунди из раствора бакарног сулфата?*

Ослободиће: $G = 0,328 \times 5 \times 60 = 98,4$ милиграма.

2. **Пример.** Колику ће количину сребра ослободити струја од 0,5 ампера за три сата електролизе?

Ослободиће:

$$G = 1,1183 \times 0,5 \times 10800 = 6,04 \text{ грама.}$$

3. **Пример.** Колики интензитет струје пролази кроз волтаметар, кад је за два сата и 50 минута ослобођено 85 милиграма сребра?

Из образаца: $G = a \times I \times t$ наћићемо да је тражени интензитет

$$I = \frac{G}{a \times t} = \frac{85}{1,1183 \times 170 \times 60} = 0,0075 \text{ ампера.}$$

4. **Пример.** За које ће време 30 ампера ослободити 40 грама никла?

Из формуле: $G = a \times I \times t$ имамо да ће то време изнети

$$t = \frac{G}{a \times I} = \frac{40\,000}{0,304 \times 30} = 4386 \text{ секунди.}$$

5. **Пример.** Колику струју треба предвидети за једну радионицу за никловање која за 10 часова дневног рада треба да изради 15 гр. никла?

Из формуле $G = a \times I \times t$ добија се да ће требати

$$I = \frac{G}{a \times t} = \frac{15 \times 1000}{0,304 (10 \times 60 \times 60)} = 1,37 \text{ ампера.}$$

6. **Пример.** За колико дана може бити разложено 250 кг. алуминиума када се располаже струјом од 700 ампера и то 23 часа дневно?

Из истог општег образаца $G = a \times I \times t$ наћићемо да ће требати

$$t = \frac{G}{a \times I} = \frac{250 \times 1000 \times 1000}{0,0935 \times 700} = 3819\,710 \text{ секунди}$$

(око 44 дана и 5 часова).

7. **Пример.** Колико је ампера прошло кроз волтаметар са водом кад се зна да је за 10 минута створено 150 cm^3 раскљавог гаса?

Из образаца $G = a \times I \times t$, где је t изражено у минутима, имамо $a = 10,44$, те добијамо

$$I = \frac{150}{10,44 \times 10} = 1,437 \text{ ампера.}$$

Било би врло тешко кад бисмо јачину сваке струје морали да меримо помоћу волтаметра са сребром. Међутим, за практична мерења постоји апарат чија казаљка скреће, кад кроз њега прође струја, и на калибрираној скали директно показује јачину струје у амперима. Кроз такав апарат претходно је пуштена струја разне познате јачине а скретање је обележено на скали за сваку јачину.

Ови апарати зову се *амперметри*. Они се на шемама означавају једним кругом и једном стрелицом у њему са словом A поред

круга за разлику од волтметра, апарата за мерење напона који се обележава исто тако само се додаје слово V .

5. Поларизација галванских елемената

Ако коло једног елемента остане затворено дуже време тј. из елемента се дуже време црпи струја, њен интензитет ће постепено опадати, па ће је на крају и нестати. Значи да електромоторна сила елемента слаби кад он непрекидно и дуже време ради. То њено слабљење назива се *поларизација елемента*.

Поларизација се објашњава на следећи начин. Кад се коло затвори, под утицајем струје сумпорна се киселина (H_2SO_4) поставља на SO_2 и водоник H_2 . Цинак се једини са SO_4 дајући сулфат цинка, а ослобођени водоник H_2 иде у облику ситних мехурића на позитивну бакарну электроду. Накупивши се у већој количини око позитивне електроде, водоник тако рећи изољује електролит, те је његово дејство на бакар ослабљено и електромоторна сила нема више првобитну вредност.

Ова се појава може и овако објаснити: Водоник опколивши са свију страна позитивну электроду, мења састав елемента. Уместо да унутрашње коло буде: цинак — електролит — бакар, оно је постало: цинак — електролит — водоник — бакар. Водоник као и цинк почне да се оксидише и ствара електромоторну силу супротну првобитној, коју ствара цинак. Она се зове *електромоторна сила поларизације*. Ове две електромоторне силе противне су једна другој, а њихова резултанта даје спољну струју. Уколико је електромоторна сила поларизације већа, утолико је резултанта мања, а кад буде једнака првобитној електромоторној сили, струја престане да циркулише.

6. Деполаризација галванских елемената

Да би поларисан елемент могао понова да ради, потребно је да уклонимо водоник са поларисане електроде тј. да *деполарисемо* елемент. То можемо учинити и помоћу четке, али тај механички начин није подесан. Уместо тога, узима се неко тело које садржи кисеоник а који може лако да испушта. Такво се тело стави око позитивне електроде (калијум-хлорат, магнезијум-супероксид). Водоник, који се накупља, једини се са кисеоником из тога деполарисујућег тела, које се назива *деполаризатор* и ствара воду. Ова вода није чиста те је добар проводник електрицитета. Тако се добија елемент који се не поларисе.

7. Равне врсте галванских елемената

Број разних галванских елемената велики је, али их можемо лако поделити на две групе. У прву групу долазе они чије су електроде цинак и бакар. Ову групу сачињавају *Даниелов* елемент и они који воде порекло од њега као што су: *Калов*, *Мајдингеров* и др. У другу групу долазе они елементи чије су електроде цинак и угаљ. Ову групу сачињавају: *Лекланшеов*, *врећаст* и др., и готово сви *наливни* и *суви* елементи.

8. Наливни елементи

Обични елементи имају електролит у течном стању и зато се називају *мокри елементи*. Међутим, има елемената где се између електрода ставља материја која упија и дуго задржава воду, кад се вода сила у елемент. Дотле је та материја рђав проводник електрицитета (гипс, струготина од дрвета, брашно и др.). Она се претходно измеша са солима које се употребљавају као електролит, нишадором (амониум-хлорид), магнезиум-хлоридом и др. Да прораде, такви се елементи само налију водом. После кратког времена, они су у стању да дају струју.

Овакви елементи подеснији су од мокрых за прилике у којима се морају често премештати. Исто тако подеснији су за држање у топлим просторијама, где би се мокри врло брзо испаравали, а нарочито су добри као елементи који се дуго могу чувати у магацинима пре употребе (за војне циљеве), а не захтевају никакво претходно склапање.

9. Суви елементи

То су потпуно затворени елементи код којих чак не треба ни воде сипати да би се могли употребити. Електроде су им од цинка и угља. Електролит, као и код наливних елемената, састављен је од тела која јако упијају и задржавају воду (хидроскопна), а која су помешана такође са потребним солима. У њихов електролит насута је довољна количина воде још при фабрикацији, те су споља сасвим затворени.

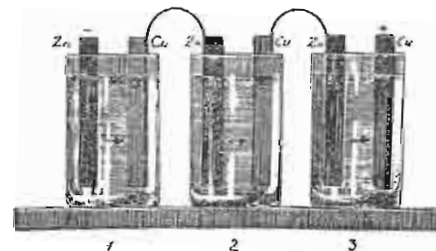
Суви елементи углавном имају електромоторну силу од 1,5 V, унутрашњи отпор од 0,1 до 0,3 ома према величини, а могу да поднесу јачину струје од 0,25 до 0,5 А према врсти. Трају доста дуго и одржавају свој капацитет. Теже од 0,5 до 2,00 кг.

Цепне електричне лампе раде са батеријама од оваквих сувих елемената, везаних по три на ред тако, да је електромоторна сила целе батерије од 4 до 4,5 волта.

10. Спревање елемената

а) Везивање у серији.

Пошто електромоторна сила елемената зависи само од природе електрода и електролита, и пошто она не може да буде виша од 2 волта, то се за добијање већих напона морамо послужити комбинацијом од више елемената. Сл. 23 показује нам једну такву комбинацију од три еле-



Сл. 23. Везивање у серији.

комбинацију од три елемента. Ту је бакар првога елемента везан за цинак другог, а бакар другог за цинак трећег. Другим речима, позитиван пол првога везан је за негативан пол другог, а позитиван другог за негативан трећег, дакле, онако исто

као што смо везивали у серији лајденске боце. На тај начин добили смо тзв. *батерију* од три елемента. На крајевима батерије остала су два пола слободна, један позитиван, други негативан. То су *полови батерије*. Њих везујемо по потреби за разне апарате за потрошњу струје.

Да видимо резултат таквог спрезања. Између бакра и цинка сваког од спрегнутих елемената постоји потенцијална разлика од 1 V. Између првог цинка и првог бакра имамо 1 V. Између првог и другог цинка такође 1 V, пошто је други цинак у вези са првим баком. Али између првог цинка и другог бакра већ имамо 2 V, јер ту обухватамо и електромоторну силу другог елемента. Између првог цинка и трећег бакра имаћемо 3 V. Према томе, наша батерија од три овако везана елемента имаће потенцијалну разлику од 3 волта.

Спревање, где се позитиван пол једног елемента веже са негативним полом наредног елемента, зове се *редно везивање* или *везивање у серији*. При овом везивању електромоторна сила батерије једнака је збиру електромоторних сила свих елемената везаних на ред. Елементе везујемо на ред кад хоћемо да добијемо већи напон.

Али тако добијена батерија не може да да већу јачину струје, но што ју може дати један елемент.

Ево неколико примера за прорачун сериских батерија елемената:

1. **Пример.** Електромоторна сила једног Мајдингеровог елемента

износи $e = 1,07 \text{ V}$. Колика ће бити електромоторна сила E батерије од $n = 50$ таквих елемената везаних на ред?

Електромоторна сила целе овакве батерије имаће:

$$E = n \times e = 50 \times 1,07 = 53,5 \text{ V.}$$

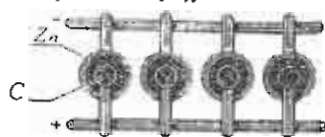
2. Пример. Потребан нам је напон од $E = 90 \text{ V}$. Колико (n) сувах елемената, чији је напон $e = 1,5 \text{ V}$, треба узети на ред па да се добије тај напон?

Потребно је узети на ред:

$$n = \frac{E}{e} = \frac{90}{1,5} = 60 \text{ елемената.}$$

б) Паралелно везивање.

Ако све негативне полове више елемената вежемо заједно, а све позитивне полове заједно, као што је то претстављено на сл. 24, добијамо батерију галванских елемената везаних паралелно. Овде су



Сл. 24. Паралелно везивање.

с једне стране сви цинкови појединих елемената повезани међу собом, а с друге стране сви угљени. Резултат је такав као да смо начинили један елемент чије су електроде 4 пута веће од нормалних. Према томе, оваква батерија може да поднесе 4 пута јачи интензитет него један елемент.

Уопште, ма колики био интензитет који може да поднесе батерије, њега деле и подносе сви елементи у подједнакој количини (ако су ти елементи идентични).

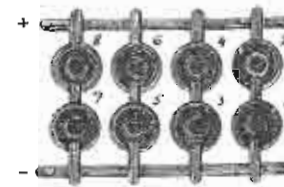
Електромоторна сила овакве батерије остаће иста као и једног елемената, јер с једне стране имамо цинак (састављен од 4 дела), а с друге угљак (који је такође састављен од 4 дела) као да имамо један једини елемент са електродама које су 4 пута веће него обично. Међутим знамо да електромоторна сила једног елементa зависи само од природе његових електрода и природе његовог електролита, а никако од њихових димензија.

Паралелно треба везивати само елементе са истом електромоторном силом и са истим капацитетом. Ако су електромоторне силе појединих елемената различите, онда елемент са већом електромоторном силом шаље струју у онај са мањом, па чак и онда кад полови батерије нису спојени са спољним колом.

Међутим редно могу се везивати без икакве штете и елементи са различитим електромоторним силама. За дужи рад не треба на ред везивати елементе са сувише различитим капацитетима, јер се они који имају мањи капацитет брзо истроше па их треба избацити пре него ли друге који имају већи капацитет, те могу дужи да трају.

с) Мешовито редно-паралелно везивање.

У таквој мешовитој батерији имамо елемената везаних и редно и паралелно, као што показује сл. 25. Ту имамо 4 групе по два елемента везаних на ред, а те 4 групе везане су међусобом паралелно.



Сл. 25. Мешовито везивање.

Претпоставимо примера ради да имамо на расположењу Калове елементе чија је електромоторна сила 1 V , а највећа струја, коју могу да поднесу, 20 mA . Потребна нам је батерија чији би напон био 80 V , а која би могла да поднесе 300 mA . Колико треба узети за ту батерију овакових Калових елемената и како их треба узети?

Да добијемо 80 V треба узети 80 елемената и везати их на ред. Тај ред може да поднесе само 20 mA . Да бисмо имали 300 mA , треба имати 15 редова на их везати паралелно. Дакле, број елемената ће бити $80 \times 15 = 1200$.

Из предходнога можемо извести овај закључак:

Број елемената, које треба везати на ред, добијемо, кад напон, који треба остварити, поделимо електромоторном силом једног елемента.

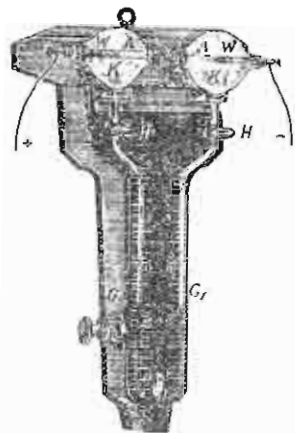
Ако тако добијен ред није у стању да произведе тражени интензитет, онда ћемо више таквих редова везати паралелно. Број редова, које треба везати паралелно, наћи ћемо кад интензитет, који се жели остварити, поделимо интензитетом који један ред може поднети.

11. Термоелементи

Пелтије*) први је приметио године 1834, да кад кроз спој бизмута и другог ког метала као антимона, гвожђа, сребра, злата, бакра и др., пролази електрична струја, на месту њиховог споја развија се топлота или „хладноћа“. Ако струја прелази са бизмута на антимон, спој се расхлађује, ако струја прелази са антимона на бизмут, спој се загрева. То се може лако проверити помоћу апарата показаног на сл. 26. На антимоновој полујаци AA спојена су са обе стране парчад од бизмута WW . Преко гумених запушача пролази цела полуга круг кугле KK_1 тако, да се у једној кугли налази спој WA , а у другој спој AW . Обе кугле спојене су стакленом цеви у облику V на чијем се доњем крају налази вода. Ако за жицу са знаком „плус“ вежемо позитиван, а за жицу са знаком „минус“

*) Француски физичар (1785 – 1845).

негативан пол једног галванског елемента, па пустимо да струја тече, утврдићемо да се у кугли K јавља хлађење, а у кугли K_1 загревање. То ћемо утврдити на тај начин, што ћемо отворити славине H . Загрејани ваздух у K_1 потискиваће воду у G_1 а расхлађени ваздух у K ће се скупити, те ће се вода пети у G .



Сл. 26. Апарат за констатовање грејања и хлађења споја антимонобизмута.

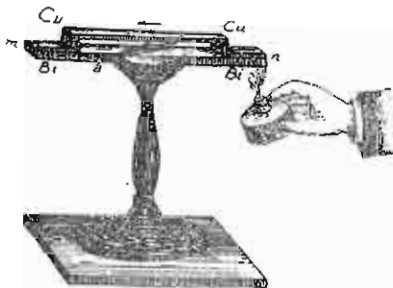
Ако поступимо обрнуто и узмемо једно коло начињено од бизмута и другог ког од горе поменутих метала па њихове слојеве доведемо на разне температуре, у том колу се јавља електрична струја. Овакав спој сачињава један тзв. *термоелемент*.

Сл. 27 показује један такав термоелемент. Доња полука је од бизмута, а горња од бакара. Између њих налази се магнетна игла a . На крајевима m полуке су спојене. Ако један од спојева, рецимо спој n , загревамо, то се у колу бизмут-бакар појављује

електрична струја, и магнетна игла скреће. Правац струје је такав да она на топлим споју иде од бизмута на бакар. Место да спој n загревамо, ми га можемо хладити држећи га у леду. Опет ће постојати разлика температуре на спојевима. Правац струје је такав да ће она опет на топлијем споју ићи од бизмута на бакар, тј. имаће правац супротан претходном.

Електромоторна сила термоелемента је врло мала и не износи више од неколико миливолта (хиљадити део волта) при температурној разлици од 100°C . Она зависи од природе

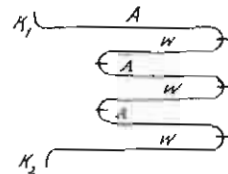
електрода. Следећи ред показује, које метале треба спојити па да дају термоелемент. Уколико су ови метали по реду даље један од другог, утолико је њихово међусобно дејство веће и дају већу струју. Ред је овај: *бизмут, жива, платина, злато, бакар, калај, олово, цинк, сребро, гвожђе, антимоно*.



Сл. 27. Термоелемент.

Унутрашњи отпор термоелемента је врло мали, јер су они, као што се види, састављени од врло добрих проводника електрицитета.

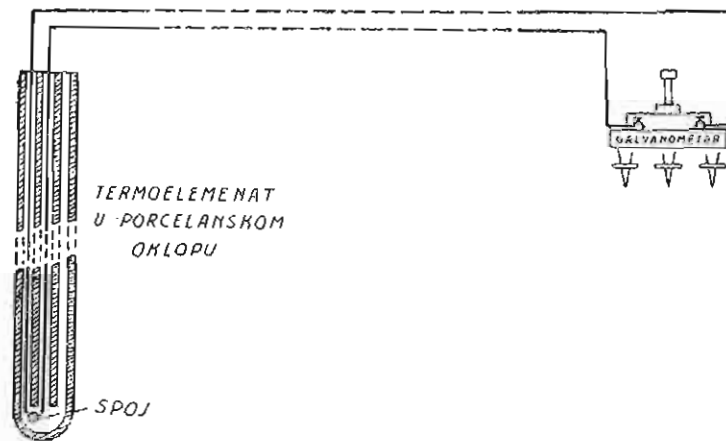
Да би се повисила електромоторна сила, везују се термоелементи на ред. Шематички је то претстављено на сл. 28.



Сл. 28. Сериско везивање термоелемента

Термоелементи су врло корисно употребљени за мерење промене температуре. Напр. једну страну спојева подешених термоелемента држимо на сталној температури, а друга се налази у простору чију промену температуре хоћемо да пратимо. Чим се температура промени, мења се и електромоторна сила батерије термоелемента. Ако смо за половине такве батерије везали галванометар, онда помоћу његове игле можемо пратити промене температуре простора.

Термоелементи су нарочито корисно употребљени за мерење врло високих и врло ниских температура, за које се термометар са живом уопште не може употребити (нити испод -30°C , нити изнад 350°C). Сл. 29 показује шему и изглед једног оваквог термометра



Сл. 29. Пирометар

за мерење врло високих температура, који се зове *пирометар*. Термоелемент од *платине* и *платинирницијума* (10% ницијума, 90% платине) одлично је употребљен као пирометар за мерење високе температуре у пећима, упањеним гасовима, топнионцима и др. Овај пирометар састоји се од једне жице начињене од хемиски чисте пла-

тине и једне жице од платиниридиума. Те жице су обично дугачке 150 *cm* а дебеле 0,6 *mm*. Оне су увучене у више порцеланских цеви, једна поврх друге. Порцеланске цеви су начињене од материјала врло постојаног у ватри, и могу врло добро издржати до 1600° *C*. Доњи део цеви налази се у топлом простору, напр. у пећи чију температуру треба мерити. Слободни крајеви батерије термоелемената везани су за две спојнице са завртњима на одстојању од 1,5 *m* од пећи тако, да се њихова температура може мерити и обичним термометром. Од ових спојница полазе две жице које иду у галванометар, који чак и не мора да буде у истом простору у коме се налази пећ. Како сваком кретању галванометра одговара извесна температура, то се на његовом цифарнику — на његовој скали — могу уписати директно одговарајући степени топлоте. У том случају на галванометру се чита непосредно температура у Целзиусовим степенима.

ТРЕЋА ГЛАВА

Омов, Кирхофљев и Цаулов закон

1. Омов ваџон

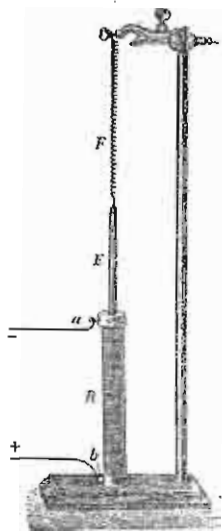
Електрична струја може да тече само кроз потпуно затворено пј. кроз беспрекидно проводно коло. Галвански елемент даваће струју само тада, ако су његови полови везани једним потпуно целим проводником. Ако је тај проводник на путу од једног до другог пола на ма ком месту прекинут, или је на месту прекида наставак учињен помоћу тела које не проводи електрицитет, електрична струја неће тећи. Проводници, који спајају половине, називају се *спољно коло*, а електроде елемента и његов електролит, кроз које такође тече та иста струја, сачињавају тзв. *унутрашње коло*.

Ако узмемо сериску батерију која се састоји само из једног реда елемената, а спољно коло само из једне жице, онда се такво коло зове *просто* или *једноставно* (в. сл. 18 и 19), за разлику од *разгранатог кола* или *кола са отокама*, где су полови спојени са више жица, или се главно коло негде на путу грана у више отока, па се и струја код њих дели и иде истовремено кроз све те гране.

У простом колу по целој дужини протиче струја која је свуда подједнаке јачине. То значи, да ако јачину струје меримо ма на ком делу кола, увек ћемо наћи да она износи исти број ампера, па и онда, кад жица није на целој дужини исте дебљине. Где је пресек мањи, струја је гушћа. Ради бољег објашњења ове чињенице, да опет упоредимо електричну струју са током воде. Ако једна пумпа истискује из неког резервоара два литра воде у секунди, па та вода пролази кроз цев која није на целој дужини истог пресека, лако се увиђа да ипак кроз цев свуда пролази тачно и само два литра воде у секунди. Ако би негде пролазило мање воде, она би се морала на другом месту нагомилавати, што није могуће. Једино што ће на ширим местима вода тећи спорије, а на ужим брже. Главно је то, да ће кроз сваки пресек целом дужином цеви протицати за једну секунду свуда иста количина, а ова количина за јединицу вре-

мена, као што знамо, одговара јачини електричне струје, која је такође количина електрицитета која тече кроз неки пресек проводника исто тако за јединицу времена.

*Шта се тиче дејства електричне струје, оно, сасвим природно, зависи од њене јачине, од њеног интензитета, тј. од броја ампера које она има. Видели смо да уколико је струја јача, утолико је већа количина сребра које се помоћу ње издвоји из нитрата сребра за једну секунду. Доцније ћемо видети да електрична струја показује такође и магнетске особине, магнетско привлачење и одбијање. Исто тако и то магнетско дејство струје све је веће што је њена јачина већа. На сл. 30 имамо један калем на кога је намотана жица обложена свилом да би била изолована од проводног додира са проводним теллима. Крајеви тако намотане жице завршују се у спојницама *a* и *b*. Ако спојнице вежемо за половине једне батерије, гвоздени штапић *E* биће магнетски привучен у шупљину калема. Како је гвоздени штапић спојен са еластичним пером *F* то ће он бити више или мање увучен у шупљину калема, према томе дали пропустимо јачу или слабију струју кроз жицу калема напр. најпре један ампер, потом два, па три итд. Ако обележимо на једној скали: при којој је јачини струје докле штапић био привучен, онда ћемо моћи обрнуто, према положају штапића *E* и ознаке на скали прочитати јачину струје која кроз калем пролази. На том принципу основан је апарат који се види на сл. 31. Он поглавито служи за опите. Назван је галванометар са опругом.*



Сл. 30. Принцип галванометра са опругом.

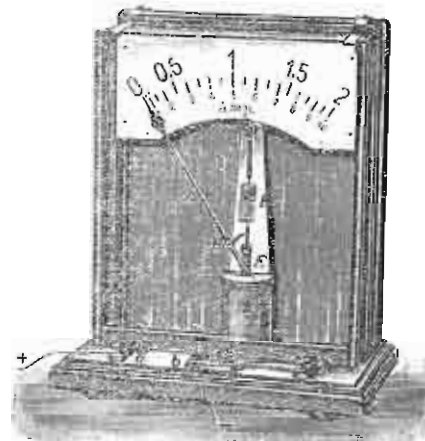
Лако је такође схватити да јачина струје, која пролази кроз неко коло, зависи у првом реду од електромоторне силе извора који је даје. Уколико је већа електромоторна сила, тј. потенцијална разлика између полова која „тера електрицитет“ кроз спољно коло, утолико је очевидно већи и интензитет електричне струје. То можемо лако доказати и помоћу описаног галванометра са опругом. Ако вежемо најпре један елемент за спојнице галванометра, видећемо да ће галванометар показати, рецимо 0,5 А. Кад затим вежемо три елемента на ред, па половине овако добивене батерије вежемо за спојнице *a* и *b*, видећемо да ће галванометар показивати 1,5 А,

дакле три пута јачу струју, ако су све остале околности остале исте.

Јачина струје зависи такође и од природе тела кроз које пролази. Видели смо да има тела која по својој природи лакше проводе електрицитет, а исто тако има их која проводе теже, као што их има која уопште не пропуштају електрицитет (изолатори). Али ни сва тела која се сматрају за добре проводнике, не пропуштају електричну струју са истом лакоћом. То се може лако доказати ако узмемо галванометар и неколико танких жица исте дужине и истог пресека, али од разних метала напр. од сребра, бакра, гвозђа итд., па са њима извршимо следеће опите. Најпре ћемо галванометар и батерију везати двома сребрним жицама и забележити јачину струје. Затим ћемо сребрне жице заменити бакарним. Одмах ћемо видети да ће струја бити нешто слабија него малочас. Ако место бакарних ставимо гвоздене жице, видећемо да ће струја бити још слабија. Значи да је струји било лакше да прође кроз сребро, но кроз бакар, а још лакше него кроз гвозђе. Због тога кажемо да сребро лакше пропушта струју, да је боље проводи него бакар. Другим речима сребро има мањи електрични отпор него што га има бакар, а још мањи него ли што је електрична отпорност гвозђа.

Исто се тако даде из тога извести и следећи закључак: Уколико је отпор електричног кола већи, утолико је мањи интензитет струје, ако је електромоторна сила иста.

Ако овај исти експеримент поновимо, али не узимамо жице од разног материјала, већ од истог и исте дужине само различитог пресека, видећемо да ће струја бити све јача што је пресек жице већи при једнаким осталим околностима. Али, ако задржимо исти материјал и исти пресек, а узмемо жицу два, три, четири пута дужу, видећемо да ће и њен отпор бити толико пута већи. Обрнут појам отпорности јесте *проводљивост* материјала. Сребро је проводљивије од бакра, а бакар је проводљивији од гвозђа итд.



Сл. 31. Галванометар са опругом.

Из досадањег излагања види се да јачина струје једног електричног кола непосредно зависи од величине електромоторне силе електричног извора и целокупног отпора електричног кола. Ову зависност први је уочио немачки физичар Ом (1787—1845), који је открио тзв. *Омов закон* који гласи:

У једном колу интензитет (J) струје једнак је електромоторној сили (E) подељеној отпором кола (R) или, изражено математички:

$$J = \frac{E}{R} \text{ тј. интензитет } (J) = \frac{\text{електромоторна сила } (E)}{\text{отпор кола } (R)}$$

што се математички такође може написати у облику $E = RJ$ односно $R = \frac{E}{J}$. Према томе значи да је електромоторна сила кола производ из јачине струје и отпора, односно да је отпор раван електромоторној сили подељеној са јачином струје. Укупни отпор сваког електричног кола сачињавају не само жице које везују половине електричног извора (у овом случају галванског елемента), већ и сви апарати који се налазе укључени у том колу, а тако исто и саме електроде као и електролит. Отпор, који сачињавају електроде и електролит, зове се *унутрашњи отпор* батерије, а отпор, који се налази између полова, зове се *спољни отпор* електричног кола.

Јединица за мерење отпора названа је *ом*. Она се означава грчким словом Ω или ω . Као што је усвојено да јединица мере за дужину буде један метар, који износи један четрдесетомилионити део земљиног меридиана, тако је за јединицу електричног отпора — један ом — усвојен отпор који даје живин стуб дужине 103,6 *ст* а пресека 1 *mm*². Већа јединица од ома јесте *мегом*, који износи један милион ома.

Омов закон је основни закон електротехнике као науке. Тек од његовог открића постало је могуће прорачунавати електричне апарате и инструменте, машине и проводнике, пошто је у њима, у погледу електрицитета, увек реч о електричном колу, које првенствено потпада под Омов закон.

Ево неколико примера израчунавања по Омовом закону.

1. **Пример.** Једна електрична сијалица везана је за жице *варошке мреже* између којих *постоји* напон од 120 V. Она *троши* 0,5 A. *Пита се:* колики је отпор *те* сијалице?

Он ће бити:

$$R = \frac{E}{J} = \frac{120}{0,5} = 240 \text{ ома.}$$

2. **Пример.** За рад једног телеграфског апарата потребан је интензитет струје од 15 mA. Отпор линије и апарата износи 3000 Ω ,

ванемарујући релативно мали унутрашњи отпор батерије и отпор земље. Колика треба да буде електромоторна сила батерије да би могла да произведе потребан интензитет у линији овог отпора?

Потребна је електромоторна сила од:

$$E = RJ = 3000 \times 0,015 = 45 \text{ волта.}$$

3. **Пример.** Колико је елемената потребно везати на ред, да би се кроз спољни отпор од 3000 Ω добио интензитет од 0,015 A, кад је електромоторна сила једног елемента $e = 1,5$ V?

Решење зависи од тога да ли треба водити рачуна о унутрашњем отпору батерије или се он занемарује.

Ако се унутрашњи отпор елемената занемарује, онда, пошто је електромоторна сила једног елемента e , то ће n елемената дати напон чија ће вредност бити ne ; та електромоторна сила треба да буде једнака производу из отпора R и интензитета J , тј. $ne = RJ$. Одатле је:

$$n = \frac{RJ}{e} = \frac{3000 \cdot 0,015}{1,5} = \frac{45}{1,5} = 30 \text{ елемената.}$$

Ако се пак води рачуна о унутрашњем отпору елемената, који износи $r = 6$ ома по комату, онда ће унутрашњи отпор батерије бити nr . Спољном отпору (R) треба додати унутрашњи (nr) и онда применити образац.

Дакле биће потребно:

$$ne = (R + nr) J = RJ + nrJ$$

$$n(e - rJ) = RJ, \text{ те је}$$

$$n = \frac{RJ}{e - rJ} = \frac{3000 \cdot 0,015}{1,5 - 6 \cdot 0,015} = \frac{45}{1,41} = 32 \text{ елемента.}$$

Ако је интензитет, који спољно коло тражи већи но што један елеменат може да поднесе, онда треба узети више редова елемената и везати их паралелно. Колико ће редова требати знамо из ранијег. У горњим обрасцима за J треба узети максимум интензитета који елеменат може да поднесе.

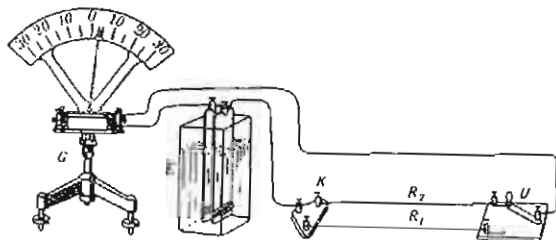
2. Електрични отпор проводника

Узмимо један галвански елеменат E (сл. 32), чија се потенцијална разлика између полова не мења. Вежимо његове полове једним проводником и уметнимо у коло галванометар који ће нам показати колики интензитет пролази кад затворимо коло.

Рецимо да галванометар показује 20 милиампера, кад помоћу мењача U ставимо у коло проводник R_1 .

Кад место проводника R_1 ставимо проводник R_2 од истог метала, исте дужине, али већег пресека, видећемо да ће амперметар показати већи интензитет, напр. 30 милиампера.

Ако скинемо проводник R_2 , па ставимо проводник R_3 , који је као и оба пређашња од истог метала и има исти пресек као први, али је дужи од њега, видећемо да ће амперметар показивати мање, рецимо место 20 милиампера, свега 15 милиампера.



Сл. 32. Зависност електричног отпора од дужине, пресека и природе проводника.

Из овог се опита даје закључити да струја пролази са више или мање тешкоћа кроз разне проводнике. Кад посматрамо, дакле, два проводника R_1 и R_2 од истог материјала, исте дужине, а разних пресека, видећемо да ће струја пролазити лакше кроз проводник већег пресека. Можемо рећи да *проводник мањег пресека представља већи отпор* за електричну струју. Исто тако од поменути два проводника R_1 и R_3 *дужи проводник представља већи отпор*, те због тога кроз њега пролази струја слабијег интензитета.

Из свега овога видимо да је *електрични отпор једног проводника уколико већи, уколико је његова дужина већа и уколико је његов пресек мањи*.

Ако узмемо два проводника исте дужине и истог пресека, али од разних метала, видећемо да амперметар неће показивати исту јачину струје кад она пролази кроз њих из истог елемента. Значи да та два проводника имају разне отпоре. Пошто су њихове дужине исте, а такође исти и пресеци, па ипак су им отпори различити, можемо закључити да *отпор зависи и од природе метала* од кога је проводник израђен.

Ако упоредимо отпоре разних жица дужине l m и пресека 1 mm^2 , добићемо следећу табелу за тзв. *специфични отпор* разних метала који се најчешће употребљавају у електротехници. У њу је унета такође и *специфична проводљивост* тих метала. Ако је отпор неког проводника R , онда је његова проводљивост $\frac{1}{R}$, што ће рећи обрнута, реципрочна вредност отпора.

Таблица I. Специфични отпор и специфична проводљивост.

Назив метала	Специфични отпор	Специфична проводљивост
Сребро	0,016	62,5
Бакар чист	0,0126	61,7
Бакар трговачки	0,0175	57,1
Злато	0,023	43,5
Алуминиум	0,027	37,0
Цинак	0,061	16,4
Никл (према чистоћи)	0,08 — 0,11	9,1 — 12,5
Платина чиста	0,108	9,3
Гвожђе (према врсти)	0,09 — 0,15	6,7 — 11,1
Платина трговачка	0,14	7,1
Олово	0,21	4,8
Челик (према врсти)	0,15 — 0,5	2,0 — 6,7

За израчунавање отпора жице, дуже или краће од 1 m и пресека већег или мањег од 1 mm^2 служимо се обрасцем:

$$R = \frac{cl}{s} \text{ у коме означава:}$$

R отпор проводника у Ω ,
 c специфични отпор материјала (који се често назива *резистивитет*) из табеле I,

l дужину проводника у m и
 s пресек проводника у mm^2 .

Ево неколико примера прорачунавања:

1. **Пример.** Колики је отпор *шелеграфске линије* од 5 km дужине, кад је проводник од бакра, а његов пресек 3 mm^2 ?

Применом горњег обрасца добићемо да је:

$$R = \frac{cl}{s} = \frac{0,0175 \cdot 5000}{3} = \frac{87,5}{3} = 29,2 \text{ ома.}$$

2. **Пример.** Колики треба да буде пресек проводника, па да *шелеграфска линија* од 5 km начињена од алуминиума има отпор од 30 Ω ?

Овде је, дакле, $R = 30$ Ω , $l = 5000$ m , $c = 0,027$. Пита се колики је пресек s . Ако је у обрасцу за отпор познато све сем пресека, онда се за пресек добија образац: $s = \frac{cl}{R}$, те је

$$s = \frac{cl}{R} = \frac{0,027 \cdot 5000}{30} = \frac{27}{6} = 4,5 \text{ mm}^2.$$

3. **Пример.** Једна батерија галванских елемената има електромоторну силу 1,8 V, а унутрашњи отпор $R_i = 0,2 \Omega$. Колики ће интензитет струје давати та батерија, кад њено спољно коло има отпор $R_e = 0,7 \Omega$?

Целокупан отпор R састоји се из унутрашњег отпора R_i и спољног отпора R_e , тако да ће бити:

$$R = R_i + R_e = 0,2 + 0,7 = 0,9 \text{ ома.}$$

Примењујући Омов закон налазимо да је тражени интензитет:

$$J = \frac{E}{R} = \frac{1,8}{0,9} = 2 \text{ ампера.}$$

4. **Пример.** Једна батерија галванских елемената има електромоторну силу 1,2 V и унутрашњи отпор 0,5 Ω . Колики је отпор спољног кола кад кроз њега шече струја од 0,8 A?

Помоћу обрасца $R = \frac{E}{J}$ наћи ћемо најпре целокупан отпор кола R . Он износи:

$$R = \frac{E}{J} = \frac{1,2}{0,8} = 1,5 \text{ ома.}$$

Како је унутрашњи отпор $R_i = 0,5 \Omega$, то је спољни отпор $R_e = R - R_i = 1,5 - 0,5 = 1 \text{ ом.}$

5. **Пример.** Батерија од $n = 12$ једнаких елемената везаних на ред даје струју од 2 A у колу чији је спољни отпор 10 Ω . Унутрашњи отпор батерија је $R_i = 0,85 \Omega$. Треба израчунаати: а) колика је електромоторна сила батерије? б) колика је електромоторна сила једног елемента? и с) колики је унутрашњи отпор једног елемента?

Електромоторна сила E батерије добија се из обрасца: $E = RJ$ где су $R = R_i + R_e = 0,85 + 10 = 10,85$ ома, а $J = 2$ ампера, те је: $E = RJ = 10,85 \times 2 = 21,7$ волта.

Ако је електромоторна сила батерије $E = 21,7$ V, онда електромоторна сила једног елемента e биће:

$$e = \frac{E}{n} = \frac{21,7}{12} = 1,808 \text{ волта.}$$

Унутрашњи отпор свих елемената је 0,85 Ω . Отпор само једног елемента биће:

$$r_1 = \frac{R_i}{n} = \frac{0,85}{12} = 0,0708 \text{ ома.}$$

6. **Пример.** Једна батерија састављена је од 6 равних елемената везаних на ред и то: 2 типа Данијел, 2 типа Грове и 2 типа Бунзен. Електромоторна сила Данијеловог елемента је 1,068 V, а

унутрашњи отпор 2,8 Ω . Електромоторна сила Гровеовог елемента је 1,79 V, а унутрашњи отпор 0,7 Ω . Електромоторна сила Бунзеновог елемента је 1,88 V, а унутрашњи отпор 0,24 Ω . Колики ће бити интензитет струје J у спољном колу, чији је отпор $R_e = 2 \Omega$?

Електромоторна сила E целе батерије износи:

$$E = 2 (E_1 + E_2 + E_3) = 2 (1,068 + 1,79 + 1,88) = 6,476 \text{ волта.}$$

Унутрашњи отпор целе батерије R_i износи:

$$R_i = 2 (r_1 + r_2 + r_3) = 2 (2,8 + 0,7 + 0,24) = 7,48 \text{ ома.}$$

Целокупни отпор батерије R износи:

$$R = R_i + R_e = 7,48 + 2 = 9,48 \text{ ома.}$$

Према томе интензитет струје у колу биће:

$$J = \frac{E}{R} = \frac{6,476}{9,48} = 1 \text{ ампер.}$$

7. **Пример.** Шта ће бити у претходном примеру, ако један од Бунзенових елемената буде наопако везан, тј. ако два пола + и — буду везана међу собом, уместо један + и други —?

Електромоторна сила батерије састојаће се из електромоторне силе 2 елемента Данијелова, 2 Гровеова, 1 Бунзеновог, који су правилно везани, мање електромоторна сила једног Бунзеновог елемента, који је наопако везан. Дакле биће:

$$E = 2 (E_1 + E_2) = 2 (1,068 + 1,79) = 5,716 \text{ волта.}$$

Унутрашњи отпор батерије остаје исти $R_i = 7,48$ ома.

Интензитет струје у колу биће:

$$J = \frac{E}{R_e} = \frac{5,716}{9,48} = 0,603 \text{ ампера.}$$

Примедба. Електромоторна сила погрешно везаног елемента тежи да произведе струју у супротном смислу, зато се и каже да је у опозицији са електромоторном силом батерије, те се назива каткад и контра-електромоторном силом.

8. **Пример.** Једна батерија акумулатора састоји се из $n = 36$ чланака везаних на ред. Електромоторна сила сваког чланка је $e = 2$ V, а унутрашњи отпор $r_1 = 0,008 \Omega$. Колики ће интензитет струје тећи кроз спољно коло, кад је његов отпор $R_e = 2 \Omega$?

Тећи ће струја јачине:

$$J = \frac{ne}{R_e + nr_1} = \frac{36 \cdot 2}{2 + 36 \cdot 0,008} = 31,5 \text{ ампера.}$$

9. **Пример.** За време пуњења батерије акумулатора из претходног примера ($n = 36$), електромоторна сила сваког елемента поине се на $e = 2,2$ V. Унутрашњи отпор чланака остаје приближно исти ($r_1 = 0,008 \Omega$.) Колика треба да је електромоторна

сила E динамомашине која пуни батерију, кад се зна да је отпор машине и доводних проводника $R_d = 0,1 \Omega$ и да се пуњење врши са $J = 30 \text{ A}$?

При пуњењу батерије, позитиван пол машине ваља везати за позитиван пол батерије. Електромоторна сила батерије се противи продирању струје из машине у батерију. Стога електромоторна сила машине мора најпре да савлада дејство контра-електромоторне силе батерије ($E_c = p_e = 36 \cdot 2,2 = 79,2$ волта) и сем тога, да покаже један вишак, који би био у стању да кроз отпор од ($R = R_d + r_i = 0,1 + 36 \times 0,008 = 0,388$ ома) пропусти струју од 30 ампера.

Ако електромоторну силу динамомашине означимо са E , онда ће бити: $J = \frac{E - E_c}{R}$, те је тражена електромоторна сила:

$$E = RJ + E_c = 0,388 \times 30 + 79,2 = 90,84 \text{ волта.}$$

10. **Пример.** За време пуњења батерија акумулатора из претходног примера ($n = 36$), електромоторна сила акумулатора расте, и пред крај досадиже $e = 2,5 \text{ V}$ по чланку. Ако електромоторна сила динамомашине и целокупан отпор задржи исту вредност као у претходном примеру, пита се колики ће бити интензитет при крају пуњења?

Он ће бити:

$$J = \frac{E - p_e}{R} = \frac{90,84 - 36 \times 2,5}{0,388} = 2,165 \text{ ампера.}$$

11. **Пример.** Колико ће волта имати електромоторна сила батерије из претходног примера кад интензитет пуњења показује $J = 12 \text{ A}$?

Она ће имати

$$E_c = E - RJ = 90,84 - 0,388 \times 12 = 86,184 \text{ волта.}$$

Електромоторна сила једног чланка је у том моменту

$$e = \frac{E_c}{n} = \frac{86,184}{36} = 2,39 \text{ волта.}$$

12. **Пример.** Колика мора бити електромоторна сила пуњења батерије из претходног примера, ако на крају пуњења интензитет треба да буде $J = 20 \text{ A}$, када је електромоторна сила једног чланка $e = 2,5 \text{ V}$?

Она мора да буде:

$$E = E_c + RJ = p_e + RJ = 36 \times 2,5 + 0,388 \times 20 = 97,76 \text{ волта.}$$

3. Мера за отпоре. Еталон

Као што за мерење дужина имамо меру у износу јединице дужине, 1 метар, која се зове еталон за дужине, тако исто и за мерење отпора морамо да имамо такође један еталон отпора величине једног ома. Еталон за један ом отпора јесте живин стуб од 103,6 *cm* дужине, 1 *mm*² у пресеку а на температури од 0° C. Али, такав се еталон може употребљавати само у лабораторијама. За практичну употребу овај је еталон сувише деликатан и неподесан за руковање. Еталони за практична мерења начињени су од метала, најчешће од легуре (мешавине метала) која се зове манганин. Отпор жице од манганина остаје скоро исти на свима температурама од 0° до 100° C, услед чега је манганин врло подесан за ову сврху, пошто други метали или њихове легуре мењају отпор кад се загреју.

Слика 33 показује пресек једног еталона од 1 ома који се налази на физичком институту у Берлину. Жица еталона намотана је око шупљег цилиндра a , док су њени крајеви везани завртњима за спојнице e . Овај је цилиндар потопљен у петролеум. У унутрашњости цилиндра постављен је термометар који показује температуру у унутрашњости овог еталона. Слика 34 показује спољни изглед тог еталона без термометра.

За електрична мерења отпора није, међутим, довољно имати само један еталон од једног ома, већ више већих и мањих еталона, као што нам за мерење тежина није довољан један једини тег од 1 килограма већ морамо имати целу гарнитуру тачно познатих и обележених тегова мањих и већих од једног килограма према врсти мерења. Тако израђени еталони отпора смештени су у унутрашњости тзв. *отаорне кутије* коју видимо на слици 35. На њеној горњој страни види се ред месинганих плочица a, b, c, \dots растављених једне од друге изолацијом. Али,

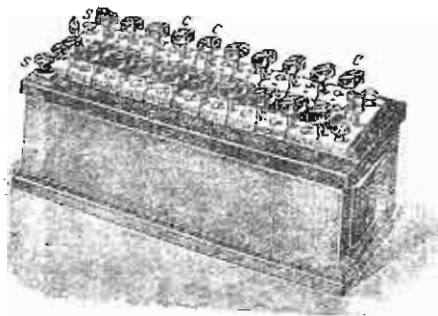


Сл. 33.
Еталон отпора (пресек).



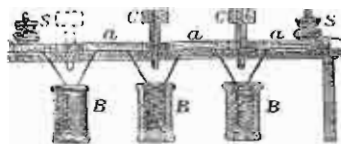
Сл. 34.
Еталон отпора (спољни изглед).

кад се између ових плочица уметну чепови *C*, онда су оне кратко спојене међу собом, и све скупа претстављају масивну месингану полуку чији је отпор скоро раван нули, јер је њена дужина мала а пресек велики. У унутрашњости ове кутије налазе се, дакле, отпори *B* (сл. 36) чији су крајеве спојени за две суседне плочице.



Сл. 35. Отпорна кутија.

Ако сад вежемо половине једног галванског елемента за спојнице *SS* отпорне кутије, а све чепове ставимо на њихова места између плочица, струја ће ићи из елемента кроз кратко спојене плочице и неће наићи на своје путу ни на какав отпор. Али, ако извучемо један чеп (тачкасто претстављен на слици 36), струја више не може да пређе директно са прве плочице на другу,



Сл. 36. Унутрашњост отпорне кутије.

него ће морати да иде преко отпора *B*. Ако извучемо још један чеп, струја ће пролазити кроз још један отпор. Према томе, колико чепова извучемо из кутије толико отпора уводимо у коло електричног извора који смо спојили за крајње плочице — половине отпорне кутије. Једна отпорна кутија може садржавати разних отпора у вредности до 10 000 ома. Отпори су обично поређани оним истим редом као што се ређају и тегови у кутијама које иду уз ваге за мерење тежине и то од 1, 2, 2, 10, 10, 20, 100, 100, 200, 500, 1000, 1000, 2000, 5000 ома. По себи се разуме да једна кутија за мерење малих отпора садржи само групу мањих јединица док кутија за мерење врло великих отпора садржи Garnитуру великих еталон-јединица.

Како се врши мерење отпора изложиће се у посебном поглављу. Овде ћемо навести величину отпора жица од алуминиума и бабра по дужини од 1 км.

Таблица II. Отпори проводника који су у употреби.

Пречник у mm	Пресек у mm ²	Тежина по километру у килограмима	Отпор по километру у омима
а) Проводници од алуминиума на 15° С			
2,5	4,9100	13,2500	5,920
3,0	7,0700	19,1000	4,110
3,5	9,6200	26,0000	3,015
4,0	12,0000	33,9000	2,310
б) Проводници од бабра на 15° С			
0,1	0,0079	0,0699	2034,200
0,2	0,0314	0,2796	508,230
0,3	0,0707	0,6291	226,020
0,4	0,1257	1,1184	127,140
0,5	0,1963	1,7475	81,580
0,6	0,2827	2,5164	56,640
0,7	0,3848	3,4251	41,510
0,8	0,5027	4,4736	31,780
0,9	0,6362	5,6619	25,110
1,0	0,7854	6,9900	20,342
1,1	0,9503	8,4580	16,811
1,2	1,1310	10,0660	14,126
1,3	1,3273	11,8130	12,036
1,4	1,5394	13,7000	10,318
1,5	1,7671	15,7280	9,040
1,6	2,0103	17,8950	7,946
1,7	2,2698	20,2010	7,038
1,8	2,5447	22,6480	6,276
1,9	2,8353	25,2340	5,634
2,0	3,1416	27,9500	5,085
2,5	4,9087	43,6880	3,254
3,0	7,0686	62,9100	2,255
3,5	9,6211	85,6280	1,660
4,0	12,5664	111,8400	1,271
4,5	15,9043	141,5100	1,004
5,0	19,6350	174,7400	0,813
5,5	23,7583	211,1500	0,672
6,0	28,2743	251,6400	0,565
6,5	33,1831	295,3300	0,481
7,0	38,4845	342,5100	0,415
7,5	44,1786	393,1900	0,361
8,0	50,2655	447,3600	0,317
8,5	56,7400	505,0300	0,281
9,0	63,6200	566,1900	0,251
9,5	70,8800	630,8500	0,225
10,0	78,5400	699,0000	0,203

4. Везивање отпора на ред. Пад напона

Као што можемо везивати галванске елементе на ред (у серији), тако исто можемо спајати на ред и поједине проводнике. Сваки проводник има два краја, као што сваки извор струје има два пола. Осим тога, сваки проводник има свој електрични отпор, као што сваки извор струје има своју електромоторну снагу. Кад извор струје вежемо у серији, њихове се електромоторне снаге сумирају па добијамо батерију која има онолику електромоторну снагу колико износи збир електромоторних снага појединих елемената. Исто тако, када крај једног отпора (R_1) вежемо са почетком другог (R_2) а његов крај за почетак трећег (R_3) итд. — онда ће њихов укупан резултујући отпор (R) бити исто тако раван суми свију појединачних отпора везаних у серије тј. биће

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

Дакле, кад више отпора вежемо у серији — онда ће укупан отпор целе везе бити раван збиру појединачних отпора.

Ако напр. три истоветна комада проводника, који имају потпуно једнаке отпоре, вежемо на ред, онда очевидно уместо једне дужине једног дела добијамо нов проводник, истог пресека и од истог материјала, али три пута веће дужине. Према томе нов комбиновани проводник мора имати три пута већи отпор.

Нека је цео отпор једног електричног кола састављен из унутрашњег отпора извора струје r и једног спољнег отпора кога сачињавају отпори r_1 , r_2 и r_3 везани на ред. Нека је електромоторна сила извора E . По Омовом закону, и према предњем правилу о укупном отпору, јачина струје у овом колу биће

$$J = \frac{E}{r + r_1 + r_2 + r_3}$$

Ова се једначина може написати и овако

$$(r + r_1 + r_2 + r_3) J = E$$

односно $E = rJ + r_1J + r_2J + r_3J$

Производи из делимичних отпора r , r_1 , r_2 , r_3 и јачине струје J називају се *пад напона*.

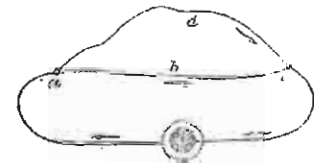
Као што се види, добија се правило да је *збир свију падова напона у једном колу, у коме су отпори везани у серији, раван електромоторној снази која влада у истом колу.*

Пад напона мери се волтима као и напон или разлика напона. Као што се види, за сваки део једног проводног кола врло се лако може израчунати колики је пад напона у њему. Треба просто помножити јачину струје у амперима, која протиче кроз њега, и његов отпор узет у омима — па ће се добити пад напона

у волтама од једног његовог краја до другог. Овај пад напона, очевидно, све је већи при истој јачини струје, што је већи отпор дотичног дела проводника. Да би напр. на нашим сијалицама у дому био напон од 220 волта, тј. да би оне добро светлеле, мора отпор жица које доводе струју из централе да буде мали да би пад, односно губитак напона био мали. За износ тога губитка мора у електричним централа да буде напон већи од 220 волта.

5. Гранање струје. Паралелно везивање отпора

Електрично коло није увек просто већ је често пута у својој дужини делимично састављено од два или више упоредна проводника. На месту a , (сл. 37) где се проводници стичу, струја се грана. Она иде паралелно и у исто време кроз оба проводника, као кроз две отоке. Ове две отоке опет се састају у тачки c , и струја даље опет продужује пут само кроз један проводник.



Сл. 37. Гранање струје.

За такве заједничке проводнике електричне струје кажемо да су спојени (везани) *паралелно*. Струја, која тече са пола $+$, дели се у тачки a на две гране. Један део иде рукавом abc , а други рукавом adc . Делимична струја биће очевидно јача у оном рукаву чији је отпор слабији. Исто је тако јасно да ако је отпор једнога рукава два пута већи, струја у њему биће два пута слабија, и обрнуто, ако отпор једнога рукава буде два пута мањи него ли другог, у првоме ће део струје бити два пута већи него ли у другоме. Да би нам ово било још јасније узмимо један бројни пример.

Пример. Извор Q је један суви галвански елемент чија је електромоторна сила $1,5 V$. Проводници abc и adc имају по 3Ω отпора. Колика струја тече кроз сваки од ова два проводника, а колика струја тече кроз заједнички део између елемента и тачака, гранања a и c ?

Пошто су жице између елемента и тачака a и c кратке и дебеле, то ћемо њихов отпор занемарити а исто тако и унутрашњи отпор елемента. Ако применимо Ом закон, добићемо да је јачина струје кроз једну грану $i_1 = \frac{e}{r_1} = \frac{1,5}{3} = 0,5$ ампера, а јачина струје кроз другу грану такође $i_2 = \frac{e}{r_2} = \frac{1,5}{3} = 0,5$ ампера.

Кроз отпор r , ићи ће струја која зависи само од електромоторне

силе која влада на његовим крајевима (а она је у овом случају иста као што је и на самом извору) и од отпора r_1 , без обзира да ли постоји отпор r_2 или још који други. То исто важи и за струју која тече кроз другу грану. Логично је да ће интензитет струје у заједничком проводнику a — извор — с бити збир два интензитета ($i_1 + i_2$) који протиче кроз обавде гране тј. један ампер.

Ако бисмо имали три проводника једнаког отпора по 3Ω , такође паралелно везана, струја би у сваком од њих била јачине $0,5 A$, а у заједничком делу и у галванском елементу имала би интензитет од $1,5 A$ итд. Дакле, извор даје три пута јачи интензитет кад се његови полови вежу уместо једним са три паралелно спојена проводника, од којих сваки за себе има исти отпор као и један првобитни. Пошто је електромоторна сила иста и у случају једног проводника као и у случају три паралелна проводника, а интензитет је три пута јачи, у овом потоњем случају закључујемо да је укупни тав. комбиновани отпор спољнег кола сада 3 пута мањи. Ако се само потсетимо од чега све зависи величина отпора, видећемо да тако мора да буде. Заиста, у овом другом случају добили смо проводник исте дужине а 3 пута већег пресека. Његов отпор наравно да мора бити 3 пута мањи, а слетствено томе струја, која ће тећи кроз њега мора да буде три пута јача.

Из горњег разматрања следује овај закључак: *Паралелним везивањем више отпора добија се мањи комбиновани отпор. Он је уколико мањи уколико је већи број тако везаних отпора.*

У сваком случају укупан отпор је мањи него ли што је најмањи отпор ма које гране за себе. Ако вежемо паралелно n једнаких отпора, од којих сваки има по r ома, релулујући ће отпор бити $\frac{r}{n}$ ома.

Ако место отпора појединих грана r_1, r_2, r_3 итд. узмемо њихову проводљивост, тј. реципрочну вредност тих отпора, дакле $\frac{1}{r_1}, \frac{1}{r_2}, \frac{1}{r_3}$ итд. онда се лако може доказати да је *проводљивост комбинованог проводника $\frac{1}{R}$, тј. реципрочна вредност комбинованог отпора једнака збиру проводљивости појединих грана.* Математички изражено биће $\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} + \dots$ без обзира да ли су отпори грана r_1, r_2, r_3 итд. једнаки међу собом или различити.

Из овог општег обрасца могу се извести посебни обрасци за израчунавање величине комбинованог отпора R ако имамо два или три или више паралелно везаних отпора r_1, r_2, r_3 итд.

За два отпора r_1 и r_2 биће образац за комбиновани отпор:

$$R = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2}$$

за три

$$R = \frac{r_1 \cdot r_2 \cdot r_3}{r_1 r_2 + r_1 r_3 + r_2 r_3}$$

а за четири

$$R = \frac{r_1 \cdot r_2 \cdot r_3 \cdot r_4}{r_1 r_2 r_3 + r_1 r_2 r_4 + r_1 r_3 r_4 + r_2 r_3 r_4}$$

итд.

6. Кирхофљев закон

Примењујући Омов закон за израчунавање интензитета у појединим гранама једног разгранатог проводника, немачки физичар Кирхоф дошао је до ова два закључка, који су познати под именом *Кирхофљеви закони*:

1) *У сваком чвору, где се саче више проводника, збир јачина електричних струја, које допичу, једнак је збиру јачина електричних струја, које отичу тј. $i = i_1 + i_2 + i_3 + \dots$*

Ако јачине струја, које долазе, означимо знаком $+$ а јачине које одлазе знаком $-$, онда је алгебарски збир свих јачина струја у једном чвору једнак нули тј. $+i - i_1 - i_2 - i_3 - \dots = 0$

Ово је сасвим природно. Кад не би тако било, у чвору би се морала нагомилавати електрична струја или из њега извирати, а то је немогуће.

2) *У сваком затвореном проводном колу сума свију електромоторних снага равна је суми свију падова напона у њему тј. $e_1 + e_2 + e_3 + \dots = r_1 i + r_2 i + r_3 i + \dots$*

Ако је у колу само један извор који има своју електромоторну силу E и свој унутрашњи отпор R_i а спољни проводник је једноставан и има отпор R_e онда ова једначина постаје $E = R_i i + R_e i$ тј. електромоторна снага извора равна је збиру унутрашњег и спољнег пада напона, што смо већ показали раније.

Овај се образац може написати и овако $E = (R_i + R_e) i$ односно $i = \frac{E}{R_i + R_e}$ а то је образац за Омов закон.

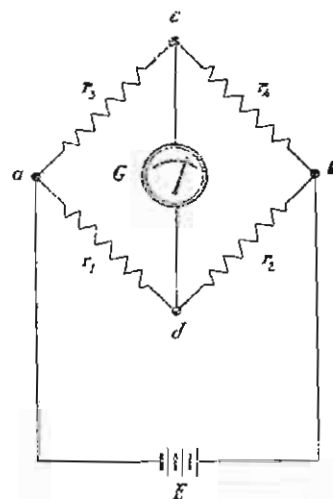
Као што се види овај други Кирхофљев закон непосредно произлази из самог Омвог закона.

7. Мерење електричног отпора. Витстовов мост.

У посебној глави о електричним мерењима говорићемо исцрпно и о мерењу отпора посебним инструментима и разноликим методама. Овде ћемо само напоменути принципе двеју главних метода.

Прва је метода упоређивања — односно замене. По овој методи најпре бележимо скретање казаљке галванометра који је везан у електричном колу електричног извора E , када је у исто коло везана на ред и жица чији непознати отпор хоћемо да измеримо. Рецимо да је добивено скретање које одговара јачини струје од 10 mA . Ако сад из овог кола извадимо жицу непознатог отпора, па на њено место ставимо отпорну кутију, и докле умећемо чепове између плочица њених отпорних калемова док галванометар не буде показивао исто скретање на скали као и малочас, онда ће величина непознатог отпора бити онолика колико смо увели отпора из отпорне кутије у ово електрично коло.

Друга, универзална, метода мерења електричног отпора заснива се на принципу тзв. *Витстоновог моста* (сл. 38).



Сл. 38. Витстонов мост.

Спољно коло једног извора струје саградићемо од 4 проводника ad , db , и ac , cb . Према ономе што смо раније рекли у гранама acb и adb овог разгранатог кола биће исти пад напона. Стога, на тим гранама увек се могу наћи тачке c и d које имају једнаки потенцијал. Ако такве две тачке вежемо једним проводником у коме се налази галванометар G , онда кроз њега неће тећи никаква струја, макар да она протиче кроз гране acb и adb , долазећи из извора E . Кадгод је такав случај, онда отпори проводних грана ad , db , ac и cb (r_1 , r_2 , r_3 и r_4) стоје у следећем односу

$$r_1 \cdot r_4 = r_2 \cdot r_3$$

тј. *производи отпора насрамних грана Витстоновог моста једнаки су*. То значи, ако су нам отпори трију грана

познати, отпор четврте гране можемо лако израчунати, пошто је из горње формуле рецимо отпор

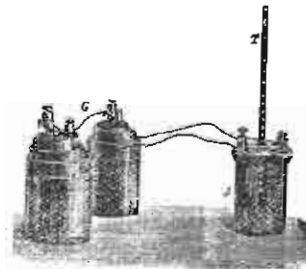
$$r_1 = \frac{r_2 \cdot r_3}{r_4}$$

8. Топлотно дејство струје. Џаулов закон

Енглески физичар Џаул открио је да електрична струја загрева проводник кроз који пролази, и утврдио је закон по коме се то дешава. Тај закон назван је његовим именом, *Џаулов закон*.

Електрична сијалица, електрична пећ, електрична пегла и пуно других апарата, које данас у практичном животу сретамо, функционишу на основу ове појаве.

Развијена топлошта у проводнику кроз који тече струја зависи од јачине струје, од величине отпора проводника и од дужине времена за које тече. Све то можемо доказати помоћу апарата који је показан на сл. 39. Он се састоји из једног танког проводника од платине у облику спирале који је смештен у суду J , пуном алкохола, у коме се налази термометар T . Ако крајеве спиралног проводника вежемо за галвански елемент G , струја ће пролазити кроз проводник и загреваће га. Развијена топлота преноси се на алкохол и термометар се пење. *Приметићемо тада да, уколико дуже времена пролази струја кроз овај апарат уколико се више развија топлоште*. За 2, 3, 4 секунде развије се 2, 3, 4 пута већа топлота но за 1 секунду.



Сл. 39. Загревање струјом.

Уместо једног суда J , као што је онај на сл. 39, узмимо три оваква суда и вежимо их на ред. Отпор сва три спирална проводника биће три пута већи од отпора једног. Ако целу ову групу вежемо за половине галванских елемената тако, да опет протиче иста јачина струје као и у горњем случају, лако ћемо утврдити помоћу термометра да је сада развијена количина топлоте три пута већа баш зато што је и отпор три пута већи, јер, очевидно је, да је у сваком поједином суду и сада развијена иста количина топлоте као и у првом случају, према томе у сва три суда везана на ред развијена је три пута већа количина. По себи се разуме да би резултат био исти кад би место три суда на ред узели један са три пута већим отпором. Дакле, *уколико је већи отпор кроз који протиче струја, уколико је већа и количина развијене топлоште, ако је интензитет струје исти*.

Ако, међутим, пустимо једанпут да кроз проводно коло прође струја јачине 1 ампера и забележимо количину развијене топлоте, а потом пустимо струју јачине 2 ампера кроз исто коло, видећемо да ће у другом случају бити развијена 4 пута већа количина топлоте. Ако интензитет струје буде 3 пута већи, количина топлоте биће 9 пута већа итд. Дакле, код 2, 3, 4 пута јаче струје, развијена количина топлоте већа је 4, 9, 16 пута итд.

Из ова последња два опита можемо овако резимирати Џаулов закон:

Количина топлоте коју развије нека струја пролазећи кроз неки проводник за једну секунду пропорционална је отпору тога проводника и квадрату интензитета струје.

Узмимо сада једно парче жице од бакра и једно од гвожђа али тако да су оба исте дужине и истог пресека, па их вежимо на ред и пустимо кроз њих струју из неке галванске батерије. Кроз цело ово коло, као што знамо, протичаће свуда струја истог интензитета. Међутим, приметимо да ће се гвоздена жица пре загрејати и усијати, ако је струја довољно јака, него ли бакарна. То долази, као што смо видели, отуда што је отпор гвоздене жице 5—6 пута већи него отпор бакарне. Ова појава загревања и усијавања жица електричном струјом практички је примењена у електричним сијалицама за осветлење.

9. Светлосно дејство струја

Проводник ће се очевидно утолико брже загрејати уколико је тањи, јер је његов отпор већи, а затим развијена топлота загрева



Сл. 40. Сијалица са влакном од угљена.



Сл. 41. Сијалица са металним влакном.

у таквом случају мању масу. Зато су и светлеће жице у електричним сијалицама танка, чврста, проводна влакна са великим отпором. Ова влакна могу бити од угљена или од метала (в. сл. 40 и 41). Један крај влакна сијалице проводно је спојен за спољни завртањ дршке а други за жицу која иде кроз средину изолационе масе дршке.

Кад се жели да светли, сијалица се намешта у нарочиту чауру (сл. 42) чији је завртањ везан за један пол а изолована плочица у средини за други пол електричног извора. На тај начин, оба завртња (од сијалице и чауре) дођу у додир, а тако исто проводник који иде кроз средину дршке сијалице и плочица чауре, те спољна струја пролази кроз влакно сијалице. Оно се тада угреје, усија и светли.

Топлотно дејство струје (а са њим и светлосно) испољава се и на други начин у виду тзв. *Волтиног лука*. Базирајући на овој појави саграђене су тзв.



Сл. 42. Чауре за сијалице.

лучне лампе. Она се састоји у овоме. Ако узмемо две наспрамне угљене шипке (сл. 43) са зашиљеним врховима који се најпре додирују па једну вежимо за један пол а другу за други пол једног јаког електричног извора, онда ће електрична струја, прелазећи с једне шипке на другу, наићи на велики отпор на месту где се шипке додирују, услед чега ће се на том месту појавити врло јака топлота. Она ће загрејати и усијати врхове угљених шипака. Услед тога ће се одвајати честице угља и начинити пламен. Усијани врхови и угљене честице ће светлети у виду лука односно пламена. Ова светлост биће нарочито велика и јака кад се угљене шипке, тзв. *угљене електроде*, нешто мало размакну једна од друге. Честице угља одилазе при овоме са позитивне електроде на негативну. Зато се на позитивној електроди отвара кратер, а на негативној се одржава шиљак. Да би се, дакле, створио лук, треба електроде, као што рекосмо, да се додирују при пуштању струје. Али, чим се лук појави, шипке треба мало размакнути. На овом принципу саграђене су *лучне или пламене* електричне лампе, које се данас употребљавају само за изузетне циљеве.



Сл. 43. Волтин лук.

Због огромне температуре коју је у стању да развије Волтин лук, он је нарочито јако употребљен у металургији.

Електрична струја може и на друге начине да покаже своја светлосна дејства. Тако, кад пропуштамо електричну струју високог напона кроз разређене гасове затворене у стакленим цевима, они светле без приметног загревања. Тако се добијају тзв. *Гасларове цеви*. Ако се у овакве цеви ставе неки нарочити разређени гасовити хемиски елементи као што су неон, ксенон и др. добија се доста јака светлост боје која карактерише дотични гас: црвена, плава и др. И сама електрична варница и муња јесу такође појаве при којима се у посебном облику испољавају топлотне и светлосне особине електрицитета, и то онда када је његов напон превелики.

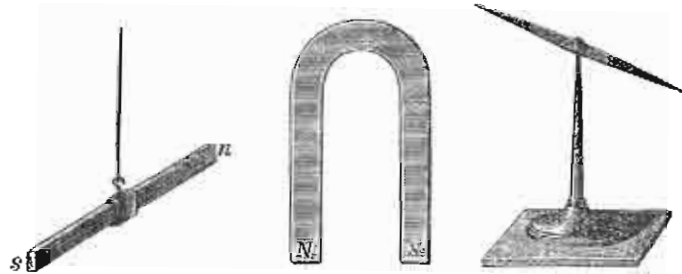
Јачина светлости коју развија један електрични апарат за осветлење мери се практичном јединицом која се зове *једна свећа* чија је величина тачно одређена јачином светлости нарочите нормалне тзв. *Хефнерове лампе*.

ЧЕТВРТА ГЛАВА

Магнетизам

1. Природан и вештачки магнет

Гвожђе, челик и гвоздене руде могу имати особину да привлаче комадиће гвожђа, челика, никла и др. Та особина зове се *магнетизам*, а таква тела *магнети*. Магнет је *природан* кад се као такав налази готов (магнетске руде), а *вештачки* је кад се вештачким путем направи од челика. Тада му се обично даје облик шипке, потковице, игле и др.



Сл. 44. Равни облици вештачког магнета.

Тела, која могу да буду привучена магнетом зову се *магнетна тела*. Таква су: гвожђе свих врста, челик, никл, и др. Бакар, сребро, цинк итд. нису магнетна тела.

Ако магнет поседмо гвозденим опиљцима, видећемо да ће се они највише нахватати на крајевима (сл. 45), док ће их идући сре-



Сл. 45. Привлачење гвоздених опиљака.

дини бити све мање тако, да их на самој средини никако неће ни бити.

Крајеви магнета, који имају најјачу привлачну снагу, зову се *полови* магнета, а линија, која нема спољне магнетне снаге привла-

чења, зове се *неутрална линија*.

Од једне челичне шипке може се направити магнет вештачким путем. То се чини на тај начин што се један крај такве шипке више

пута превлачи једним полом неког магнета, а други другим. Доцније ћемо видети да се најјачи магнети праве помоћу једносмислене електричне струје.

Намагнетисан челик може дуго времена да задржи своје магнетске особине. Зато се такав магнет зове *перманентан* а његов магнетизам *перманентан магнетизам*. И мекано гвожђе, кад се налази у пољу неког магнета, постаје и сам магнет. Али оно је само догле магнет док је под упливом каквог магнета. Чим престане тај уплив, и мекано гвожђе престаје да буде магнет. Зато се његов магнетизам зове *привремен* — а оно може да постане само *привремен магнет*. Ипак, када намагнетисано гвожђе престаје да буде магнет, оно не изгуби сав свој магнетизам. Један део магнетизма заостане у њему и даље. Тај заостали магнетизам зове се *реманентни*.

При намагнетисању челика или меканог гвожђа појављује се једна отпорна сила која се противи намагнетисању. Она се зове сила *хистерезије*. Већа је код челика него ли код меканог гвожђа. Процес намагнетисања тумачи се теоријом елементарних магнета. Сматра се да су делићи гвожђа, челика и свију магнетних материја мали магнети који су произвољно окренути један према другоме. Магнетишућа сила има задатак да све ове елементарне магнете оријентише у истом смислу.

Објашњење суштине и порекла перманентног магнетизма веома је непотпуно. У главном се сматра да су елементарни магнети последице елементарних електричних струја које око њих циркулишу.

2. Магнетна игла

То је магнет израђен од танке челичне плочице у облику пљоснате игле која се лако и слободно може окретати око стојера који је носи или око конца на коме виси.

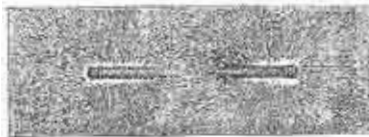
Ако магнетну иглу покренемо из мировања, видећемо да ће, кад се умири после дужег клађења, увек заузети понова исти положај који је првобитно заузимала. При томе ће увек један исти њен крај бити окренут ка северу, други ка југу. Њен пол, који је окренут северу, зовемо *северни пол*, и обележавамо га са *N* или *n* а други, који називамо *јужни пол*, обележавамо са *S* или *s*. И сваки други магнет, који може слободно да се окреће, кад се смири, заузима правац север-југ. Према томе полови сваког магнета су један северни а други јужни.

Ако северном полу магнетне игле принесемо северни пол другог магнета, игла ће се удаљити од магнета; ако му принесемо јужни пол магнета, северни пол игле прићи ће овом супротном полу магнета. Исто тако, ако јужном полу игле принесемо јужни пол маг-

нета, овај пол игле ће се удаљити, међутим, приближиће се ако принесемо северни пол магнета. Из овог опита излази следећи закључак: *Једноимени полови магнета одбијају се, а разноимени привлаче се.*

3. Магнетни спектар. Магнетно поље

Ставимо на магнет лист хартије. Поспимо на хартију ситне струготине гвожђа. Видећемо да ће се струготине највише скупити на крајевима магнета и поређаће се у виду бразда које иду од једног пола ка другом. Слика, коју ове бразде сачињавају, зове се *магнетни спектар* (сл. 46). Дакле, струготине се ређају у виду кривих линија које као да излазе из једног пола а улазе



Сл. 46. Магнетни спектар.

у други. Простор око магнета у коме се још може опажати његово дејство зове се *магнетно поље*. Линије, дуж којих су се поређале струготине показују правац сила, које привлаче струготине и уопште магнетна тела. Оне се називају *магнетне линије сила*. Узима се да те линије излазе из северног пола, а враћају се и улазе у јужни, као што видимо из слике 46. Ове линије сила продужују свој ток и у унутрашњости магнета, где иду од јужног ка северном полу. Многе линије силе изашав са северног пола не доспевају до јужног већ се губе у простору, пошто ваздух и све друге немагнетне материје претстављају велики отпор за њихово слободно простирање. Услед тога, што се у магнет не враћају све линије сила које из њега излазе, магнет губи постепено свој магнетизам. Да би се спречило губљење магнетизма, споје се полови магнета парчетом меканог гвожђа, које је одличан проводник магнетизма. У овом случају магнетне линије, изашав из северног пола, иду кроз гвожђе а не кроз ваздух. На тај се начин не губе линије сила и магнет чува свој магнетизам. Парчад гвожђа, којима су магнети овако наоружани да би сачували свој магнетизам, названа су *наоружања, арматуре или кошве*. Код магнета у виду потковице и прекинутог прстена наоружање се лако ставља између полова. Код магнета у виду праве шипке наоружање се ставља паралелно са магнетом. Кад имамо више магнета, онда се они ставе један поред другог тако, да северни пол једнога додирује јужни пол другог а северни пол другог јужни пол трећег итд.

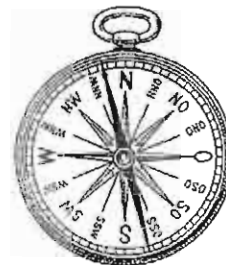
4. Магнетна деклинација

Магнетна игла, дакле, увек заузима исти правац: север-југ. Тај правац зовемо *магнетни меридијан*. Ова појава намеће закључак да и земљина кугла претставља једну врсту магнета чији један пол привлачи северни пол магнетне игле, а други јужни. Ако тачно измеримо правац магнетне игле, видећемо да се он не поклапа потпуно са географским правцем север-југ. То значи да магнетни и географски меридијан чине један угао. Овај угао између магнетног и географског меридијана назива се *магнетна деклинација*.

На разним местима земљине површине деклинација има разне вредности, које се временом мењају. Каже се да је деклинација источна или западна, према томе да ли северни пол скреће на исток или запад од географске линије север-југ. У нашим крајевима деклинација је западна и износила је почетком 1919 год. у Паризу $13,2^\circ$, у Минхену $8,5^\circ$. Она годишње опада у износу од $0,15^\circ$. Године 1580 била је деклинација у Француској $11,5^\circ$ источно, 1663 год. била је 0° . Онда је постала западна и имала је вредност $22,5^\circ$ у години 1814. Од тога доба она је опадала, док није дошла на садању вредност.

5. Компас (бусола)

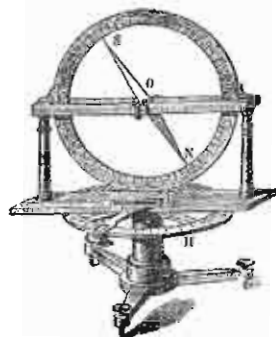
Компас (сл. 47) је прецизна магнетна игла која се обрће око једног оштрог врха, а испод ње се налази кружни цифарник чији је обим, почев од северног пола игле, подељен на 32 или 64 дела (компасни подеоци). Компас служи морепловцима за оријентисање на мору. Компас је био познат Кинезима много година пре Христовог рођења.



Сл. 47. Компас.

6. Магнетна инклинација

Једна магнетна игла, која се може обртати око хоризонталне осовине што пролази кроз њено тежиште (сл. 48), заузима на полутару вишемање хоризонталан положај, јер је подједнако удаљена од оба магнетна земљина пола те је оба привлаче истом јачином. Ако исту иглу приближујемо северном магнетном полу тј. носимо је по северној земљиној полукугли, она ће се нагињати према северу. Ако је носимо на јужну полукуглу, она ће се нагињати према југу, јер је јаче привлачи јужни земљин магнетни пол. Угао, под којим се магнетна игла нагиње према хоризонталној равнини, назива



Сл. 48. Инструмент за опажање магнетне инклинације.

се магнетна инклинација. У Берлину је ова инклинација износила почетком 1919 год. $66,4^\circ$, у Минхену $63,3^\circ$, у Паризу $64,4^\circ$. Даље на северу инклинација расте. Тако, на северном магнетном полу, који се налази на $70,5^\circ$ северне ширине и $96,46^\circ$ западне дужине од Гринвича, игла стоји вертикално. Због тога је компас непотребљив за бродове на овако великим географским ширинама. Идући на југ, нагиб игле опада тако да у тропској зони, делом с једне, делом с друге стране географског екватора, игла стоји потпуно хоризонтално. То је магнетни екватор.

ПЕТА ГЛАВА

Електромагнетизам и електро-динамика

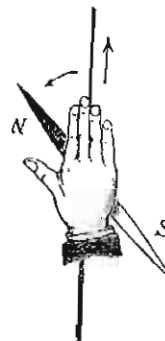
1. Ерстедов принцип

Ерстед, дански физичар, први је приметио појаву да магнетна игла скреће, кад стоји паралелно са проводником кроз који пролази електрична струја и тежи да заузме положај управан на правац тог проводника. Ампер, француски математичар и физичар, поставио је ово правило по коме се може одредити страна на коју ће игла скренути. *Ако замислимо посматрача који лежи дуж проводника тако, да му струја улази кроз ноге а излази на главу и да гледа у магнетну иглу, онда ће северни пол магнетне игле скренути на његову леву страну.*

Данас се више употребљава у том циљу тзв. *правило десне руке*. Оно гласи: *Ако шака десне руке лежи на проводнику кроз који протиче струја тако да струја улази у корен руке а излази на врхове прстију а длан је окренут према магнетној игли (сл. 49), онда ће северни пол игле скренути у правцу који показује палац.*

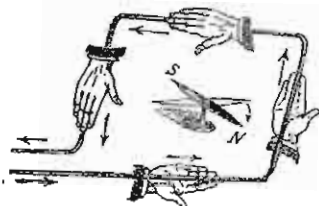
Што магнет не може да заузме потпуно унакрстан положај са проводником, долази отуда што на магнетну иглу, поред електричне струје, утиче и земљин магнетизам.

Ако је проводник кроз који пролази иста струја савијен око игле, па иде истовремено изнад и испод игле, као што је то случај показан на сл. 50, онда ће игла скренути јаче, јер се оба дејства таквог проводника сумирају. Ако такав проводник омотамо неколико пута око игле, стим да је нигде не додирује, онда ће ово дејство бити још јаче, јер се дејство сваког идућег навојка додаје дејству претходног. Зато се такав намотај зове *мултипликатор* (сл. 51). Ако је број наво-



Сл. 49. Правило десне руке.

јака мултипликатора доста велики, а струја довољно јака, онда ће се моћи покренути не само лака игла већ и један већи и тежи магнет.



Сл. 50. Дејство савијеног проводника на магнетну иглу.

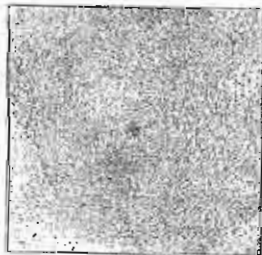


Сл. 51. Мултипликатор.

Скретање магнетне игле под утицајем струје бива услед тога, што се, у моменту успостављања електричне струје у проводнику, око проводника створи магнетно поље чије линије сила иду у правцу леве руке поменутог Амперовог посматрача. Линије сила магнетне игле теже онда да заузму исти правац као и ново створене линије, и магнетна игла се окрене.

2. Магнетно поље произведено електричном струјом

Сваки проводник, кроз који пролази електрична струја, ствара око себе магнетно поље. Један праволинијски проводник, кад кроз њега пролази струја, ствара магнетно поље чије линије сила иду око проводника у виду концентричних кругова (сл. 52) који се могу



Сл. 52. Магнетски спектор вертикалног проводника.

лако констатовати, ако узмемо проводник, који пролази управо кроз један картон на коме се налази посут гвоздени прах. Кад лупкањем у картон покренемо прах, видећемо да ће се он средити у виду концентричних кругова. То су праве магнетне линије сила. Сми-сао линија сила око проводника можемо експериментално одређивати помоћу малих магнетних игала од којих је от-страњен утицај земљиног магнетизма. Ако такве игле држимо на истом ра-стојању од праволиниског проводника видећемо да ће северни пол свих игала бити окренут на исту страну и то на ону, која ће одговарати правцу који се може одредити правилом Амперовог посматрача.

У пракси се најлакше налази правац линија сила ако се замисли сврдао који се уврће у правцу струје. Правац његовог окретања јесте правац магнетних линија сила којим оне теку око проводника.

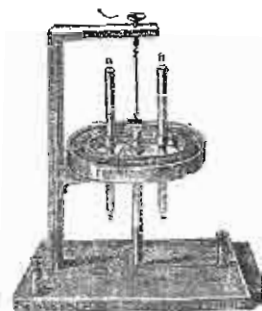
3. Обртање магнета помоћу струје

Слика 53 показује Фарадејев опит помоћу кога се добија непрекидно обртање магнета под утицајем струје.

Кад се кроз коло *cabedg* пропусти струја, створи се магнетно поље чије су линије сила управне на раван кола, тј. имају хоризонталан положај. Линије сила магнета *ns* имају вертикалан положај. Оне по Ерстедовом принципу теже да заузму исти положај са линијама сила струје. Пошто осовине магнета морају остати вертикалне због таквог механичког састава апарата, то магнети, у тежњи да своје магнетне линије поставе паралелно са магнетним линијама сила електричне струје, непрестано иду за њима и обрћу се.

Правац обртања овог магнета може се према претходном лако одредити ако замислимо Амперовог посматрача. Он гледа јужни пол *s* магнета *ns*. Јужни пол тога магнета скренуће на десну страну посматрачеву, тј. иза равни слике.

Слика 54 показује нам један проводник *adcb* у виду правоугаоника који је тако обешен да се проводник може окретати око вертикалне осовине. Два месингана стуба *v* и *t* служе за довод и одвод струје. На горњим крајевима ови стубови носе две челичне чашице *x* и *y* напуњене живом које леже управо једна над другом. Када пропустимо струју кроз један такав проводник, који се може слободно окретати, видећемо да ће он, под утицајем земљиног магнетизма, заузимати увек један исти положај као и магнетна игла. Тежиће, дакле, да му осовина, тј. правац магнетних линија, заузме правац магнетног меридијана. Овакав навојак жице, кроз који пролази електрична струја, понаша се као један плоснати магнет чија једна раван претставља северни



Сл. 53. Фарадејев опит обртања магнета помоћу електричне струје.

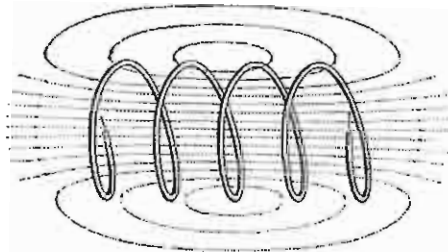


Сл. 54. Окретање правоугаоника са струјом око вертикалне осовине.

а друга јужни пол. Ако променимо правац струје кроз проводник, промене се и полови овако створеног магнета. Ако оваком једном магнету приближимо полаве неког перманентног магнета видећемо и ту, као и у случају два магнета, да се полови истог имена одбијају а разноимени привлаче.

4. Соленоид

Магнетско одбијање и привлачење много је јаче у горњем случају ако место једног проводника имамо низ проводника поређаних један за другим у виду спирале као што то показује слика 55.



Сл. 55. Соленоид.

Један такав низ кружних струја назива се *соленоид*. Кад кроз соленоид пролази струја, он се понаша као прави магнет. Ако може да се окреће, његова осовина заузима положај магнетног меридијана. Северни пол соленоида налази се на левој страни Амперовог посматрача који лежи на њему у правцу струје и гледа осовину соленоида. Магнетне линије, које ствара један соленоид, иду кроз његову унутрашњост паралелно са његовом осовином. Оне излазе са северног пола а улазе на јужни. Извесан број магнетних линија не стиже са једног пола на други. Такве линије претстављају губитак за јачину магнетног поља. Ако је дужина соленоида доста велика према његовом пречнику а густина навојака такође знатна, онда су губици незнатни према јачини магнетног поља. У овом случају може се рећи да је магнетно поље исте јачине на целој дужини у унутрашњости соленоида. Магнетне линије су тада праве и паралелне и међу собом и са осовином соленоида. За једно такво магнетно поље каже се да је *хомогено*. Кад број свих магнетних линија у унутрашњости соленоида поделимо пресеком соленоида управним на осовину а израженим у квадратним сантиметрима, добијамо број магнетних линија на квадратни сантиметар пресека, и то називамо *јачином магнетног поља*. Уколико долази већи број магнетних линија на квадратни сантиметар пресека управног на њихов правац, утолико је магнетно поље јаче.

Јачина магнетног поља у соленоиду је утолико већа уколико

више навојака долази на један сантиметар дужине и уколико је већа јачина струје која тече кроз навојке.

Ако јачину струје изразимо у амперима и то помножимо са бројем навојака на један сантиметар дужине, добија се производ који се назива специфични број *ампер-навојака*. Према томе, *јачина магнетног поља у једном соленоиду зависи од укупног броја ампер-навојака*.

Да бисмо појачали магнетно поље једног соленоида треба, дакле, или повећати јачину струје или повећати број навојака, односно и једно и друго. За слабљење магнетног поља поступамо обрнуто.

За израчунавање јачине магнетног поља H имамо образац

$$H = \frac{4\pi n I}{l}$$

где означава: π Лудолфов број 3,14...

n укупан број навојака $\left(\frac{n}{l} \cdot \text{број навојака на } 1 \text{ cm}\right)$,

l дужину соленоида у cm

I јачину струје у A .

Магнетно поље, које се простира кроз ваздух, означава се са \mathcal{H} или с H .

5. Електромагнет

Ако у соленоид увучемо гвоздену шипку, видећемо да ће његово магнетно поље постати 150 до 1500 пута јаче. То значи да гвожђе својим присуством ствара средину кроз коју се магнетне линије са много мање губитака крећу него кроз ваздух. Зато се и каже да гвожђе има много већу магнетну проводљивост — *пермеабилитет* — него ли ваздух. Разне врсте гвожђа имају различити коефицијент пермеабилитета. Највећи пермеабилитет има челик, затим ковано гвожђе и најзад ливено гвожђе, као што се то види из наредне таблице.

Таблица III. Величина пермеабилитета.

Број ампер-навојака	Број магнетних линија на 1 cm^2 у правном калему (соленоиду)	Пермеабилитет		
		Ковано гвожђе	Челик	Ливено гвожђе
5	6,25	9000	11000	—
10	12,50	12000	13500	2300
15	18,75	13300	14500	3900
20	25,00	14400	15000	5000
25	31,25	14900	15500	5600
30	37,50	15300	15800	6200

Магнетно поље H , појачано увођењем гвожђа, зове се *магнетно поље* и означава се са \mathcal{B} или B .

Ако у једно хомогено поље уметнемо парче гвожђа, напр. гвоздени прстен, магнетне линије ће напустити свој редован пут и сручиће се на прстен да кроз њега прођу, јер им је ту много лакше но кроз ваздух.

Кад се око гвозденог језгра намота изолована жица у виду соленоида, па кроз намотај пропустити струја, онда се у језгру створи врло јака магнетна индукција B , и језгро се понаша као прави врло јак магнет за сво време док кроз намотај тече струја. Кад нестане струје у намотају, нестаје и магнетизма у језгру. Такав магнет, чији магнетизам траје само док траје струја, назива се *електромагнет*.

Употреба електромагнета је врло распрострањена, кроз читаво поље примењене електротехнике.

6. Хистерезис

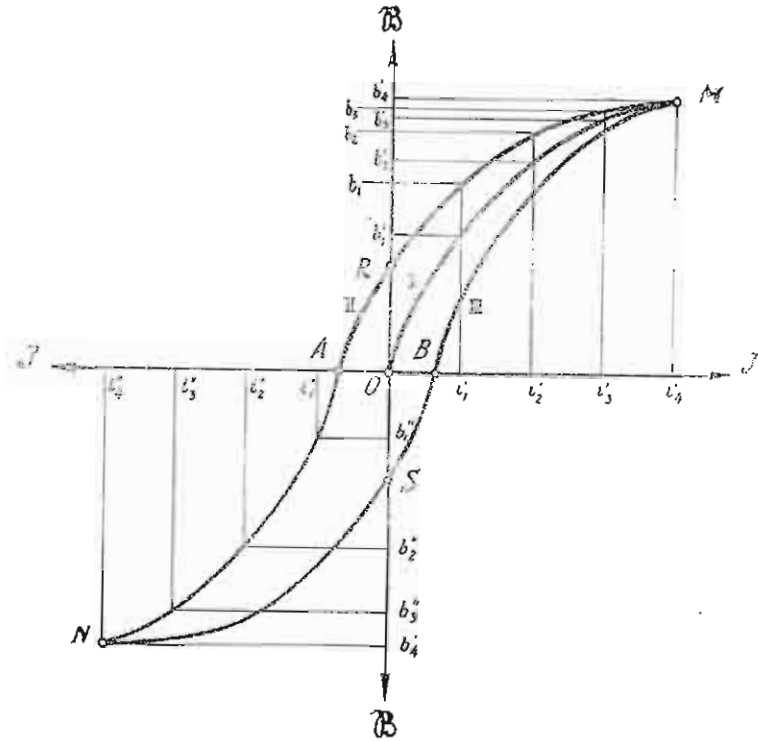
Ставимо у један намотај од изоловане жице гвоздено језгро, које још никако није магнетисано, и код кога се ни најпрецизнијим мерењем не може констатовати никакав магнетизам. Ако сада постепено пуштамо струју у намотај (јачина струје се регулише помоћу променљивог отпорника — реостата), постепено ће расти магнетно поље у соленоиду, а са њиме и магнетизам у језгру. Најзад наступа моменат у коме ма колико повећавали струју у намотају, магнетна индукција језгра не мења се. Тада се каже да је наступила *магнетна засићеност*. Разне врсте гвожђа и челика имају различиту засићеност, тј. дозвољавају разне максималне магнетне индукције у себи.

Промене магнетног поља у језгру и рашћење струје можемо и графички претставити (сл. 56). На оси апсциса преносимо јачину струје I или магнетног поља H у соленоиду (без језгра), а на оси ордината јачину магнетне индукције B у језгру.

Пре пуштања струје биће $i = 0$ и $B = 0$. Кад струја добије вредност I_1 , индукција у језгру добије вредност b'_1 . За вредност струје I_2 , индукција у језгру добије вредност b'_2 . Рецимо да за јачину струје I_4 , индукција постане b'_4 , и да се после ове вредности, ма колико појачавали интензитет струје, индукција језгра не мења. Значи да тачка M претставља моменат када је настала засићеност. Овако добијену линију I називамо линијом *првог магнетисања* језгра за примерак гвожђа које нас интересује.

Ако пођемо од тачке M уназад, па постепено смањујемо јачину

струје у намотају, смањиваће се и индукција у језгру. Само што тада за исте вредности интензитета струје нећемо имати исте вредности индукције као кад смо повећавали струју. За интензитет напр. I_2 имаћемо индукцију већу од b'_2 итд. Кад струју доведемо на нулу, језгро ће још увек показивати извесну индукцију претстављену дужином OR . Ако хоћемо да индукцију доведемо на нулу тј. да је понистимо, морамо у намотај пустити струју у супротном смислу од пре-



Сл. 56. Графичко претстављање појаве хистерезиса.

ђашњег. Тек кад струја достигне вредност претстављену дужином OA , индукција ће бити равна нули. Ако продужимо да повећавамо струју у том смислу (супротном од пређашњег), добићемо у језгру индукцију која ће имати смисао супротан од пређашњег. У извесном моменту понова ће настати засићеност, рецимо у тачки N , кад струја достигне вредност I'_4 .

Ако сада понова смањујемо интензитет струје, смањиваће се индукција у језгру. Кад интензитет буде нула, индукција ће још увек имати вредност претстављену дужином OS , и тек кад у намотај пустимо струју (чија је јачина дата дужином OB) супротнога смисла, индукција ће бити поништена. Ако продужимо са повећавањем струје, индукција ће расти, и кад струја достигне вредност I_4 , понова ће настати засићеност.

Кад јачину струје I_4 смањујемо и доведемо до нуле, па јој променимо смисао кретања па је онда повећавамо до I'_4 , која је по вредности једнака са I_4 , онда добијамо криву линију II . Ако струју мењамо на исти начин од I'_4 до I_4 добијамо криву III .

Кривуље II и III имају заједничке тачке M и N и обе сачињавају један затворен циклус у коме видимо: магнетисање BM , размагнетисање MA , магнетисање у супротном смислу AN , размагнетисање NB . Дакле, циклус се састоји из два магнетисања и два размагнетисања. Дакле, *звонче једном намагнетисано не губи потпуно свој магнетизам*. Један део магнетизма који је претстављен дужином OR задржава се и кад нема више струје у намотају. Тај део магнетизма зове се *реманентни магнетизам*. Ако хоћемо да поништиме и тај реманентан магнетизам, морамо кроз намотај пропустити струју извесног интензитета у супротном смислу. У овом случају тај интензитет претстављен је дужином OA . Сила, коју треба употребити па да се поништи реманентан магнетизам у звончу, назива се *коерцитивна сила*.

Према свему овоме може се донети закључак да тело намагнетисано струјом не губи свој магнетизам одмах кад струје нестане, већ много доцније кад струја достигне извесну вредност супротнога смисла. То задоцњавање магнетизма иза струје назива се *хистерезис*.

Појава хистерезиса игра врло велику улогу код електричних машина. Видећемо доцније да струја у једној машини промени свој смисао 15 до 50 пута у секунди. Према томе, гвоздени део машине се 15 до 50 пута у секунди намагнетише, размагнетише, понова намагнетише у супротном смислу и понова размагнетише итд. У сваком таквом циклусу магнетисања и размагнетисања мора се два пута употребити извесна коерцитивна сила за поништавање реманентног магнетизма, што претставља губитак енергије који називамо *губитак услед хистерезиса*.

7. Обртање проводника струје помоћу магнета

Сл. 57 показује апарат помоћу кога се показује појава обртања проводника неке струје под утицајем магнета. Проводник abc може се кретати око шиљка b који лежи на северном полу магнета

NS . Крајеви a и c замочени су у живу која је у вези са спојницом k . Струја улази у спојницу e , иде кроз магнет и код шиљка b дели се на два дела: један иде краком ba , други краком bc . Оба дела се састају у живи и преко спојнице k струја се враћа у батерију.

За све време док струја тече колом $ebak$ и $ebck$, проводник abc ће се окретати у смислу стрелице.

8. Правило леве руке

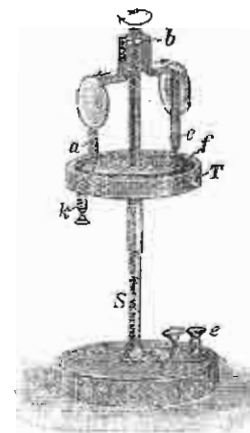
У предњем случају окретање покретног проводника, кроз који тече струја, у магнетном пољу можемо одредити помоћу познатог правила Амперовог посматрача. Каткад је лакше послужити се зато *Флеминговим правилом* или *правилом леве руке*. Тога ради треба поступити овако: *Палац, кажипрст и средњи прст леве руке ваља наместиши уравно један на други. Тада уравниши кажипрст у правцу магнетног поља а средњи прст у правцу струје. Палац ће у том случају показати правац кретања проводника под утицајем тога магнетног поља.*

Постоји за то још и ово правило: *Палац леве руке издвоји се од шаке. Осволи прсти скупе се. Шака се намести тако да струја улази кроз кофичку руке а излази на прсте, а да магнетно поље улази кроз длан. Правац палца показује тада правац кретања покретног проводника.*

9. Галванометри

Галванометри су апарати за непосредно мерење јачине струје. При мерењу сматра се интензитет мањи од једног десетог милиампера као *прло слаб* интензитет. Интензитет између једног десетог милиампера и једног ампера сматра се за *средњи* интензитет, а интензитет већи од једног ампера сматра се као *јак* интензитет.

Галванометри су засновани на принципу узајамног деловања струје и магнета. Дејство струје на магнет утолико је веће уколико је јака струја која пролази кроз проводник. Отуда се, обрнуто, може да закључи о јачини струје према величини овога дејства. Галванометри су апарати који нам према јачини скретања њихове казальке показују директно или индиректно колико је јака струја која кроз њих протиче.



Сл. 57. Обртање проводника са струјом помоћу магнета.

Помоћу галванометра мери се јачина струје у сваком моменту, док одређивање јачине помоћу волтаметра захтева, као што знамо, извесно време док се изврши хемиско разлагање раствора, а потом треба мерити сталожену количину и тек онда сазнати јачину струје.

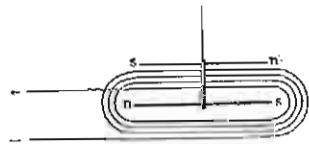
Код обичних галванометара скретање се чита у степенима. Да би се знало која јачина струје одговара коме скретању морају се у таквом случају употребити таблице које иду уз галванометар. Галванометри, међутим, код којих су скале обележене непосредно у амперима или милиамперима, зову се *амперметри* или *милиамперметри*. Њихов намотај састављен је од дебеле жице те им је унутрашњи отпор врло мали.

Према томе, да ли се магнет креће у унутрашњости намотаја или се намотај, у виду оквира, креће између полова једнога јаког магнета, галванометри се деле на две групе. То су:

Галванометри са покретним магнетом и галванометри са покретним намотајем.

Галванометри са покретним магнетом били су раније искључиво употребљени. Они су осетљиви, те се помоћу њих може мерити и врло слаба струја (напр. помоћу Томсоновог галванометра може се мерити један стотилионити део милиампера).

Ова велика осетљивост имала је и својих мана. На покретну магнетну иглу делује не само струја која се мери и која пролази кроз намотај, већ и земљин магнетизам. Кад струја пролази кроз намотај и тежи да магнетну иглу стави унакрст са намотајем, земљин магнетизам тежи да иглу задржи у магнетном меридијану. Зато се дејство слабих струја не може довољно осетити. Да би се и врло слабе струје



Сл. 58. Астатичка игла.

могле мерити, треба парирати дејство земљиног магнетизма. То се постиже на тај начин што се место једне магнетне игле узму две једнаке, чврсто везане једна с другом али тако да северни пол једне лежи изнад јужног пола друге (сл. 58), те да деловање земљиног магнетизма на сваку иглу има супротан смисао. Пошто обе игле чине једну покретну целину, то је утицај на цео систем раван нули. Овакав систем магнетних игала назван је *астатички*. Он нема један одређен положај, већ кадгод дође у нов положај, дуго осцилира док се не умири.

Код астатичког система струја, која се мери, пролази кроз намотај који опкољава магнетну иглу. Познато нам је да је дејство струје на магнет уколико веће уколико је већи број навојака и уколико је јача струја која кроз њих пролази, зато се и овај намотај састоји из великог броја навојака. Дејство једног навојка додаје се, као што знамо из проучавања соленида, дејству осталих навојака; зато се такав намотај зове још и *мултипликатор*.

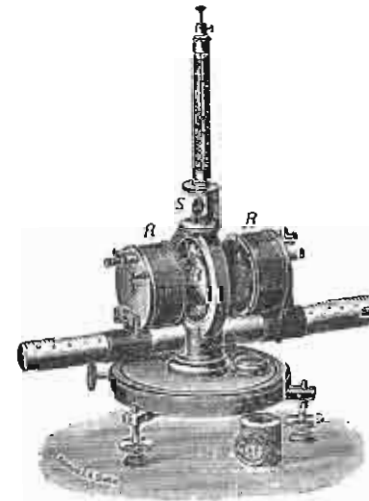
Кад кроз мултипликатор прође ма и најмања струја, она ће иглу покренути и тежити да је доведе у унакрсни положај са струјом. Кад струје нестане, систем игала ће остати у положају у коме се нађе, ако су игле потпуно астатичке, тј. потпуно подједнаке величине и потпуно подједнако магнетисане. Ако хоћемо да галванометар по нестанку струје дође у положај север-југ, онда једна игла треба да буде нешто краћа тако, да се дејство земљиног магнетизма ипак покаже, само у знатно слабијој мери но кад је само једна игла.

Први галванометар са астатичким системом магнетних игала начинио је Вилем Томсон; зато се такав галванометар и зове Томсонов.

Због тога, што је тешко изградити две магнетне игле потпуно једнаке како у погледу димензије тако и у погледу јачине магнетисања, налази се на спољном делу галванометра један или више покретних магнета помоћу којих се регулисањем магнетизма постиже потпуна *астазија*.

На галванометре са покретним магнетом утичу и сви гвоздени предмети у њиховој близини. Исто тако утиче и оближња варошка струја трамваја и осветлења.

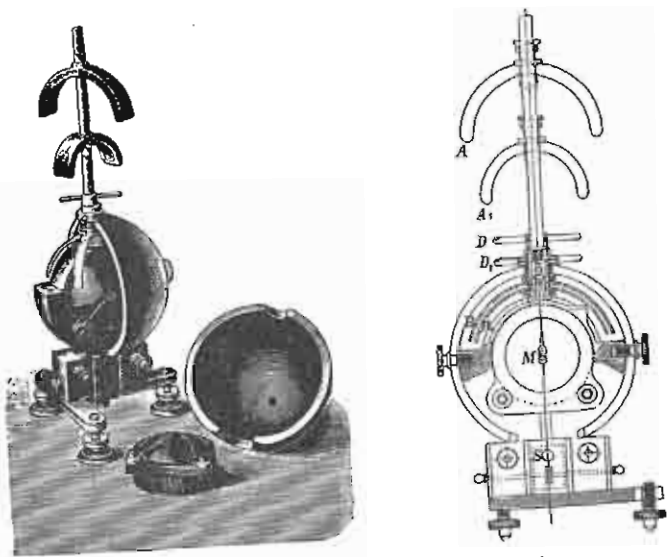
Кад се постигне потпуна астазија галванометар је изолован од утицаја земљиног магнетизма. Магнети таквог галванометра немају више одређен положај мировања. То је разлог што и врло слаби магнетни



Сл. 59. Видманов галванометар са покретним магнетом.

или електромагнетни узроци утичу на његов магнет, те он осцилира. Услед ове преосетљивости, мерење таквим галванометром је врло тешко јер треба чекати и ухватити повољан моменат потпуног мировања игала.

Због велике подложности страним утицајима, осетљивост ових галванометра не може се искористити баш тамо где би то највише требало, а где увек има и разних струја као и магнетисаних гвоздених маса. Зато су апарати са покретним магнетом потиснути галванометрима са покретним намотајем. Сл. 59 показује тзв. Видманов галванометар са покретним магнетом. У стакленој цеви види се коконов конац који је горе причвршћен а на доњем крају носи огледало S . За огледало је причвршћен прстенаст магнет. Намотај се састоји из два калема RR који се могу приближити или удаљити од магнета и тако имати веће или мање



Сл. 60. Оклопља галванометар Рубенса и Дабоа.

дејство. Сваки галванометар има више пари калемова те, међајући калемове и њихово отстојање од магнета, може се добити осетљивост галванометра за разне јачине струје.

Кад се магнет услед струје у калему R покреће и заузме нов положај, он не мирује већ врло дуго осцилира око тог поло-

жаја. Да би се спречило осцилирање, магнет је стављен у бакрени омотач B . Услед кретања магнета, кроз бакарни омотач пролази променљиво магнетно поље, стога се у омотачу ствара индукована струја, као што ћемо доцније видети. На стварање ове струје брзо се утроши осцилациона енергија, и магнет се зауставља. На тај начин осцилације се угуше. Ако је угушавање осцилација потпуно, тако да магнет заузме без осцилирања свој нови положај који му струја одређује, овда се каже да је *галванометар аperiодичан*.

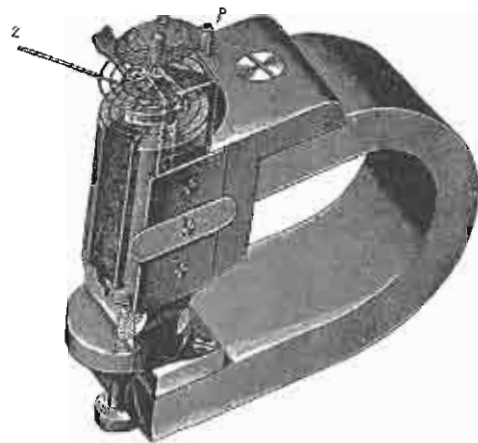
Да би се искористила велика осетљивост галванометра са покретним магнетом, Рубенс и Дабоа конструисали су галванометар који је заштићен од свих спољних утицаја помоћу челичног оклопа, а помоћу два спољна и два унутрашња магнета постигнута је потпуна астазија. Сл. 60 приказује један такав апарат. У средини кугле види се мали магнетни систем M . Испод магнета при дну види се огледало S . Да би се добила потпуна астазија, постављена су у унутрашњости оклопа два магнета B и B_1 , а ван оклопа два лучна магнета A и A_1 .

Код галванометра са покретним намотајем имамо јак магнет између чијих се полова окреће намотај (сл. 61) То је тзв. *Депре-Дарсонвалов* тип, јер су

Депре и Дарсонвал 1882 год. први конструисали галванометре на овом принципу. Полови магнета завршују се полукружно тако, да се намотај окреће скоро у једном цилиндру

на свега 2π (сл. 61). *Депре-Дарсонвалов* галванометар са покретним стојања од његових

зидова. У мирном положају намотај лежи у правцу полова. Али, чим кроз њега прође струја, он се окреће унакрст према половима тако, да његове линије сила заузму исти правац који имају и линије магнета. На свом горњем делу овај намотај носи једну



казалку Z која се креће заједно с њим по цифарнику на коме директно читамо јачину струје или величину напона према томе да ли је галванометар везан као амперметар или као волтметар. Намотај је поред тога у вези и са једном спиралном опругом, која увек тежи да га врати у положај мира. Важно је напоменути још и то, да се између полова магнета у унутрашњости намотаја овога галванометра налази један непомицајући цилиндар од меког гвожђа. Улога овог цилиндра јесте та, да концентрише ливње сила које долазе од перманентног магнета и не дозволи им да се губе (пошто гвожђе претставља за магнетне линије, као што знамо, несразмерно лакши пут него ваздух, то ће оне ићи кроз гвожђе пролазивши кроз само мали међупростор од ваздуха, а неће се растурати вити ићи потпуно ваздушним путем, која претставља огроман отпор за њих). На овај начин, готово све магнетне ливње пролазе кроз намотај те, уколико је ово магнетно поље јаче, утолико мање утиче на такав галванометар земљин магнетизам и магнетизам околних тела. Због тога овај апарат не тражи никакву оријентацију. Његов спољни изглед показује сл. 62.



Сл. 62. Комбиновани волтметар и милиамперметар типа Депре-Дарсонвал.

Обележавање скале галванометра врши се на тај начин, што се кроз њега пропуштају струје познате јачине и цртицама обележе одговарајућа скретања. Напр. ако кроз галванометар пропустимо струју јачине 20 милиампера, игла скрене и начини угао рецимо од 20° . Ако пропустимо 5 милиампера, игла ће скренути за 5° итд. Значи да је осетљивост овог галванометра таква, да један милиамперметар покрене намотај и иглу за 1° . Скала између 0° и 20° може бити подељена на 20 једнаких подеока. Пропуштањем струје од 50, 80 итд. милиампера, добијају се одговарајуће тачке на цифарнику. До 120° скретање је приближно пропорционално јачини струје. После тога поделе су све збијеније.

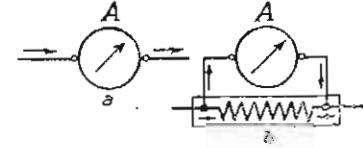
Код галванометра на сл. 62 скала има 150 подеока. Сваки подеок одговара интензитету од 1 милиампера. Значи, кад игла стоји на подеоку 150, онда кроз галванометар пролази струја од 150 милиампера.

Дакле, помоћу описаног апарата можемо непосредно мерити интензитет од 1 mA до 150 mA, тј. од 0,001 до 0,15 ампера.

10. Амперметар са отоком

Галванометар, код кога скала није означена у степенима, већ непосредно у амперима, назван је *амперметар*.

При непосредном мерењу интензитета амперметар се везује у електричном колу као на сл. 63a. Сва струја, која тече кроз коло, пролази и кроз амперметар. Према томе, са горњим амперметром можемо непосредно мерити интензитет до 0,15 ампера.



Сл. 63. Амперметар без отоке и амперметар са отоком.

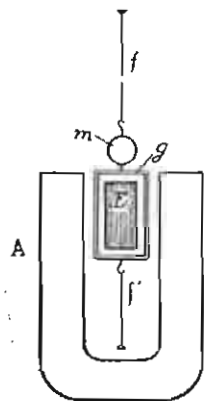
Захваљујући примени отоке (шунта), може се помоћу обичног амперметра мерити и врло јак интензитет, иако је он неколико стотана или хиљаду пута већи од овог интензитета што га апарат може нормално да поднесе.

Отока је нарочито одмерен отпорник одређеног сталног отпора који сачињава саставни део свог галванометра. Уз један овакав амперметар обично иде више отока. Њихов отпор је обично 9,99, 999, 9999... пута мањи од отпора амперметра за који су начињени. Амперметар и отпорник везани су паралелно, као што је показано на сл. 63b. Струја, која тече кроз коло, кад дође до отпорника и галванометра, дели се на два дела. Један, мањи део, иде кроз амперметар, а други, већи, иде кроз отпорник као кроз *отоку*. Ако је отпор амперметра 1 ом, а отпор отоке $\frac{1}{99}$ ома, то ће кроз отоку ићи 99 пута јача струја но кроз амперметар, чiji је отпор 99 пута већи од отпора отоке. Ако амперметар показује на цифарнику 100 подеока, кроз њега пролази струја од 100 mA. Пошто један подеок одговара 1 милиамперу, кроз отоку пролази струја од $99 \times 0,1 = 9,9$ ампера. Кроз отоку и кроз коло заједно пролази струја од $9,9 + 0,1 = 10$ ампера. Дакле, струја која тече кроз коло, сто пута је јача од струје која пролази кроз амперметар. Према томе, ако хоћемо да знамо колика струја тече кроз коло, треба читање на амперметру да помножимо са 100.

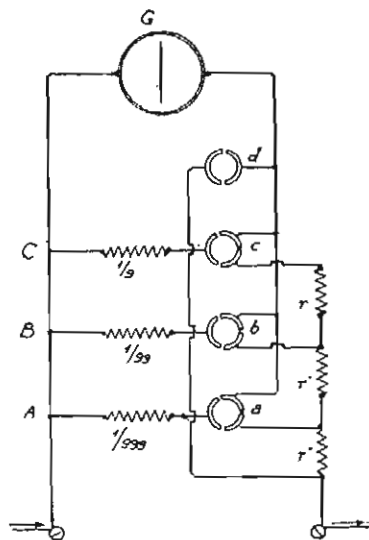
Ако на галванометар ставимо отоку, чији је отпор $\frac{1}{99}$ отпора амперметра, онда треба са 100 помножити читање амперметра. Ако отока има $\frac{1}{999}$ пута мањи отпор од амперметра, онда треба помножити са 1000 ово што показује амперметар, итд.

Ако је амперметар намењен само једној сврси, напр. да показује интензитет који кроз њега пролази, онда му се потребан отпорник стално постави у унутрашњости као отока, а скала означа

непосредно у амперима тако, да се вредност интензитета чита непосредно и без икаквог рачуњања.



Сл. 64. Галванометар са огледалом.



Сл. 65. Шема оточве кутије.

отвор *a*, овда ће се струја, кад дође код тачке *A*, делати на два

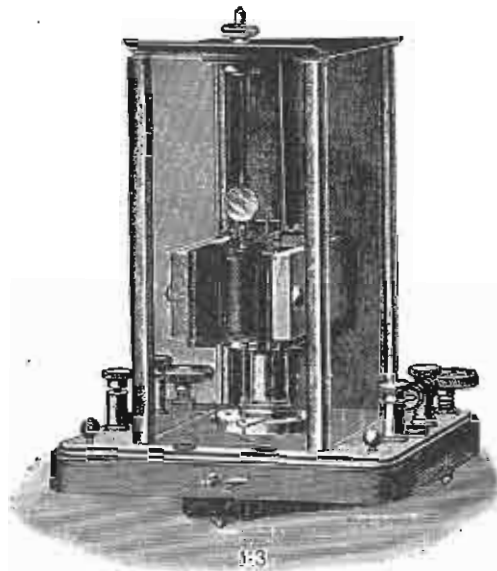
На апаратима са казаљком можемо мерити највише десетохиљадити део ампера ($\frac{1}{10}$ милиампера). За већу осетљивост употребљавају се галванометри са огледалом (сл. 64). Код овог галванометра намотај *g* виси о ковацу *ff'* која се увије при окретању намотаја и својом реакцијом тежи да апарат врати у миран положај. Заједно са намотајем скреће и огледало *m* и баца на стаклени лењир светли зрак од лампе која га осветљава. На тај начин за мала скретања огледала добијамо велика скретања зрака и lika који светлост баца на скалу. Намотај је мал и лак а магнет велики и јак, те и са врло слабом струјом добијамо скретања која се могу уочити захваљујући покретном огледалу. Са овим галванометрима може се мерити струја која износи неколико милионитих делова ампера.

Уопште намотај галванометра начињен је од врло тавке жице (неколико стотих делова милиметра), те не може поднети јаку струју, чак ни један милиампер. За мерење јаке струје употребљава се увек и отока уз галванометар тако, да главна струја иде кроз отоку, а само мали део кроз намотај галванометра.

Сл. 65 претставља шему једне од разних кутија са оточкама употребљене уз галванометар. Ова кутија садржи више отока. Умегањем месинганог чепања у један од отвора *a*, *b*, *c*, *d* увосимо као отоку отпор који желимо. Ако чепањ ставимо у

дела: један ће ићи кроз галванометар *G*, а други кроз отпор $\frac{1}{10}$, који је 999 пута слабији од отпора галванометра. Та два дела струје саставе се на чепању *a*, и заједно ће продужити пут истим проводником. Кроз отпоре $\frac{1}{10}$ и $\frac{1}{100}$ струја неће ићи, јер на местима *b* и *c* кола су прекинута. Ако чепањ ставимо у отвор *d* онда струја неће пролазити ни кроз један од проводника, већ ће сва ићи само кроз галванометар. Дакле, кад чепањ ставимо у отвор *c* требаће да помножимо са 10 читање на галванометру, ако хоћемо да знамо праву вредност струје коју меримо. Кад чепањ ставимо у отвор *b*, читање треба да помножимо са 100 па да добијемо праву вредност струје итд.

Отоке су дебље за амперметре кроз које пролази јача струја него ли за осетљиве галванометре. Отоке за амперметре јесу обичне



Сл. 66. Галванометар са огледалом (израда фирме Хартман и Браун).



Сл. 67. Галванометар са огледалом (израда фирме Сименс и Халске).

металне плочице на чијим се крајевима налазе две завртке помоћу којих се отока спаја за амперметар.

На свакој оточи написана је једна од ознака: 1A, 2A, 3A, 5A итд. што значи, да та отока може да поднесе највише озна-

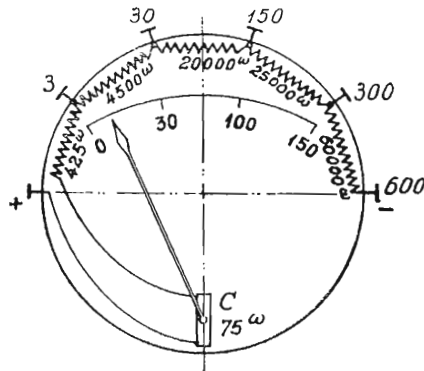
чени број ампера. Рецимо да уз амперметар, који има 100 подеока имамо и кутију разних отока. Узмимо отоку од $5A$. Ставимо је у коло и прикачимо амперметар на њене крајеве. Са отоком од $5A$, свих 100 подеока амперметра вреде 5 ампера. Ако његова казаљка показује 20 подеока, то значи да је интензитет струје у колу 1 ампер. Ако са амперметром употребимо отоку од $10A$, онда 100 подеока вреде 10 ампера, 10 подеока 1 ампер, а 1 подеок 0,1 ампер. Ако у том случају амперметар показује 37 подеока, јачина струје износи $0,1 \times 37 = 3,7 A$ итд.

Сл. 66 показује изглед Дебре-Дарсонваловог галванометра са огледалом у изради фирме Хартман и Браун а сл. 67 показује исти апарат у изради фирме Сименс и Халске.

Кад галванометри служе само за то да покажу да ли уопште пролази струја кроз неко коло, и кад код њих скретање није изражено ни у амперима ни у волтима, она се називају *галванометри* или *галваноскопи*. Они пак галванометри, чији је отпор врло мали и код којих је скала скретања изражена у амперима или милиамперима, називају се *амперметри*. Отпор намотаја једног амперметра износи отприлике 1 ом.

11. Волтметар

Како интензитет у једном колу, чији је отпор сталан, зависи од потенцијалне разлике извора, то поделе на скали галванометра



Сл. 68. Шовен-Арнуов волтметар.

могу означавати не интензитет струје која кроз галванометар пролази, већ потенцијалну разлику између полова за које је овакав галванометар везан. Подеоци на скали изражени су у волтима а такви галванометри називају се *волтметри* и служе само за мерење потенцијалних разлика. Волтметри су галванометри са великим отпором, зато је интензитет струје, која кроз њих пролази, врло

На сл. 68 видимо шему Шовен-Арнуовог волтметра. Код њега отпор покретног намотаја износи 75 ома. Јачина од 0,006 ампера окрене казаљку цифарника до краја. Цифарник има 150 подеока. Додавањем отпора на ред са намотајем волтметра, добија се апарат са пет разних осетљивости.

Да би цела скала означавала 3 волта, намотај и отпорник треба да имају укупно такав отпор, да кроз њих пролази струја од 0,006 ампера, кад се прикључе на извор од 3 волта. Помоћу Омовог закона наћи ћемо да тај отпор R треба да буде:

$$R = \frac{E}{J} = \frac{3}{0,006} = 500 \text{ ома.}$$

Како сам намотај има 75 ома, то му треба додати отпорник од 425 ома. Пошто 150 подеока претстављају 3 волта, 50 подеока претстављају 1 волт а 1 подеок претставља 0,02 волта. За осетљивост од 30 волта, укупан отпор

$$\text{треба да износи } R = \frac{E}{J} = \frac{30}{0,006} = 5000 \text{ ома.}$$

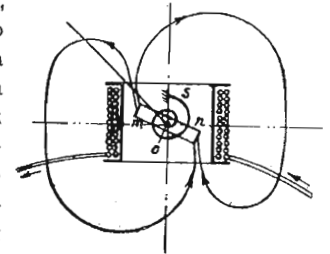
Како намотај и први отпорник већ имају 500 ома отпора, треба им додати још један отпорник од 4500 ома. Да волтметар може да поднесе 150 волта, целокупан отпор треба да буде $R = \frac{E}{J} = \frac{150}{0,006} = 25000$

ома. Значи да треба додати још 20 000 ома итд. Снага, коју овај апарат троши код напона од 150 волта јесте: $P = E \times J = 150 \times 0,006 = 0,9$ вата, што је незнатно.

12. Галванометар са језгром од гвожђа

За индустријске сврхе употребљавају се апарати код којих је намотај непокретан (сл. 69), а у средини, место магнета, налази се језгро од меког гвожђа које се,

као магнетна игла може окретати око осовине O . За језгро је причвршћена опруга која се противи обртању језгра и тежи да га држи у хоризонталном положају. За средину језгра причвршћена је казаљка чији се крај креће по цифарнику. Кад струја прође кроз намотај, језгро тежи да заузме вертикалан положај Томе се противи опруга S . Уколико је интензитет јачи утолико је



Сл. 69. Галванометар са језгром од гвожђа.

веће скретање на десно. Овај апарат може бити израђен као волтметар или као амперметар. Његове поделе нису сразмерне интен-

зиту, а од цифарника се могу корисно употребити само две последње трећине његове дужине. Уопште узев, ови апарати су слабо апериодични. Они могу послужити и за мерење наизменичне струје, јер, кад струја и магнетне линије промене смисао у другој половини периода, онда језгро промени смисао свога магнетизма тако, да однос између магнетних линија намотаја и магнетних линија језгра остаје увек исти.

13. Галванометар са загревним влакном

У индустрији се тако исто употребљавају и овакови апарати. Код њих струја пролази кроз затегнуту спроводну жицу од платин-иридиума и загрева је више или мање према јачини струје. Услед загревања мења се дужина конца и повлачи казаљку која се креће по цифарнику с подеоцима и показује јачину струје у амперима.

Због тога, што такав апарат нема самоиндукције, подесан је за наизменичну струју високе учестаности; зато се употребљава много у радиотехници, али се исто тако може употребити и за једносмислену струју.

Слабе стране апарата са загревним влакном јесу следеће: подеоци му нису једнаки; може се корисно употребити само мали део скале; захтева доста времена да казаљка дође у свој дефинитиван положај, нарочито кад струја опада; и, најзад, троши на своје функционисање знатно више енергије по галванометри са покретним намотајем.

14. Балистички галванометар

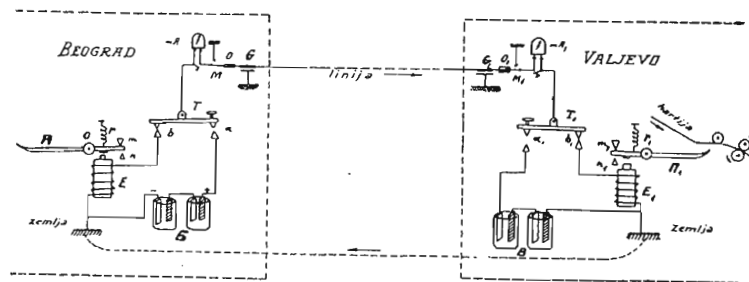
То је обичан галванометар са огледалом, само је његов покретни део много тежи, те су и његове осцилације много спорије, али је подешен тако да је врло осетљив. Употребљава се за мерење количине електрицитета која брзо ишчезава, напр. кад се празни кондензатор, или кад хоћемо да меримо капацитет неког кондензатора, па га наизменично пунимо и празнимо. Због великог момента лењивости покретног дела, галванометар се не креће при првом удару струје, већ остаје доста дуго у положају мира док не прими сву струју која тече кроз проводник. Код овог галванометра са покретним магнетом треба да буде што мање гушење осцилација. Зато се код њега скида бакарни омотач са покретног магнета.

15. Принцип електричног телеграфа

О целокупној примени разних особина електричне струје биће опширно говора у другој књизи. Овде, у теориском делу, само ћемо напомињати у најкраћим потезима принципе општих примена електрицитета да би се још одмах долазило макар у најмањој мери у додир са применом. Показаћемо принцип електричног телеграфа.

Као што смо поменули на стр. 74 и 75, електромагнет поседује сва магнетска својства само донде докле кроз његов намотај протиче електрична струја. Отуда ће електромагнет држати привучену једну гвоздену котву док пропустимо струју кроз жицу електромагнета. Ако једно еластично перо тежи овакву котву од меканог гвожђа да одвуче од електромагнета, она ће се удаљити од њега чим струје нестане. Како пак жице, које доводе струју у електромагнет, могу да буду веома дуге, а прекидање струје може се вршити где било, ми смо у стању са велике даљине да управљамо радом таквог електромагнета, тј. да по нашој команди електромагнет своју котву привлачи или пушта. У томе је основни принцип давања телеграфских сигнала помоћу електричне струје.

Јасније и детаљније изложен принцип доскора најраспрострањенијег Морзеевог телеграфа био би у следећем:



Сл. 70. Шема везе двеју Морзеевих телеграфских станица.

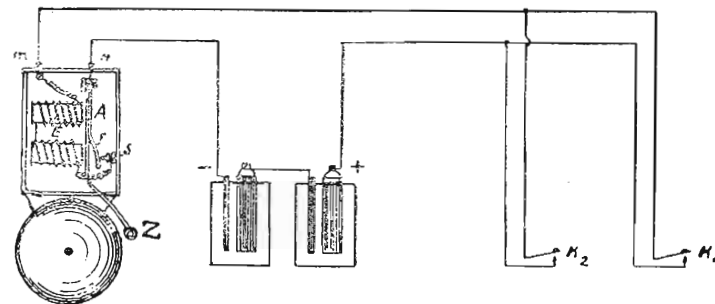
Узмимо два места која треба да буду спојена Морзеевим телеграфом, напр. Београд и Ваљево (сл. 70). Кад Београд жели да даје телеграфске знаке Ваљеву, београдски телеграфиста притисне тастер (прекидач струје) T и на тај начин затвори електрично коло Београд—Ваљево. Стварну шему овог Морзеевог апарата, чије се електрично коло простире између Београда и Ваљева, сачињавају: електрична батерија и тастер у Београду,

затим изолована телеграфска жица између Београда и Ваљева, електромагнет Морзеовог апарата у Ваљеву и земља као повратни проводник између Београда и Ваљева (преко земљоводних плоча укопаних у земљу). Струја, дакле, полази из батерије B (у Београду) и иде овим путем: позитивни пол те батерије, тастер T , милиамперметар mA , прекидач M (затворен), осигурач O , громобран G , линија између Београда и Ваљева, онда громобран G_1 , осигурач O_1 , прекидач M_1 (затворен), милиамперметар mA_1 , тастер T_1 , електромагнет E_1 , земља, негативни пол батерије B у Београду. За све време док Београд држи притиснут тастер, пролази струја кроз ваљевски електромагнет E_1 . Његово је језгро намагнетисано и држи привучену полуку P_1 . Предњи крај полуке се спусти а задњи, који носи перо, издигне се, и по хартији, која се креће у правцу стрелице, оставља траг у виду цртице. Чим струја из Београда престане да долази језгро се размагнетише и опруга r_1 врати полуку у положај мира. Ако је тастер притиснут кратко време, перо повуче кратку линију — „тачку“, ако је притиснут дуже време, перо повуче цртицу — „повлаку“. Обично су „повлаке“ 3 пута дуже од „тачака“. Ако се „откуца“ најпре „тачка“ па онда „повлака“ онда то означаје у тзв. *Морзеовој азбуци* слово a . Ако се откуца цртица и три тачке, то означаје слово b , итд. Дакле, услед прекидања и успостављења струје у отпивној станици (станици која даје) привлачи се и одбија магнетна котва у пријемној станици. На тај начин се у Морзеовом апарату примају на папирној траци у пријемној станици тачке и повлаке које, комбиноване у потпуну Морзеову азбуку, означају слова, цифре и знаке интерпункције, те се помоћу њих могу саопштавати речи и реченице. Згодном комбинацијом веза, иста линија може да служи и за давање и за примање и једној и другој телеграфској станици. Напомињемо да се телеграфска линија састоји само из једне жице. Уместо повратне жице служи земља (види стр. 32).

16. Електрично звонце

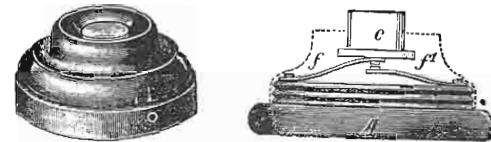
Да опишемо и овај прост електрички апарат који служи за давање звучних сигнала на даљини (сл. 71). Он функционише на овај начин: Кад притиснемо ма који од прекидача k_1, k_2, \dots затворили смо електрично коло у које улази извор струје, линија и звонце. Струја, полазећи са позитивног пола батерије иде овим путем: прекидач k , спојница m , електромагнет E , шиљак s , опруга r , спојница n , негативни пол батерије. Услед проласка струје намагнеташу се језгра електромагнета и привуку котву A . Котва повуче

опругу r коју носи на себи. Услед тога се коло прекине између опруге и шиљка. Чим је коло прекицнуто нестане струје, те нестане и магнетизма у језгрима. Котва се враћа у свој мирни положај.



Сл. 71. Шема електричног звонца и његове инсталације

Али, тек што је опруга при повратку додирнула шиљак, коло се поново затворило, струја поново протече, котва је понова привучена, чиме се поново начини прекид. Тако се то понавља и траје за све време док је затворен прекидач k . Електромагнет сâм прекида и пушта струју, котва вибрира између језгра и шиљка и при томе звечак Z удара у звонце и оно звони. Прекидач, чији нам је изглед добро познат и који видимо на сл. 72 састављен је из две опруге f и f' , које се додирују само кад се прстом притисне дугме s . Подигне ли се прст, горња опруга се исправи, подигне дугме, и држи коло прекицнуто.



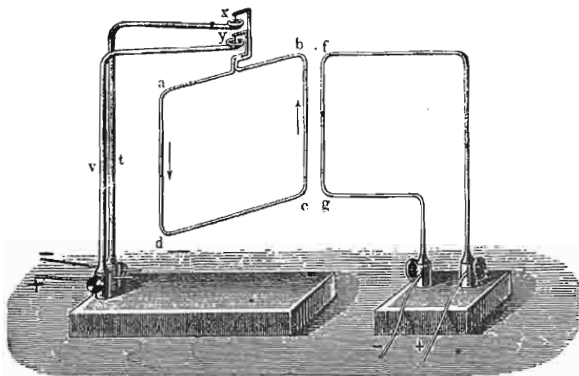
17. Међусобни утицај двеју струја

Видели смо да струја, кад пролази кроз један проводник, (сл. 52) ствара око њега магнетско поље. Исто тако знамо да један такав проводник у виду соленоида има, као и магнет, свој северни и јужни пол. Услед тога и он, кад је слободан, заузима правац магнетног меридијана и у стању је да намагнетише меко гвозђе.

Ампер, француски научник, истраживао је међусобни утицај галванских струја и утврдио је величину механичке силе којом две струје делују једна на другу. Део електротехнике, који изу-

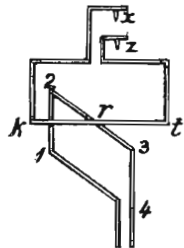
чава међусобно деловање струје на струју, назива се *електродинамика*.

Сл. 73 показује нам један од Амперових апарата којим се испитују ове појаве. Проводник *abcd* може се окретати око осо-



Сл. 73. Амперов апарат за електродинамичка испитивања.

вине *ху*. Проводник *fg* је учвршћен. Кад пропустимо струју кроз проводник *abcd*, који се може окретати, његова равна ће тежити да се постави усправно на магнетни меридијан. Ако у исто време пропустимо струју и кроз учвршћени проводник *fg*, који се налази у близини првог, онда ће се овај окренути тако, да се једна његова вертикална страна приближи а друга удаљи од учвршћеног проводника. Ако кроз учвршћен проводник струја иде од *g* ка *f*, онда ће се страна *bc* приближити а *ad* удаљити. Променимо ли правац струје у обртном проводнику, онда ће страна *ad* бити привучена, а *bc* одбијена. Из овога се може закључити да се *две паралелне струје истог смисла привлаче, а кад су супротног смисла оне се одбијају*.



Сл. 74. Електродинамички положај два проводника са струјом.

Ако учвршћен и покретан проводник стоје унакрсно као на сл. 74, па онда кроз њих пропустимо струју, покретан проводник ће се тако окренути да страна *kt* дође у паралелан положај са проводником 2—3. Из овога опита произилази следеће правило: *Две унакрсне струје теже у сваком случају да заузму паралелан положај*.

То значи да један савијен проводник, кроз који пролази струја, тежи да се исправи.

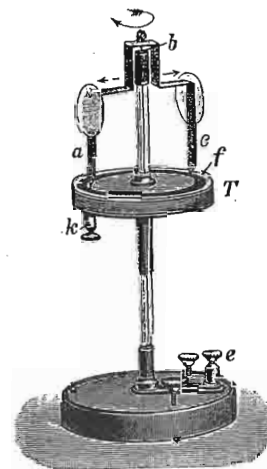
Ако се испита, којим правцем теку линије сила магнетног поља код једног и код другог проводника, видеће се да два суседна проводника теже да заузму такав положај, да *линије сила њихових поља теку у истом смислу*.

Оба горња правила могу се свести на једно: *Две струје макакав био њихов међусобни положај, теже да се поставе паралелно, али тако, да теку у истом смислу*.

Што се тиче снаге са којом две струје делују једна на другу, она зависи од положаја и растојања проводника као и од јачине сваке струје понаособ. Под истим околностима *величина дејства струје на струју сразмерна је производу јачина струја у оба проводника. Ако једна иста струја иде кроз оба проводника, онда је дејство сразмерно квадрату њене јачине*.

18. Обртање једне струје под утицајем друге

Ако се у *Фарадејевом* апарату, који смо видели на сл. 57, магнет *NS* замени једним *електричним* проводником, који је у стању да створи одговарајуће магнетно поље, онда ћемо у том случају добити непрекидно обртање проводника *abc* за сво време док струја тече кроз проводник *abc* и кроз намотај *T* који се види на сл. 75



Сл. 75. Обртање проводника помоћу електродинамичног дејства.

Струја се доводи спојницом *e*, одакле иде жицом кроз стаклени суд и долази у металну чашицу на врху стуба која је пуна живе. Проводник од *алуминија abc* својим шиљком *b* замочен је у живу, док се два краја *a* и *c*, замочени такође у живи, налазе у округлом жљебу *f*. Струја се дели у шиљку *b* и један део иде краком *ba* а други краком *bc*. У жљебу *f* са-стају се оба дела струје и одатле, преко намотаја *T* и спојнице *k*, враћају се у батерију. Доклегод кроз ово коло пролази струја, покретан проводник *abc* обртаће се у смислу који означаје стрелица. При-меном правила леве руке на намотај *T* и на проводнике *ba* и *bc*

можемо унапред одредити смисао обртања покретног проводника.

Ако помоћу нарочите направе — *комутатора* — променимо смисао струје, или ако то учинимо премештањем доводних жица на спојницама, онда ће се покретан проводник и даље окретати у истом смислу. То долази отуда, што једна иста струја иде и кроз намотај *индуктора Т*, који ствара магнетно поље, и кроз покретан спроводник, па се релативно стање не мења. Ако применимо правило леве руке, видећемо да нам и оно то потврђује.

19. Електродинамометар и његова примена

Као што смо рекли, величина дејства струје на струју зависи од међусобног растојања проводника и од јачине струје у сваком проводнику. Као и обично дејство, тако и *електродинамичка сила између два електрична кола*, ако све остале околности остану исте, *зависи од производа интензитета у оба кола*. Ако једна иста струја пролази кроз оба проводника, онда је *електродинамичка сила сразмерна квадрату интензитета струје*.

Ако кроз оба електрична кола пролази једна иста струја, па јој ми помоћу комутатора непрестано мењамо правац, то неће утицати на смисао скретања покретног проводника. Тај смисао остаје, као што смо и мало час видели, увек исти, а тако исто остаје непромењена и величина електродинамичке силе.

Пошто величина скретања покретног дела зависи од производа интензитета у оба кола, односно од квадрата кад је интензитет исти, то се, према величини овог скретања, може судити и о величини интензитета струје који кроз овакав уређај пролази. На овом основу саграђени су апарати за мерење јачине струја. Она су названа *електродинамометри*.

Електродинамометри као амперметар и волтметар. Помоћу електродинамометра можемо мерити јачину струје као и помоћу галванометра. Али, док помоћу галванометра можемо мерити јачину само једносмислене струје, тј. јачину струје чији је правац тока увек у истом смислу, дотле електродинамометром можемо мерити и јачину струје чија се смисао протицања мења, као што је случај са наизменичном струјом. Ове струје какве се у пракси употребљавају мењају свој смисао почев од неколико пута па до неколико милиона пута у секунди.

Електродинамометри, чија је скала обележена тако да се на њој непосредно чита у волтима величина потенцијалне разлике зову се *волтметри*. Док *одични волтметри и амперметри саграђени на принципу галванометра служе за мерење напона и интензитета*

само једносмислених струја, дотле волтметри и амперметри саграђени на принципу електродинамометра служе за мерење напона и интензитета и једносмислених и наизменичних струја.

Електродинамометар као ватметар. Електродинамометар, чија је скала тако означена, да се на њој чита непосредно електрична енергија која за једну секунду пролази кроз апарат и иде у пријемник, назива се *ватметар*. И ова врста електродинамометара има два намотаја. Кроз један, начињен од дебеле жице, пролази интензитет који после иде у потрошач енергије. Други намотај је од танке жице, која је паралелно везана за оба проводника који доводе главну струју. Струја, која пролази кроз танак намотај, сразмерна је потенцијалној разлици електричног извора. Скретање покретног дела је сразмерно производу од интензитета J који пролази кроз дебелу намотај и интензитета i који пролази кроз танки намотај и претставља потенцијалну разлику. Према томе, ово скретање сразмерно је енергији главне струје.

Ватметри се обично употребљавају за мерење енергије наизменичних струја. За мерење енергије код једносмислене струје довољно је имати амперметар који даје интензитет J и волтметар који даје напон U . Производ из наведеног интензитета и напона, тј. UJ даје енергију P коју потрошни апарати ове струје примају за 1 секунду.

Код наизменичне струје енергија за 1 секунду вије у свима случајевима једнака производу интензитета и напона, те за мерење њене енергије нису довољни амперметар и волтметар.

Као што знамо (стр. 6) енергија за 1 секунду обично се зове ефекат, моћност или снага, и обележава се са P . Јединица за мерење електричне снаге јесте *ват* и означава се са w . Већа је јединица *киловат* (ознака kw). $1 kw = 1000 w$.

Електродинамометри као струјомери. Ватметри, који поред дебелог и танког намотаја имају још и сатни механизам који узима у рачун и време за које извесна енергија кроз њих протиче и који директно показују колико је укупно вати прошло кроз њих, називају се *струјомери*.

У принципу, струјомер је сличан апарату који смо видели на сл. 75. Разлика је у томе што овде кроз намотај T пролази струја која иде у потрошач а кроз покретан део, који се овде окреће брже или спорије и свој број обртаја регистrira у сатном механизму, пролази струја која зависи од потенцијалне разлике извора. Покретан део има магнетну кочницу за регулисање брзине обртања. Ако је овај део тако регулисан да начини један обрт

кад кроз струјомер пролази 1 ват за секунду, он ће се пет пута брже окретати ако кроз струјомер пролази 5 вата за секунду. Покретни орган у вези је са декадним системом зупчаника, који се све спорије обрћу, а сваки у декадном систему, помоћу казаљке и нарочитог цифарника, показује свој број обрта које је учинио. Први зупчаници обрћу се, дакле, брже а наредни спорије док се не дође до последњег који се обрне рецимо свега једанпут тек кад кроз струјомер буде прошло енергије напр. 1 киловат-час, тј. 3 000 000 ват-секунда. На тај начин у стању смо помоћу струјомера да директно на цифарнику прочитамо колико је дотле киловат-часа и делова од киловат-часа прошло кроз тај струјомер.

ШЕСТА ГЛАВА

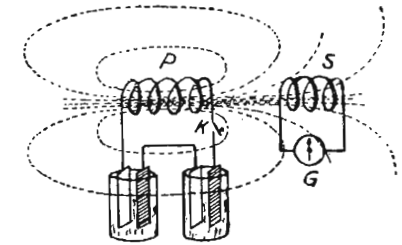
Електромагнетска индукција

1. Значај електромагнетске индукције

Електромагнетска индукција је једна од најзначајнијих особина електричне струје. Њу је први открио Фарадеј, енглески хемичар и физичар. Путем електромагнетске индукције, или краће и простије речено, путем индукције ствара се готово сва електрична енергија која је данас у читавом свету употребљена у индустрији за осветљење, за вучу итд. Количине електричне енергије, које се производе хемиским путем помоћу галванских елемената или другим начинима, незнатне су према количинама које се стварају путем машина које све без изузетка почивају на принципу електромагнетске индукције. Шта више, и производња електричних таласа базира на принципу индукције те, дакле, и читава бежична телефонија као и бежична телеграфија основана је на принципу индукције.

2. Индукција при пуштању и прекидању струје

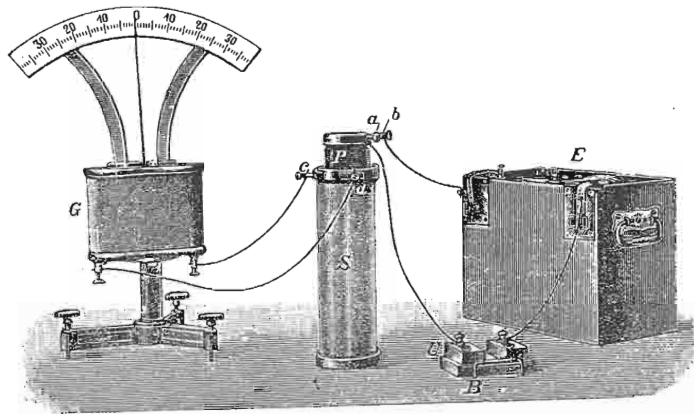
Кад год се затвори и отвори прекидач K у колу P , које је названо *примарно коло* (сл. 76), галванометар G у колу S скреће, иако ово друго коло нема ничега заједничког са првим, нити се кроз њега пушта ма каква струја споља. Ово се скрећање дешава само за време пуштања и прекидања прве тзв. *примарне струје*. Сл. 77



Сл. 76. Индукција при пуштању и прекидању струје.

показује изглед једног апарата у коме је искоришћен овај принцип индуковања прекидањем струје у примарном колу за добијање индуковане струје у суседном колу које се назива *секундарно*. Индукована струја у њему зове се *секундарна струја*. Као елек-

трични извор E узмимо један акумулатор. Прекидач U састоји се из две металне чашеце напуњене живом и једног кључа B . Примарни намотај P има облик калема који може више или мање да уђе у секундарни намотај S . У секундарном намотају налази се и галванометар G чија игла стоји на средини скале кад кроз њега не пролази никаква струја.



Сл. 77. Апарат за проучавање појаве индукције.

Кад се кључ B стави у чашеце, примарно коло је затворено и струја прође кроз примарни намотај P . У моменту затварања кола, галванометар скрене на једну страну. Ако кључ остане затворен, за све то време галванометар стоји на O , иако кроз примарно коло непрестано тече струја. Кад се кључ B подигне, струје нестане у примарном колу, а галванометар у секундарном колу напрасно скрене, али сада на супротну страну. Ако се кључ B више пута стави у живу и извуче из ње, увек ће се констатовати да галванометар скреће само у моменту кад струја почне и кад престане да тече кроз примарно коло и то, при затварању кола увек на једну страну, а при отварању увек на другу.

Ако струја тече непрекидно кроз примарно коло а намотај P се приближује секундарном S , или се све више увлачи у њега, галванометар ће сада скренути на исту страну као и при затварању примарне струје. Кад се примарни намотај удаљује од секундарног, галванометар скреће на супротну страну, тј. као и при прекидању примарне струје. Исти резултат се постиже кад примарни калем мирује, а секундарни се приближује и удаљује.

Из ових испитивања долази се до следећих закључака о законима индукције:

Примарна струја не може при успостављању моментано да постигне интензитет који треба да има према Омовом закону, већ тај интензитет *постепено* расте. За то време постепено расте и магнетно поље које примарна струја ствара. У секундарном намотају ствара се индукована струја док магнетно поље примарне струје расте. Исто тако, кад примарни калем приближимо секундарном или обрнуто, око секундарног кола бива магнетно поље све јаче и јаче, те и тада индукована струја у њему има исти смисао као и при пуштању струје. При отварању кључа, струја престаје да тече кроз примарно коло, али ни престајање није тренутно већ постепено, тј. при прекидању примарне струје мора да прође извесно време док ње сасвим нестане. Магнетне ливље, које су при успостављању струје бивале све јаче, сада постају све слабије, док се сасвим не изгубе.

Секундарно коло налази се поново у променљивом магнетном пољу; само што сада јачина поља опада, те и индукована струја има супротан смисао. Исто тако, кад се калемови удаљују један од другог, опада снага магнетног поља, које утиче на секундарно коло, те и индукована струја има исти смисао као и при прекидању струје.

На основу предњег долази се до овог закључка: *Кад се неко затворено коло налази у магнетном пољу променљиве величине или правца, онда се у том колу ствара индукована струја.*

Ако се ово променљиво поље добија пуштањем и прекидањем примарне непроменљиве струје, онда: *При затварању кола, индукована струја је супротна примарној, а при отварању она је истога смисла као и примарна.*

Испитујући односе индуковане струје и узрока који индукцију изазива, дошло се до закона: *да свака индукована струја добија смисао којим тежи да се одупре узроку који ју ствара, што се потврђује и на претходним примерима.* Ово је тзв. *Ленцов закон*. Још једном ћемо бацити поглед на ову важну појаву.

При затварању кључа примарна струја расте, њено магнетно поље расте тако исто. Индукована струја, која постаје услед рашћења тога поља има супротан смисао, њено магнетно поље има такође супротан смисао примарном и тежи да спречи рашћење примарног, дакле, тежи да одржи непромењено стање.

При отварању кључа, примарна струја опада, примарно поље тако исто. Ово опадање производи индуковану струју која има

исти смисао као и примарна, те својим магнетним пољем које је такође истога смисла тежи да појача примарну струју и спречи њено опадање, дакле, опет да одржи постојеће стање.

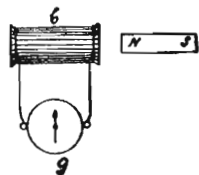
При приближавању два калема, секундарна је струја таквог смисла да се њено магнетно поље противи — одбија — од примарног магнетног поља. При удаљавању, секундарно магнетно поље има исти смисао као и примарно — она се привлаче — дакле, противи се удаљавању.

Ако секундарно коло не би било затворено, онда, природно, кроз њега неће тећи струја, али у њему ће се стварати индуквана електромоторна сила и индуквани напон, који ће дати струју чим се коло затвори.

3. Индукција помоћу магнета

На сл. 78 видимо само једно (секундарно) коло, а у његовој близини сталан магнет NS . Коло се налази у магнетном пољу. Док је магнет у миру, галванометар не показује никакве знаке струје. Међутим, чим покренемо магнет приближујући га калему или удаљујући га од њега, галванометар показује скретање. У калему се ствара индуквана струја. На овај начин потврђује се још једном правило да није довољно да се затворено коло само налази у магнетном пољу, па да се у њему ствара индуквана струја, већ је неопходно потребно да магнетно поље буде променљиво. Ако крећемо калем у место магнета, добићемо исти резултат.

4. Један практичан пример индукције



Сл. 78. Индукција помоћу магнета.

Услед тога, око телеграфског спроводника стварају се магнетне линије сила у виду кругова. Ове линије сила дају магнетско поље променљиве јачине које пролази између жица телефонског

Сл. 79 показује једну телеграфску линију A и једну телефонску линију B , које иду великом дужином паралелно а налазе се једна близу друге на истим стубовима. Оваква телеграфска линија индукује струју у телефонском ланцу и тиме смета говору на телефонској линији. Ову непријатну и штетну појаву често смо пута сами осетили на споредним и рђаво конструисаним заједничким телеграфско-телефонским линијама, када се на телеграфској линији ради. Испрекидана струја, која претставља Морзеве знаке, иде у правцу стрелице.

Сл. 79 показује једну телеграфску линију A и једну телефонску линију B , које иду великом дужином паралелно а налазе се једна близу друге на истим стубовима. Оваква телеграфска линија индукује струју у телефонском ланцу и тиме смета говору на телефонској линији. Ову непријатну и штетну појаву често смо пута сами осетили на споредним и рђаво конструисаним заједничким телеграфско-телефонским линијама, када се на телеграфској линији ради. Испрекидана струја, која претставља Морзеве знаке, иде у правцу стрелице.

ланца. Сходно ономе што смо горе проучавали, услови за индуковање струје задовољени су, и заиста у телефонској линији појављују се тренутне индукване струје у једном смислу кад се телеграфски тастер притисне а у другом кад се он пусти.

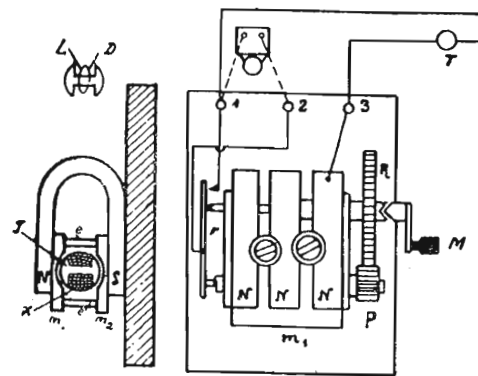


Сл. 79. Индукција телеграфске линије на телефонску.

Телефонски ланац налази се, дакле, у променљивом магнетском пољу за све време док телеграфска линија ради. За све то време ствара се у њему индуквана струја која, у виду удараца на телефонску мембрану у слушалици, смета добром чувењу саговорника. Ова је индукција утолико већа, уколико је телеграфска струја јача а кудање брже. Бржи телеграфски апарати од Морзевовог, као што је Хјузов и Бодов, који раде са јачом струјом, стварају много јачу индукцију.

5. Магнетни индуктор

То је мала машина за произвођење струје помоћу магнетне индукције, која је врло распрострањена у пракси. Нарочито је много употребљена у телефонији где служи за производњу позивне струје код централа и обичних телефонских апарата. Она се састоји из више магнета у виду потковице (сл. 80) између којих се окреће гвоздено језгро J . На језгру је намотана врло танка жица у врло великом броју навојака (на слици је означен само један навојак ради јасноће). Између полова ових магнета



Сл. 80. Магнетни индуктор.

налазе се гвоздене плочице m_1 и m_2 . Магнетне линије сила од

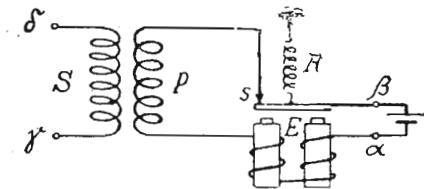
сталних магнета имају увек исти правац. Полазећи са северног пола N оне иду на јужни S преко плочица и језгра. При обртању овог језгра са намотајем LD , магнетне линије сила улазе у њега час са леве а час са десне стране, а њихов највећи број пролазиће кроз навојак онда кад његова оса стоји у правцу магнетних линија сила. Уколико се намотај нагиње лево или десно, опада број линија сила које секу његову површину. Кад намотај лежи у самом правцу линија сила, онда ни једна од њих не сече његову површину.

Код индуктора је магнетно поље стално и има сталан правац. Али, пошто се намотај обрће, број магнетних линија које га секу непрестано се мења и оне улазе час са једне стране намотаја а час са његове друге стране. Услед тога, у навојцима се ствара индукована струја, која при сваком полуобрту промени правац. Према томе, индукована струја, која постаје у намотају услед овог променљивог магнетног поља, у сваком целом окретају једаред, у првом полуобрту позитивна, а за време другог полуобрта негативна је. Добивена струја наизменично узима час један час други правац.

Напон ове индуковане струје у једном навојку мали је. Али, пошто је број навојака велики, а појединачне струје индуковане у сваком навојку сумирају се, то један магнетни индуктор може да произведе (како је у пракси употребљен) 50, 70, 140 или 220 волта, што зависи од јачине магнета, броја обрта кануре, и броја њених навојака. Интензитет, који могу да поднесу ове машине мали је.

6. Индукциони калем

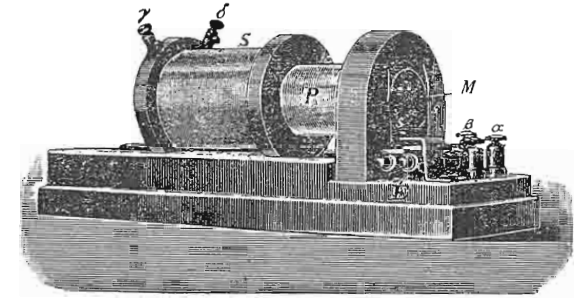
На принципу индукције помоћу индукционог калема (сл. 81 и 82) од једног слабог извора у примарном намотају може се



Сл. 81. Шема индукционог калема.

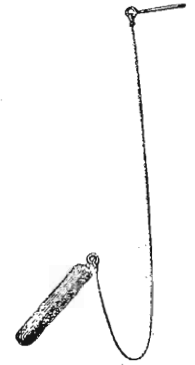
добити релативно висок напон у секундарном намотају. Код индукционог калема галванска батерија елемената везана је за његове спојнице α и β и даје струју која иде у електромагнете E , затим у примарни намотај калема P , одатле преко шилка s и опруге враћа се у батерију. Својим пролазом кроз електромагнете E струја их намагнеташе. Они привуку котву која на тај начин прекине коло, слично као

код електричног звонца. Тада струја престане да тече. Котва, вучена опругом, враћа се на своје место. Она на тај начин поново затвара коло. Струја почне поново да тече. Тада се цела процедура понови: дешава се ново привлачење котве, нов прекид електричног кола итд. При сваком отварању и затварању примарног кола, у секундарном намотају калема ствара се, као што знамо, индукована струја која при затварању има смисао супротан примарној, а при отварању исти смисао као и примарна.



Сл. 82. Индукциони калем.

Према томе, ако опруга, која вуче котву, врши 15 осцилација у секунди, онда ће и индукована струја у секундарном намотају петнаест пута у секунди имати наизменично час један час други смисао. Један потпуни циклус промена тј. један импулс струје у једном и један импулс у другом правцу, зове се један *период* наизменичне струје. У горњем случају имамо струју од *петнаест периода*. Овако произведене наизменичне струје помоћу индукционог калема употребљавају се често пута у медицини за *електризирање* и зову се *каткад* и *Фарадејевим струјама*. За медицинске сврхе за спојнице α и β привезу се ручице, од којих једну видимо на сл. 83. Ручице се узму у шаке, или се са једном додирује који део тела. Тада наизменична струја иде кроз човечје тело и потстиче извесне ћелије организма на живљи рад.

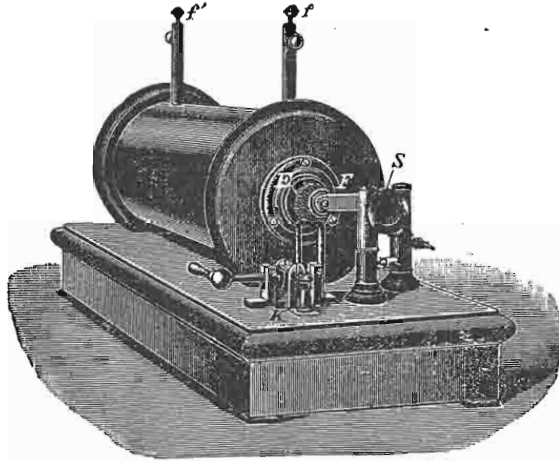


Сл. 83. Ручица индукционог калема за медицинске сврхе.

7. Румкорфов калем

Румкорфов калем, назван тако по имену свога проналазача немачког конструктора Румкорфа. Овај индукциони калем сличан

је калему на сл. 82., само што је много већих димензија. Сл. 84. показује спољни изглед Румкорфовог калема. Његов примарни намотај састоји се од извесног броја навојака од дебеле бакарне изоловане жице која је намотана око снопића танких гвоздених жица. Преко примарног намотаја, намотан је други, секундарни, од врло тавке жице и врло великог броја навојака. При сваком затварању и отварању примарне струје, у секундарном намотају ће се ства-



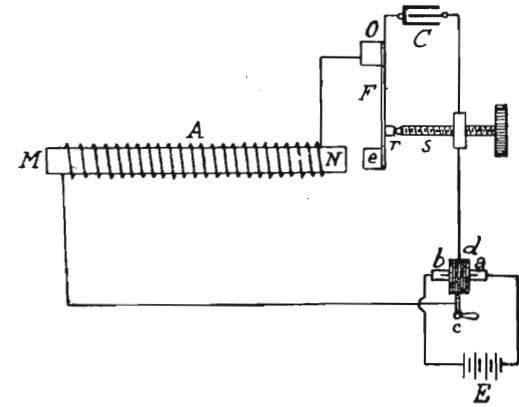
Сл. 84. Румкорфов калем.

рати индукована електромоторна сила, чији ће напон бити утолико виши уколико је већи број навојака жице у секундарном калему.

Са напонам од 10 до 20 волта у примарном намотају, са Румкорфовим калемом може се у секундару добити напон од 100000 волта, ако је број секундарних навојака велики и ако је велики број прекида струје у примару. Због овако велике разлике у напону између примара и секундара, мора се нарочита пажња обратити на изолацију намотаја, да се не би између једног и другог намотаја или између појединих навојака истог намотаја појавиле варнице, које би могле уништити изолацију и створити кратку везу. Крајеви секундарног намотаја везани су за f и f' .

На сл. 85 видимо шему примарног намотаја једног Румкорфовог калема. MN је споп танких гвоздених жица које сачињавају језгро око кога је намотан примарни намотај A . F је опруга учврш-

ћена за стубић O . У мирном положају опруга F тежи да се наслони на завртањ s који се може окретати. Тиме се може регулисати растојање између пола N и котве e . Примарна струја тече из батерије на спојнице a и b , одатле иде преко c и d (r и s су у додиру) у намотај A . Језгро MN намагнетеше се, пол N привуче гвоздени чекић e а са њим и опругу F . Тада r и s се раставе, струја се прекине, MN се размагнетеше, F се враћа у свој миран положај, али тиме састави r са s и коло је наново затворено. Циклус привлачења и одбијања гвоздене котве наставља се. Из-



Сл. 85. Шема примарног кола Румкорфовог калема.

међу O и S укопчан је кондензатор C , чија је улога да гаси варнице које би се појављивале између r и s у моменту прекидања. Додније ћемо видети да ове варнице настају у самом примарном колу при прекидању примарне струје од индуковане струје једног навојака примарног калема на друге навојке. То је тзв. *струја самоиндукције*.

Као што је речено, индуковани напон у секундарном намотају утолико је већи уколико је већи број његових навојака јер се у сваком навојку секундара ствара појединачна *индукована електромоторна сила*. Кад се све ове појединачне електромоторне силе саберу у једну дају као резултат заједничку електромоторну силу секундарног намотаја велику неколико десетина хиљада волта. Индукована електромоторна сила је сразмерна и брзини прекидања примарне струје.

Једкосмислена струја од 10 до 20 волта може се, дакле,

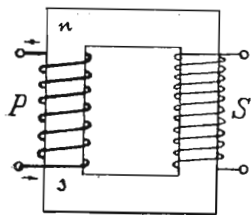
помоћу индукционог калема претворити у индуквану (наизменичну) струју од неколико десетина хиљада волта. Према томе, индукциони калем можемо назвати и *трансформатором* једносмислене струје, премда је у пракси то име дато искључиво претварачима напона наизменичних струја. За величину претварања напона помоћу трансформатора важно је правило да је *напон у секундару онолико пута већи колико је пута већи број навојака секундарног намотаја према броју навојака примарног намотаја*.

Растојање између спојница f и f' полова секундарног намотаја (сл. 84) мора бити велико, јер се иначе између њих може појавити варница услед високих напона. За сваки напон постоји у сваком диелектрику извесно критично растојање испод кога скаче варница. И обрнуто, према дужини тога растојања на коме се напр. у ваздуху појављује варница, може се одредити колики је напон секундарног калема. Из следеће табеле види се да у ваздуху дужини варнице у *ст* одговара следећи напон у секундару, изражен у хиљадама волта:

дужина варнице у сантиметрима	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
напон у секундару у хиљадама волта	9	18	26	35	42	50	59	68	76	86

8. Трансформатори

Највећу примену нашли су трансформатори код наизменичне струје и то за пренос електричне енергије на даљину. Један овакав трансформатор састоји се из гвозденог језгра као на сл. 86, које



Сл. 86. Трансформатор наизменичне струје.

може бити округло, правоугаоно или каквог другог пресека, и из два намотаја P и S који су одвојени као на слици, или иду један преко другог као код Румкорфовог калема. Ови трансформатори немају ни један покретни део, зато се зову још и *статички* трансформатори. Осим за повећавање напона код наизменичних струја, они се употребљавају исто тако и за снижавање напона, кад се, обрнуто, примарна струја пропусти кроз секундар.

Наизменична струја, као што смо рекли, има ту особину да за једну секунду промени више пута свој смисао. Код струје за осветљење број промена — периода — у секунди обично је 50,

што значи, за једну секунду ова струја иде 50 пута у једном смислу а 50 пута у супротном. Замислимо тренутак у коме струја од 50 периода која тече кроз примарни намотај P , има смисао означен стрелицом U том моменту намотај ће на једном крају стварати магнетни пол n а на другом пол s . После кратког времена примарна струја промени смисао. Исто тако се промени смисао и магнетских линија. На тај начин магнетно поље овакве наизменичне струје промениће 50 пута у секунди свој смисао, услед чега ће се у секундарном колу S развити индуквана електромоторна сила од 50 периода. Ако секундарни намотај има десет пута већи број навојака по примарни, онда ће напон у секундарном намотају бити десет пута виши. Иако се помоћу трансформатора повећава напон наизменичне струје, њена снага се (теориски) не мења, јер колико се пута повећа напон, толико се пута смањи јачина струје, те ефекат $E \times J$ остаје исти. У пракси се при трансформисању наизменичне струје један део енергије губи на загревање језгра, на отпоре и друго.

Повишавање напона помоћу трансформатора у редовној је примени код сваког преноса електричне енергије на већа растојања. Овај се пренос у принципу врши овако. Узмимо једну електричну централу која за произвођење електричне струје користи водени пад или рудник угља који је рецимо 30 км далеко од места које троши струју. Машине у центрالي производе струју чији напон U износи 2 000 волта, а интензитет $J = 300$ ампера. Снага ове централе износи $U \times J = 2\,000 \times 300 = 600\,000$ вата или 600 килвата. Ову снагу од 600 кв ваља пренети помоћу електричних спроводника на даљину од 30 км. Ти спроводници морали би имати довољан пресек да издрже 300 ампера струје а да се много не угреју нити да у њима наступи сувише велики пад напона који је као што знамо раван производу из отпора спроводника и јачине струје. Ако се, рецимо, не сме дозволити већа густина струје од 3 ампера на квадратни милиметар пресека, онда би само из овог разлога пресек спроводника требао да буде 100 mm^2 . Чак и код овако великог пресека, при чему би и количина бакра уложеног у жицу била несразмерно велика, код интензитета од 300 ампера створили би се и неподношљиви губици енергије на загревању и паду напона. Ако међутим, помоћу трансформатора подигнемо напон струје од 2 000 волта на 6 000 волта, онда ће, при истој енергији централе, јачина струје, коју треба пренети, пасти на 10 ампера. За овај нови интензитет од свега 10 ампера, спроводници ће требати да имају много мањи пресек, а не 100 mm^2 . Исто

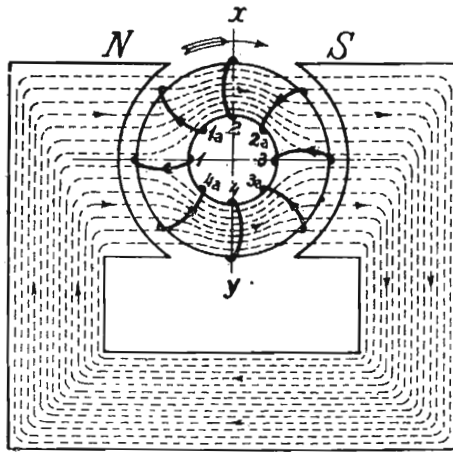
тако ће се знатно смањити и губици у линији на загревање и на пад напона те неће износити укупно ни 10%.

Али, кад се оваква струја великог напона од 60 000 волта пренесе у место потрошње, она се претходно мора пропустити кроз други трансформатор, и то кроз његов примарни намотај који сада има велики број навојака. Секундарни калем овог трансформатора има у овом случају врло мали број навојака тако, да овај намотај на својим половима снижава напон од 60 000 на свега, рецимо, 220 волта.

Трансформатори служе, дакле, поглавито за пренос електричне енергије и то на тај начин, што при поласку повисе напон смањујући у истој размери интензитет. При доласку струје у место потрошње, други трансформатори примају висок напон и слаб интензитет и претварају их у низак напон и јак интензитет.

9. Динамомашине

Видели смо да се помоћу индукције могу за дуже време добјавити само наизменичне тзв. *алтернативне* струје, претварајући механичку енергију у електричну и то на тај начин, што се један намотај изоловане проводне жице обрће у магнетном пољу,



Сл. 87. Индукција у навојцима који се крећу у магнетном пољу.

Динамомашина састоји се из једног магнета NS (сл. 87) који између својих полова ствара јако магнетно поље стално по правцу

има могућности да се из оваквих машина, које у суштини у једном навојку стварају само наизменичну струју, добије једносмислена струја на тај начин, што се наизменична струја, помоћу нарочитог исправљача на самој машини, упућује увек истим правцем. Овакве машине зову се *динамомашине*, а исправљач на њима зове се *комутатор* или *колектор*.

и јачини, у коме се окреће један прстен или шупљи ваљак од меког гвожђа у смислу који означаје стрелица. Око прстена или ваљка намотана је изолована жица. На сл. 87 показан је један навојак овог намотаја у разним положајима. Магнетне линије, које излазе из пола N , кад дођу до гвозденог прстена, уђу у њега. Из прстена иду у пол S а одатле се враћају на пол N кроз унутрашњост магнета. Због великог отпора, који претставља ваздух за магнетизам, готово све магнетне линије иду кроз гвоздени прстен.

Посматрајмо у сл. 87 овај навојак у положају 1, 2, 3 и 4. У положају 1 његова раван паралелна је са правцем магнетних линија и ниједна магнетна линија не пролази кроз њега. Уколико се навојак креће напред, расте и број линија сила које пролазе кроз његову раван. У положају 2 кроз раван проводника пролази максимални број магнетних линија. Идући даље ка положају 3, број линија сила које проводник обухвата, опада све више, док најзад у положају 3 не буде као и у положају 1 без иједне линије која би пролазила кроз његову раван. Идући ка положају 4 број линија поново расте. У самом положају 4 он понова достигне максимум, па опет опада, док у положају 1 број магнетних линија не буде понова раван 0 итд.

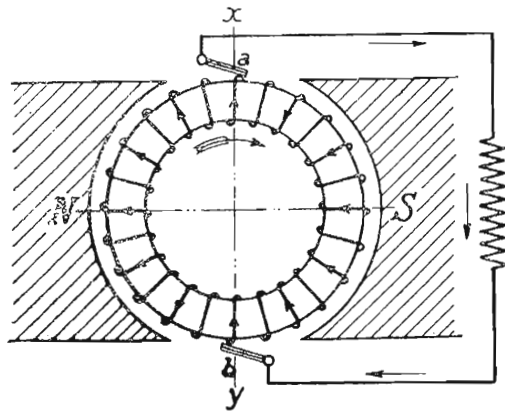
Пошто се, услед окретања проводника, број магнетних линија које га секу непрестано мења — расте и опада — то ће се у њему стварати индукована електромоторна сила, која ће дати индуковану струју. Смисао струје у сваком тренутку можемо одредити помоћу Ленцовог закона. Између положаја 1 и положаја 2 магнетно поље релативно расте. Индукована струја имаће такав смисао да ће се њено магнетно поље противити тому рашћењу магнетног поља које врши индукцију, тј. оно ће тежити да га смањи, имаће супротан смисао.

Дакле, струја која га ствара имаће правац означен стрелицом.

Између положаја 2 и положаја 3 опада број магнетних линија. Струја, која се индукује, имаће правац означен стрелицом тако, да ће њене магнетне линије појачати индукујуће магнетне линије итд.

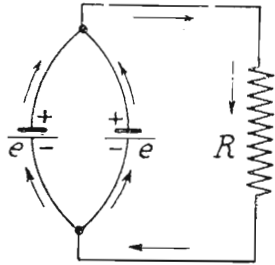
Проводници, дакле, док су у зони северног пола, дају и струју једнога смисла, а кад пређу у зону јужног пола, тј. десно од симетралне линије xy , дају струју супротног смисла. Према томе, кад су на линији xy , кроз њих не тече никаква струја. У том положају нема у навојцима никакве електромоторне силе. Зато се линија xy зове *неутрална линија* или *неутрална зона*.

Ако место једног навојка посматрамо цео намотај (сл. 88), видимо да и лева половина под полом N као и десна половина дају



Сл. 88. Принцип динамомашине.

спољно коло, струје ће се из леве и из десне половине намотаја састати у четкици a , одатле ће, тако рећи, извирати ићи у спољно коло, па у четкицу b , где ће се делити и ићи у леву и десну половину намотаја.



Сл. 89. Половине индукта једносмислене машине као извори струје

динамомашине назива *индукт*, ствара путем индукције наизменична струја, у спољном колу добија се једносмислена струја.

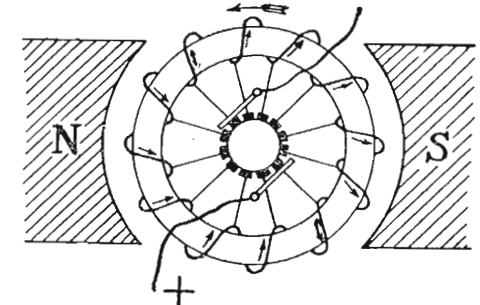
Код првих динамомашина у почетку стварања електротехнике, четкице су стварно клизиле по проводницима. Али, убрзо за тим, дошле су машине где су проводници, као на сл. 90 били спојени

струју која иде одоздо на више. Обе половине, обе ове струје, тако рећи, састају се у тачкама a и b , које се налазе на неутралној линији.

Ако замислимо да се у тачкама a и b поставе две металне или угљене четкице, које би проводно додиривале разголићене проводнике, па те четкице вежемо за

са бакарним плочицама (ламелама), које су биле изоловане једна од друге и цилиндрично поређане на једном крају осовине динамомашине. Ове су такође и од осовине изоловане. Четкице клизе по овом бакарном цилиндру кога сачињавају ламеле, уместо да клизе по проводницима. Овај цилиндар назван је *колектор* (скупиљач) или *комутатор*.

Сл. 91 показује шему индукта и колектора једне динамомашине код које није спојен само један навојак за једну ламелу већ више њих, чitava канура. Уствари, тако и бива. Навојака има много, више но што може стати ламела на колектору, те се увек спаја чitava једна канура навојака за једну ламелу,



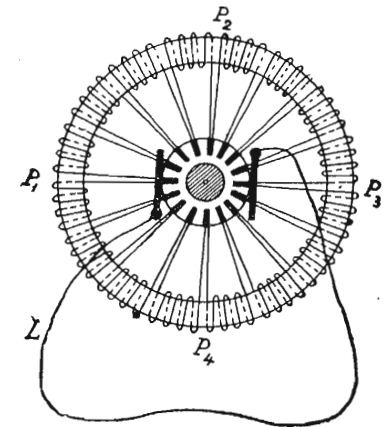
Сл. 90. Принцип колектора.

Сл. 92 показује шему индукта једне машине. Овај индукт није у облику прстена, већ *цилиндричан*.

Према ономе, што смо до сада видели, машина за произвођење једносмислене струје има три битна дела: *индуктор*, који ствара магнетно поље, *индукт*, у коме се ствара индукована струја, и *колектор*, који скупља струју из индукта и предаје је четкицама за спољно коло.

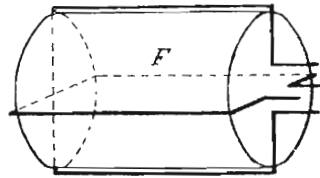
Изглед стварне динамомашине видимо на сл. 93. Њен индуктор има четири пола, а по колектору клизе четири реда четкица. Природно да је ово само један модел динамомашине.

Машину за једносмислену струју, динамо или мотор, лако је познати на први поглед, баш по колектору, јер машине за



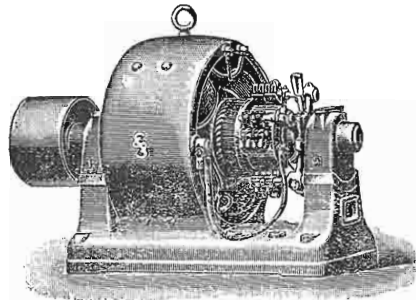
Сл. 91. Индукт и колектор динамомашине.

наизменичну струју — алтернатори — немају ребрастог колектора.



Сл. 92. Цилиндрични индукт динамомашине.

њих узима се са самог колектора динамомашине. Интересантан



Сл. 93 Спољни изглед динамомашине.

јача магнетизма индукује слаба електрична струја. Ова струја тече кроз намотаје електромагнета па појачава његов магнетизам. Услед појачаног магнетизма индукује се у индукту још јача струја. Она, пролазећи кроз намотаје електромагнета, још више појача магнетизам. То тако иде све дотле док се не добије најјаче могуће магнетно поље а услед њега и најјача могућа индукована струја. Овај начин стварања струје у динамомашинама зове се *динамо-принцип*, и на њему почива рад готово свају модерних динамомашина.

Да напоменемо да се произведена струја може цела проводити око електромагнета па онда ићи у спољно коло на употребу. Такве машине зову се *сериске* (са везом у *серији*). Уместо тога може се само једна деривација (отока) струје (један део главне струје) водити у електромагнете. Машина се тада зове *оточна*. Могуће је употребити оба начина заједно код исте машине. Она се тада зове *компунд-машина*.

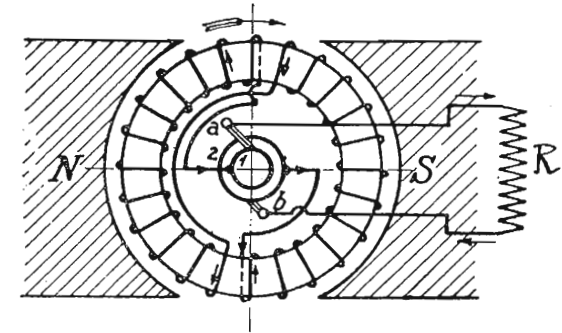
И ако су заиста у прво време стални магнети служили као индуктор у динамомашинама, данас је то само изузетан случај (напр. код мале магнетне машине у телефонима за стварање позивне струје). Сада су свуда употребљени снажни електромагнети за ту сврху. Електрична струја за

је начин како оваква динамомашина почиње да ради, пошто језгра њених електромагнета нису од челика нити су стални магнети. Процес је следећи: У меканом гвожђу електромагнета увек има нешто мало заосталог — *реманентног* — магнетизма. Кад се индукт динамомашине почне да окреће, у њему се помоћу овог сла-

10. Машине ва наизменичну струју (алтернатори)

У претходном тексту видели смо да лева и десна половина намотаја стварају електромоторне силе приликом обртања. Те су силе једнаке по величини а супротног су смисла.

Ако изоставимо колектор и четкице, онда се добија тзв. *алтернатор* — генератор за наизменичну струју. У том случају обе половине намотаја везујемо на ред (сл. 94) тако, да се све



Сл. 94. Добијање наизменичне струје.

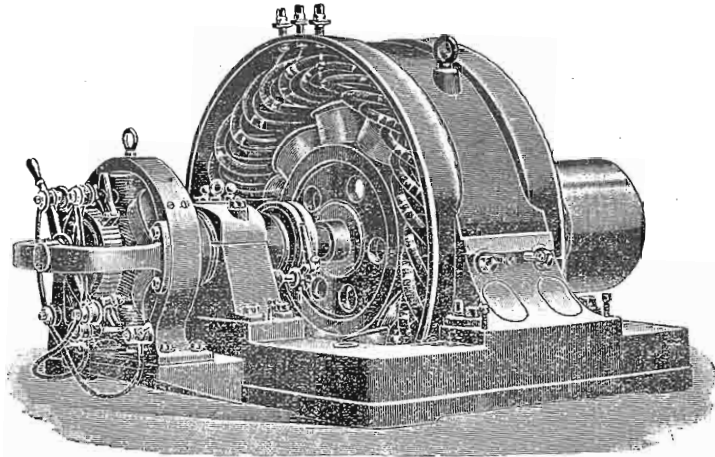
електромоторне силе сабирају. Два слободна краја целокупног намотаја везујемо за металне прстене 1 и 2 који су изоловани један од другог и од осовине. По овим прстеновима клизе четкице *a* и *b*. За њих је везано спољно електрично коло *R*.

Струја из овакве машине наизменична је. У моменту обртања који претставља сл. 94 струја излази из половине намотаја који се налази под полом *N*. После пола обрта индукта, под пол *N* ће доћи друга половина намотаја чији је слободан крај везан за прстен 2 и четкицу *b*. Струја ће сада излазити из четкице *b* итд. Дакле при сваком пуном обрту машине, свака четкица ће бити једанпут позитиван и једанпут негативан електрични пол машине, те ће и струја у спољном колу променити свој ток у два смисла онолико пута колико обрта начини машина.

Из предњег излази да генератор наизменичне струје има два битна органа: *индуктор*, који ствара магнетно поље и *индукт*, у коме се ствара индукована струја. Осим тога ове машине имају пуне прстенове са четкицама за одвођење индуковане струје.

Код индустријских машина индуктор је састављен од више електромагнета. Једносмислена струја за електромагнете узима се из посебног извора, јер је наизменична машина не даје. Услед

тога код сваког алтернатора постоји на истој осовини и мала динамомашина као извор једносмислене струје потребне за стварање магнетног индукторског поља. Таква машина зове се *екситатриса*. Она екситује — побуђује — на рад наизменичну машину.



Сл. 95. Спољни изглед генератора наизменичне струје.

Сл. 95 показује један генератор наизменичне струје који на својој осовини с леве стране носи динамомашину са шест полова. Она служи као екситатриса.

И наизменични генератор, као што се види на сл. 95, такође има већи број индукторских полова. Уместо да се индукт окреће, овде се индуктор налази утврђен на осовини и окреће се, а индукт стоји мирно. Магнетно поље, које обртни полови стварају, има сталну јачину. Али, пошто испод сваког проводника индукта пролази час северни час јужни пол, магнетни утицај је променљив те настапа индукција. Код наизменичних машина најчешћи је случај да се индуктор окреће а да индукт мирује, особито код већих. Међутим у принципу је свеједно, само је из практичних, конструктивних разлога овако погодније.

11. Телефон

И телефон је направа која почива на принципу магнетне индукције. Ево његове конструкције и начина функционисања (сл. 96).

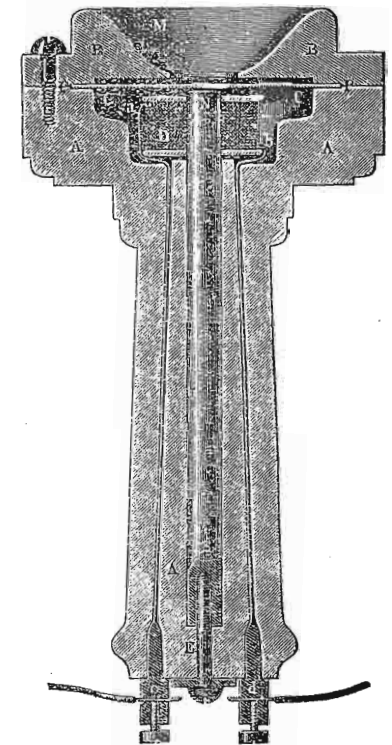
Око полова N и N_1 два јака стална магнета намотана је

врло танка изолована бакарна жица. Намотаји су међу собом спојени *линијом* и чине затворено коло.



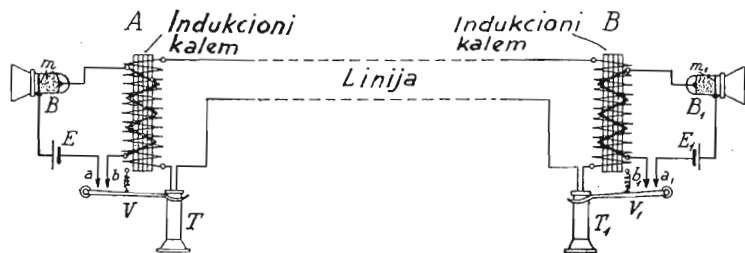
Сл. 96. Начин функционисања телефона.

Испред полова N и N_1 налазе се мембране s и s' од меког гвожђа. Кад се говори пред мембраном s' , звучна треперења ваздуха преносе се на њу те се она приближује полу или удаљује од њега. Услед тог променљивог растојања између гроздене мембране и пола мења се јачина магнетног поља, па се у намотају магнета N_1 ствара индуктована струја која иде кроз линију и пролази кроз намотај магнета N . Поље овог другог магнета бива услед долазеће струје појачано или ослабљено те магнет N привлачи јаче или слабије своју мембрану. Ова мембрана s *пријемног* телефона прави иста треперења као и мембрана s' *предајног* телефона и на тај начин репродукује тоне који су прву мембрану s ставили у покрет. Овакав магнетни телефон служи и за давање и за примање. Њега је пронашао Американац Грахам Бел 1876 године. Помоћу магнетног телефона може се директно



Сл. 97. Пресек Беловог телефона.

саобраћати само на малим даљинама. Изглед Беловог телефона види се у пресеку на сл. 97. Широки практични значај добио је телефон тек кад је пронађен и тзв. *микрофон*. Шему микрофона видимо на сл. 98. Он је састављен од ситних угљених зрнаца,



Сл. 98. Шема телефонске везе.

смештених у кутији *B*, чије је дно метално и спојено жицом која иде у примар једног индукционог калема. Предњи део ове кутије затвара мембрана *m*.

Ова мембрана је проводно везана за један пол галванског елемента *E*. Други пол тог елемента везан је жицом за контактни шиљак *a*. Шиљак *b* везан је за други крај примара индукционог калема. Док је слушалица *T* окачена о виљушку *V* микрофонско коло је отворено код шиљкова *a* и *b*. Услед тога никаква струја не тече кроз угљена зрнаца микрофона. Али кад се скине слушалица, виљушка се подигне и додирне шиљкове *a* и *b*. Струја из елемента *E* почне да тече кроз микрофонско коло које сачињавају: галвански елемент, шиљак *a*, виљушка, шиљак *b*, примар индукционог калема, микрофон.

Сам принцип микрофона је у овоме:

Кад се пред њим говори преноси се треперење ваздуха на његову мембрану *m*. Мембрана притискује више или мање угљена зрнаца те тиме ствара већи или мањи додир. Стварањем овог променљивог додира, мења се електрични отпор микрофона. Кад се отпор смањује, повећава се интензитет струје која пролази кроз микрофонско коло. Кад се отпор повећава, интензитет се смањује. Мењање интензитета микрофонске струје изазива промене магнетног поља у индукционог калему чији примар такођер улази у микрофонско коло. У секундару овог индукционог калема, који се састоји из танке жице и великог броја навојака, ствара се услед тога индуктована струја са оним истим променама јачине и треперења каква је микрофонска струја која њу изазива. Секун-

дарна струја иде овим путем: Секундар станице *A*, слушалица *T*, линија, слушалица *T1*, секундар станице *B*, линија, секундар станице *A*. Индуктована струја пролази кроз слушалице и покреће њихове мембране на треперење, као и код магнетног телефона. Оне, дакле, репродукују исте тонове који су изазвали треперење микрофона.

12. Радиотелеграфија и радиотелефонија

И бежична телеграфија и бежична телефонија имају за свој опстанак да захвале на првом месту електромагнетској индукцији.

Једна отправна бежична телеграфска или телефонска станица производи наизменичну струју високе учестаности (фреквенције) од 20000 до неколико милиона периода у секунди. Ова струја ствара у околини *антене* јако наизменично електромагнетно поље исте учестаности. То електромагнетно поље шири се на све стране исто онако као што се на мирној воденој површини шире таласи, кад у воду удари неки предмет, или када се на једном месту водене површине предмет гњура и извлачи у равномерним размацима времена. Када променљиве линије оваквог електромагнетног поља, које су произашле из отправне станице, у своје распрострањавају на све стране нађу на антену пријемне станице, оне изазову у њој индуктовану струју исте учестаности као што је она коју производи предајна станица. Посебним апаратима ми смо у стању ову струју да констатујемо у слушалици или звучнику у којима се репродукују тонови који су изазвали треперења микрофона у отправној станици, под претпоставком да је овај микрофон *утицао* на високофреквентну струју у отправној антени тј. да смо *емисију* помоћу микрофонске струје *модулирали*.

Грубо речено, отправна станица чини примарни намотај једног трансформатора а пријемна станица сачињава секундарни намотај истог трансформатора. Растојање између овог „примарног“ и „секундарног“ намотаја износи од неколико стотина метара до више хиљада километара.

О наизменичној струји високе учестаности и њеним примењима биће додније више говора.

13. Самоиндукција

Фарадеј је открио да променљива електрична струја, која протиче кроз један проводник, индукује другу електричну струју не само у суседним проводницима, који би се нашли у њеном про-

менљивом магнетном пољу, већ и у самом проводнику кроз који тече индукујућа струја.

При пуштању струје кроз неки проводник, њен интензитет расте постепено од нуле до највеће вредности коју може да постигне. И сам тај проводник налази се у магнетном пољу које расте, те се према томе и у њему ствара индукована струја чији је смисао супротан првобитној струји, тј. ова индукована струја противи се рашћењу струје која ју ствара.

При прекидању првобитне струје отварањем кључа, њен интензитет нагло пада од нормалне вредности на нулу. Услед тога наступају промене магнетног поља у супротном смислу које су брже но што је то било при успостављању струје, те је и индукована електромоторна сила при отварању кола већа но при затварању. Пошто је тада проводно коло отворено, ова електромоторна сила не може да се испразни кондуктивним путем, те на месту прекида кола скаче варница. Смисао кретања овако индуковане струје при прекиду кола исти је као и код првобитне (примарне) струје. Она, дакле, појачава примарну струју и спречава њено опадање.

Ова врста индукције названа је *самоиндукција* а струје индуковане у истом проводнику назване су *самоиндуковане* или *екстра-струје*. Екстра-струја је, као што смо видели, слабија при затварању кола а њено се дејство одузима од дејства првобитне струје. Тиме се успорава успостављање нормалног интензитета у струјном колу. При отварању кола екстра-струја је већа но при затварању. У овом случају она појачава првобитну струју. Често пута, код великих машина, ово је појачавање толико да претставља праву и разнолику опасност те се противу ње морају предузимати нарочите мере.

Ако се један проводник узме једаред у праволинијском облику а другипут у облику спирале, лако се да утврдити да ће у другом случају екстра-струје бити јаче но у првом. То значи да самоиндукција неког проводника зависи од његовог облика. Намотај са већом дужином, већом збијеношћу и већим пресеком навојака показује већу самоиндукцију. Каже се да такав намотај има већи *коэффицијент самоиндукције* (обележава се обично са L). Јединица за мерење коэффицијента самоиндукције зове се *хенри*, по имену америчког физичара Јозефа Хенрија.

У сваком проводнику, дакле, ствара се самоиндукована електромоторна сила кад год интензитет струје која пролази кроз њега промени своју вредност било на ниже било на више при прекидању и пуштању струје, или кад су те промене периодичне по природи

нарочитих електричних струја као што је то случај код наизменичних струја.

Код једносмислене струје промене интензитета нису честе, те се и дејство самоиндукције не осећа код проводника који ову струју носе, осим приликом успостављања и прекидања. Чак и у том случају, кад се прекидање и успостављање изводи постепено, дејство самоиндукције је неосетво.

Код наизменичне струје ствар стоји сасвим другојачије. Ако кроз неки проводник тече наизменична струја сталне средње вредности, ипак она уствари сваког момента мења свој интензитет. За време сваког периода она дође два пута до максималне вредности (једанпут позитивне а другипут негативне) и два пута до 0. Услед тога, дејство самоиндукције на ток наизменичне струје велико је. Оно је утолико веће, уколико је већа њена учестаност.

Самоиндукована електромоторна сила е једнака је производу из коэффицијента L и брзине промене интензитета $\frac{J_0 - J_1}{t}$ где J_0 означава интензитет струје у почетку, J_1 интензитет на крају промене, а t дужину трајања промене, изражену у секундама.

$$e = L \cdot \frac{J_0 - J_1}{t}$$

Код дугачких намотаја коэффицијент L израчунава се у хенрима помоћу формуле:

$$L = \frac{4\pi n^2 q}{10^9 l}$$

Овде означава:

n — број свих навојака на намотају,

q — средња пресек навојака (ако сви навојци немају исту величину пресека), управан на осу, изражен у cm^2 ,

l — дужину намотаја у cm ,

$\pi = 3,14 \dots$

$10^9 = 1\ 000\ 000\ 000$

Примери:

а) Колики је коэффицијент самоиндукције L једног калема од 40 cm дужине који има 2745 навојака а чији је средњи пречник пресека 2 cm ?

Пошто је $n = 2745$, $l = 40$, а $q = \frac{\pi \times 2^2}{4} = 3,14$, то коэффицијент самоиндукције износи:

$$L = \frac{4\pi n^2 q}{10^9 l} = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 2745 \cdot 2745 \cdot 3,14}{1\ 000\ 000\ 000 \cdot 40} = 0,0075 \text{ хенри.}$$

b) *Колико навојака треба ставити у калем од 50 ст дужине и 10 ст средњег пречника да би његов коефицијент самоиндукције био 1 хенри?*

Из формуле $L = \frac{4\pi n^2 q}{10^9 \cdot l}$ треба наћи n па заменити поједине величине. Стога је:

$$n^2 = \frac{10^9 \cdot L \cdot l}{4\pi q} = \frac{1\,000\,000\,000 \cdot 1 \cdot 50 \cdot 4}{4 \cdot 3,14 \cdot 3,14 \cdot 10 \cdot 10} = 50\,000\,000$$

$$n = 7071 \text{ навојака}$$

Један калем, намотан проводником тако да има велику самоиндукцију, очевидно претставља много већу сметњу проласку променљиве струје него ли што би та сметња произилазила од самог отпора намотаног проводника. Јер, као што смо видели, у оваком калему јака екстра-струја омета и рашћење и опадање примарне струје. У техници електрицитета овакви су калемови често пута употребљени за спречавање проласка променљивих, нарочито наизменичних струја. Они „гуше“ овакве струје и зато се називају *пригушни калемови*. Такви калемови начињени су од намотаја са врло малим омским отпором а садрже језгро од меког гвожђа. Услед тога њихов је коефицијент самоиндукције врло велики. Пригушни калемови се стављају као заштита појединих апарата од јаких наизменичних струја. Услед јаке самоиндукције они се

противе наглим променама, нарочито струје високе учестаности, те и њиховом пролазу.



Сл. 99. Бифиларни намотај.

Могуће је начивити и намотај без самоиндукције. Жица, од које треба начинити калем, најпре се пресавије на половину и подвостручи, па се онда увије као на сл. 99. На тај начин на сваком месту намотаја имамо по два проводника кроз које

тече струја исте јачине али у супротном смислу. Самоиндукцију једне овакве струје погире самоиндукција друге, те је овакав калем без самоиндукције. Овакво намотавање зове се *бифиларно* или *двожично*. Отпори у отпорној кутији, које смо видели на сл. 36, намотани су бифиларно.

СЕДМА ГЛАВА

Својства наизменичне струје

1. Разлика у особинама једносмислених и наизменичних струја

Проучавајући једносмислене струје, упознали смо се са њиховим особинама. Видели смо да једносмислена струја разлаже хемиска једињења на саставне делове; она загрева проводник кроз који пролази а може и да га усјаја да светли; на месту прекида може произвести Волтин лук; пролазећи кроз соленоид са гвозденим језгром прави га електромагнетом; понаша се по Омовом закону; не може да пролази кроз кондензатор; има физиолошка дејства уколико долази у питање загревање и хемиско разлагање; само при прекидању или мењању интензитета производи индукцију у суседним проводницима; добија се директно хемиским и термоелектричним путем; не може се директно статичким путем претврати у једносмислену струју другог напона врати у макакве друге струје итд.

Наизменична струја, посматрана у једном веома кратком делићу времена, у свему је исто што и једносмислена струја. Али, узета као временска појава, она добија неке сасвим нове карактеристике и особине које једносмислена струја нема, као што су: период; фреквенција; фаза; фактор снаге; индуктивна способност; пролаз кроз кондензаторе; могућност статичког трансформисања у струје сасвим другог напона и интензитета; комбиновање више струја у двофазну, трофазну, полифазну; појава резонанције; обртно магнетно поље; простирање без проводника и при отвореном колу у виду електромагнетних таласа итд.

Све ове особине проучаваћемо у наредном штиву. Овде да напоменемо још и то да наизменичне струје показују топлотно и светлосно дејство као и једносмислене, али да немају хемиског дејства а тако исто да им је магнетско дејство нешто различито од магнетског дејства једносмислених струја. Физиолошко дејство ових струја разликује се знатно од овог дејства једносмислених струја. Осим тога одликује се веома великом индуктивном моћи,

због чега се помоћу њих лако и економично преноси снага на даљину. Оне се добијају само путем индукције.

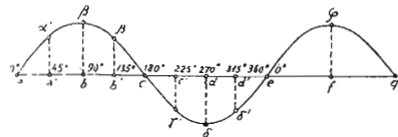
2. Монофазна наизменична струја

Као што знамо, галвански елементи, термоелементи и динамо-машине производе струју која у спољном колу има увек један исти смисао кретања; зато се таква струја назива *једносмислена*.

Међутим, јављувана струја непрестано мења свој смисао кретања. На сл. 94 видимо да струја у моменту који је претстављен излази из леве половине намотаја која се налази под полом N тј. излази из прстена 1 и преко четкице a иде у спољно коло па преко четкице b и прстена 2 враћа се у десну половину која лежи под полом S . Можемо, дакле, рећи да је у томе моменту четкица a (прстен 1) *позитиван*, а четкица b (прстен 2) *негативан* пол машине.

Замислимо да намотај учини једну половину обрта унапред. Половина везана за прстен 2 доћи ће под пол N , а половина везана за прстен 1 под пол S . Пошто су све друге околности остале исте, струја ће излазити из те половине и прстена 2 (четкица b) а улазити преко четкице a (прстен 1). У овом моменту четкица b *постала је позитиван а четкица а негативан пол машине*.

Дакле, при сваком обрту машине, свака четкица је наизменично позитиван и негативан пол машине, услед чега и струја у спољном колу наизменично мења свој смисао. Таква струја названа је *наизменична*. Због тога, што цео намотај сачињава један калем у коме струја има *један максимум и један минимум* јачине за један период, таква струја названа је *монофазна* наизменична



Сл. 100. Синусоидалне промене величине електромоторне силе.

струја за разлику од *полифазне* где је намотај састављен од више калемова. Сваки од ових намотаја код полифазних струја има свој посебан максимум и посебан минимум јачине или напона, који не пада у исто време са максимумом и минимумом јачине или напона у осталим намотајима.

Кад се проводник налази у положају 2 тј. на неутралној линији xy (сл. 87), онда у њему нема никакве струје односно никакве електромоторне силе. Уколико проводник иде даље и приближује се положају 3 , електромоторна сила расте, што се да утврдити мерењем. У положају 3 достиже она своју највећу (максималну)

вредност, после чега опада док у положају 4 не буде равна нули.

Идући од положаја 4 ка положају 2 електромоторна сила поново расте, само што сада има смисао супротан пређашњем. У положају 1 достиже она свој нови максимум; одатле онада, док у положају 2 не буде равна нули.

Ове промене величине електромоторне силе једнога проводника, као и целог намотаја, могу се графички претставити кривим линијама $\alpha' \beta \beta'$ и $\gamma' \delta \delta'$ како је то учињено на сл. 100. На хоризонталној правој линији ag означимо величину обртања, а величину електромоторне силе означимо линијама $a'a'$, $b\beta$, $b'\beta'$ итд., које стоје управно на ag .

У положају 2 , који узимамо за полазну тачку те је означајемо са 0° , електромоторна сила је нула. Кад се прстен окрене за 45° , електромоторна сила има извесну вредност коју претстављамо пртом $a'a'$; после обртања од 90° (положај 3) електромоторна сила има максималну вредност $b\beta$. После тога почиње ова вредност да опада и, кад се проводник помакне за 135° од првобитног положаја, вредност електромоторне силе је $b'\beta'$. После обртања од 180° електромоторна сила је понова равна нули. Ако тачке $a'a' \beta\beta' c$ спојимо, добијамо криву линију. Одавде електромоторна сила почиње понова да расте само што има смисао супротан од пређашњег, зато њене вредности убележавамо испод линије ag па као и напред добијемо линију $\gamma' \delta \delta' e$.

Време, потребно да се изврши један пун обртај навојака код двополне машине, је *један период* струје. Ако једна динамомашина са 2 пола прави 50 обрта у секунди (3000 обрта у минути), онда значи да један период траје $1/50$ део секунде. Струја, коју таква машина производи, промени 50 пута за секунду свој смисао тј. њен један пол је у секунди 50 пута позитиван и 50 пута негативан. За такву струју кажемо да има 50 *периода у секунди* или да је њена *учестаност (фреквенција)* 50 *херца*, пошто се *број периода у секунди назива херц*.

Разни положаји проводника, мерени од почетног положаја где је електромоторна сила равна нули, зову се још и *фазе* обртања. Напр. у фази 0° електромоторна сила је 0 , у фази 45° она је равна $a'a'$, у фази 90° достиже своју највећу вредност (максимум). У фази 135° има исту вредност као и у фази 45° , у фази 180° исту што и у фази 0° , у фази 270° исту што у фази 90° . У овим разним фазама електромоторна сила има исте вредности по величини, али оне су супротног смисла.

Линија $aa'\beta\beta's'\delta\delta'e$, која претставља варијације електромоторне силе, јесте потпуно правилна линија састављена из две подударне половине $a\beta c$ и $c\delta e$. Сем тога, свака половина је симетрична према симетралама $b\beta$ и $d\delta$. Таква линија назива се *синусоида*. То је идеална линија која означава природу промена обичне индуковане струје. При градњи машина тежи се да варијације електромоторне силе буду што приближније синусоидалној линији.

3. Ефективна вредност интензитета и напона наизменичне струје

Интензитет наизменичне струје сваког момента мења своју вредност. Исто тако и електромоторна сила. За практичну употребу не узимају се ове моментане вредности нити се пак прилаком рачунања или мерења употребљава ма која моментана вредност наизменичне струје, рецимо максимална или минимална (која је равна нули), *већ се узима просечна вредност*. Ова просечна вредност названа је *ефективна вредност*. Ефективна вредност интензитета *добива се кад се све узастопне вредности интензитета $a'a', b\beta, b'\beta', \dots$ подигну на квадрат, ови квадрати саберу а из тога збира извуче квадратни корен*.

Сама проста средња вредност узастопних интензитета, ако се оне не подижу на квадрат, равна је нули. Али, пошто наизменична струја загрева проводник и усваја коначан сијалице, те њено стварно дејство није равно нули већ је, као што се опитом може доказати, сразмерно средњој вредности суме квадрата узастопних интензитета, то се и средња вредност наизменичне струје рачуна из квадрата појединих интензитета.

Ефективни интензитет неке наизменичне струје једнак је са интензитетом оне једносмислене струје која је у стању да у истом проводнику произведе исто топлотно дејство за исто време.

Амперметри за мерење наизменичне струје показују *ефективну* вредност њеног интензитета. Као што смо већ рекли на стр. 90 и 96 као амперметри за наизменичну струју употребљени су *гальванометри* са загревним влакном и *електродинамометри* са слабим унутрашњим отпором.

Ефективна вредност интензитета обележава се са J_{eff} .

Све што је речено за вредност и мерење јачине наизменичне струје вреди и за њен напон.

Ефективна вредност напона или електромоторне силе такође је равна *средњој квадратној вредности* суме појединих узастопних вредности напона или електромоторне силе. Ефективна вредност

напона обележава се са U_{eff} , а ефективна вредност електромоторне силе са E_{eff} .

4. Привидан отпор (импеданца)

Кад се наизменична струја пропусти кроз један праволиниски или двожично намотани проводник, дакле, кроз проводнике чији је коефицијент самоиндукције такав да се може занемарити, онда ће интензитет J_{eff} у таквоме колу имати исту вредност као кад се пропушта једносмислена струја тј. вредност која се може израчунати и помоћу обрасца за Омов закон по коме је $J_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{eff}}}{R}$ где U_{eff} значи потенцијалну разлику извора у волтама, а R целокупни отпор спољног кола изражен у омима.

Али, ако овај исти праволиниски проводник увијемо у спиралу у коју уметнемо још и језгро од меког гвожђа, па га једанпут вежемо са извором једносмислене струје, а другипут са извором наизменичне струје, видећемо да ће интензитет једносмислене струје остати исти као и у случају кад је проводник био праволиниски, док ће интензитет наизменичне струје бити знатно слабији кад је проводник увијен у калем, као да је његов отпор порастао. Уствари, омски отпор, тј. стварни отпор проводне жице, исти је у оба случаја, пошто су дужина и пресек проводника остали исти, али је коефицијент самоиндукције, кад је проводник намотан на калем, постао врло велики услед чега се појављују у њему јаке екстра-струје које се противе пролазу првобитне, главне струје. Услед тога интензитет главне струје знатно се смањује и добија се утисак као да је отпор проводника порастао. *Ово привидно повећање отпора спиралног проводника такође је утолико веће уколико је већа учестаност струје*. Овај привидан отпор (Z) или *импеданца* таквог проводника увек је већи него ли сам његов омски отпор. За израчунавање импеданце у омима имамо образац:

$$Z = \sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}$$

у коме значи:

R омски отпор у омима,

L коефицијент самоиндукције у хенрима, а

ω пулсацију, чија је вредност $2\pi f$, где f значи фреквенцију

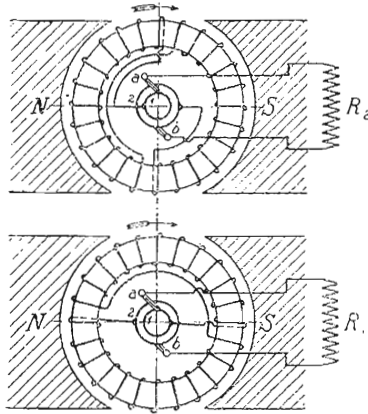
дотичне струје.

Пригушни калемови, о којима смо говорили, често пута претстављају 1000 пута већи отпор за наизменичну струју него ли за

једносмислену због великог броја навојака и гвозденог језгра, тј. због великог коефицијента самоиндукције. Док једносмислена струја пролази без тешкоћа кроз овакав пригушни калем, дотле је наизменична заустављена и пригушена. Отуда се и овакав калем назива пригушни. Кад се код неког проводника или пријемника може занемарити коефицијент самоиндукције према омском отпору, каже се да такав проводник има чисто *омски* или *неиндуктивни* отпор. За оне проводнике или пријемнике, који имају самоиндукцију знатне величине, каже се да имају велики *индуктивни* отпор.

5. Разлика у фази

Замислимо да место једне машине, као напр. она на сл. 94, имамо две подједнаке машине на истој осовини, као што је то претстављено на сл. 101, с том разликом што је окретни индукт доње машине померен за $\frac{1}{4}$ круга испред индукта горње тако, да кад се код горње машине (бр. 2) једна половина намотаја налази под полом *N* а друга под полом *S*, код доње машине (бр. 1) налази се једна иста половина истовремено под оба пола индукторава. Ако индукте окрећемо, онда ће после $\frac{1}{4}$ обрта наступити обрнут случај. При даљем окретању машине ово ће се сукцесивно понављати.



Сл. 101. Два алтернатора која нису у фази.

С обзиром на то, да су ове две машине истоветне по саставу и да су на истој осовини, услед чега се окрећу и истом брзином, у њима ће се стварати индукована електромоторна сила исте величине и исте фреквенције.

Разлика ће бити само у томе, што максималне и минималне вредности интензитета неће падати у исто време код обе машине. Индукт доње машине иде за $\frac{1}{4}$ обрта испред индукта горње машине; према томе максимум и минимум доње машине дешаваће се за $\frac{1}{4}$ целог обрта, односно за једну четвртину целог периода, пре максимума и минимума горње машине. Ако струја има 50 периода у секунди, онда један период траје $\frac{1}{50}$ део секунде а једна

четвртина периода $\frac{1}{200}$ део секунде. Значи да ће максимум и минимум горње машине долазити за $\frac{1}{200}$ део секунде после максимума и минимума доње машине. У оваком случају каже се да *две машине нису у фази*, већ да машина бр. 2 (горња) заостаје за $\frac{1}{4}$ обрта или за 90° иза машине бр. 1 (доње) односно да међу њима постоји *разлика у фази за 90°* .

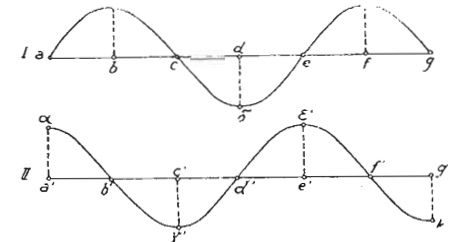
Ако графички претставимо електромоторне силе ових двеју машина или њихове интензитета добићемо сл. 102. Из ње се види да кривуља II заостаје за $\frac{1}{4}$ периода иза кривуље I, јер у моменту *b'* она пролази кроз 0 после негативног максимума, а линија I је прошла кроз 0 још у моменту *c* тј. за $\frac{1}{4}$ периода раније.

Да би одредили која кривуља претставља фазу унапред а која уназад, поступамо на следећи начин.

Треба узети за полазну тачку који било моменат, рецимо *cc'* (сл. 102). Моменти, претстављени десно од тога, протекли су утолико раније уколико су даље а моменти лево од *cc'* јесу они који долазе. У почетном моменту линија II претставља негативан максимум, а линија I је имала свој негативан максимум још у моменту који је протекло за $\frac{1}{4}$ периода раније итд. Према томе кривуља II претставља промене струје код машине бр. 2 која због механичке везе мора своје максимуме и минимуме имати са $\frac{1}{4}$ обрта после машине бр. 1. Кривуља I претставља аналогне промене код машине бр. 1.

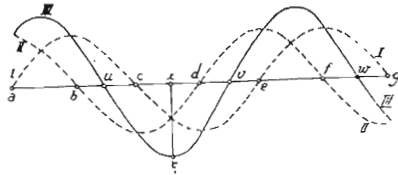
Сад да испитамо каква је резултанта двеју струја кад истовремено долазе у исту мрежу. Ако две машине једносмислене струје или две батерије акумulatorа шаљу истовремено струју у исту линију, па једна даје 50 а друга 30 ампера, онда ће у линији бити укупно 80 ампера ако су обе струје истога смисла (50+30), а 20 ампера ако су струје супротног смисла (50-30).

Ако у исту линију шаљу струју две наизменичне машине које су у фази тј. чији се минимум и максимум интензитета поклапају у времену и у смислу, онда ће резултујућа струја такође бити збир тих двеју компонентних струја као и у случају кад смо имали једносмислене струје. Али ако компонентне струје нису у фази, резултат ће бити другојачији, као што се то да јасно видети



Сл. 102. Графичко претстављање електромоторних сила (или интензитета) двају алтернатора који нису у фази.

из сл. 103. Тачкасте кривуље I и II претстављају струју појединих машина. Пуна линија III претставља збир двеју струја у сваком моменту. Види се да је максимум интензитета резултујуће струје, коју претставља кривуља III, мањи од збира максималног интензитета двеју компонентних струја.



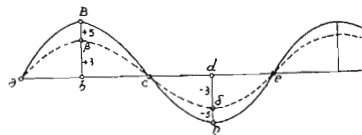
Сл. 103. Слагање наизменичних струја са различитом фазом.

Исто тако види се да је период резултујуће струје исти као и период компонентних струја (растојање између u и w је исто као и између a и e , или између b и f), док се фаза резултанте налази између фаза компонената. Максимална ордината линије III долази после максималне ординате линије I, а пре максимума линије II. Растојање између једног и другог максимума износи у овом случају $1/8$ периода или 45° , ако се изрази углом обртања покретног дела машине (1 период струје = 1 пун обрт индукта = 360°).

Из предњег разматрања следује овај закључак: *Кад две наизменичне струје истог периода а разних фаза шаљу истовремено струју у једну исту линију, онда резултујућа струја има исти период као и саставне струје, а по фази се разликује и од једне и од друге струје.*

6. Коефицијент (чиницац) снаге ($\cos \varphi$)

Кад наизменична електромоторна сила даје струју линији или потрошним апаратима који имају малу самоиндукцију (такав је случај кад линија напаја само свијалце са влакном или лучне лампе), онда интензитет струје постиже у линији своје максимуме и минимуме у истим моментима кад и њена електромоторна сила. За такав случај каже се да су електромоторна сила и интензитет у фази. Њихов ток може се графички претставити сликом 104.



Сл. 104. Кривуље напона и интензитета кад су они у фази.

Тачкаста кривуља показује кретање напона а пуна претставља интензитет.

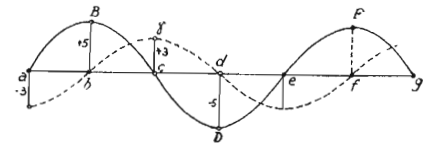
Али, ако извор наизменичне струје напаја линију односно потрошне апарате који имају велику самоиндукцију, као што је случај кад на ли-

нији има много асинхронних мотора и трансформатора који раде

без оптерећења или са врло slabим оптерећењем, онда, услед самоиндукције, интензитет не постиже исте своје периодичне промене у исто време кад и електромоторна сила већ увек са закашњењем. Струји, која долази из извора, додају се и одузимају екстра-струје. Међутим, као што нам је познато, екстра-струје не могу бити у фази са главном струјом, јер у моменту, кад је интензитет главне струје раван нули, интензитет екстра-струје највећи је.

Ако наизменични извор даје струју једном пригушном калему, дакле проводнику са врло slabим омским отпором а врло великом самоиндукцијом, онда интензитет у калему постиже свој максимум тек кад електромоторна сила буде равна нули и обрнуто. Ту је електромоторна сила и интензитет у квадратури тј. у фазној разлици од $1/4$ периода односно од 90° . Такав случај претстављен је графички на сл. 105.

Фазна разлика између интензитета струје и напона који је даје, врло је важна чињеница код наизменичне струје. Она утиче на енергију коју електрична струја даје и то утолико неповољније уколико је ова фазна разлика већа.



Сл. 105. Кривуље напона и интензитета кад су они у квадратури.

Снага P једне једносмислене машине, или каквог било електричног извора једносмислене струје, добија се у ватима, као што знамо, кад се напон извора у волтима помножи са интензитетом струје у амперима тј.

$$P = U \times J$$

Тако напр. један електромотор једносмислене струје, који је везан за мрежу од 220 V, ако троши 40 ампера струје, он ће из мреже црпи:

$$P = U \times J = 220 \times 40 = 8800 \text{ вата или } 8,8 \text{ киловата.}$$

Код наизменичне струје, чији је интензитет у фази са напонам, снага једног извора мења се сваког тренутка. Ако посматрамо сл. 104, видећемо да је у моменту a напон u раван нули а интензитет i исто тако. Према томе производ $u \times i$ раван је у том моменту нули. У моменту b напон је $u = 3V$, интензитет $i = 5A$. Њихов производ, тј. снага, биће $p = u \times i = 3 \times 5 = 15$ вата. У моменту c производ од интензитета и напона раван је такође нули, а у моменту d овај је производ опет 15 вата. Дакле, производ од напона и интензитета, ако није раван нули, увек је позитиван.

Стварна снага таквог једног наизменичног извора, изражена у ватима, једнака је производу од ефективног напона U_{eff} и ефективног интензитета J_{eff} , који се добијају мерењем. Дакле је:

$$P_{\text{eff}} = U_{\text{eff}} \times J_{\text{eff}}$$

Дејство, тј. снага оне наизменичне струје, чији је интензитет у фазној разлици од 90° са напонам, равно је нули. То се види из сл. 105. Заиста, очевидно је да је у тренутку a напон максималан а интензитет је раван нули; производ је такођер раван нули. У моменту b напон је раван нули, интензитет је максимум, те је производ опет раван нули. То је исто и код тачака c , d , e итд. Између момената a и b напон је негативан, интензитет је позитиван, њихов производ је негативан. Између тачака b и c и напон и интензитет су позитивни, производ је позитиван и једнак пређашњем негативном. Пошто су свуда позитивни делови једнаки негативнима, то је њихов збир раван нули, дакле и снага овакве струје равна је нули.

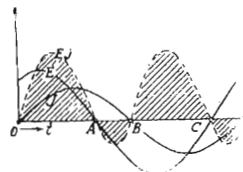
Струја, чија је фазна разлика између напона и интензитета једнака 90° , и која због тога не производи енергију (не производи вате), зове се *безватна струја*.

Потпуно безватну струју тешко је замислити, али при великој самоиндукцији фазна разлика између интензитета и напона приближује се четвртини периода тј. померању од 90° , те се добија скоро безватна струја. Ова фазна разлика, изражена као угао померања у степенима, обично се обележава са φ .

Кад је фазна разлика већа од 0° а мања од 90° , онда је и дејство такве струје веће од нуле а мање од производа $U_{\text{eff}} \times J_{\text{eff}}$.

На сл. 106 имамо случај где је фазна разлика мања од 90° а већа од 0° . Производ од $E \times J$ претставља за време једног периода две вредности позитивне између OA и BC и две мање, негативне између AB и CD . Снага за време једног периода умањена је количинама AB и CD . Да се добије дејство изражено у ватима треба производ $U_{\text{eff}} \times J_{\text{eff}}$ помножити још једним коефицијентом, мањим од јединице, који је назван *коефицијент* или *чинилац снаге*, и који зависи од фазне разлике између напона и интензитета. Он је једнак косинусу угла фазне разлике тј. косинусу угла фазног померања φ .

Сл. 106. Напон и интензитет су у фазној разлици већој од 0° а мањој од 90° .



Према томе, за израчунавање снаге наизменичне струје постоји образац који важи за све случајеве. Он гласи:

$$P_{\text{eff}} = U_{\text{eff}} \times J_{\text{eff}} \times \cos \varphi$$

Ако је $\varphi = 0^\circ$, онда је $\cos \varphi = 1$, те је снага $P_{\text{eff}} = U_{\text{eff}} \times J_{\text{eff}}$, а ако је $\varphi = 90^\circ$, онда је $\cos \varphi = 0$, те ће снага бити $P_{\text{eff}} = 0$.

Из напред изложенога види се да за мерење снаге наизменичне струје није довољно мерити ефективни напон и ефективни интензитет па их међусобно помножити, већ се мора узети у обзир и косинус фазног померања. Стога се мора тражити средство да се непосредно мери снага наизменичних струја али тако да то средство, водећи рачуна о напону и о интензитету, узме у обзир и њихову фазну разлику.

Ватметар је, као што смо већ видели на стр. 97, такав један апарат за непосредно мерење снаге. То је уствари нарочити електродинамометар. Он има, као што знамо, два намотаја. Један је од дебеле жице или од плоснатих широких проводника. Он је утврђен и кроз њега пролази целокупна струја која се мери. Други намотај је састављен од врло танке жице и има велики отпор. Он се везује оточно за жице које доводе струју. Интензитет, који пролази кроз овај танак намотај, зависи од напона струје. При пролазу струје кроз оба намотаја, покретни део скрене сразмерно снази струје. Са њиме скреће и казаљка коју он носи и која на обележеној скали показује снагу у ватима. Ватметри су тако удешени да је њихово скретање пропорционално производу из интензитета струје која тече кроз дебео намотај, интензитета струје која протиче кроз танак намотај (тј. напона између доводних проводника) и чиниоца снаге. Пошто танак намотај има сразмерно велики коефицијент самоиндукције (велики број навојака), то се са њим ставља на ред један велики предотпор, који чини да се не осећа дејство самоиндукције танког намотаја.

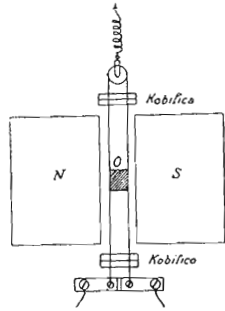
Ако при мерењу снаге уз ватметар ставимо амперметар на ред са дебелим намотајем а волтметар паралелно са танким намотајем, онда можемо непосредно читати и снагу P_{eff} и напон U_{eff} и интензитет J_{eff} . Из ових величина лако можемо израчунати коефицијент снаге $\cos \varphi$. Он је:

$$\cos \varphi = \frac{P_{\text{eff}}}{U_{\text{eff}} \times J_{\text{eff}}}$$

7. Осцилограф

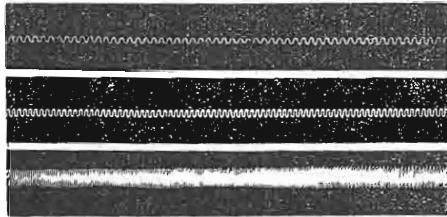
То је апарат помоћу кога се могу фотографским путем снимати кривуље интензитета наизменичних струја и графички утврдити да ли варијације напона и интензитета наизменичне струје имају прост облик синусоида или који други сложенији облик.

Принцип осцилографа види се на сл. 107. Између полова једног јаког магнета NS налази се затегнута врло танка двострука жица која је својим крајевима доле учвршћена за две спојнице, а горе прелази преко једног слободног котура, обешеног о нарочиту опругу. Изнад спојница и испод котура налазе се кобилице преко којих иде жица. Ова жица је врло танка, једва ако износи стоти део милиметра. На жицама је учвршћено огледало чија је површина мања од једног квадратног милиметра. Жице и огледало скупа теже мање од пола милиграма. Жице се налазе у цеви која се помоћу завртања може хоризонтално и вертикално регулисати.



Сл. 107. Скица осцилографа.

Кроз жицу се пропусти наизменична струја која се жели испитати, или само један њен део. Под утицајем струје жице ће тежити у сваком моменту да скрену и да њихова равна буде управна на правац магнетних линија (кад десна жица тежи да иде натраг, лева тежи напред и обнуто). Због врло мале инерције овог покретног система, он следује дејству које наступа од свију тренутних промена струје а са њим и огледалце као његов саставни део. На ово огледалце удара



Сл. 108. Осцилограми телефонске струје.

Он мора да има јак светлосни извор, добаш за смештање филма, мотор за његово обртање и друге помоћне направе.

Сл. 108 показује три осцилографска снимка или три *осцилограма* наизменичне телефонске струје и то: снимак, који претставља синусоидалну струју од 200 периода у секунди, снимак синусоидалне струје од 300 периода у секунди и снимак несинусоидалне струје од 1000 периода у секунди.

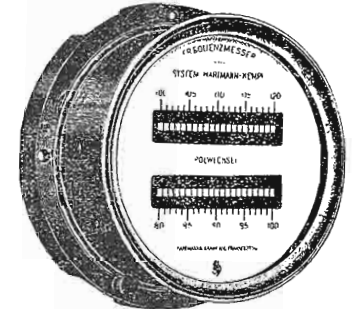
8: Мерење учестаности

Број периода наизменичне струје, коју производи једна машина, зависи од броја обртаја машине и од броја полова њеног индуктора. Видели смо да код једне двополне машине (са једним паром полова) један период траје колико и један обрт индуктора тј. онолико колико је потребно да један проводник, који се налази под полом N , прође цео пут од 360° и врати се на место поласка. На овом путу он прође кроз све промене магнетног поља, што се при даљем обртању периодично понавља. *Код двополних машина број периода једнак је броју обрта машине.*

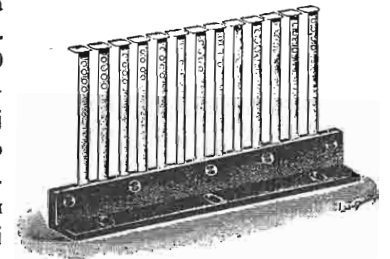
Ако имамо машину са 4 пола, тј. 2 пара полова, онда ће један проводник већ за један полуобрт машине проћи кроз све магнетне промене пошав од једног пола N преко пола S до другог пола N . У овом случају очевидно је да се за време једног целог обрта машине добијају 2 периода индуковане струје.

Према изложеном, кад се зна број обрта машине и број полова на њеном индуктору, зна се и број периода наизменичне струје. Како број обрта машине није непроменљив, то је начињен нарочити апарат тзв. *фреквенцетар* помоћу кога се може непосредно да мери учестаност кад год се жели да се сазна тачан број периода у секунди.

Сл. 109. показује спољни изглед једног фреквенцетра са треперим језичцима заснованог на принципу акустичне резонанције. Он је израђен за напон од 110 волта. Садржи извесан број челичних језичака, чији је један крај учвршћен а други може слободно да осцилира као звучна виљушка. Према својој дужини, ширини и дебљини сваки језичак има свој сопствени број вибрација са којима трепери ако на то буде изазван. На сл. 110 показани су језичци чије осцилације иду од 80 до 120 у секунди. У овом апарату налази се гвоздено језгро око кога кроз нарочити намотај пролази струја чију фреквенцију хоћемо

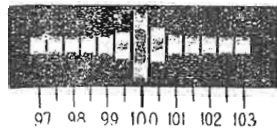


Сл. 109. Фреквенцетар са треперим језичцима.



Сл. 110. Језичци фреквенцетра.

да меримо. За време једног периода, горњи крај језгра намагнетисан је једанпут као северни а другипут као јужни пол. Кад је језгро намагнетисано, оно привлачи језичак а отпушта га кад изгуби магнетизам. Сви су језичци изазвани на треперење, али најчаче трепере они, чији се број осцилација подудара са бројем промена поларности језгра.



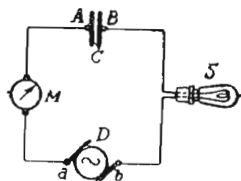
Сл. 111. Показивање фреквенција.



Сл. 112. Фреквенцетар система Карпантије.



Сл. 113. Електродинамометарски фреквенцетар система Карпантије.



Сл. 114. Кондензатор у колу наизменичне струје.

Сл. 111 показује да је број осцилација близу 100. Језичак 100 најчаче осцилира, али поред њега такође осцилирају и суседни 99,5 и 100,5. Ипак може се приметити да онај задњи осцилира нешто јаче, што значи да је прави број осцилација ближи броју 100,5 него 99,5 — редимо 100,2. Пошто је број магнетних полова и осцилација два пута већи од броја периода, то је у овом случају број периода у секунди раван $\frac{100,2}{2} = 50,1$.

Скала на фреквенцетру може бити изражена не у броју треперења језичака, већ у броју периода у секунди као на фреквенцетру на сл. 112 који је израђен за напон од 200 V.

Сл. 113 претставља фреквенцетар, израђен на принципу електродинамометра. Покретан намотај креће се у магнетном пољу које ствара електромагнет помоћу струје чија се учестаност мери. Овај апарат је мање прецизан од апарата са треперећим језичцима.

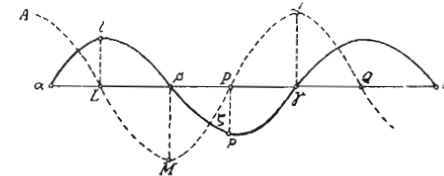
9. Кондензатор у колу наизменичне струје

У електричном колу на сл. 114 D претставља генератор који производи наизменичну струју а M амперметар, везан за пол a генератора и за арматуру A кондензатора C. Сијалица S везана је за пол b генератора D и за арматуру B кондензатора C. Ако генератор D ставимо

у дејство, видећемо да ће сијалица засветлети и да ће амперметар M показивати да кроз њега пролази струја. Значи да кроз колу aMABSb тече струја, иако је оно прекинуто диелектрикумом кондензатора (арматуре кондензатора су изоловане једна од друге диелектрикумом и не смеју се додиривати). Из овог експеримента произлази закључак да кондензатор пропушта наизменичну струју. Ако на место алтернатора D ставимо генератор једносмислене струје, или батерију акумулатора, нити ће сијалица S светлети, нити ће амперметар M показивати присуство струје, што ће рећи, као што знамо, да кондензатор не пропушта једносмислену струју, већ само наизменичну.

Пролаз наизменичне струје кроз кондензатор може се објаснити на овај начин: У првој половини периода, кад је рецимо пол a позитиван, арматура A ће примити на себе позитиван електрицитет, арматура B ће, услед привлачења позитивног електрицитета са A, на себе примити негативан, док ће се позитиван из арматуре B ослободити и отићи. У другој половини периода, арматура B ће постати позитивна а арматура A ће на себи задржати негативан електрицитет. Њен позитиван електрицитет отићи ће на пол a итд. То непрекидно наизменично мењање поларности електрицитета на арматурама омогућује кретање електрицитета у целом колу. На тај начин, за све време док машина ради, постојаће у колу струја која пуни кондензатор, и која ће у исто време моћи да усијава и сијалицу. Поред струје коју ствара машина, у овом колу постоји у исто време и струја која настаје услед пражњења кондензатора. Стварна струја која тече кроз колу јесте резултанта од струје пуњења коју даје извор D и струје пражњења коју даје кондензатор C.

Да струја пражњења стварно постоји, видеће се из доле изложеног. Исто тако видеће се и то, у каквом је она односу са потенцијалном разликом која је производи. Кад, лакле, облога A има на себи максимум позитивног електрицитета, а облога B негативног, онда је и потенцијална разлика између обеју облога A и B кондензатора максимална и тежи да у извесном смислу произведе струју. При промени поларности промениће се и смисао струје.



Сл. 115. Стварна струја у колу са кондензатором и разлика потенцијала између арматура кондензатора.

Ако на сл. 115 крива линија $\alpha\beta\gamma$, која је извучена пуно, претставља интензитет стварне струје која у колу постоји, овда ће за време трајања $\alpha\beta$, један пол, рецимо a , бити позитиван и арматура A за све то време примаће на себе позитиван електрицитет чији интензитет у почетку расте (за време αL), па затим опада (за време $L\beta$). У моменту β електрода A има највише нагомиланог позитивног електрицитета и кондензатор тежи да се испразни од A на B преко $MabS$ (сл. 114) тј. у смислу супротном од смисла првобитне струје. Зато ту максималну потенцијалну разлику претстављамо дужином βM у супротном смислу од Ll који смо узели за позитиван. У моменту β мења се поларност, тј. на електроду A долази негативан електрицитет. Њена позитивна количина се постепено смањује док не постане равна нули. На крају друге половине периода, у моменту γ електрода A садржи у највећој мери негативан, а електрода B позитиван електрицитет. Кондензатор тежи да се испразни са B на A преко $SbaM$ тј. у истом смислу у коме и првобитна струја, чији смо смисао узели за позитиван. Зато потенцијалну разлику у моменту γ означајемо са γN као позитивну итд. Спајањем тачака добија се крива линија $LMPNQ$ која претставља потенцијалну разлику између арматура кондензатора.

Посматрањем ових двеју кривуља, види се да потенцијална разлика између арматура пролази кроз исте промене као и струја и да траје исто време. LQ је равно дужини $\beta\delta$. Зато се каже да има исти период као и струја која је ствара. Али, истоветне се промене не дешавају у исто време и код струје и код потенцијалне разлике. Постоји разлика у фази од четврт периода, или 90° , јер кад је интензитет раван нули, потенцијална разлика је максимална и обрнуто.

Из овога излагања даје се закључити чињеница да кондензатор ствара фазну разлику између интензитета струје која кроз њега пролази и спољне електромоторне силе, као што је то случај и код самоиндукционог калема.

Поређењем фазне разлике коју ствара самоиндукциони калем (сл. 105) са фазном разликом коју ствара кондензатор (сл. 115), види се да су ове две фазне разлике супротног смисла.

У моменту c (сл. 105) електромоторна сила има свој позитиван максимум. Интензитет достиже пак свој позитиван максимум тек у моменту b тј. за $1/4$ периода доцније. Електромоторна сила почиње од тренутка c да пада и у моменту b бива равна нули, док интензитет почиње да опада у моменту b и пролази кроз нулу тек у моменту a .

Из овога се види да интензитет пролази кроз све одговарајуће вредности за $1/4$ периода после спољне електромоторне силе. Зато се и каже да самоиндукција задржава интензитет иза електромоторне силе за $1/4$ периода (90°), или да интензитет заостаје за $1/4$ периода иза електромоторне силе која га производи.

У моменту α (сл. 115) потенцијална разлика кондензатора има максималну вредност, док је интензитет достигао свој максимум у моменту који се налази за $1/4$ периода испред α . Потенцијална разлика кондензатора, као што се види, уопште пролази кроз исте вредности после интензитета за четврт периода. Зато се каже да интензитет у кондензатору иде четврт периода (90°) испред потенцијалне разлике.

Из претходног изилази да фазну разлику, коју ствара самоиндукција, може делимично или потпуно да парира супротна фазна разлика кондензатора. Кад се вредности самоиндукције и кондензатора тако подесе, да се дејство једног потпуно потиरे дејством другог, онда се каже да је коло у резонанцији. У том случају интензитет је ушао у фазу са електромоторном силом.

Подешавање капацитета и самоиндукције у циљу постизања резонанције искоришћено је нарочито код радиотелеграфије и радиотелефоније. Капацитет и самоиндукција сваке отпремне станице доведене су на вредност које условљавају резонанцију. Код пријемне станице ово подешавање састоји се у томе што се мења вредност било капацитета било самоиндукције, било и једног и другог, док се не постигне резонанција. О резонанцији биће доцније више говора.

10. Пупинизација телефонских линија

Један пример врло корисног потирања дејства капацитета путем самоиндукције налазимо код пупинизације телефонских линија, о којој ћемо овде мало опширније говорити.

Пупинизирати једну телефонску линију значи увести у њу на одређеним местима тзв. Пупинове калемове*) чиме се постиже да пренесени говор постаје чистији, разумљивији и јачи. Непрекидно пражњење и пуњење једне и друге жице телефонске линије, које су уствари две арматуре кондензатора, слаби много говорну струју те, ако је линија дугачка, на њен крај не доспе довољна јачина да покрене мембрану слушалице. Стога се пупинизирају дугачке линије из наведених разлога, али исто тако и кратке из разлога уштеде у бакру.

*) Пупинизацију је дао наш славни земљак Михаило Пупин, рођен у селу Идвору у Банату.

Пупинизирањем је омогућен разговор на даљине, које су пре тога сматране за недостижне. Сада се пупинизирање допуњује појачавањем телефонских струја. У једну пупинизiranу линију умећу се на већим отстојањима *телефонска релеа* за појачавање, која ослабљену телефонску струју појачају и шаљу је даље. Захваљујући овим проналасцима и марљивој изradi линија данас је даљина телефонисања постала тако рећи неограничена.

Као што знамо једна телефонска линија ставља електрични отпор струје која кроз њу пролази. Исто тако она има и своју самоиндукцију, која је нарочито осетљива за говорну струју, која је по природи својој врло променљива. Она има око 800 и више периода у секунди. Исто тако телефонска линија понаша се и као кондензатор са доста великим капацитетом који се, дакле, око 800 пута у секунди пуни и празни, и тиме апсорбује један део иначе слабе телефонске струје, те на крају линије не стиже онолика количина, колика је потребна, да би пријемњак могао да ради. Услед ове апсорпције струје, звук је на крају линије слабији, но што би био да апсорпције нема, јер знамо да мембрана слушалаца на пријемној станици трепери само под утицајем струје коју прима, те на тај начин репродукује речи које наш саговорник изговара на предајној станици пред микрофоном.

Појава ове апсорпције услед капацитета нарочито је потенцирана код телефонских каблова. Због тога, пре пупинизације, помоћу каблова никако се није могло говорити на даљини већој од 100 *km*.

Осим тога, једна телефонска линија, која поседује самоиндукцију и капацитет, не само да слаби звук, *него га и деформише*.

Као што знамо из физике један музички тон није прост и правилан синусоидалан тон, већ је врло сложен. Напр. тон „а“ из једне октаве, произведен флаутом, иако оба тона имају исти број треперења. Каже се да они имају различиту „*боју*“. Ово се објашњава на следећи начин: број треперења основног тона исти је кад је он произведен на виолини као и онда кад је произведен на флаути. Али, сем основног тона код сваког тона ма како он био чист имамо и других тонова, који га прате, и чији је број треперења у секунди 2, 3, 4... пута већи од броја треперења у секунди основног тона. Ови тонови-пратиоци по јачини су много слабији од основног тона те основни звук преовлађује. Од броја ових тонова-пратиоца и њихових јачина зависи боја основног, главног тона. Тоновипратиоци код виолине нису исти као они код флауте. Зато је боја

њихових тонова различита. Тоновипратиоци људског говора, тако исто, нису прости тонови, већ врло сложени. И овде основни тонови имају извесан одређен број треперења у секунди, односно једну одређену *фреквенцију*, а њихови пратиоци 2, 3, 4... пута већи број треперења у секунди односно 2, 3, 4... пута вишу фреквенцију. Чувени немачки физичар Хелмхолц успео је да то и синтетички докаже. Он је узео више звучних виљушака чије су фреквенције стајале у односима 1 : 2 : 3 .. па је једновременим треперењем извесних виљушака успео да произведе поједине самогласнике човечијег говора.

Кад се помоћу осцилографа испитује струја коју у микрофону производи један самогласник, добија се периодична крива линија која се може раставити на више правилних синусоидалних линија чија је фреквенција 2, 3, 4... пута већа од основне фреквенције. То показује да је посматрана струја резултат више синусоидалних струја које једновремено дејствују.

Студирање простирања електричних вибрација дуж два проводника, који имају извесан капацитет и извесну самоиндукцију, показују нам да се ове вибрације распрострају утолико брже уколико им је фреквенција виша, али у исто време имају утолико више губитака (апсорпција је већа). Струје ниже фреквенције спорје путују, али имају мање губитака на путу.

Ова појава довољна је да нам објасни откуда долази деформација звука и речи при преношењу помоћу телефонских линија. *Сваки звук, као што рекосмо, састоји се из основног тона и од пратиоца и кад један звук дејствује на микрофон, овај треба да произведе струју састављену од толико разних фреквенција, од колико је фреквенција састављен изговорени глас, иначе ће глас, примљен у слушалици, бити неверан, па чак и нејасан, ако је неверност сувише велика.*

Струја произведена микрофоном преноси се са једног на други крај линије. Како највиши пратиоци иду најбрже, онда, ако је линија врло дугачка, они ће доћи први на њен крај и престаће да дејствују кад буду стигли остали, нарочито кад стигне основна струја. Исто тако ови највиши пратиоци биће и највише ослабљени, те се они можда неће ни осетити на крају линије. Услед тога разбијеног доласка појединих делимичних чиниоца тонова у слушалицу и услед губитака, звук ће по запремини бити слабији, а врло често и деформисан, јер му недостају делови који му дају облик на које је уво навикнуто. Ако је та деформација сувише велика, онда звук постане потпуно неразумљив.

Самоиндукција једне линије, као и једног апарата, тежи да спречи промене струје у линији. Та опозиција самоиндукције утолико је већа уколико је фреквенција струје виша. Капацитет линије напротив повећава промене струје и олакшава њен пролаз који је утолико лакши уколико је фреквенција виша. Дакле, и овде је *дејство самоиндукције супротно дејству капацитета*. Ако се, међутим, величина самоиндукције и капацитета у једној телефонској линији узму тако да буду у извесној повољној размери, онда се дејство једнога може поништити дејством другога, и створити линију која ће имати особине као да нема ни самоиндукције ни капацитета. У том случају струје свих фреквенција распрострају се истом брзином а слабљење је уопште смањено и подједнако код свих фреквенција. Као што се види, врло је важно да један звук дође на крај линије са свима својим пратиоцима у исто време. Тада се не мења однос између појединих саставних делова. Глас задржава свој облик и боју и добро се разуме, чак и ако је ослабљен.

Ово се постиже помоћу Пупинових калемова.

Познато нам је да две жице једве телефонске линије, које иду паралелно, претстављају једну врсту кондензатора са извесним капацитетом. Тај капацитет је утолико већи уколико је линија дужа, и уколико су жице ближе једна другој. Како је технички немогуће сувише удаљити једну жицу од друге, то се капацитет једне дугачке линије не може избећи. Да се штетно дејство капацитета поправи, остаје једини пут да се самоиндукција линије, чије је дејство супротно, повећа до те мере док њено дејство не потре дејство штетног капацитета.

Покушаји да се омогући телефонски саобраћај на великој даљини чинени су у прво време без довољно познавања суштине ствари. Најпре се мислило да је електрични отпор линије једина сметња распрострајању, зато су узимани проводници великог пречника. Добијено је само извесно делимично побољшање. Наизменична струја није била довољно позната. Веровало се потом да се њеном распрострајању противи самоиндукција проводника. Услед тога се пошло погрешним путем па се хтело да се смањи самоиндукција приближавањем проводника. Али то није дало никаква резултата. Много доцније дошло се путем рачуна до закључка да самоиндукција напротив, не само да није сметња преношењу говорне струје, већ да сопствена самоиндукција једне линије није довољно велика да парира њен сопствени капацитет, који је права сметња пренашању. Али закључак није био довољно прецизан.

Нарочито није се знало на који би се начин могла практично повећати самоиндукција, а да конструкција линије не буде сувише тешка и скупа.

Почело се са омотавањем гвоздене пантљике око проводника. Самоиндукција је знатно повећана, али се у пантљизи развијају јаке Фуколове струје које такође сметају говорној струји. То је тзв. *Барбаратов* начин решења овог питања. Да би се избегле ове јаке Фуколове струје, место пантљике, *Краруп* употребљава гвоздену жицу од 0,2 *mm* у пречнику. Овај начин је могуће употребити једино код подземних и подморских каблова, али не и код ваздушних линија и ваздушних каблова.

Ствар је остала нејасна све док наш славни земљак Михајло Пупин године 1899—1900 није објавио резултате својих рачуна и својих практичних опита. Он је тачно предизирао како је практично могуће повећати самоиндукцију једне линије, показујући да није потребно да самоиндукција буде равномерно распоређена дуж целе линије, већ да се исти резултат може постићи ако се само местимично дуж линије по извесном правилу, поставе калемови који претстављају одређену самоиндукцију. На овај начин линија није тражила никакво нарочито грађење већ је остала иста као и дотле, само на извесним местима треба поставити по један Пупинов калем. Једино се тражи да линија буде добро изолована и да жица не мења пресек, а то је услов за доброту линије и кад није пупинизирана.

Пупин је показао да је једна линија са калемовима еквивалентна униформној одговарајућој линији онда, ако има најмање осам калемова на једној таласној дужини фреквенције која се преноси. Пракса је доказала да је ово тачно.

Пупинов калем састоји се из гвозденог венца који је састављен из котура од гвоздене жице, изоловане оксидисањем да се не би стварале јаке Фуколове струје а отуда и губици услед хистерезиса.

Тешкоће које треба савладати код калемова за ваздушне линије јесу: заштитити их противу грома и одржавати добру изолацију код жица при улазу. Калем је смештен у унутрашњост једног изврнутог звона. Жице улазе одозго у калем, полazeћи са четири изолатора. Противу грома заштићен је са две врсте громобрана.

Пупинизација омогућава домаћај телефонисања на велике даљине штедећи бакар. Пупинизирана линија од 1,5 *mm* дебљине вреди у погледу доброте преноса исто толико колико непупинизирана од 3,5 *mm*. Уштеда је у бакру у овом случају 80 до 105 килограма по километру.

Код калемова за подземне телефонске каблове нема бојазни од грома, нити од случајног додира. Пошто ови каблови увек садрже много телефонских линија мора се велики број калемова сместити у једну кутију, где су калемови поређани један поред другог и сваки је затворен посебним металним оклопом, да би био заштићен од индукције осталих. При излазу из кутије жице су врло брижљиво изоловане.

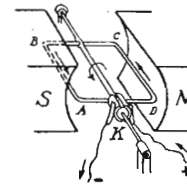
Код подморских каблова са изолацијом од хартије употребљавају се Пупинови калемови као и код подземних. Ради сигурности, што је главни захтев код скупочених подморских каблова, радије се узима гутаперка као изолатор. У том случају употребљава се *Крарупов* систем. Такав је кабел и у погледу механичком сигурнији, јер је на целој својој дужини истог пречника и исте тежине.

ОСМА ГЛАВА

Принцип електричних мотора и полифазне струје

1. Обртање проводника у коме струја мења смисао

Посматрајмо проводник $ABCD$ (сл. 116) чији су крајеви учвршћени за две половине комутатора K , потпуно изоловане једна од



друге. На комутатору леже две четкице од којих је десна везана за позитиван пол неког извора електричне струје, лева за негативан пол.

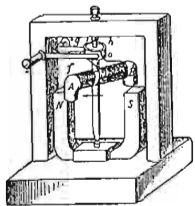
Ако пустимо струју да тече кроз проводник, она ће ићи у правцу који је означен стрелицама. Магнетне линије, које избијају из равни проводника и иду одоздо на више, теже да заузму правац NS и да доведу проводник $ABCD$ у такав положај да његова раван буде управна на правац NS . Услед те тежње, он се окреће у правцу који је означен стрелицом. Ако применимо правило леве руке, видећемо да ће проводник CD тежити да се креће на више а проводник AB на ниже. Дошав на положај, управан на правац NS , магнетне линије проводника поклопиле би се са магнетним линијама магнета NS и проводник би се нашао у стабилној равнотежи кад би струја у проводнику задржала исти правац. Међутим, у том моменту малопређашња десна половина комутатора долази у додир са негативном четкицом, те струја у проводнику промени правац и иде од A ка B и од C ка D . Магнетне линије, које сада проводник ствара, не поклапају се више са магнетним пољем индуктора NS , већ имају супротан смисао и то од S ка N и теже да се окрену тако, да поново заузму правац NS . То могу учинити окрећући се било лево било десно за 180° . Али, како је проводник већ у покрету с десна на лево, то он продужује кретање на лево. После полуобрта проводник би понова стао. Али, у том моменту се дешава нова промена правца струје и нова промена правца магнетних линија, те се понова продужује кретање у истом смислу у тежњи да се линије сила индукта опет придруже индукторским магнетним линијама итд.

Сл. 116. Обртање проводника у коме струја мења смисао.

Дакле, кад се неки проводник налази у једном сталном магнетном пољу, па се у проводник шаље струја која непрекидно мења смисао у једнаким размацама времена, онда се тај проводник не престано окреће, увек у истом смислу.

2. Електромагнетни мотор

На сл. 117 имамо један мали електромагнетни мотор како га је конструисао Ричи још 1833 год. на принципу који смо напред показали. Овде NS претставља полове сталног магнета од челика који су окренути на више. Изнад њих може се окретати електромагнет AB чији полови могу доћи тачно изнад полова N и S .



Сл. 117. Ричијев електромагнетни мотор.

Једносмислена струја долази у електромагнет преко комутатора hi , састављеног из два полупрстена који се окрећу између две четкице g и f тако, да у сваком обрту свака половина дође један пут у везу са позитивним полом извора а други пут са негативним.

Ако се пусти струја кроз електромагнет и ако је њен правац такав да пол A буде јужни, а пол B северни, онда ће се ови разноимени полови привући и електромагнет ће почети да се креће у смислу стрелице тако, да ће се магнетне линије магнета и електромагнета поклопати. Кад пол A дође изнад пола N , а пол B изнад пола S , обртање би престало, да у том моменту комутатор не промени правац струје у електромагнету, те пол A постане северни, а пол B јужни. Пол N тада одбије истоимени пол A , а пол S одбије пол B и електромагнет продужи даље окретање док његове линије сила дођу у продужење линија које даје магнет NS . Тада опет наступа промена правца струје те се привлачења и одбијања полова продужују и електромагнет се стално окреће.

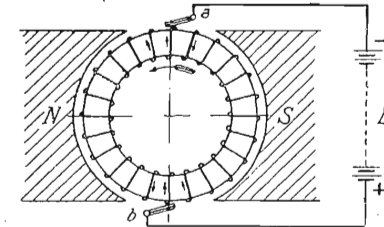
3. Електромотор за једносмислену струју

На сл. 118 видимо исту машину, као што је она на сл. 88, само што ова не производи струју, већ је добија споља из извора E и служи као мотор. Струја, долазећи споља у ову машину, дели се на два једнака дела супротног смисла као што је подељена и код генератора једносмислене струје. При излазу, у четкици a оба дела струје споје се и као целина враћају се извору.

Сви проводници индукта под полом N добијају струју у једном

смислу, док сви проводници под полом S добијају струју у супротном смислу.

Проводници, кроз које тече струја, стварају, као што знамо, магнетне линије које теже да заузму исти положај као и магнетне линије полова NS и у тој тежњи, због магнетског привлачења са половима електромагнета, ови се проводници крећу тако да се постигне положај да раван сваког проводника дође управно на правац магнетног поља полова NS . Ако применимо правило леве руке, видећемо да проводници под полом N теже да се крећу на ниже, док они под полом S теже да се крећу на више. На тај је начин индукт машине под утицајем двеју сила које делују тако да сачињавају спрег сила, који окреће индукт за све време док кроз њега протиче струја. Чим проводник дође у положај, где се смисао његових магнетних линија поклапа са индукторским магнетним пољем, он је дошао у додир са четкицом те у том моменту струја, која кроз њега пролази, добија супротни смисао. И магнетне линије, које сад проводник производи, имају супротан смисао, те ће он тежити да се, окретањем на једну или на другу страну, његове линије сила поклопе са одговарајућим индукторским магнетним пољем. Природно је да ће се окретање продужити на исту страну и то не само зато што је тај проводник већ у замаху, већ и зато што остали проводници, који за њим долазе, окрећу индукт на исту страну. На тај начин добија се обичан електромотор за једносмислену струју.



Сл. 118. Електромотор за једносмислену струју.

Уколико је јаче индукторско магнетно поље електромотора и уколико је јача струја која пролази кроз проводнике његовог покретног индукта тј. уколико је јаче магнетно поље, произведено струјом, са толико се више снаге линије сила индукта теже да поклопе са индукторским линијама сила. Дакле, јачина мотора зависи од јачине индукторског магнетног поља као и од јачине струје која пролази кроз покретне проводнике.

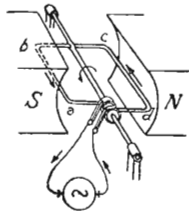
Као што видимо, иако мотору долази једносмислена струја, у сваком његовом покретном проводнику струја наизменично иде час у једном час у другом смислу. Та наизменична промена смисла струје управо и омогућава непрекидно обртање мотора у истом смислу.

И електромотор за једносмислену струју састављен је, као и генератор, од *индуктора*, *индукта* и *колектора*. Управо свака машина једносмислене струје, кад се окреће помоћу каквог механичког мотора, производи струју и понаша се као генератор, произвођач струје, а кад јој се споља доводи једносмислена струја, онда се она окреће, производи механички рад и понаша се као *мотор*, произвођач механичке снаге. Дакле, док динамомашина претвара механичку енергију у електричну, дотле електромотор има обрнути задатак, да претвара електричну енергију у механичку.

Код електромотора у правом смислу речи магнетно поље не производе стални магнети *NS*, који временом губе свој магнетизам, већ се магнетно поље производи путем електромагнета. За стварање индукторовог магнетног поља узима се скоро увек иста спољна струја која иде и у индукт и то, било сва, било један њен део. Само у специјалним случајевима за индуктор се узима струја из посебног извора. Према томе, да ли кроз електромагнете мотора, тј. кроз његов индуктор, иде сва спољна струја, која затим иде у индукт, или само једна њена отока, или пак комбиновано, и мотори се разликују као и динамомашине на *сериске*, *оточне* и *компунд*.

4. Синхрони мотор

На сл. 119 имамо проводник *abcd* чији су крајеви везани за два међусобно изолована прстена. По овим прстеновима клизе две четкице спојене за половине једног генератора монофазне наизменичне струје.



Нека овај генератор производи наизменичну струју од 50 периода. Она ће за $\frac{1}{50}$ део секунде пораста од нуле до максимума, паће на нулу, променити смисао, понова ће пораста до максимума у супротном смислу и понова ће пасти на нулу. После тога понављају се исте

Сл. 119. Синхрони мотор. промене.

Ако ову струју пустимо кроз прстене и проводник *abcd* у моменту кад она има максималну вредност и смисао означен стрелицом, под њеним утицајем и утицајем магнетног поља проводник ће се покренути, тежећи да заузме вертикалан положај, тј. положај, управан на магнетне линије индуктора, како би се магнетне линије проводника поклопиле са магнетним линијама индуктора.

Ако би брзина кретања проводника била таква да ту четвртину обрта пређе за време док струја има позитивну вредност и

да стигне у вертикалан положај у моменту кад струја падне на нулу (кад мења свој смисао), и проводник би прешао тачно $\frac{1}{4}$ обрта за четвртину периода струје и то од *b* до *c* (сл. 100). Ако би се обртање проводника и даље овако поклапало са импулсима струје, онда би он направио, за један период један цео обрт, а за једну секунду направиће 50 обрта. Ако, дакле, струја мења свој смисао тачно у моменту када се проводник налази у положају где се његове магнетне линије поклапају са магнетним линијама индуктора, онда ће, због промене правца струје, проводник начинити још половину обрта, да би своје нове магнетне линије довео у склад са индукторским. Због већ задобијеног замаха обртање ће се наставити у истом смислу, док би, због самог положаја проводника, линије силе могле да га крену и на супротну страну, јер имају да пређу исти пут да би заузеле правац индукторских линија *NS*. Ако би струја променила свој смисао пре но што би раван проводника дошла у вертикалан положај, нове магнетне линије проводника би тежиле да га окрену на супротну страну, јер им је то краћи пут да заузму правац *NS* и проводник би се зауставио.

Дакле, ако струја у проводнику свој смисао мења тачно у моменту када раван проводника заузима положај управан на индукторско магнетно поље *NS*, онда код сваке промене правца струје, проводник учини половину обрта увек у истом смислу и тако се добије непрекидно обртање проводника, који начини тачно онолико пуних обрта у секунди, колико периода има наизменична струја. У моменту, кад струја пада на нулу, да би променила смисао, проводник се налази управно на магнетне линије. Како се нестанак струје поклапа са положајем где проводник ни иначе нема тежње да иде даље, јер су се линије сила поклопиле, каже се да је кретање проводника у *синхронизму* са променама струје, тј. проводник је, услед поклапања магнетних сила, без снаге за даље кретање баш у моменту кад је и струја без интензитета.

Струје двеју машина, које смо видели на сл. 101, никад неће бити у синхронизму, јер, иако су машине истоветне по саставу и крећу се апсолутно истом брзином, пошто су на истој осовини, намотај једне је померен за $\frac{1}{4}$ обрта испред намотаја друге, те ће се максималне, минималне и остале вредности прве машине дешавати за $\frac{1}{4}$ обрта пре него у другој машини.

Дакле, да би мотор био у складу са променама струје коју прима, његов број обрта мора апсолутно одговарати броју периода и бити у синхронизму са струјом коју прима. Зато се такви мотори и зову *синхрони*. Ако би, услед оптерећења, такав мотор за-

остао у брзини, изгубио би синхронизам и стао би, због чега се такви мотори не могу употребити тамо где се брзине и оптерећење мењају.

Друга незгода ових мотора јесте та, што у моменту, кад им се пушта моторна струја, они *већ треба да имају брзину* која одговара синхронизму. То значи да за довођење до синхронизма треба претходво, већим нарочитим средством најпре покренути синхрони мотор и дати му брзину напр. руком, ако је реч о сасвим малим моторима.

Због ових слабих страна монофазних синхронних мотора њихова се употреба још од почетка није могла разгранати, па стога је и производња наизменичне електричне струје једно време у првом периоду развоја електротехнике дошла у питање, јер се тада само једносмислена струја дала лако употребити и за осветлење и за моторе, макар да је при преносу на коле веће даљине трпела велике губитке. Наизменична струја се доиста и тада дала врло економично преносити на велике даљине помоћу трансформатора, и могла се употребљавати за осветлење, али није било практичних мотора да би се могла корисно употребити за претварање у механичку снагу. Једно време није се знало, коју врсту струје треба усвојити за ширу примену.

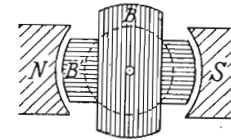
Тек кад је, захваљујући генијалним проналасцима Николе Тесле, створен *индукциони* или *асинхрони* мотор, подесан за наизменичну струју, и кад је Тесла створио *полифазни систем*, тј. двофазну, трофазну и вишефазну струју, напуштена је једносмислена струја па се индустријски производи и преноси само наизменична струја. Централне за једносмислену струју више се уопште не подижу.

По своме саставу синхрони мотор исто је што и генератор наизменичне струје. И њему је за индуктор потребна једносмислена струја а наизменична се пушта у индукт. Исто тако, ако генератору наизменичне струје дајемо струју, он ће се окретати као синхрони мотор, пошто га наравно претходно доведемо у синхронизам. Ова појава назива се *реверзивност*.

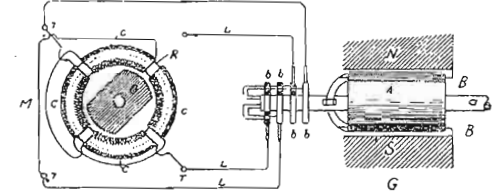
5. Двофазна струја

На сл. 120 имамо два намотаја B и B' , намотана око једног гвозденог ваљка (цилиндрични индукт, сл. 92) који се окреће у магнетном пољу између полова N и S . Намотаји B и B' чине међу собом прав угао. Слободни крајеви оба намотаја пролазе кроз шупљу осовину (сл. 121) и везани су за прстенове b . Индуковану струју, која се ствара у намотајима, воде четкице и проводници у намотаје C друге машине M .

Раније смо видели (сл. 87) да је индукована струја равна нули кад се један проводник налази на неутралној линији (положај намотаја B на сл. 120). Међутим, кад се проводник налази у поло-

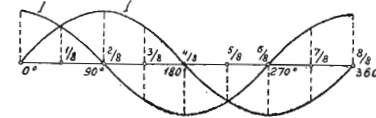


Сл. 120. Намотаји генератора двофазне струје.



Сл. 121. Двофазни генератор и мотор.

жају B' (сл. 120), струја у њему достиже своју максималну вредност. Према оваквом распореду намотаја, кад је јачина струје у положају B равна нули, она достиже у положају B' свој максимум. После четврт обрта намотај B' доћи ће у вертикалан положај а струја у њему биће равна нули, док ће у том моменту струја у намотају који се налази у положају B достићи свој максимум. После друге четврти обрта намотај B' понова ће имати максималну вредност (супротног смисла од пређашње), а намотај B биће без струје итд. Једном речи, наизменична струја намотаја B пролази



Сл. 122. Кривуље интензитета струја двофазне машине.

кроз исте вредности као и струја намотаја B' само за четврт периода доцније.

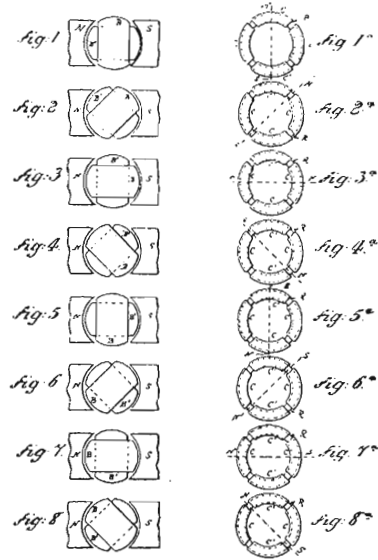
За машину, која има два намотаја, распоређена тако да струје у њима не пролазе кроз исте вредности у исто време,

већ једна иде за $1/4$ периода испред друге, каже се да је *двофазна*, а струја, коју она производи, зове се *двофазна струја*. Промене електромоторне силе и интензитета струја двају намотаја двофазне машине можемо графички претставити кривуљама на сл. 122. Кривуља I' претставља интензитет у намотају B' а кривуља I интензитет у намотају B .

6. Асинхрони мотор. Обртно магнетно поље

Проводници L воде струју из двофазног генератора G (сл. 121) у мотор M . Намотаји C налазе се на непокретном прстену R који је састављен од танких жица изолованих међу собом.

Намотаји C , кад кроз њих пролази наизменична струја, стварају наизменична магнетна поља, која, посматрана свако за себе, имају увек један исти правац, управан на раван проводника, али



Сл. 123. Обртно магнетно поље.

Магнетно поље је такође опало и има вредност Op_2 (fig. 2b). У овом моменту и намотај B има извесну струју, те и намотај CC ствара магнетно поље које можемо претставити вектором Op'_2 (fig. 2b). Међутим, два магнетна поља Op_2 и Op'_2 не могу истовремено постојати, као два различита поља, већ се слажу и дају једно једино које делује у правцу ON_2 (fig. 2b).

После $\frac{2}{8}$ обрта (fig. 3, 3^a и 3b) намотаји B' и $C'C'$ су без струје. Тада намотаји B и CC имају максимум струје. Магнетно поље намотаја CC има максималну вредност. Претставићемо га вектором ON_3 .

После $\frac{3}{8}$ обрта, струја у B и CC опада. Магнетно поље намотаја CC је равно Op'_4 . У калему B' струја је добила извесну негативну вредност, и магнетно поље, које ствара $C'C'$, имаће смисао супротан пређашњем, тј. Op_4 . Резултујуће магнетно поље имаће правац ON_4 .

После $\frac{4}{8}$ обрта, намотај B поново губи струју. Намотај B' поствже негативан максимум. Калемови $C'C'$ дају магнетно поље ON_5 .

она у сваком моменту мењају своју јачину и у сваком периоду иду једанпут на једну, другипут на другу страну од те равни.

Сл. 123 (fig. 1—8) показује разне положаје генератора G за време једног периода. У положају I (fig. 1) нема струје у намотају B , али тада намотај B' има максимум струје и шаље је у намотај $C'C'$ (fig. 1^a). Овај намотај ствара магнетно поље које иде правцем NS . У том моменту намотај CC не даје никакве магнетне линије. Једино постоји тада магнетно поље намотаја $C'C'$ и ми га на сл. 124 (fig. 1b) можемо означити вектором ON_1 .

После $\frac{1}{8}$ обрта генератор долази у положај II (fig. 2). Струја у B' и $C'C'$ је у опадању.

После сваке даље осмине обрта генератора, правац резултујућег магнетног поља у мотору помакне се такође за једну осмину обрта унапред

Ако посматрамо сл. 123 и 124 можемо овако резимирати оно што смо до сада рекли:

Кад је генератор у положају (I), у њему постоји максимална струја само у намотају B' , а у мотору само у намотају $C'C'$ који ствара магнетно поље у правцу NS .

У моменту (II) оба намотаја B и B' у генератору имају струју. У мотору оба намотаја CC и $C'C'$ дају магнетне линије чија резултанта иде правцем NS .

У моменту (III) намотаји B' и $C'C'$ су без струје. Намотаји B и CC имају максималну струју; магнетно поље има правац NS .

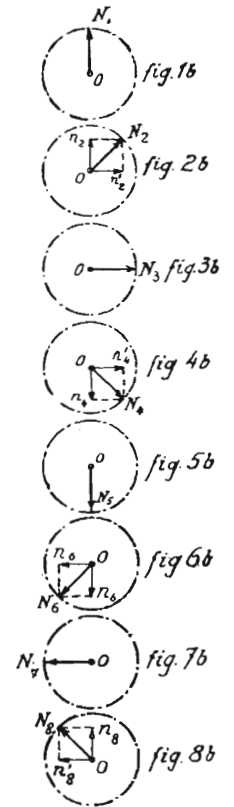
У моменту (IV) оба намотаја мотора дају магнетно поље и оно има правац NS итд.

Магнетни полови N и S , који се стварају у венцу R , непрестано мењају свој положај исто онако као што мењају свој положај намотаји генератора. На тај начин добија се у венцу *обртно магнетно поље* које се креће истом брзином као и генератор под претпоставком да обе машине имају исти број полова.

Дакле, *две наизменичне струје, код којих максималне и минималне вредности долазе у извесном сталном размаку једна за другом* (овде је размак времена $\frac{1}{4}$ периода), *стварају обртно магнетно поље.*

Ако се у средини моторног венца налази гвоздена плоча O (сл. 121) са два сегмента, онда се она магнетиче и тежи да заузме положај у коме би се њене магнетне линије поклапале с линијама обртног магнетног поља. У тој тежњи она се непрекидно обрће заједно са обртним магнетним линијама. Док ова плоча није ничим оптерећена, ова иде скоро истом брзином као и магнетно поље; ако је оптерећена, иде нешто спорје али се не зауставља.

На овај начин конструисао је наш славни проналазач Никола Тесла мотор наизменичне струје, који је назвао *индукциони мотор*

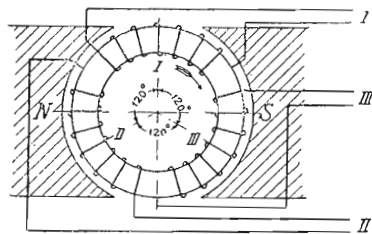


Сл. 124. Векторско означавање обртног магнетног поља.

а који се, као и мотор једносмислене струје, ставља сам у покрет. Његова брзина приближује се синхронизму са генератором који даје струју, али не мора да буде иста; зато је такав мотор назван *асинхрон*. У празном ходу креће се скоро синхронно са генератором. При већем оптерећењу брзина мотора опада за неколико процената.

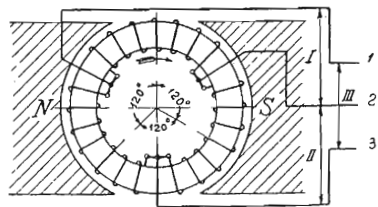
7. Трофазна наизменична струја

Ако један монофазни намотај поделимо на три једнака дела (сл. 125) тако, да њихове средње линије склапају међу собом угао од 120° , онда ћемо имати три намотаја. Сваки од њих при окретању иде за једну трећину обрта (120°) иза претходног, односно за једну трећину обрта (120°) испред потоњег.



Сл. 125. Трофазни намотај.

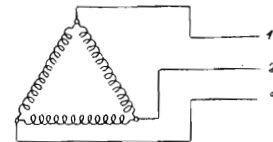
Електромоторна сила намотаја *I* проћи ће кроз свој позитиван максимум за $1/3$ периода пре максимума у намотају *II*, а за $2/3$ периода пре максимума у намотају *III*. Другим речима, електромоторне силе у појединим намотајима имаће међусобну фазну разлику од 120° . Ако крајеве сваког намотаја изведемо напоље и вежемо за прстенове на осовина, добићемо три независна електрична кола наизменичне струје између чијих максимума постоји временска разлика од $1/3$ обрта или угаони фазни померај за 120° .



Сл. 126 Трофазни намотај везан у троугао.

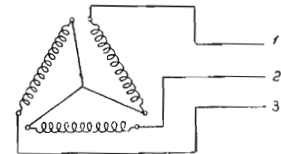
Такав генератор назван је *трофазни генератор*, а струја коју он производи *трофазна струја*. За пренос трофазне струје било је првобитно потребно шест жица у спољном колу, као што је то претстављено на сл. 125. Али убрзо се увидело да се *уместо шест жица могу употребити само три*, што претставља огромну уштеду у бакуру. То се постиже на тај начин, што се крај једне фазе веже за почетак друге, крај друге за почетак треће, а крај треће за почетак прве. У спољно коло са прстенова иду свега три проводника као што

се то види из сл. 126. Шематички претстављене три фазе чине један троугао (сл. 127). Проводници 1 и 2 служе за фазу *I*, проводници 2 и 3 за фазу *II* а проводници 1 и 3 за фазу *III*. Овакав спој фазе назива се *веза у троугао*. Ако се крајеве свих намотаја вежу заједно у унутрашњости машине а њихови почети изведу напоље онда се добије тзв. *звезда* трофазни намотај. Овакав спој фазе (сл. 128) назива се *веза у звезду*.



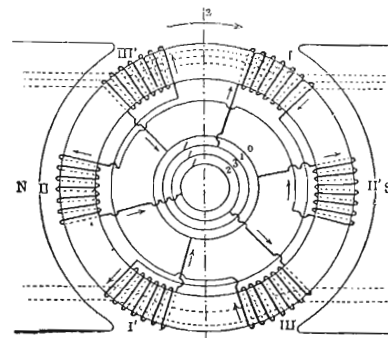
Сл. 127. Веза у троугао.

Ради правилније расподеле проводника на индукту, проводници једне фазе не стављају се сви један до другог већ се расподеле под више полова као што се то види на сл. 129. Намотај (фаза) *I* налази се на почетку пола *S*, а друга његова половина *I'* налази се на почетку пола *N*. Намотај *II* налази се за 120° иза намотаја *I*, а његова друга половина *II'* за 120° иза половине *I'*. Намотај *III* налази се за 120° иза намотаја *II*, а његов други део *III'* за 120° иза половине *II'* намотаја друге фазе.



Сл. 128. Веза у звезду.

Излази намотаја *I*, *II* и *III* везане су за прстенове 1, 2, 3. Други крајеве ових намотаја везани су за *I'*, *II'* и *III'*, а ови су својим крајевима везани сви за заједнички прстен *O*. Значи да је



Сл. 129. Трофазни генератор везан у звезду.

овај трофазни генератор везан у звезду. По прстеновима 1, 2, 3 клизе четкице које одводе трофазну струју у спољно трожишно коло.

Снага трофазне струје P_{eff} израчунава се помоћу обрасца:

$$P_{\text{eff}} = \sqrt{3} U_{\text{eff}} \cdot J_{\text{eff}} \cdot \cos \varphi$$

где означава P_{eff} снагу у ватима, U_{eff} потенцијалну разлику у волтима мерену између спољних проводника, J_{eff} интензитет струје у једном проводнику у амперима, и најзад $\cos \varphi$ фазну разлику између потенцијалне разлике и интензитета.

На сл. 130 видимо шему трофазног генератора и трофазног

на сл. 130 видимо шему трофазног генератора и трофазног

(No Model.)

N. TESLA.

4 Sheets—Sheet 3.

ELECTRICAL TRANSMISSION OF POWER.

No. 382,280.

Patented May 1, 1888.

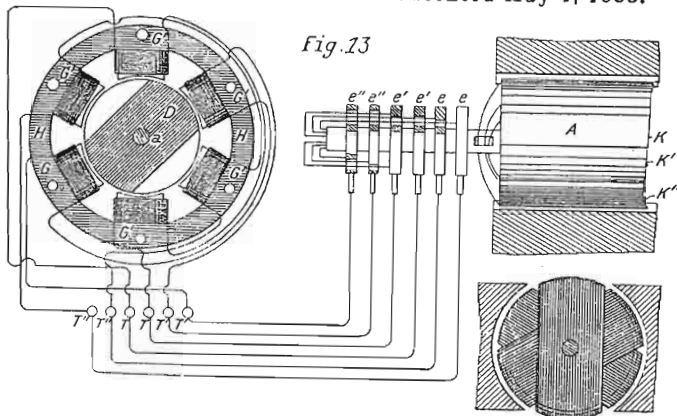


Fig. 13

Fig. 14

Fig. 15

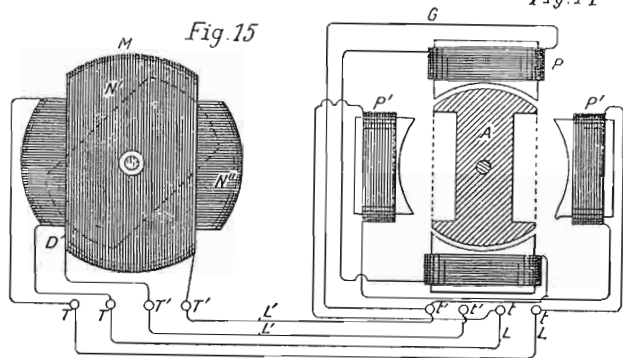


Fig. 16

WITNESSES:
D. H. Sherman
Merrill A. Austin.

INVENTOR.
Nikola Tesla.
BY
Dunham, Austin & Page
ATTORNEYS.

Сл. 130. Теслин вишефазни систем.

асинхроног мотора овако како их је претставио њихов проналазач Никола Тесла.

У *fig. 13* с десне стране види се генератор *A* из кога излази 6 жица из 3 намотаја. Оне иду у три пара прстенова *ee, e'e', e''e''*. Међусобан положај трију намотаја види се из *fig. 14*. Шест проводника воде струју из генератора у мотор, који има 6 полова тј. 3 пара. Сваки пар четкица напаја по један пар наспрамних полова. Доцније је сам Тесла овај број од шест жица свео на три.

Fig. 15 показује двофазни генератор *G* и двофазни мотор *M*. На овом генератору видимо да се индуктор *A* налази у средини и покретан је, а индукт је непокретан и налази се споља. Калемови *PP* чине један намотај, калемови *P'P'* други намотај. Подвлачимо чињеницу да је Тесла дао први опис овакве машине код које је покретан индуктор а непокретан индукт као и то да је, дакле, он открио толико важни трофазни систем струја као и обртно магнетно поље.

8. Значај индукционог мотора и вишефазних струја за развој електротехнике

1868 год. успео је белгиски проналазач Грам да начини прву електричну динамомашину способну да даје довољно струје за практично електрично осветлење и моторну снагу. Са њом је почела електрична индустрија. У целом свету нагло се подизале електричне централе за производњу електричне енергије. Потрошња струје за електрично осветлење и терање мотора нагло расте Али убрзо се увидело да је немогуће овакву електричну струју преносити на веће даљине и у великим снагама због великих и несразмерних губитака на линији.

Да би се омогућио пренос са малим губицима морао се повисити напон. Стога је Марсел Депре 1882 год. извео једну централу код Минхена од неколико коњских снага са напоном од 1300 V. Ту енергију је требало пренети на даљину од 50 километара. Ипак користан ступањ ефекта био је и при овом напону само 30%, што значи да се на путу изгубило више од две трећине енергије произведене у централаи.

Јасно је било да за пренос енергије на велике даљине треба имати напон од неколико десетина па и стотина хиљада волти а интензитет што је могуће мањи. Али, са једносмисленом струјом довољно високи напон никако се није могао добити. У то доба су американци Гулар и Гип, а затим године 1885 европљани Блати Дери и Циперновски, објавили да се наизменична струја може

лако трансформирати са ниског на висок напон и обрнуто, те на тај начин лако преносити на даљину. Тиме су били провађени статички трансформатори али само за обичну монофазну наизменичну струју која се могла употребити само за осветлење и за синхроне моторе, који су дотле једино били познати.

Још једном се покушало са једносмисленом струјом. Године 1886 Марсел Депре ствара у околини Париза постројење у коме везује на ред пет једносмислених генератора, и на тај начин добија 5000 V. Са тим напоном он је успео да 116 коњских снага пренесе на даљину од 15 километара са корисним ступњем ефекта од 50%, што значи да је на релативно кратком растојању ипак имао 50% губитака. Сазнањем, да се већа количина енергије никако не може рационално пренети на велику даљину, наступа криза електричне индустрије.

Отворило се питање: треба ли уопште и даље производити и преносити једносмислену струју, макар и са знатним губицима, јер она сем генератора, линије и пријемника, не тражи никаквих посредних постројења а безопасна је, позната је и служи како за осветлење тако и за моторе, или, напротив, треба прећи на наизменичну струју која се додуше да лако трансформисати у високи напон, те ће се преносити са мало губитака, али се имало страховати од опасности коју претставља високи напон и задовољити се само њеном употребом за осветлење, пошто се практички електромотори не могу терати наизменичном струјом?

У моменту кад је ова криза узимала највеће размере пријављује Тесла октобра 1887 год. патент о проналаску мотора без колектора који се окреће помоћу нарочите наизменичне струје.

Највећа корист од овог Теслиног проналаска била је та, што се наизменична струја може на овај начин употребљавати како за осветлење тако и за моторну снагу, јер се даје лако и економски повољно преносити на огромне даљине те се напр. снага једног водопада, који се налази у планинама, може пренети тамо где је потребна и корисна. Исто тако и енергија неког угљеног рудника, који се налази далеко од насеља, лако се може и као моторна сила и као струја за осветлење веома економично преносити у удаљена насељена места и рационално користити у њима.

Тесла је почетком 1882 год. дошао до закључка да ће његов мотор са два намотаја дати *обртно магнетно поље*, ако кроз сваки намотај пошаље, независно једну од друге, две посебне струје, између чијих максималних и минималних вредности постоји један сталан временски размак, тако, да у једном намотају буде макси-

мум струје, кад је други без струје и да у првом струја постепено опада а у другом расте, те да у моменту кад први остаје без струје други има максимум итд.

Како су на овај начин, дакле, пронађени погодни мотори наизменичне струје као и начин да се велике количине електричне енергије могу преносити са врло мало губитака и танким проводним линијама на огромна растојања, борба између једносмислене и наизменичне струје била решена у корист наизменичне струје.

У Европи је овакав пренос електричне енергије први пут био изведен за једну међународну изложбу у Франкфурту на Мајни 1892 год., када је за њу електрична енергија од 180 коњских снага била доведена из Лауфена са даљине од 175 километара помоћу трофазне струје од 40 периода у секунди.

Струја је кабловима од 27 *mm* у пречнику ишла у трансформатор, где је трансформирана у струју од 8500 волта и 8,6 ампера. Таква доведена у Франкфурт трофазном линијом од 4 *mm* у пречнику. У Франкфурту је у долазном трансформатору преобраћена у струју од 100 волта и разведена за осветлење и моторе. На растојању од 175 километара, рачунајући ту и оба трансформатора, изгубило се свега 25%. Резултат је био више но одличан, јер су многи стручњаци веровали да ће дугачка линија претстављати један велики кондензатор који ће, због тога што ће се онолико пута у секунди пунити и празнити колико периода у секунди има струја, апсорбовати велику количину електричне енергије. Бојазан од катастрофе показала се неоправдана, те је и у том погледу потврђено Теслино гледиште да треба радити са што мањим бројем периода у секунди, а не са 125 и 146 колико се у то време употребљавало у Америци.

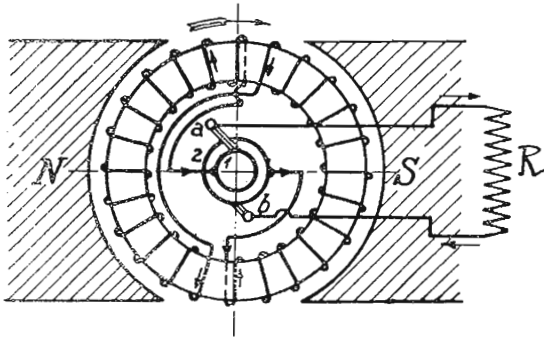
После франкфуртске изложбе наизменична струја узима нагло маха у целом свету. Сва нова електрична постројења подизале су се за наизменичну трофазну струју. Многе од једносмислене преобраћене су у наизменичну струју, тако да данас од целокупне електричне енергије која се у целом свету производи, девет десетина припада наизменичној струји. Данас је само редак изузетак да се подигне која централа за једносмислену струју. Такав је случај само онда када је врло узан реон развођења. Чак и тамо где је нарочито потребна једносмислена струја, она се добија из наизменичне претварањем било путем машина које раде једновремено као наизменични мотор и једносмислени генератор (комунаторке), било путем директних исправљача (конвертора).

ДЕВЕТА ГЛАВА

Струје високе учестаности

1. Алтернатор ниске и високе учестаности

На сл. 131 види се шема генератора наизменичне струје односно алтернатора. Прва половина његовог намотаја везана је за



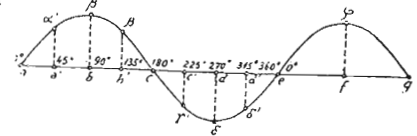
Сл. 131. Шема генератора наизменичне струје.

N , излазити преко прстена 1 и четкице a . После полуобрта доћи ће друга половина намотаја под пол N , а прва ће отићи под пол S . Сада ће струја из машине излазити долазећи из друге половине намотаја преко прстена 2 и четкице b . Кад настане други полуобрт, прва половина ће почети да долази понова под пол N и при крају другог полуобрта понова ће се наћи у почетном положају. Дакле, за један обрт индукта сваки проводник пође од пола N , прође поред пола S и врати се у првобитан положај. Струја, која се тада ствара у том проводнику путем индукције постепено расте до свог максимума, онда пада до нуле, промени смисао и дође до новог максимума па понова опада до нуле. Те промене графички претставља крива линија на сл. 132. Дакле, док проводник прође простор од пола N и понова се врати под исти пол, прошавши наравно и поред пола S , индукована струја у проводнику претрпи све промене од 0 до максимума. Ако би се индукт окренуо 50 пута у секунди, онда ће

прстен 1 и четкицу a а друга за прстен 2 и четкицу b .

У моменту, који је на слици претстављен, прва половина се налази под полом N а друга под полом S . Према смислу окретања струја ће из прве половине намотаја, који се налази под полом

струја у проводнику 50 пута проћи кроз све узастопне промене. Каже се да струја има у том случају 50 периода у секунди. Четкица a биће за једну секунду 50 пута позитиван и 50 пута негативан пол машине. Четкица b тако исто. Трајање једног периода биће $1/50$ део секунде.



Сл. 132. Синусоидалне промене интензитета струје

Ако место машине са два пола посматрамо машину која има 4 пола (сл. 133) тј. два пара полова, онда ћемо видети да ће један проводник од једног пола N доћи под наредни пол N после половине обрта индукта. Кад индукт учини један пун обрт, проводник ће проћи кроз два пуна циклуса свих магнетних промена. Кад се, дакле, индукт обрне један пут, индукована струја у проводнику показује два пута све периодичне промене од 0 до позитивног и негативног максимума.

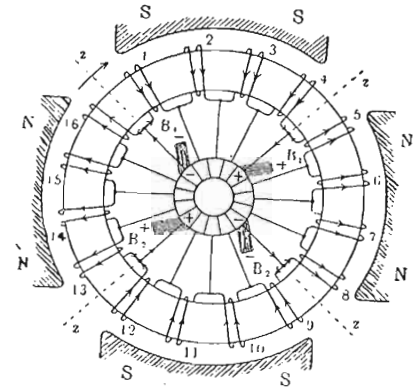
Код двополних машина тј. машина са једним паром магнетних полова, број периода индуковане струје исти је у секунди као што је и број обрта машине у секунди.

Код машина са више полова број периода индуковане струје у секунди добија се кад се број обрта у секунди помножи са бројем пари полова.

Ако број периода у секунди или учестаност (фреквенцију) означимо са f , број обрта машине у секунди са n , а број пари полова са p , онда за израчунавање фреквенције имамо образац

$$f = n \cdot p$$

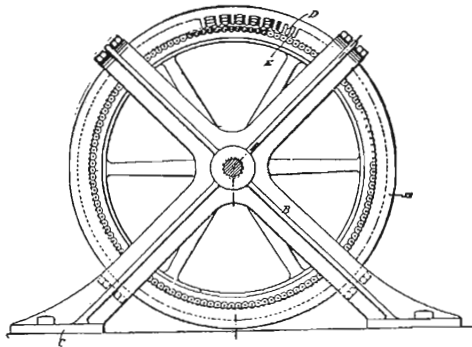
За велике машине, које производе струју за осветљење од 50 периода у секунди, било би сувише много да праве 50 обрта за секунду или 3000 обрта за минуто. Оне се обично окрећу много спорје, али зато имају много више пари полова. Један генератор наизменичне струје кога покреће једна парна машина са 100 обрта у минуто, ако треба да даје 50 периода за секунду, односно 3000 за минуто, мора да има 30 пари полова.



Сл. 133. Шема алтернатора са два пара полова

У електротехници јаке струје употребљава се учестаност од 15 до 60 периода у секунди. То је тзв. *ниска учестаност*. Најчешћи број периода у секунди је 50. У радиотехници пак употребљавају се струје чија учестаност иде од 10000 па до неколико милиона периода за секунду. То су струје *високе учестаности* или *високофреквентне струје*.

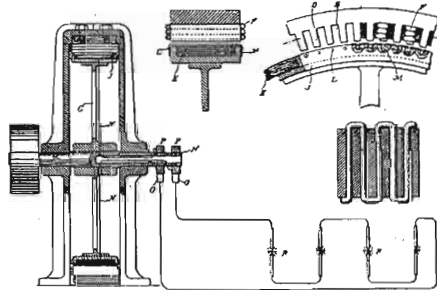
Први високофреквентни генератор видимо на сл. 134 и 135. То је *Теслин алтернатор* помоћу кога је он још 1888 год. произвођио високофреквентне струје до 15 000 периода у секунди.



Сл. 134. Теслин алтернатор (уздужни пресек).

На сл. 134 и 135 видимо алтернатор са 384 пола (означени са *D*).

Индукт или арматура састављена је од једног котура који на своме обиму носи прстен *J*. Он је на целом свом обиму ижљебљен



Сл. 135. Теслин алтернатор (попречни пресек).

и у том жљебу су положене танке жице од меког гвожђа *K* које служе као језгро за намотаје *M*, који су клиновима *L* добро причвршћени да се не би покидали и разлетели услед велике центрифугалне силе. Ови клинови иду попреко од једног образа жљеба до другог тако, да се по намотај *M* и његово језгро налази у једном јаком ка-

вај алтернатор је у принципу исти као и алтернатор ниске учестаности који смо видели на сл. 131 и 133 само што је брзина окретања високофреквентног алтернатора повећана до 3000 обрта у минути, а број магнетних полова иде до 400.

везу састављеном од ових клинова. Сви намотаји *M* везани су на ред (у серију) а њихови крајеви везани су кроз шупљу осовину *H* за прстенове *PP* са којих се помоћу четкица *OO* одводи струја.

Кад се узме у обзир велики број полова које треба сместити и добро изоловати, велика брзина и висока учестаност које треба поставити, онда се могу замислити тешкоће у погледу механичком и електричном на које конструктор наилази при изради једне овакве машине.

Комбинацијом двају алтернатора, учестаност се може удвостручити. Принцип је прост. Генератор се напаја једносмисленом струјом. Његов ротор даје при нормалном обртају учестаност *f*. Ако се у статор друге машине уведе ова наизменична струја из првог ротора, она ствара у другом статору обртно магнетно поље. Ово обртно поље индукује у другом ротору, *кад стоји мирно*, струју исте фреквенције као што је и у статору. Ако пак други ротор okreћемо супротно смислу обртног магнетног поља и то са истом брзином, онда ће се у другом ротору створити индукована струја учестаности *2f*. Комбинацијом трију машина добила би се у трећем ротору учестаност *3f* итд.

Да не би индуктов намотај (арматура) био изложен центрифугалним силама, Тесла је и њега пренео на непокретан део те се тако и индукторов и индуктов намотај налазе један поред другог и оба су непокретна.

Овај други тип високофреквентних алтернатора састоји се из плочастог ротора са изрецакавим обимом тако да личи на зупчасти точак. Његови полови налазе се с једне и с друге стране ротора и то тако да су сви полови *N* с једне, а сви полови *S* с друге стране ротора.

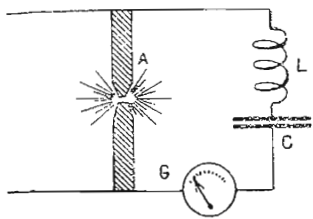
Променљивост магнетног поља врши се окретањем зупчастог ротора. Како број зубаца може бити врло велик, јер нису снабдевени никаквим намотајем, а и брзина може бити већа но кад има намотаја на зупцима, то је и променљивост магнетног поља врло велика, то се са овим типом алтернатора могла поставити учестаност од 20 000 периода у секунди. На овај начин се избегла и могућност да ротор, услед велике брзине окретања и велике центрифугалне силе, дође у додир са статором који га окружује.

Сви доцнији алтернатори, који су били обилно примењени у радиотелеграфији под разним именима и облицима: Јувинг Пајк, Хари Трутон, Латур, Голдшмит, Фесенден, Александерсон, Бетено и др. засновани су на принципу једног или другог типа поменутих алтернатора.

2. Електрични лук као генератор високоучестаних струја

Ако се један Волтин (пламени) лук *A* (сл. 136) веже паралелно са кондензатором *C* и самоиндукционим калемом *L*, па се

напаја једносмисленом струјом, онда ће се у колу *ALCGA* створити струја високе учестаности у случају ако су самоиндукција *L* калема и капацитет кондензатора *C* такве величине да је коло *ALCGA* *осцилаторно*. На овај начин електрични лук се понаша као прави генератор високоучестане струје, макар да се напаја једносмисленом струјом.



Сл. 136. Волни лук као генератор високоучестане струје.

3. Електрични осцилатори

Електричним осцилаторима се називају апарати који искористују пражњење кондензатора (лајденских боца) да би створили електричне осцилације разних трајања.

Још од 1746 год. знало се да, кад се један кондензатор празни и појави варница између куглица везаних за његове облоге, онда струја електрицитета не тече непрекидно

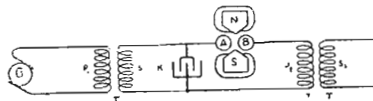
само са једне облоге већ у виду варнице она наизменично осцилира, полазећи час с једне час с друге куглице.

Пошто ове осцилације могу износити и више милиона у секунди, Тесла је уочио да су оне врло подесне за добијање струја високе учестаности и на тај начин, искористивши осцилације варница, остварио је апарате за произвођење индукованих струја високе учестаности. Ти апарати названи су *Теслини осцилатори*.

Теслин осцилатор са потребним прибором, сведен шематички на најпростији облик, види се на сл. 137.

Струја из обичног генератора *G* наизменичне струје иде у примарни намотај *P₁* трансформатора *T* из чијег секундарног намотаја *S₁* иде у кондензатор *K*

који се на тај начин напаја струјом високог напона. Место генератора *G* и обичног трансформатора *T* може се употребити самоиндукциони калем који



Сл. 137. Шема Теслиног осцилатора.

је сâм у стању да произведе индуковану струју довољно високог напона за успешно напајање кондензатора. Кондензатор се све више пуни док се не добије такав напон између куглица *A* и *B*, од којих је свака везана за једну электроду кондензатора, да се између *A* и *B* појављује варница која скаче с једне кугле на другу. Да се појави прва варница треба да је потенцијална разлика између куглица *A* и *B* врло велика. Али, кад добијемо прву варницу

и ваздух се наелектрише, онда се даље варнице одржавају и са мањом потенцијалном разликом. Кад се варница угаси, кондензатор се понова пуни и, кад дође до напона који се не може одржати између куглица *A* и *B*, појављује се ново дисруптивно пражњење и нови низ варница. Куглице *A* и *B* и њихов међупростор зову се у овом случају *варничар*.

За време скакања варница електрони се не крећу само у варничару тј. у међупростору између куглица *A* и *B*, већ и у целом проводном колу *BP₂KAB*. На тај начин ствара се у том целом колу наизменична струја чија учестаност може достићи и више милиона периода у секунди.

Намотај *P₂* је примарни намотај једног нарочитог трансформатора *TT* који нема нити гвоздено нити ма какво друго језгро. То је тзв. *Теслин трансформатор* који је он изумео да би струје високе учестаности довео на још виши напон.

Високоучестана струја пролазећи, дакле, кроз примарни намотај *P₂*, индукује у секундарном намотају *S₂* струју исте учестаности али вишег напона. Ова секундарна струја високе учестаности и вишег напона названа *Теслина струја* може се употребити било за циљеве радиотелеграфије и радиотелефоније или за друге. При пражњењу кондензатора, свака варница претставља управо читаву поворку од којих је прва најјача а друге за њом све су слабије и слабије док потпуно не исчезну. Према томе и прве осцилације електромагнетног поља које се ствара унаоколо при скоку једве варнице најјаче су а наредне су све слабије. Осцилације, дакле, које производи варница *пригушене* су или *амортизоване*, тј. оне не трају дуго већ се брзо изгубе.

Пошто пригушене осцилације могу да садрже саму малу количину енергије, Тесла је дошао на мисао да трајање осцилација сваке варнице скрати тј. да искористи само неколико њених првих најинтензивнијих трептаја, па да варницу угаси, да му се не би кондензатор бескорисно празнио, јер му онда треба релативно много више времена да се поново напуни и дође до напона потребног за поновно пражњење. А да би могао уложити велику енергију у њих нашао је начина да увећа број варница.

Замислимо варницу која је трајала врло кратко време и произвела нап. 20 првих осцилација које су мање више исте јачине, јер извор који их је стварао није за то време много опао у количини електрицитета. Ако би варничар био у стању да 10000 пута у секунди произведе и угаси варницу, у његовом електричном колу би се произвело 200 000 осцилација. Тесла је конструисао преки-

дате који су могли да угасе варницу 100 000 пута у секунди па је успео, да у осцилаторном колу произведе више милиона осцилација.

Код осцилатора, показаног на слици, варницу гаси стални електромагнет чији се полови виде. Варничар тога осцилатора састоји се од две кугле *A* и *B*. Место кугала могу се узети две шипке, два ваљка, једна плоча и једна шипка, једна плоча и један зупчасти точак који се окреће итд. Већ сам Тесла конструисао је разне облике варничара.

4. Електричне осцилације (таласања)

Лајденска боца, пронађена 1746 год., скоро читав век је служила као кондензатор, пуњена је и пражњена у разним опитима, а није се приметило, да се свака варница, која се јавља приликом пражњења, не састоји из једног јединог импулса електрицитета који би ишао само са једне електроде на другу, као што то изгледа, већ напротив, да се свака његова варница састоји из читавог низа појединих варница које иду наизменично с једне електроде на другу и да је свака потоња слабија од претходне, док се пражњење најзад не заврши тиме што је последња делимична варница постала сасвим слаба.

Осцилаторни карактер варнице први је уочио амерички физичар Јосиф Хенри. Њему се године 1829 десио прекид у намотају једног снажног електромагнета и, на месту прекида, јавила се моћна варница. Испитујући природу ове појаве Хенри је дошао до закључка да се варница појавила услед „електричне самоиндукције у соленидовом намотају“ што је и објавио 1832 год. То је и прво откриће о самоиндукцији. Године 1842 Хенри је објавио класичну чињеницу да се „пражњење лајденске боце не састоји из једноставног прелаза флуида с једне површине боце на другу. Факта нас приморавају да донесемо закључак да је главно пражњење пражњено са више осцилација у оба правца, увек све слабијих, док се не постигне равнотежа. Све чињенице које посматрамо у сагласности су са овом претпоставком“.

Године 1847 немачки физичар Хелмхолц одржао је пред Физичким друштвом у Берлину предавање о „одржању енергије“, где између осталог каже: „Да се струја пражњења састоји из наизменичних струја, доказ је прво тај, што се добијају супротна дејства магнетисања, затим што се приликом растављања воде путем електричних пражњења на свакој електроди јављају оба гаса“.

Лорд Келвин (Виљем Томсон) приступио је дубљем проучавању електричних осцилација (таласања). Своја математичка истра-

живања о томе објавио је 1853 год. Он је дошао до математичких формула из којих се види да се енергија напуњеног кондензатора, кад се празни, троши делом на развијање топлоте, а делом на поновно нагомиланање енергије у кондензатору у супротном смислу. Овај други део даје затим и струју у супротном смислу, што изазива осцилације електрицитета између једне и друге електроде и у целом колу.

Овакве осцилације, као што знамо, могу се произвести само у таквом колу које претставља извесан капацитет *C* (у виду кондензатора у ужем смислу, или у виду капацитета самих проводника) и извесну самоиндукцију *L*. Отпор кола *R* мора да буде незнатан (тако да буде $R < \sqrt{\frac{4L}{C}}$). Такво електрично коло, које има услове да се у њему могу развити електричне осцилације, названо је *осцилаторно коло*. Дакле, *осцилаторно коло се састоји из капацитета, самоиндукције и незнатног омског отпора*.

За учестаност осцилација *f*, које се приликом скакања варнице јављају, Лорд Келвин је дао овај образац:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Он је такође дао и образац за таласну дужину. Она се добија кад се брзина распрострањања електричних осцилација (равна брзини распрострањања светлости) тј. 300 000 километара за секунду, подели бројем периода у секунди електричног кола:

$$\lambda = \frac{c}{f} = c \times 2\pi\sqrt{LC}$$

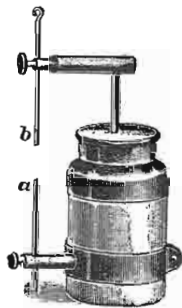
Из првог обрасца види се да ће учестаност *f* бити утолико мања уколико су већи капацитет *C* (кондензатор) и самоиндукција *L*. Физички се то да лако разумети. Уколико су већи кондензатор и капацитет кола уопште, утолико је већа количина нагомиланог електрицитета, те ће за покретање те количине требати више времена но за покретање мање количине. Зато мале лајденске боце дају много брже осцилације но велике. Исто тако, уколико је већа самоиндукција, утолико ће таласање бити спорije, јер знамо да се самоиндукција противи узроку који је ствара (у овом случају њу ствара само таласање).

Сличне појаве имамо и у акустици. Дужа фрула, код које треба заталасати већу количину ваздуха, даје нижи тон, док краћа фрула даје виши тон, јер је заталасана количина ваздуха мања те је треперење брже. Исто тако права труба даје виши тон (брже треперење), но труба исте дужине, али са завојцима.

Чувени физичар Витстон дошао је први на мисао да трајање једне варнице посматра помоћу обртног огледала. Кад се у једном мирном огледалу посматра једна запаљена свећа, њен лик се види на једном одређеном месту. Ако се пак огледало окреће, лик ће променити место. Светлосни зрак са свеће одбија се од огледала под истим углом под којим је и пао. За време, док зрак иде од свеће на огледало и на траг, огледало се окренуло за извесан угао и одбијени зрак ће пасти ван места, где је падао кад је огледало мировало. Он ће се удаљити у правцу куда се огледало окреће, и то утолико више, уколико се огледало буде брже окретало. Услед брзог помицања ликова свеће, око види наредни лик пре но што је претходни исчезео те на тај начин види непрекидну светлу траку. Слично томе мора бити и кад се посматра трајање једне варнице коју производи кондензатор при своме пражњењу.

Федерсен је, двадесетак година после Витстона, предузео мерење трајања једне варнице помоћу таквог обртног огледала. Начин мерења састојао се у овоме:

Према варничару (простор a и b на сл. 138) он је поставио *огледало* које се великом брзином окреће око своје осовине. За време трајања варнице, огледало у свом окретању начини извесан угао који је утолико већи уколико је брзина окретања већа. Светлосни зрак, који од варнице падне на огледало, одбија се под истим углом под којим је и пао, и удара у фотографску траку која се креће (филм). На тај начин, по замисли Федерсеновој, требало би да се на фотографској траци створи светла



Сл. 138. Лајденска боца.



Сл. 139. Фотографски снимак осцилаторне варнице.

слика која ће бити утолико дужа уколико варница дуже траје. Предвиђена дужина светлог снимка се и добила само *што није била једноставна и непрекидна трака већ један ред светлих и црних места*, као што се то види из снимка на сл. 139. То значи да варница за време свога трајања није била непрекидна већ се више пута гасила и поново палила у једнаким размацама времена, дакле, *она има осцилаторни карактер*. Знајући брзину окретања огледала, брзину кретања фотографског филма и растојање између огледала и филма, Федерсен је лако израчунао трајање једне варнице као и број пре-

кида за то време. Нека је напр. растојање између филма и огледала 1 метар. Ако би варница трајала једну секунду, а огледало правило 100 обрта у секунди, онда ће се за то време на филму створити снимак дугачак 200 пута као обим круга чији је полупречник 1 метар (пошто се светлост, која пада на огледало, одбија увек под истим углом, под којим и пада, то зрак, који одбија огледало, прави два пута већи угао но огледало). Ако варница не траје једну секунду већ само $\frac{1}{10\,000}$ део секунде, то ће и дужина снимка износити само десетохиљадити део пређашње дужине. Пошто у поменутом случају дужина обима при једном обрту износи 6,28 метара, то би дужина снимка, када би варница трајала једну секунду, износила $200 \times 6,28 = 1256$ метара. У другом случају, где варница траје $\frac{1}{10\,000}$ секунде дужина снимка износи: $\frac{1256}{10000} = 0,1256$ метара тј. 12,56 *cm*.

Обрнуто, из дужине снимка може се израчунати трајање варнице када се зна брзина окретања огледала, брзина филма и растојање између огледала и филма. Ако снимак на сл. 139 рецимо претставља трајање од $\frac{1}{10000}$ секунде, а на њему видимо осам светлих и осам тамних места, то значи да се за $\frac{1}{10000}$ секунде варница осам пута угасила и успоставила и за то време осам пута ишла од једне електроде до друге. То осцилирање на варничару проноси се наравно и на електрицитет у унутрашњости проводног кола. Време између једног гашења варнице и наредног износи према томе $\frac{1}{80000}$ део секунде, што значи да период електричних осцилација у овом случају износи $\frac{1}{80000}$ секунде. Према томе, учестаност струје је тада 80000 периода у секунди. Пошто је овако утврђен осцилаторни карактер варнице, онда се на следећи начин може објаснити механизам ове појаве:

Осцилације код варнице јављају се услед појаве екстра-струје. Када је лајденска боца (сл. 138) напуњена електрицитетом, постоји између њених електрода извесна потенцијална разлика која тежи да електрицитет са вишег потенцијала пренесе на нижи, да би се они изједначили. За спољашњу электроду везана је шипка a , за унутрашњу электроду шипка b . Ако шипке a и b приближујемо једну другој, наступиће моменат када отпор растојања између a и b не може спречити електрицитет са електроде на вишем потенцијалу, рецимо са b , да пређе на электроду нижега потенцијала a . Појављује се варница, и електрицитет са b скаче на a . Настаје дисруптивно пражњење боце те извесна струја потече од b ка a . Њен интензитет је све слабији уколико се потенцијал електроде a по-

вишава а потенцијал електроде b опада. Кад струја пражњења почне да тече од b ка a , јавља се у истом колу екстра-струја која иде од a ка b . Струја пражњења постепено опада и убрзо толико опадне, да екстра-струја надвлада. Сада тече нова струја од a ка b . Она на исти начин произведе себи супротну нову екстра-струју. Услед тога убрзо и ова екстра-струја опадне а нова екстра-струја потече поново од b ка a итд., док потенцијали обеју електрода, због отпора кола, не ослабе и варница се дефинитивно не угаси. Дакле, кад се између два тела појави варница, њихови потенцијали не изједначају се простим током струје са вишег потенцијала на нижи, већ тек после једног низа осцилација које иду наизменично са једног тела на друго. Зато и код муње видимо не праву већ *цик-цак* линију.

5. Херцови огледи

У многобројним огледима Фарадеј је дошао до закључка да у природи постоји један веома суптилан фактор, *етар*, који је носилац свију појава како електричних тако светлосних и да се електрицитет као и светлост јавља као треперење тога хипотетичног етра. Електрисање би се састојало у електричним деформацијама етра. По њему линије сила нису само геометриски појам, већ стварно постоје и теже да се привуку кад су супротног смисла, а да се одбију кад су истог смисла.

Енглески физичар Максвел био је први који је покушао да даде математичку потврду оваквом Фарадејевом тумачењу електричних појава. Он је то и успео и тако је постала *Максвелова електромагнетна теорија светлости*, из које произлази да су светлосне и електромагнетске појаве исте природе, тј. да су светлосни и електромагнетни таласи квалитативно истоветни.

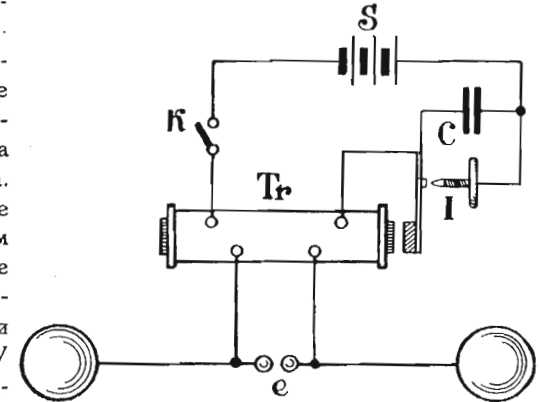
Многи се критичари слажу у томе да Максвелова електромагнетна теорија није потпуна већ да је то пре расправа којом се показује могућност једне такве теорије. Неоспорно је пак да је Максвелово дело изазвало врло живо интересовање, и многи су приступили истраживањима, теориским и експерименталним, да би проверили тачност њеног тврђења о истоветности светлосних и електромагнетних таласа. Садашње сазнање о тим појавама је резултат тих истраживања.

Међу првим радовима који су дошли на основу Максвелове теорије, свакако су опити немачког физичара Хајнриха Херца. Године 1887/88 Херц је испитивао однос између светлости и електрицитета да би се експерименталним путем проверила Максвелова

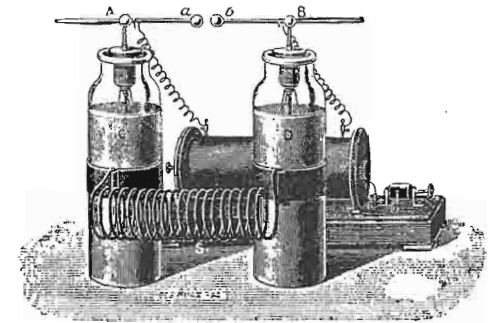
електромагнетна теорија светлости. Том приликом увидео је да се електрицитет распростире кроз атмосферу путем таласања као и светлост и са истом брзином од 300000 километара за секунду. Тако је он успео да експериментално оствари електромагнетне таласе. Херц је такође успео да електромагнетне таласе испита са разних гледишта.

Сл. 140 показује шему апарата којим је Херц вршио своје опите. То је тзв. *Лоцов резонатор* која видимо на сл. 141. У њему T_r означава индукциони калем чији је секундарни намотај везан за проводнике који носе на спољним крајевима велике металне кугле са пречником од по 30 *ст*. Растојање између средишта тих кугли износи 150 *ст*.

Када се кондензатор који образује ове две кугле напуни и дође на потенцијал који се не може одржати, онда се између малих куглица e јавља варница. Заиста, кад су између тих куглица скакале варнице, Херц је, као што ћемо видети, констатовао, да оне стварају електричне таласе који су се простирали као и светлосни таласи и имали све особине светлосних таласа. Тиме је била потврђена Максвелова електромагнетна теорија светлости. На овај је начин први пут успело да се произведу електромагнетни таласи који су после, као што знамо, нашли тако огромну примену у радију. Заслуга, дакле, за ово епохално откриће при-



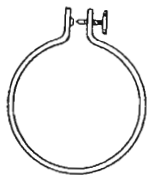
Сл. 140. Шема Херцовог осцилатора.



Сл. 141. Лоцов резонатор.

пада Херцу. Како је количина електрицитета, која се може накупити на куглама врло мала, то се добијају и варничне осцилације врло брзо. Ове су осцилације назване *примарне*, а апарат за произвођење варница Херц је назвао *осцилатор*. Осцилације са осцилатора стварају око себе електромагнетно поље које је Херц испитивао помоћу нарочите направе коју је назвао *резонатор*.

Резонатор (сл. 142) је један проводник, повијен у скоро затворен круг. На једном његовом крају налази се месингани вршак, а на другом шиљаста микрометарски завртањ тако да се растојање између вршка и шиљка може лако регулисати. Између оваквог вршка и шиљка може се добити варница и онда кад је потенцијална разлика која би у кругу владала била врло мала. Пошто је осцилатор пуштен у рад, Херц је стављао резонатор на разне даљине од осцилатора (у равни управној на осу осцилатора).



Сл. 142.

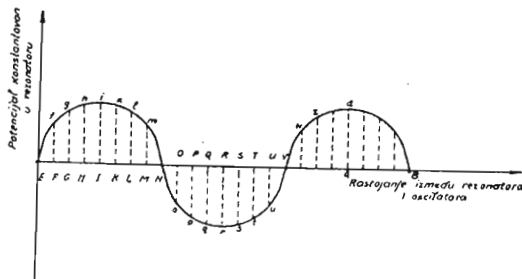
Херцов резонатор.

Кад је резонатор постављен у тачци *E*, (сл. 143) не појављује се никаква варница ма како било мало растојање између вршка и шиљка. Кад је Херц постепено удаљавао резонатор од ове тачке, констатовао је, да се појављује све већа варница, уколико је веће растојање, али само до извесне тачке *I*. То значи да на тим местима постоји све већа потенцијална разлика, дакле на тим местима већа промена електромагнетног поља, у извесној тачци *I* постоји максимум потенцијала и постиже се најдужа варница. После тога јачина варнице опет опада, и у тачци *N* нема никакве варнице.

Мерењем се утврђује да је растојање између *I* и *N* исто као и између *E* и *I*.

Идући са резонатором даље у истом правцу, не констатује се ништа, али, ако се резонатор окрене, констатује се, почев од тачке *N* да

Сл. 143. Зависност потенцијалне разлике између вршка и шиљка резонатора од растојања између резонатора и осцилатора.



потенцијал постепено расте. Значи да је, почев од тачке *N*, потенцијал супротног смисла према пређашњем. У извесној тачци *R*

достигне се нов максимум, па затим поново опада док у тачци *V* поново не падне на нулу. Сада треба поново окренути резонатор и констатује се ново рашћење до максимума, па опет потом спадање до нуле.

Ове промене потенцијала графички претставља крива линија коју видимо на сл. 143. На месту *E* потенцијал је раван нули. У тачци *F* потенцијал има извесну вредност коју претстављамо величином Ff , потенцијал у тачци *G* претстављамо са Gg итд. У тачци *I* потенцијал је максимум и претстављамо га дужином Ii . У тачци *N* потенцијал је раван нули. Одавде потенцијал Oo превосимо испод апсцисе пошто је супротан од пређашњег. У тачци *R* имамо максимум супротног смисла и претстављамо га дужином Rr итд. Ако једном линијом спојимо све тачке $Efgnik\dots$ добије се позната крива линија која означава промене индукване или наизменичне струје.

На основу закона о индукцији знамо да величина индукване електромоторне силе зависи од величине и брзине промена магнетног поља. То значи да те промене нису исте у свима тачкама између осцилатора и места *V* између којих је растојање рецимо 6 метара.

Услед дисруптивног пражњења електрони су стављени у покрет. У тачци *E*, одакле почиње кретање, брзина кретања је нула. Одатле оно бива све брже и брже док не достигне максимум. После опада док не дође до нуле. Затим настаје кретање у супротном смислу. Ово кретање слично је кретању клатна — сатне шеталаце. Кад изведемо из положаја равнотеже клатно које мирује па га пустимо самом себи, оно се враћа у положај мира све већом и већом брзином. Кад дође у најнижу тачку, оно добије највећу брзину. Због тога се не може ту зауставити већ продужује пут док се не погне на противној страни скоро на исту висину са које је пошло. Како ово није равнотежна тачка, оно се спушта натраг брзином која постепено расте док не постигне опет максимум кад пролази при дну кроз равнотежни положај. Ни овога пута се клатно не зауставља већ се пење натраг скоро на исту висину са које је почело кретање, разуме се губећи све више инерцијом добивену брзину. После тога клатно се поново враћа у супротном смислу и то брзином која постепено расте па онда поново опада итд. Такво кретање клатна названо је *клаћење* или *осцилирање*. Под једним клаћењем рачуна се пут који клатно прође кад крене из свога равнотежног положаја, иде на више, врати се, прође на другу страну и поново се врати у положај одакле је кретање почело. Време потребно да се изврши једно клаћење зове се *период клаћења*. За прву четврт периода брзина кретања опада, у другој четврти расте, у

трећој четвртој поново опада а у четвртој расте у супротном смислу, док не дође у равнотежан положај.

Слична кретања имамо и код заталасане воде. Нека је површина воде у једном базену или језеру потпуно мирна. Ако на воду бацимо камен или други предмет, створиће се један кружни талас који ће се све више и више ширити. Затим ће се створити други нешто слабији, па трећи још слабији итд. ствараће се све слабији и слабији док се вода потпуно не смири. Ако посматрамо овакав један талас, констатовали смо да се од првобитног мирног нивоа вода постепено издигне у виду *брега*, који има свој врх или гребен, па се потом спушта. То спуштање се не зауставља на мирни ниво већ иде и испод њега, те се ствара *увала*, која има и своје дно, највижу тачку удубљења. Од тога дна вода се понова издигне до брега итд. Растојање од једног до другог наредног врха или од једног до другог наредног дна зове се *дужина таласа*, а висинска разлика између једног врха и првобитног равног нивоа, или између дна и равног нивоа, зове се *висина таласа* кад је реч о таласу на води или *амплитуда*, како се то каже изразом физике. Кад је реч о брегу, висина таласа је *позитивна*, кад је реч о ували она је *негативна*. Негативна висина таласа назива се у обичном говору дубина.

И вредност индукване електромоторне силе (или индукване струје, ако је коло затворено) расте, опада и мења свој смисао кретања, исто онако као што се те промене врше код осцилаторног кретања клатна. Стога се каже да и индуквана струја осцилира између две максималне вредности супротног смисла, постепено растући и опадајући. Према томе и она има облик осцилација односно таласања.

Исто овакво таласасто кретање постоји у електромагнетном пољу које ствара варица на осцилатору. У овом случају таласају се, вибрирају, електрони. Између тачака *E* и *I* (сл. 143) амплитуда постепено расте, као што на воденом таласу постепено расте висина све до средине брега. Затим између *I* и *N* амплитуда опада. После тачке *N*, где се не констатују никакве промене електромагнетног поља, дешавају се промене супротног смисла и амплитуде у супротном смислу постепено расту исто онако као што се на воденом таласу у ували површина постепено спушта до извесне дубине, па се после тога поново издиже.

Својим резонатаром Херц је, дакле, експерименталним путем потврдио Максвелову теорију и доказао да се електрицитет стварно распростире таласањем тј. да се електрони почев од центра распростирања не удаљују подједнако од свога положаја мира, већ

негде више, негде мање а на извесним местима остају где су, те према томе заталасана маса показује брегове (највећа удаљења од положаја мира), чворове (места где маса остаје мирна) и увале (највећа удаљења у супротном смислу). Херц је затим успео да тачно измери таласну дужину тј. растојање између два брега (између *I* и *A*), или између два чвора који обухватају један брег и једну увалу (између *E* и *V* или *N* и *B*) или између две увале. Он је успео такође да израчуна време за које се пређе пут једне таласне дужине. То је време једнако трајању између два наредна гашења или паљења једне варице. Ово се време, као што смо видели, може мерити помоћу Федерсеновог огледала. Оно се зове, како нам је из ранајег проучавања познато, *период осцилација*. Знајући пут и време осцилирања, Херц је израчунао да се таласање електрицитета распростире брзином од 300 000 000 метара за секунду, истом, дакле, брзином као и светлост. На тај начин потврђено је предвиђање Максвелово да су електрицитет и светлост таласање једне исте средине.

Вршена су такође и испитивања у погледу преламања зракова електричних таласа, па се утврдило да се и они преламају као и светлосни зраци. Брзина распростирања мерена је помоћу Френеловог огледала, као што се мери брзина распростирања светлости, па се и ту потврдило да се електрични и светлосни таласи распростиру истом брзином.

На основу свих ових истраживања дошло се до закључка да су светлост, топлота и електрицитет резултат *таласања електрона*. Кад је таласање електрона врло брзо, тако да таласна дужина износи само 0,4—0,71 микрона (1000 микрона чине 1 милиметар), онда се то таласање нама приказује као светлост. Кад је таласање нешто спорије, онда се такво таласање појављује у облику топлоте. Таласање са већом таласном дужином јавља се у виду електричних вибрација. Најкраћи електрични таласи од 6 *ст*, произведени Ричијевим осцилатором, претстављају кретање које има скоро пет милијарди осцилација у секунди, што значи да је период таласања једва петмилијардити део секунде. Таласи од 300 метара, који се често сретaju у радиотелефонији, претстављају милион таласања у секунди; период њиховог таласања је милионитити део секунде.

5. Бранлијев кохерер

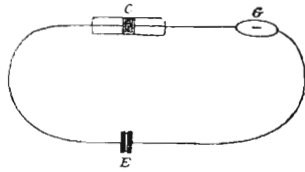
Констатовати електромагнетске таласе помоћу Херцовог резонатора доста је тешко и захтева умешност у руковању. Фран-

цуски научник Бранли открио је врло прост апарат за откривање присуства електромагнетних таласа. Он се састоји из гвоздених струготина P (сл. 144) затворених у стакленој цеви G .



Сл. 144. Бранлијев кохерер.

Оне се налазе између електрода E_1 и E_2 које их, као запушачи, затварају. Овакав апарат назван је *кохерер*. Његове електроде спајају се проводницима од којих је један везан за галванометар G (сл. 145) а други за галвански елемент E . Кохерер функционише на следећи начин. Додир између струготина је слаб, зато је електрични отпор кохерера, кад не ради, врло велик. Струја, која из једног елемента тече кроз коло у коме је кохерер незнатна је те галванометар не показује ништа. Али,



Сл. 145. Кохерер у колу једносмислене струје.

када на кохерер наиђу електромагнетни таласи, они загреју додирне тачке гвоздених опиљака и донекле их затопи. На овај начин маса опиљака кохерера постала је добар проводник. Отпор кохерера не износи тада више од 5—10 ома, те кроз коло тече прилично јака једносмислена струја, што се да утврдити помоћу галванометра, чија игла тада скреће. Ако се кохерер остави на миру, струготине ће задржати свој положај и струја ће тећи и даље кроз коло *ESGE* иако су електромагнетни таласи престали да дејствују. Услед тога би било немогуће утврдити њихов престанак као ни долазак нових таласа. Да би се то отклонило, уз кохерер се постави електрично звоно које потреса кохерер и растреса струготине, те, чим таласи прођу и њихова веза се раскине, они се враћају у положај са slabим додиром и великим отпором. У том моменту струја не тече кроз коло а звонце престане да звони. То је знак да су таласи прошли. Кад наиђу нови таласи, понавља се исто. На тај начин може се лако утврдити кад има електромагнетних таласа и кад они нестају.

6. Електрична резонанција

Врло важна појава код наизменичних струја уопште, а у радиотехници напосе, као и код осталих вибрационих кретања, јесте *резонанција*.

Из акустике знамо да кад имамо више звучних виљушака, више звона или других инструмената, или имамо отворен клавир, па производимо разне тонове, на сваки произведен тон затрепери само једна виљушка односно само једна жица, док остали инструменти, остале виљушке односно жице остају неосетљиве, не реагирају на тај тон. Тада се каже да изазвани инструмент трепери услед *резонанције* са тим звуком. Познато је из акустике да свака виолинска жица, сваки дијапозон (звучна виљушка) итд. има свој *сопствен тон* слободног треперења. То је тзв. *сопствени број вибрација*.

Кад се размотре висине произведених тонова ради пробе резонанције и основни тонови изазваних инструмената, онда се види да на поједини тон одговара само онај инструмент чији је сопствени број вибрација једнак произведеном тону.

Код електричне резонанције наилазимо на исту ову појаву. Познато нам је да кад једно електрично коло са одређеним капацитетом и одређеном самоиндукцијом има врло мали омски отпор, онда се у таквом колу могу створити и одржавати електричне осцилације. Такво се коло зове, као што знамо, *осцилаторно коло*. Брзина осцилирања електрицитета у таквом колу или, како се то стручно зове, његова *учестаност* зависи од његовог капацитета и његове самоиндукције. Према томе, свако коло које има друге вредности за капацитет и самоиндукцију има и други сопствени број осцилација. Као што знамо, број осцилација које се производе за једну секунду у једном осцилаторном колу зове се *учестаност*, а време једне осцилације зове се *период осцилација*. Ако је учестаност једнога кола 100 000, онда је период тога кола 1/100 000 део секунде. Дакле, свако осцилаторно коло има свој сопствени период осцилација који зависи само од величина његовог капацитета и величине његове самоиндукције.

Ако једном осцилаторном колу наметнемо осцилације, чији се период јако разликује од сопственог периода кола, оно ће бити неосетљиво за њих, Али, ако у коло доведемо осцилације са истим периодом, коло ће их примити и одржавати без тешкоћа и са врло мало губитака који иду на неизбежно развијање топлоте. Тада се каже, *коло је у резонанцији са примљеним осцилацијама*. У случају резонанције, отпор кола је најмањи а интензитет највећи. Отпор, који произлази од капацитета, потиже се отпором који произлази од самоиндукције и обрнуто, а остаје само омски отпор који у осцилаторном колу мора да буде што мањи. Ако се колу наметне струја, чији период не одговара периоду кола, онда нема

резонанције а та струја има да савлада поред омског отпора кола још и отпор капацитета и отпор самоиндукције. У том случају укупан отпор кола може да буде 1000 и више пута већи по што је у случају резонанције.

Мogućност рада радио-станице, давање и пријем, врши се захваљујући резонанцији. Отпремна станица сачињава једно или више осцилаторних кола. Она производи струју високе учеставости која се шаље у антену. Да се та струја не би гушила у антени, самоиндукција и капацитет антене тако се подесе, да коло антене претставља отворено осцилаторно коло чији је период осцилација једнак периоду примљене струје. Другим речима, антена се доведе у резонанцију са примљеном струјом, која у том случају достиже свој максимум интензитета.

Антена ствара око себе електромагнетно поље које се путем таласања распростире на све стране. Електромагнетни таласи, проишли од антене, кад наиђу на какво друго отворено електрично коло, стварају у њему индуковану струју исте учеставости. Ако индуковано коло није осцилаторно (отпор сувише велики) или осцилаторно али за другу учеставост, онда је индукована струја, услед великог отпора који има да савлада, тако незнатна да се не може открити (*детектовати*). Ако је пак индуковано коло осцилаторно, са истим периодом осцилација као и примљени таласи, онда је индукована струја довољно јака да се може приметити у одговарајућим апаратима.

Значај и начин примене резонанције за циљеве бежичног преноса знакова и електричне енергије први је уочио и осварео Никола Тесла чиме је, као и применом антене, ударио темељ даљем развоју радиотехнике.

ДЕСЕТА ГЛАВА

Електрична пражњења у гасовима

1. Гајслерова цев

Електрична пражњења између двају тела која се налазе на разним потенцијалима не зависе само од количине нагомилане електрике, односно од потенцијалне разлике, већ битно зависе и од врсте и притиска гаса у коме се два тела различитог електричног потенцијала налазе.

Почев са пражњењем у обичном ваздуху, под обичним атмосферским притиском, које се јавља у разним облицима, електрична пражњења показују такође код разних гасова разне одлике а нарочито су важне појаве које се збивају при пражњењу у гасовима под слабијим притиском (разређени гасови).

У стакленој цеви издуженог облика налазе се две електроде спојене спроводницима које су затопљене у стаклу и изведене ван цеви (сл. 146). У цеви се налази гас, који је гасним прпком (пумпом) доведен на притисак који одговара висини живиног стуба од 3 *mm*.

На крајевима електрода везани су полови електростатичке машине или полови извора електричне струје високог напона. Разређени гас у цеви пропушта електричну струју и светли. Нарочито јаку првену светлост даје гас неон. Ове тзв. *Гајслерове цеви* примењују се у пракси за ефектна и рекламна осветљења. Њих је открио *Гасио* 1854 год. а израђивао их је *Гајслер*, по коме су и добиле своје име.

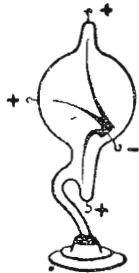


Сл. 146. Гајслерова цев.

2. Круксова цев

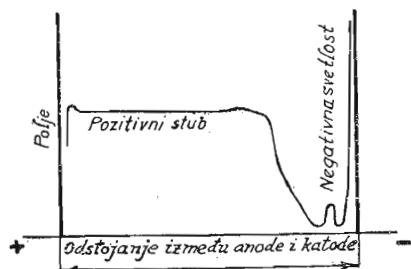
Ова се цев разликује од Гајслерове тиме што је њена празнина још већа, тј. гас је под још мањим притиском. Ова цев је првобитно рађена у облику као на сл. 147.

Цев се налази у вези са пнеуматичном црпком. Три платинска проводника везана су са позитивним полом електричне машине, а једна конкавна платинска плоча са негативним полом. Спроводници претстављају дакле *аноду* а конкавна плоча *катоду*. Када се притисак смањи на 8 до 10 *mm* живиног стуба, цев престаје да светли цела и пражњење даље бива у виду трака наизменично светлих и тамних. Ово се нарочито јасно опажа, ако цев има издужен облик, као на сл. 146. Прво се преко целе површине катоде простире један танак сјајан слој а одмах непосредно после њега један релативно таман, назван *тамни Круксов простор*. Затим наилази један светао простор назван *негативни простор*, потом један релативно таман простор назван *тамни Фарадејев простор*. После овога настаје један сјајан, који се простире до саме аноде и назива се *позитивни стуб*.



Сл. 147.
Круксова цев.

Сл. 148 претставља расподелу електричне силе на разним тачкама пражњења. Испитивање ове криве линије показује нам да је електрична сила врло велика у *тамном Круксовом простору* а да затим опада у близини *негативне светлости*, у чијем простору је врло слаба.



Сл. 148. Зависност јачине електричног поља од отстојања између аноде и катоде Круксове цеви.

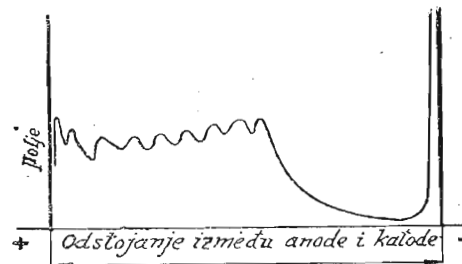
У овом последњем случају сјајни стуб је састављен од низа трака наизменично сјајних и тамних.

Нагли пад потенцијала, назван *анодни пад потенцијала*, настапа сасвим у близини аноде.

Из зависности јачине поља од отстојања између аноде и катоде односно од електричне густине можемо одредити вишак позитивних над негативним јонима у свакој тачци пражњења на отстојању између електрода. Видимо да у *тамном Круксовом про-*

стору преовлађују увелико позитивни јони; у *негативној светлости* позитивни и негативни јони су у једнаком броју, у *тамном Фарадејевом простору* преовлађују негативни јони. У *позитивном стубу* две врсте јона су отприлике у истој множини.

Ова врста пражњења опажа се у Гајслеровим, неонским, Моровим и обичним цевима са X-зрацима. При обичном притиску ова пражњења се називају *струјања*, која се



Сл. 149. Осцилације позитивног стуба Круксове цеви.

опажају и као природна појава у виду плавичастог пламена којим светле шиљци на громобранима у случају близине електрисаних облака.

Пад катодног потенцијала: Ова врста пражњења означена је дакле наглим падом потенцијала у околини катоде, који омогућава позитивним јонима да стекну велику брзину, да би јонизовали атоме катоде или молекуле гаса у светлом простору врло мале дебљине који покрива катоду. Према томе катодни пад напона претставља очевидно доњу границу експлозивног потенцијала. Електрони који излазе из катоде или из области оближњег гаса добијају у разлици катодног потенцијала такву брзину да прво пролазе кроз молекуле не јонизујући их. То је *тамни Круксов простор*; његова дебљина је скоро равна слободном путу електрона који одговара притиску гаса. Ова брзина дакле опада као што опада слободан пут електрона са притиском гаса. Исто тако опажа се да он опада кад струја расте. Када електрони буду довољно изгубили од своје брзине, они почињу да јонизују гас, — то је *негативна светлост*. Затим, услед образовања позитивних јона, поље опада а електрони губе њихову моћ јонизовања.

Позитивни стуб: Електрони настављају да се празне према аноди; тако долазимо у простор где има у сувишку негативних јона, одакле проистиче појачавање поља и поновно јонизовање може да отпочне. На тај начин се објашњава наизменично мењање поља, које смо нашли у *позитивном стубу* (в. сл. 149), и коме одговара мењање светлосне јачине: наизменичне светле и тамне траке.

И овде поново наилазе у скупу, састављеном од једне тамне траке којој следује једна сјајна трака, појаве које се де-

шавају у *тамном Фарадејевом простору* и у *простору негативне светлости*.

Поље између електрода расте када притисак опада и када струја расте. Стварно, према ономе што смо поменули мало пре, разлика потенцијала између двају крајева једне из низа трака одговара отприлике потенцијалу јонизације (независно од притиска) а ширина те траке има величину слободног пута (који опада са притиском); услед тога разлика потенцијала на сантиметар дужине прањена треба да расте са притиском.

Поље опада када јачина струје расте. Оно је много слабије код моноатомних гасова, живине паре, хелиума него ли код водоника или азота.

Ако у случају, када јонизовање почиње на анодном крају *тамног Фарадејевог простора*, брзина образовања јона буде тачно једнака брзини рекомбиновања (нестајања), тада њихов број остаје сталан и, доследно томе, јачина јонизовања и електрична густина остају стални дуж целе цеви. Тада имамо један позитиван једнолик стуб у коме поље остаје стално.

Пад анодног потенцијала: Да је доиста једна знатна количина позитивних јона произведена на незнатном отстојању од аноде, доказује се околношћу што је у једноликом *позитивном стубу* јачина струје стална до у близини аноде, а када је то случај то значи да у свакој јединици простора има исто толико позитивних колико и негативних јона.

Јонизовање у близини аноде треба да је довољно јако, да би број позитивних јона, произведен у слоју који је ванредно мале дебљине, био довољан да неутралише електростатичко дејство негативних јона који се крећу ка аноди.

Ово условљава да у близини аноде треба да постоји једна потенцијална разлика коначне величине коју називамо *пад анодног напона*. Она треба да је независна од природе аноде.

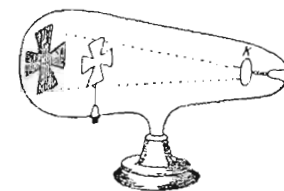
Овај анодни пад напона је много наглији али и много мањи од катодног пада напона и износи око 20 волта.

Ако се степен празнине цеви повећа до 0,001 *mm* живина стуба, тамни простор између електрода се повећава. Катода изгледа као да је прекривена љубичастом светлошћу и танки светлосни млазеви који полазе од аноде све више се сужавају. У једном тренутку престаје свака светлост у унутрашњости цеви али зид цеви насупрам аноде постаје флуоресцентан и јако се загрева, тако да се може истопити. Ово се објашњава тиме што *катодни зраци* излазе из негативне електроде и то нормално на

површину ове и праволиниски погађају супротан стаклени зид цеви (сл. 150).



Сл. 150. Праволиниски пут катодних зракова.

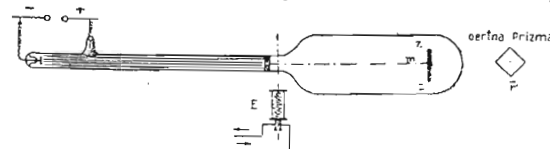


Сл. 151. Флуоресцирање стакла под дејством катодних зракова.

Ако се насупрот катоди постави крст од алуминиума, покаже се на зиду цеви, супротно од катодне, оштра сенка овога крста (сл. 151). Из овога опита проистиче да се од катодне а управно са њене површине праволиниски простиру зраци, који, ударајући на стаклени зид изазивају флуоресцирање и загревање стакла. Пошто је сенка предмета на зиду оштра (што не би био случај ако би се са катодне простирали зраци обичне светлости), то је знак да су ови зраци који се називају *катодни зраци*, нарочита физичка појава. Катодне зраке је први запазио Пликер 1859 год., а испитивања са њима вршили су Хиторф и Крукс.

3. Браунова цев

Природа катодних зракова може се доказати дејством магнетног или електростатичког поља на ове зракове. У ту сврху служи *Браунова цев*. Ова цев (сл. 152) има један шири део, у коме се налази један прозачни закљон *zz* премазан каквом флуоресцентном материјом и један ужи у коме се налази катода, на ле-



Сл. 152. Браунова цев.

вом крају, у виду једне металне плочице, а на десном, при улазу у шири део цеви, једна метална преграда са малим отвором у сре-

дишту. На левом крају у близини катоде (—) налази се анода (+). Нешто иза металне преграде налази се, у непосредној близини цеви, један електромагнет, за произвођење потребног магнетног поља, чија је осовина, као и осовина магнета, управна на правац катодних зракова. Катодни зраци полазе са катоде у правцу осовине стаклене цеви, пролазе кроз отвор у средишту металне преграде и падају на заклон, где изазивају флуоресцирање у виду осветљене кружне површине m .

Кад се у електромагнету произведе магнетно поље, чији је правац управан на правац катодних зракова, који пролазе кроз отвор металне преграде, скренуће ови зраци под утицајем магнетног поља тако да ће се светла кружна површина m померити. Ово померање се врши према закону деловања магнета на струју, те ће се његов правац моћи одредити по познатом правилу леве руке (в. пету главу, стр. 79). Ако се у правцу осовине зрака иза прозрачног заклона намести једно огледало P , то ће се слика светлога круга видети у огледалу. Ако је струја електромагнета променљива, то ће и магнетно поље бити променљиво, а отуда и различито привлачење катодних зракова, те ће се и светли круг кретати ближе или даље од тачке m . У огледалу ће се лик светле површине m развући те ће се видети место светле тачке (круга) непрекидна светла црта (услед трајања светлих утисака у нашем оку). Ако се пак огледало стави у обртање око осовине паралелне овој светлој црти, то ће се светла црта нашем оку — које посматра увек са једне исте тачке — показивати као једна крива линија. Та крива линија показује закон мењања струје у времену. Место једног огледала могу се 3 до 4 огледала спојити у једну призму ради добијања дуже слике. Ова направа назива се *катодни осцилограф*. Струја чији се закон промене испитује пушта се кроз навојке електромагнета и она образује електромагнетно поље, док се на аноди и катода Браунове цеви употребљава једна стална разлика потенцијала.

Из скретања катодних зракова под утицајем магнетног поља одређенога правца а применом правила леве руке закључује се да од катоде истиче струја негативног правца (негативна струја). Јасно је да ово није обична струја, јер обична струја тече најкраћим путем од једног пола ка другом, док се из саме слике види да катодна струја иде у правцу осовине цеви нормално на површину катодне плоче, а све једно је на коме се месту налази анода.

Како магнетне, тако и електростатичке, силе делују на катодне зракове, изазивајући скретање ових са првобитног правца. И путем

опита са електростатичким силама исто као и путем опита са магнетом утврђено је да се катодни зраци тако понашају као да су састављени од негативно електрисаних делића.

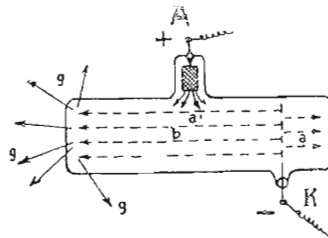
Да су катодни зраци доиста негативно електрисани може се непосредним путем доказати, ако њима бомбардујемо какво изоловано неутрално тело. После овога дејства лако ћемо утврдити да је тело електрисано негативно.

Ови теориски замишљени делићи јесу *електрони*. Да то стварно нису делићи материје нити чврстих нити гасовитих тела доказ је што они пролазе кроз танки алуминиумски лим (дебљине око 0,01 mm), кроз који не могу ни трагови гаса проћи. И ако су електрони врло мале масе ипак опажамо да при удару о стакло производе топлоту. То значи да брзина њиховог кретања мора бити огромна. Мерењем и рачуном утврђено је да је маса електрона $\frac{1}{1840}$ део масе водоникова атома, која је пак најмања од масе атома ма којег елемента. Брзина кретања електрона, који чине катодне зракове, износи до $\frac{1}{3}$ брзине светлости тј. око 100 000 километара у секунди.

Фото-електрично дејство: Ако сунчаним зрацима изложимо тело које апсорбује, наћи ћемо да је ово зрачење такође изазвало испуштање електрона из зрачног тела. Само, брзина ових електрона је мања и износи само око 1000 километара у секунди. Особито фото-електрично дејство изазива ултравиолетна светлост. Фото-електрично дејство није исто код свију тела и поглавито зависи од моћи апсорпције тела.

Каналски зраци: Ако у Брауновој цеви катоду избушимо па поновимо опит произвођења катодних зракова, тада можемо утврдити да се кроз решетку, у супротном правцу од правца од катодних зракова, простиру други зраци, битно различити од првих, који се, према путу којим се крећу — кроз отворе (*канале*) на катода — називају *каналски зраци*. Ови зраци виде се као светле траке које пролазе кроз гас. Ове зраке пронашао је Голдштајн 1886 год. Каналски зраци скрећу само под врло јаким магнетним пољем и може се, према самом савијању, утврдити да поред позитивно електрисаних делића има и негативно електрисаних па чак и неутралних, на које уопште магнетно поље не делује. Размера између масе ових честица и њихових електричних пуњења врло је различита, из чега се закључује да су те честице атоми или атомске скупине. Претпоставља се да ове честице полазе са аноде носећи позитивно пуњење те своју брзину све више повећавају под дејством катоде. Када прођу кроз канале катоде и доспеју у неутралан простор, тада продужују пут услед инерције. Испитање ових зра-

кова врши се сличним методама као и испитивање катодних зракова. Ова испитивања показују да су ови зраци састављени од атома који су позитивно електрисани. Маса ових атома иста је



Сл. 153. Катодни и каналски зраци.

величине примењенога напона струје.

На сл. 153 су катодни зраци обележени са *b* а каналски са *a*.

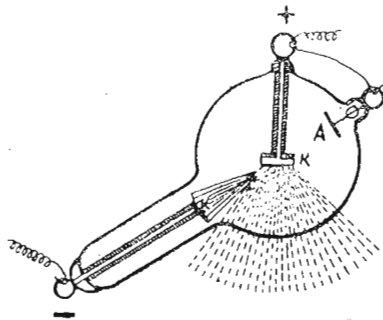
4. Рентгенови или X-зраци

Када катодни зраци наиђу на чврсто тло, изазивају на њему топлоту: један део ових зракова се одбије и дифузно расте у околном простору; други мали део развија у томе телу флуоресценцију, као напр. у стаклу — ово зависи од материје од које је тело

сачињено; само један минимални део ($1/1000$ до $1/20000$) ових зракова, одбијајући се, претвара се у нарочиту врсту зракова, који су, од њиховог проналазача Рентгена, названи X-зраци. На сл. 153 ови зраци су обележени са *g*.

Рентгенови зраци су, као и ултравиолетни зраци, невидљиви. Они производе флуоресценцију и хемиска дејства (која се примењују при рентгенском фотографском снимању), јонизују ваздух кроз који пролазе, услед чега

ваздух постаје спроводан за електричну струју. На Рентгенове зраке, супротно случају катодних зракова, магнетно и електростатичко поље не делује скрећући их, те се и тиме разликују од катодних.



Сл. 154. Рентгенска цев.

Сл. 154 претставља рентгенску цев обичног облика. Управно од катодне површине, која је саграђена од алуминиума који се тешко кида у прах, полазе катодни зраци, који су на слици нацртани у непрекидним правим линијама, и ударају на *анти-катоду K*, на којој постају X-зраци, који су на слици претстављени испрекиданим правим линијама. Анти-катода је равна плоча од тврдог, тешко топљивог материјала, у већини случајева од волфрама. Да би се избегло загревање анти-катоде, које настаје услед електронског бомбардовања, постављена је анти-катода на дебелу спроводну металну масу, а често се и вештачки хлади водом или уљем.

Помоћна анода *A* служи само за време грађења цеве, када се, при дрљењу ваздуха, непрекидно помоћу *A* као електроде врше пражења.

Рентгенски зраци простиру се брзином светлости а имају врло малу таласну дужину, тако да и са најфинијом мрежом нормалног спектра добијамо да се ливље спектра слију скоро у једну једину линију. Тек употребом кристала, који по својој структури претстављају фину просторну спектарну мрежу, добивамо рентгенски спектар. И, ако пропустимо један узани сноп рентгенских зракова кроз један кристал, или га од једног кристала рефлектујемо, налазимо на једном флуоресцентном заслону или на једној фотографској плочи рентгенски спектар који нам допушта мерење таласних дужина рентгенских зракова.

Рентгенске зракове са кратким таласним дужинама називамо *тврдима*, а оне са дужим таласима (0,01 до 0,05 микромикрона) *мекима*.

Сопствено зрачење је утолико тврђе, уколико је већа атомска тежина елемента од кога је саграђена анти-катода.

Апсорпција рентгенских зракова у једном телу зависи од дебљине, а цење се таласном дужином, што значи да је у обрнутој сразмери са тврдоћом.

4. Поларна светлост

Поларна светлост по својој појави веома је разнолика, а правилност појављивања њеног у времену није утврђена. Ретко се виђа у пределима даљим од полова земље. У простору се јавља у облику два елиптична прстена који окружују северни и јужни пол земље. Према осматрању, висина ових појава изгледа да је 100 до 600 километара изнад земљине површине. Како су у овим висинама слојеви ваздуха врло разређени, то се намеће претпоставка да су ови појави по природи слични онима који се збивају у Гајслеровим

цевима. Поларна светлост јавља се у виду светлосних завеса, које у правим вертикалним наборима висе према земљи. Запажена је зависност између ове појаве и појава на сунцу тзв. *сунчаних пега*. При овим појавама јављају се сметње у телеграфским и телефонским апаратима и радио-апаратима. При појави поларне светлости чује се у радио-апаратима карактеристичан шум. Појава поларне светлости није довољно испитана.

3. Пражњење електричним луком

Ако у колу струје, која напаја једну цев са гасом на виском притиску, смањимо отпор који је у серији да би смо повећали јачину струје, можемо постићи да у једном тренутку струја нагло порасте док напон између електрода исто тако нагло падне, да изгледа као да у овој појави престаје да влада поступност већ да наступа неки прескок. То бива тачно у тренутку, када се између електрода састави *електрични лук*.

Ово пражњење показује *један врло сјајан простор на површини катоде*, на који се надовезује једна врста *сјајног напона*; за овим долази *сјајни позитивни стуб* и најазад један врло сјајан слој на површини аноде.

Она нагла промена о којој смо поменули сматра се да настаје у *тренутку када је катода достигла довољно високу температуру да би могла да испушта електроне у изобиљу*. Сви опити стварно показују да је температура катоде у луку изванредно висока. Ако ли се спречи загревање катоде, лук се неће запалити или се неће моћи одржати. Са тога разлога не може се саставити лук ни са катоде, која се обрће у сврху расхлађивања, нити, исто тако, са катоде коју претставља какав електролит ниске температуре, као што је сулфат цинка,

Важну улогу катоде први је уочио Блондел.

Катода се одржава на високој температури ударом позитивних јона. Ови позитивни јони не долазе са аноде, јер знамо да лук може да се одржи и са хладном анодом, која сигурно не испушта јоне. Значи да ови јони произилазе услед јонизације гаса. Они не долазе ни из позитивног стуба, ни из анодног слоја, јер ако је лук сувише кратак, он може бити ограничен на катодни простор. Јони се дакле стварају у близини катоде а производе их електрони који из ње непосредно излазе.

Од површине катоде до почетка позитивног стуба, електрони су дакле изложени једном паду напона који је раван потенцијалној разлици јонизације паре оне материје од које је сачињена катода,

— ако лук гори у пари ове материје, као напр. у случају лука у живиној пари. Овај пад напона назива се *катодним*. Сам напон јонизовања не зависи од јачине струје, нити од средње температуре ни од притиска паре, већ само од природе ове паре.

Из овога што је изложено јасно је да је *нагли пад катодног напона у близини катоде потребан да би позитивни јони са што већом брзином ударили у катоду и да би тиме јонизовали атоме катоде*. Ово је случај при пражњењу у Гајслеровој цеви са чврстим електродама.

У случају пражњења луком овај пад напона је потребан да би електрони који долазе са катоде и који ударају у њу у супротном смеру (у свом осцилирању) задобили довољну живу силу ради јонизовања гаса ударом.

Из овог објашњења проистиче да разлика потенцијала између електрода цеви или лука не може бити мања од катодне разлике потенцијала, јер испод ове не може наступити пражњење.

Ова разлика потенцијала (пад напона) у првом случају (код Гајслерових цеви) износи неколико стотина волта, докле код лука износи само неколико десетина волта а код лука са живином паром пет волта.

Позитивни јони, који се образују у почетку позитивног стуба, пролазе катодни пад напона пре него стигну на катоду. Њихова енергија, која се претвара у топлоту на површини катоде, једнака је производу из јачине струје и катодног пада напона. Из овога пак закључујемо да при сталном катодном паду напона, не смемо смањити јачину струје сувише и да има једна најмања вредност јачине струје испод које не смемо сићи, јер у противном енергија позитивних јона неће бити довољна да створи потребну топлоту ради одржавања потребне високе температуре катоде, и лук ће се прекинути, јер јони неће доносити електроди довољно енергије, да би је одржали ужарену. Ако се електрода хлади, онда, разумљиво је, и ова потребна минимална јачина струје мора бити утолико већа.

Електрични лук се употребљава као електрични извор светлости (сада искључиво код рефлектора), као топлотни извор при електричним пећима и за електрично заваривање метала, и као извор непригушених електричних треперења високе учестаности у бежичној телеграфији и телефонији.

6. Електрична варница. Муња

Електрична варница може се сматрати као лук врло кратког трајања. Овај лук се не продужује, јер пошто се једном успостави

његовим проласком униште се електрични услови за његово постојање који су владали у тренутку његовог постанка. Или је пак случај да је самој појави лука било узрок какво прелазно стање.

Овакви се случајеви срећу при пражњењу једног кондензатора помоћу два шиљка, када разлика потенцијала пада испод величине која је потребна за одржавање лука.

Природно пражњење, у атмосфери, дешава се или између двају облака, између којих влада велика разлика потенцијала (разноимена електрична пуњења), или између облака и земље. Пражњења се дешавају обично у виду варнице, слично пражњењу кондензатора. Варница потиче од усијаног ваздуха а може изнети и дужину од више километара, што сведочи о огромним потенцијалским разликама које у природи могу наступити, док најзад не ишчезне уз велику детонацију производећи снажне механичке ефекте као и обичан гром.

Да би се истакнути грађевински објекти сачували од рушења услед атмосферског пражњења, постављају се на зграде громобрани. Одводни спроводници морају бити довољнога пресека и не смеју показивати спиралних облика, пошто би ови, услед високе учестаности струја атмосферског пражњења, претстављали огромни отпор. Исто тако спој одводног спроводника са земљом мора бити брижљиво израђен помоћу бакарне плоче која се укопа у влажну земљу.

Громобран углавном штити објект, ако помоћу свога шиљка мирно испражњава (сисхе) нагомилано електрично пуњење и одводи га у земљу. У случају дисруптивног (наглог) пражњења кроз громобран, није искључена опасност од грома.

Пражњење муњом може наступити и при потпуно ведром времену без облака; оно потиче од статичких електричних пуњења ваздушних слојева, поглавито лети, услед високе температуре.

Природа пражњења у виду сјајне лопте, која стоји или се врло лагано креће, није још објашњена.

7. Радиоактивност

Непосредно за открићем рентгенских зракова предузета су била нарочита испитивања, јер се било погрешно претпостављало да они настају услед флуоресцирања стакленог зида. У ту сврху Бекерел је 1896 год. вршио испитивања са многим флуоресцентним материјама. Он их је прво зрачио на сунцу а потом стављао на фотографску плочу и завијао у црни папир. Многе материје нису на плочи остављале никаквога трага, док је једна, *уранова со* (калий уранисулфат), чинила изузетак. Али се исто тако показало

да дејство ове соли на плочу нема никакве везе са зрачењем сунца тј. са флуоресценцијом већ да *ова со сама од себе непрекидно зрачи*. Ово зрачење названо је првобитно *Бекерелово зрачење* а касније *радиоактивно зрачење*. Исто тако зрачење показују и *ториумове соли*, што је утврдио Шмит 1898 год.

За мерење количине радиоактивног зрачења служи њихова *моћ јонизована*. У ту сврху принесе се тело, чија се радиоактивна моћ треба да мери, једноме напуњеном електрометру (сл. 155). Брзина којом опада ово пуњење даје меру радиоактивне моћи.

Господин и госпођа Кири извршили су квантитативна мерења многих материја у погледу радиоактивности. Током овога рада госпођа Кири пронашла је *радиум*. Радиум је радиоактивним дејством 1 000 000 пута јачи од урана.

Радиум је хемиски елемент. На ваздуху врло брзо оксидише. Стога се чисти радиум не употребљава већ његова хлорна или бромна једињења, чија су дејства потпуно иста као и дејства радиума.

Радиумови зраци су врло продорни али их олово у слоју од само неколико милиметара дебљине потпуно спречава у продирању.

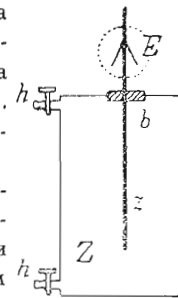
Ако на дво једне мале оловне ступице ставимо врло малу количину радиум-хлорида ($RaCl_2$), зрачиће овај само у вертикалном правцу. Ако ли пак управимо на ове зраке и то у правцу спреда — позади једно магнетно поље, запазићемо да се зрачење дели на три дела (сл. 156):

- 1) α -зраци, који скрећу слабо на леву страну. На слици су претстављени линијом која, ради објашњења, упадљиво скреће у лево али, стварно, α -зраци врше много слабије скретање α
- 2) β -зраци, која јако скрећу на супротну страну од првих зракова и
- 3) γ -зраци, који уопште не скрећу.

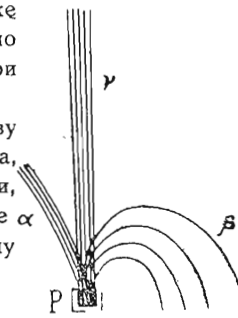
Све радиоактивне материје не дају све три врсте зракова; већином дају само једну од ових трију врста.

Све три врсте зракова јонизују ваздух, делују на фотографску плочу и изазивају флуоресценцију.

О природи радиоактивног зрачења истраживањем дошло се до ових сазнања:



Сл. 155. Електрометар за мерење количине радиоактивног зрачења.



Сл. 156. Зрачење радиум-хлорида.

α -зраци, ма од којих радиоактивних тела потицали, јесу *позитивно електрисани атоми хелиума (He)*. Брзина ових зракова разликује се према врсти њиховог извора и износи око 0,05 део брзине светлости, тј. 150 000 километара у секунди. Они се лако апсорбују, при чему њихова брзина брзо опада и потпуно се губи. Њихов домет у ваздуху различит је, према врсти радиоактивног тела. За радиум он износи 3,3 *cm*; за ториум износи 6 *cm*. Према овоме домету одређује се врста радиоактивног елемента.

Алуминиум дебљине 0,01 *mm* или стакло једне епрувете доволна је препрека овоме зрачењу.

β -зраци су идентични са *катодним зрацима*, тј. то су негативни електрони, који се крећу брзином 0,29—0,99 дела брзине светлости, тј. од 27 000 до 297 000 километара у секунди. Они имају много већу моћ продирања него α -зраци. Ови зраци, продирући у неко тело, задржавају се у њему, што значи да се апсорпцијом број ових зракова смањује. Како α тако β -зракови, продиру кроз многа тела и при томе честице ових зракова могу претрпети скретање са своје праволиниске путање.

Лим од алуминиума дебљине 0,5 *mm* апсорбује напр. половину зрачења урана.

Док α и β -зраци претстављају струјање материјалних честица, дотле γ -зраци претстављају врло кратке етарске таласе као и рентгенски зраци, само још краће таласне дужине. Тако тек 55 *mm* дебел лим од алуминиума или 12 *mm* дебео лим од олова смањују на половину њихову-јачину.

γ -зраци јављају се увек са β -зрацима. То значи да они бивају произведени ударом β -зракова у унутрашњости радиоактивних тела. Тамо пак, где γ -зраци падају, производе ново али слабије секундарно зрачење α -зракова.

δ -зрацима називају се зраци који постају ударом α -зракова у материју. Они имају врло малу брзину.

Раздвајање радиоактивних зракова може се вршити, поред описаног скретања услед деловања магнета, још и *филтровањем* кроз плоче разних метала, као што је у примерима наведено.

Енергија радиоактивног зрачења претставља огроман рад. Тако је непосредним мерењем нађено да један грам радиума развија у секунди 137 калорија. Узевши у обзир да радиум *непрекидно* у свакој секунди ослобађа нове топлотне енергије, изгледало је, у први мах, да ово није у складу са законом о конзервацији енергије. Али како ова тако и многе загонетне особине радиума објашњене су *хипотезом о дезагрегацији* (теорија о распадању атома),

коју су поставили *Рутерфорд* и *Соди* 1902 год. Уранов атом (*U*), чија је атомска тежина 238,2, је нестабилан. У маси урана распадање појединих атома дешава се у виду експлозија. При томе се развија (ослобађа) огромна количина енергије у виду топлоте. Распадањем атома урана постаје нови хемиски елемент UX_1 . Овај ново добивени UX_1 претвара се у други хемиски елемент UX_2 итд. Цео низ елемената, који овим начином постају, јесте: U_1 , UX_1 , UX_2 , U_2 , *јониум*, *радиум*, *радиумова еманација*, RaA , RaB , RaC , RaC_1 , RaD , RaE , RaF и RaG . Последњи производ овога поступног распадања урана јесте RaG (*radium G*). У овоме низу недостају још неки чланови, који су кратког трајања.

Од U_2 потиче други један низ радиоактивних тела: *актинумски ред*.

Као од урана исто тако потиче и од *ториума (Th)* један ред радиоактивних тела као производи распадања. Један од првих је *мезоториум I*, који је у медицини много употребљен место радиума који је скупочен.

Свако распадање у низу радиоактивних елемената је обично праћено испуштањем α , β и γ -зракова.

Сва радиоактивна тела доживљују постепено распадање, али *трајање појединих чланова у реду различито је*. Уколико је један члан доцнији у низу, утолико је његово дејство јонизовања краћег трајања. Снага јонизовања сваког од радиоактивних чланова опада са временом у геометриској прогресији. Прво дакле опадање бива нагло па затим све спорије и спорије. Пошто се потпуно ишчежавање зрачења (снаге јонизовања) практично не може сачекати, јер врло дуго траје, то се ради означања опадања снаге јонизовања одређује тзв. *константа половљења*. То је оно време за које снага јонизовања једнога радиоактивног елемента пада на половину од своје првобитне вредности. Свако радиоактивно тело има своју константу која га карактерише и која у првом реду служи за његово распознавање. Претварање радиум-еманаације у RaA и RaB може се лако у току неколико дана пратити и утврдити. Константа половљења за U_1 износи 5 000 000 000 година, за Ra 1750 година, за радиум-еманаацију 3,85 дана итд.

Сва радиоактивна претварања независна су од физичких и хемиских утицаја, па дакле и од температуре.

Чист радиум је чврсто тело, које се излучивањем α -зракова, тј. излучивањем хелиума, претвара у други један елемент радиум-еманаацију, који је гас (*gas*). Ако се ваздух лагано води преко $RaCl_2$ а затим пусти на стаклену плочу, охлађену на -150° , ра-

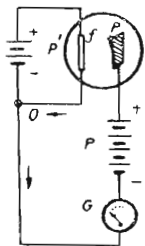
диум-еманација прелази у течно стање (ваздух још не прелази при тој температури у течно стање).

Ако се ваздух исцрпи а стаклена плоча извади из хладилшта, добићемо хемиски елеменат радиум-еманацију у чистом стању. Ако се од овако чисте еманације — пошто је претворимо у гасно стање — направи спектар, утврдићемо да је ово донста један засебан елеменат. Атомска тежина његова је 222, тачно дакле за 4 (колико износи атомска тежина хелиума) мања од атомске тежине радиума. Атоми радиум-еманације су врло лабилни и краткога трајања. После 4 дана, половина целокупне количине радиум-еманације излучивањем хелиума претвара се у нови елеменат RaA .

Радиум као и остале радиоактивне материје, а нарочито радиум-еманација, многоструко су практично примењени у медицини, за коју имају огроман значај.

8. Цев са две електроде (диода)

У једној цеви (лампи), у којој је начињена велика празнина, постављено је влакно од тунгстена f (сл. 157) и једна метална плочица p . Ова плочица спојена је са позитивним полом једне батерије елемената P , чији је негативни пол везан са влакном од тунгстена.



Сл. 157. Диода. и влакна.

Влакно се загрева једном посебном батеријом акумулатора P' . Тачка O везана је истовремено за негативан пол батерије елемената P и батерије акумулатора P' .

У колу батерије P уопчан је један милиамперметар G .

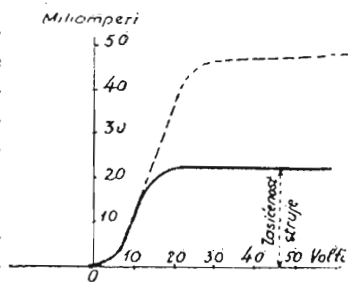
Када се влакно доведе до усијања, милиамперметар G показиваће пролазак једне струје, која кружећи пролази кроз празан простор између плочице

и влакна. Влакно, доведено на високу температуру, испушта („испарава“) електроне, који собом претстављају негативна електрична пуњења. Ове електроне привлачи плочица p , која је на вишем потенцијалу од влакна — дакле позитивна. Отуда потиче струја коју је милиамперметар G показао.

Примећујемо да се пренос електрона врши у правцу од влакна ка плочици па се у овоме смеру даље цело струјно коло саставља. Дакле, струја стварно у унутрашњости батерије P тече од позитивног пола батерије ка негативном а у спољном колу ове батерије од негативног њеног пола ка позитивном. То је дакле правац кретања струје супротан ономе, који је уобичајен. Ово уобичајено,

старо, погрешно претстављање има свој узрок у недостатку термијонске теорије, која је новијега постанка. Ипак исправљање, иако погрешнога схватања о правцу тока струје, није извршено нити би чему то служило, јер је обележавање правца тока струје ствар договора. Ако осматрамо постепено повећавање јачине струје које наступа када повећавамо број елемената батерије P , тј. када повећавамо разлику потенцијала између влакна и плочице, запазићемо да струја прво расте сразмерно степену $\frac{2}{3}$ разлике потенцијала (према *Лангмировом закону*). Крива линија на сл. 158, која претставља зависност јачине струје влакно — плочица од разлике потенцијала влакно — плочица, показује прво једну кривину, а потом тече паралелно са апсцисом.

Из ове криве линије видимо да, за врло слабе напоне плочице, плочица није у стању да привуче све електроне који се на влакну ослободе. Са порастом разлике потенцијала катодно влакно — анодна плочица расте број привучених електрона, тј. струја кола катодно влакно — анодна плочица. Ако разлика потенцијала сувише порасте, сви електрони, који испушта катодно влакно, бивају привучени од плочице, а тиме



Сл. 158. Карактеристика диоде.

и струја достиже своју највећу вредност. Ма колико сада повећали разлику потенцијала, немогуће је повећати струју, јер је испуштање електрона зависно само од степена загрејаности катодног влакна, па када се ова загрејаност не мења, остаје и струја даље стална ма колико појачавали разлику потенцијала.

Ако ли се пак појача загревање влакна, то ће оно бити у стању да испушта већи број електрона него ли што их анодна плочица може привући. Доњи део криве линије неће се променити, само ће се прави њен део продужити. Струја засићења биће много јача јер катодно влакно сада може да испусти већи број електрона.

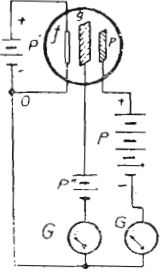
Ако се промене полови батерије P , биће анодна плочица доведена на нижи потенцијал од онога на коме је катодно влакно и тада никаква струја неће тећи у колу анодне плоче. То значи да цев са две електроде пропушта струју само у једном смеру.

Цев са две електроде први је био употребио *Флеминг* за детектовање струја високе учеставости у бежичној телеграфији. Данас се оне често употребљавају за исправљање наизменичних струја.

Де Форест је, додајући трећу электроду — *решетку* — начинио од овога исправљача струје *реле*. Из улоге цев са три електроде као релеа потичу њене многобројне примене.

9. Цев са три електроде

Ако у једној цев са две електроде између катодног влакна и анодне плочице уметнемо једну металну решетку (сл. 159), ова ће претстављати трећу электроду, која се назива *решетка* или *мрежица*. Везаћемо решетку са катодним влакном и између решетки и влакна уметнемо једну батерију елемената и један галванометар G . Када будемо мењали број елемената као и смисао полова ове батерије, мењаћемо на тај начин смисао и величину разлике потенцијала између решетки и катодног влакна. Галванометар показиваће промену јачине струје коју производи емисија електрона, који потичу од катодног влакна и крећу се у правцу решетки.



Сл. 159. Триода.

Код ове цев различујемо три струјна кола: *Струјно коло анодне плочице: $rPGO$* ; *струјно коло решетки: $gP''GO$* и *струјно коло грејања JO* . Сва ова три струјна кола имају једну заједничку тачку O .

Краткоће ради, као потенцијалну разлику или напон плоче и решетки називаћемо разлику потенцијала између ових електрода и тачке O .

Катодно влакно нема на целој дужини исти потенцијал. Најнижи је потенцијал у тачки O .

Ако решетку ставимо на потенцијал нижи од тачке O на тај начин што ћемо је везати за негативни пол батерије P'' , решетка ће одбијати електроне, јер је негативна и, ако је решетка на довољно нижем потенцијалу од катодног влакна, спречиће сваки пролаз електрона ка анодној плочици. Струја анодне плочице дакле престаће потпуно. Ако потенцијал решетки повећавамо, електрони ће отпочети да теку кроз решетку и милиамперметар ће скретати. Кад решетка буде доведена на потенцијал виши од потенцијала катодног влакна, а то ћемо постићи ако је будемо везали за позитиван пол батерије P'' , она ће привлачити електроне, али ће неки од њих проћи и кроз решетку те ће их привлачити анодна плочица, што значи да струја анодне плочице расте.

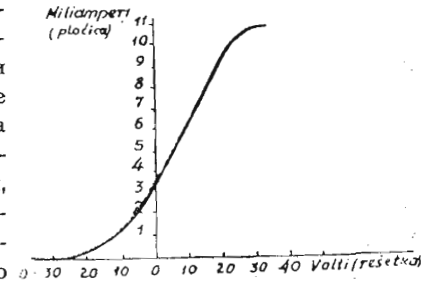
На тај начин можемо, мењајући потенцијал решетки, прекинути, успоставити или променити струју анодне плочице.

Струја решетки уопште је врло слаба и пада чак и на нулу, ако је њен потенцијал нижи од потенцијала тачке O . Капацитет решетки је врло мали, стога је довољна врло мала количина електричног пуњења односно електричне енергије да би се потенцијал решетки променио. Стога цев са три електроде претставља један реле, који је не само врло осетљив већ и врло веран, јер како нема ни једног материјалног дела и како нема механичке инерције, овај је реле способан да следује без успорења промене врло високе учестаности.

10. Карактеристика анодне плочице при сталном потенцијалу

Ако одржавамо сталном температуру катодног влакна и разлику потенцијала између анодне плочице и катодног влакна (значи да не мењамо број елемената у батеријама P и P') и ако вежемо решетку за негативан пол батерије P'' , милиамперметар показиваће да кроз струјно коло плочице не пролази никаква струја.

Ако смањимо број елемената батерије P'' , потенцијал решетки ће се повећати и милиамперметар показиваће нам да отпочиње тећи струја кроз струјно коло анодне плочице. Њена јачина ће расти, ако се потенцијал решетки приближује својом величином потенцијалу катодног влакна. Ово



рашћење ће се и даље продужити, ако изврнемо полове батерије P'' и повећамо број њених елемената и тиме доведемо решетку на виши потенцијал него ли што је потенцијал катодног влакна. Најзад, ако буде потенцијал решетки позитиван и довољно висок, струја ће достићи једну највећу вредност коју неће моћи да пређе.

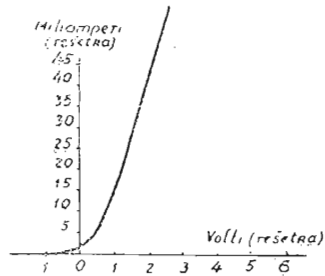
Потенцијал решетки, при коме је достигнута највећа струја, нижи је од сталног потенцијала анодне плочице, који пак остаје увек већи од потенцијала осталих двеју електрода.

Крива линија на сл. 160 која се назива *карактеристика анодне плочице при сталном потенцијалу* претставља мењање јачине струје анодне плочице у зависности од потенцијала решетки. На овој кривој линији налазимо један део који се пење и који се скоро поклапа са тангентом двеју оштрих кривина.

Сл. 160. Карактеристика анодне плочице.

11. Карактеристика решетки при сталном потенцијалу анодне плочице

Када потенцијал мрежице падне нешто ниже од потенцијала тачке O влакна, отпочеће да тече струја између решетки и влакна. Ако напон решетки расте, ова ће се струја појачавати и то нагло. На сл. 161 претстављена је ова зависност мењања кривом линијом, која се врло нагло пење. Ова крива линија назива се *карактеристика решетки при сталном потенцијалу*.



Сл. 161. Карактеристика решетки.

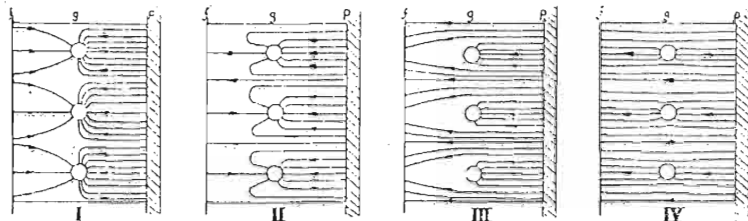
На ординатној осовини означена је јачина струје решетки у микроамперима, док је на ранијим дијаграмима јачина струје означивана у милиамперима. То је стога што је струја решетки далеко мање јачине него ли струја анодне плочице.

При малом негативном напону решетки струја решетки је равна нули, док струја анодне плочице при томе може износити већ више милиампера.

Промена потенцијала решетки на више или на ниже од вредности једног средњег негативног потенцијала изазива дакле знатне промене струје анодне плочице, а да при томе решетка уопште не даје никакву струју. Ова појава је омогућила да се цев са три електроде употреби као реле врло велике осетљивости.

Кад мењамо потенцијал решетки, мењаће се и распоред електричних линија сила које полазе од плочице, која је на вишем потенцијалу, а завршује се на решетки.

Претставићемо сликама од *I* до *IV* (в. сл. 162) како се мења распоред линија сила електричног поља, које потичу од анодне плочице, када се мења потенцијал решетки.



Сл. 162. Распоред линија електричног поља у зависности од потенцијала решетки.

I) Ако се решетка налази на потенцијалу који је много нижи од потенцијала влакна, линије сила са влакна и плочице досезаће до решетки. Решетка хвата све линије сила које долазе са плочице и ни једна од њих не стиже до влакна.

II) Када се потенцијал решетки повећава, и док још није достигао потенцијал најближег дела влакна, линије сила које полазе са плочице, отпочињу да стижу до влакна пролазећи кроз решетку. Електрони, који претстављају мала негативна електрична пуњења, крећу се трасама ових линија сила пут анодне плочице. У том тренутку отпочиње да се јавља анодна струја.

III) Када потенцијал решетки достигне потенцијал влакна, тада нестане линија сила између влакна и решетки, али се оне поново појављују чим потенцијал решетки порасте.

IV) Најзад, ако потенцијал решетки постане већи од потенцијала влакна, број линија сила, које, полазећи од плоче и решетки, стижу до влакна, повећава се и јачина обадвеју струја, и струје решетки и струје плочице, расте.

ГЛАВА ЈЕДНАЕСТА

Исправљачи наизменичне струје

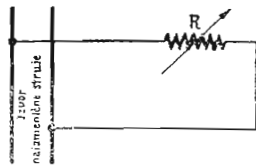
1. Класификација разноврсних начина исправљања наизменичне струје

У пракси врло често настаје потреба да се наизменична струја (монофазна или полифазна) преобрази у струју чији се смисао не мења, тј. у једносмислену струју. Ово претварање познато је у техници под називом *исправљање* наизменичне струје. Направе помоћу којих се исправљање врши зову се *исправљачи*.

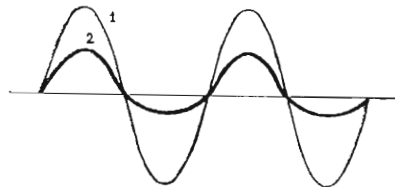
Разне начине, који се примењују у циљу претварања наизменичне струје у једносмислену, можемо поделити у две групе.

У прву групу спадају исправљачи у ширем смислу речи. То су електричне машине које индиректно трансформирају наизменичну струју у једносмислену посредством механичког рада. У ову групу спадају *мотор-генератори* и *машине комутаторке*.

У другу групу долазе разноврсни тзв. *вентилни исправљачи*. То су исправљачи у ужем смислу речи. Они се карактеришу тиме,



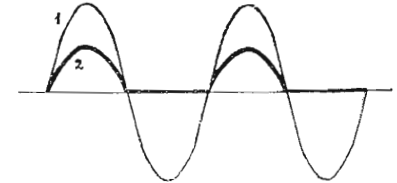
Сл. 163. Принцип дејства вентилних исправљача.



Сл. 164. Непотпуно исправљање наизменичне струје.

што њихов отпор зависи од смисла струје која кроз њих протиче. Принцип дејства ових исправљача је следећи: Претпоставимо да је за извор наизменичне монофазне струје уклучан омски отпор (сл. 163), чија се величина мења у сваком полу-периоду, и то тако, да је напр. у парним полу-периодима отпор много већи него ли у непарним. Онда ће, наравно, у непарним полу-периодима јачина струје бити знатно већа него ли у парним (сл. 164). Ако је отпор

оваквог исправљача за време парног полу-периода врло велик, или ако се за то време електрично коло потпуно прекида, онда ће се добити једносмислена струја у колу. Иако ће тежи увек у истом смислу, она неће бити непроменљиве јачине као што је једносмислена струја, која се добија напр. из галванских елемената. Напротив она ће мењати свој интензитет онако како следећу



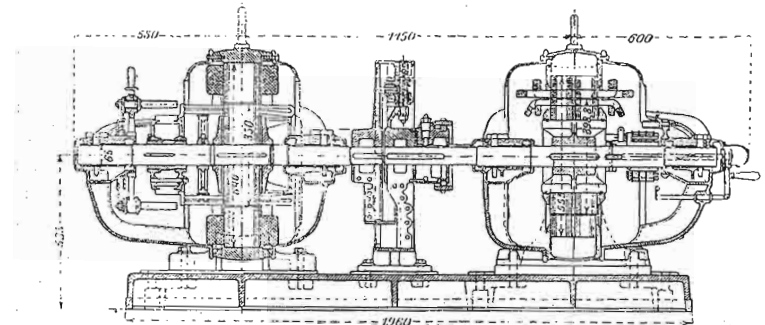
Сл. 165. Потпуно исправљање наизменичне струје.

један за другим синусоидални полу-периоди истог смисла наизменичне струје која се исправља. Она ће бити *пулсациона* (сл. 165). Најважнији исправљачи ове друге групе јесу: *вibrациони, ротациони, са живином паром, електролитски, суви и цевни*.

Укратко ћемо описати конструкцију и функционисање побројаних појединих врста исправљача.

2. Група мотор-генератор

Група мотор-генератор састоји се из мотора наизменичне струје и динамомашине за једносмислену струју. Ове две електричне машине окрећу се обично на заједничкој осовини. Мотор, синхрони или асинхрони, напаја се монофазном, трофазном или полифазном струјом. Он окреће генератор једносмислене струје.



Сл. 166. Група мотор-генератор.

У резултату добијемо на рачун наизменичне струје једносмислену. Овде се наизменична струја не трансформира директно у једно-

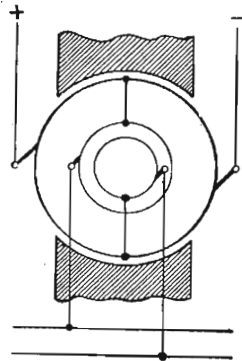
смислену. Мотор претвара електричну енергију наизменичне струје у механички рад који се троши на окретање динамомашине. Помоћу ње он се поново претвара у електричну енергију али сада у виду једносмислене струје.

Преимућство групе мотор-генератор у томе је што су овде наизменична и једносмислена струја потпуно одвојене. Највећа је мана ове врсте исправљача што захтева стално надзор. Иначе њена инсталација је скупа и заузима доста простора. Примећује се углавном на већим електричним подстанцима које напајају линије електричне вуче: трамваја и железница. Коефицијент корисног дејства групе мотор-генератора обично је већи од 80%.

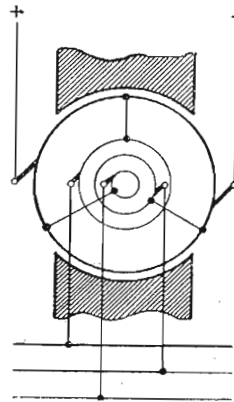
На сл. 166 видимо пресек једне групе мотор-генератора са следећим карактеристикама. Трофазни асинхронни мотор: $P = 22 \text{ KW}$, $U = 120 \text{ V}$, $I = 133 \text{ A}$, $n = 960$ обрта у минути, $f = 50$ периода у секунди, $\cos \varphi = 0,89$. Генератор једносмислене струје: $P = 21,5 \text{ KW}$, $U = 230 \text{ V}$, $I = 94 \text{ A}$.

3. Машине комутаторке

Ове машине уствари претстављају спајање групе мотор-генератор у једну исту машину. Код њих је намотај мотора наизменичне струје у исти мах и намотај генератора једносмислене струје. Он је учвршћен на једном ротору у једном индукторском пољу. Калемови, који дају магнетно поље, учвршћени су на статору. Кроз њих пролази једносмислена струја добивена из саме комутаторке. Намотај ротора, као што смо рекли, припада истовремено и мотору наизменичне струје и динамомашини за једносмислену струју. Кануре намотаја индукта спајају се с једне стране за прстенове мотора (страна наизменичне струје) а с друге стране за ламеле колектора по коме клизе четкице (страна једносмислене струје). Ако је на-



Сл. 167. Монофазна машина комутаторка.



Сл. 168. Трофазна машина комутаторка.

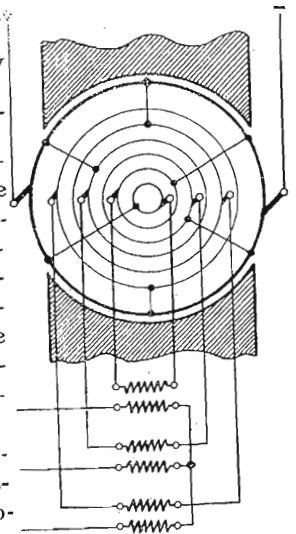
изменична струја, која напаја машину комутаторку, монофазна, овда на страни наизменичне струје имамо свега два прстена за које се спајају две дијаметралне тачке индукта (сл. 167). На сл. 168 претстављена је шема везивања индукта са прстеновима и колектором у случају кад се машина комутаторка напаја трофазном струјом.

Услед искоришћавања истог индукта за једносмислену и наизменичну струју однос између једносмисленог и наизменичног напона код машина комутаторки је строго одређен. Да се добије између четкица динамомашине разлика потенцијала од 1000 волта, потребно је да су прстенови монофазне машине комутаторке под наповом од $\frac{1000}{\sqrt{2}} = 707$ волта. Код тро-

фазних машина комутаторки напон између прстена морао би бити $\frac{1000 \cdot \sqrt{3}}{2 \cdot \sqrt{2}} = 612$ волта.

Оваква зависност једносмисленог напона од наизменичног, која код групе мотор-генератор не постоји, ствара извесне тешкоће. Наиме, да се добије напон који захтевају потрошачи једносмислене струје, потребно је установити напон наизменичне струје. Ово се постиже укључивањем једног трансформатора између мреже наизменичне струје и машине комутаторке.

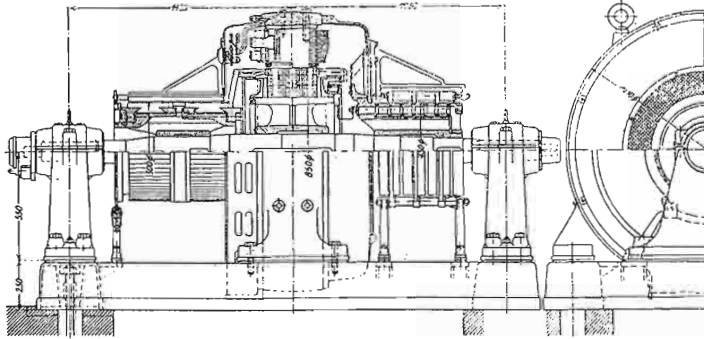
Важно је овде напоменути из разлога економичности да број фаза наизменичне струје, која напаја машину комутаторку, мора да буде што већи, јер са већим бројем фаза може се постићи већа снага него ли са мањим бројем фаза, а да тежина машине остане иста. Из овог разлога обично се граде машине комутаторке које се напајају шестофазном струјом. Захваљујући специјалном трансформатору, чији је примар трофазни а секундар шестофазни, машине комутаторке ове врсте лако се могу укључити на трофазну мрежу која је данас свуда проведена. Овај исти трансформатор служи такође и за одређивање потребног напона једносмислене струје. На сл. 169 видимо шему инсталације ове врсте.



Сл. 169. Шестофазна машина комутаторка.

Коефицијент корисног дејства машина комутаторки је преко 90%. Оне су према томе економичније од група мотор-генератора и заузимају мање простора.

На сл. 170 види се уздужни и попречни пресек шестофазне машине комутаторке са 8 полова. Она се напаја шестофазном струјом од $6 \times 90 \text{ V}$, 50 периода у секунди. Њена карактеристика

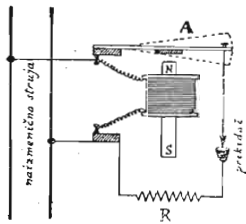


Сл. 170. Машина комутаторка са 6 фаза и 8 полова.

као генератора једносмислене струје је: 450 KW, 240 V, 1875 A. Ова јака машина окреће се брзином од 750 обрта у минути. Коефицијент корисног дејства, њен ступањ ефекта, износи 94%.

4. Вибрациони и ротациони исправљачи

Ова врста исправљача преобраћа монофазну струју у пулсациону струју (в. сл. 165) на тај начин што прекида проводно коло за време трајања сваког парног (или непарног) полу-периода. Принцип рада вибрационог исправљача види се из сл. 171. Поларизовани електромагнет, који се напаја монофазном струјом, привлачи односно отпушта, у сваком полу-периоду опругу А, услед чега она синхроно вибрира и према томе прекида у сваком полу-периоду главно проводно коло. Резултат овога прекидања биће тај што ћемо добити у потрошачу R пулсациону струју **уместо** наизменичне.

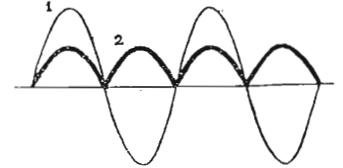


Сл. 171. Вибрациони исправљач.

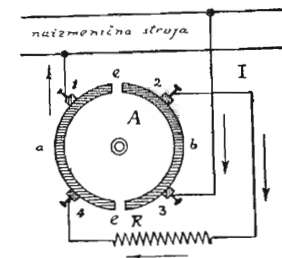
Регулирање vibratora је врло тешко. Услед тога примена ових вибрационих исправљача није распрострањена.

Ротациони исправљач служи такође, као и вибрациони, за претварање монофазне наизменичне струје у пулсациону струју. Али он искоришћује оба полу-периода (сл. 172).

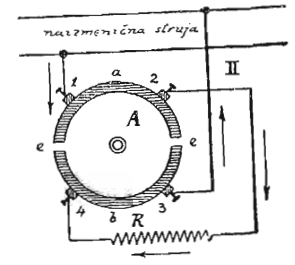
Он се састоји (в. сл. 173, 174, 175 и 176) из бубња А, који на овом обиму носи два полукружна метална дела а и б, по којима клизе четири контакта 1, 2, 3 и 4. Бубањ се окреће таквом брзином да за време једног периода наизменичне струје начини пол обрта. То значи да је број обрта бубња у секунди једнак половини броја периода у секунди монофазне струје. На сл. 173, 174, 175 и 176 претстављена су четири сукцесивна положаја бубња који одговарају двама сукцесивним периодима наизменичне струје. Паж-



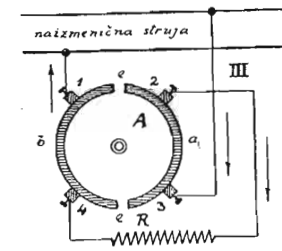
Сл. 172. Пулсациона струја.



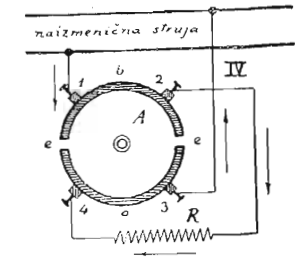
Сл. 173. Ротациони исправљач (положај I).



Сл. 174. Ротациони исправљач (положај II).



Сл. 175. Ротациони исправљач (положај III).



Сл. 176. Ротациони исправљач (положај IV).

љиво разгледање тих слика доводи нас до закључка да у потрошачу R, који је спојен за контакте 2 и 4, протиче увек струја

истога смисла. Ова је струја пулсациона. Промене њеног интензитета претстављене су графички на сл. 172.

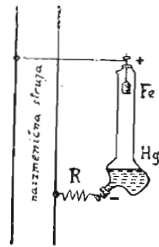
Ни ротациони исправљачи нису погодни, јер окретање бубња мора да буде потпуно *синхроно* са променама наизменичне струје, што није лако остварљиво. Поред тога јако варичење у местима прекида *ее* не дозвољава примену ових исправљача у линијама јаке снаге.

5. Исправљачи са живином паром

Захваљујући свом врло високом коефицијенту корисног дејства и томе да не садржи никакве покретне делове, исправљач са живином паром нашао је врло широку примену у разноврсним електротехничким и радиотехничким постројењима. Ова врста исправљача врло је погодна напр. за напајање трамвајске мреже, за пуњење батерија акумулатора и др. У радиотехници специјално, ова врста исправљача наилази на велику примену у емисионим радио-станицама, где је једносмислена струја неопходно потребна. И пуњење акумулатора за пријемне радио-апарате врши готово увек помоћу ових исправљача са живином паром.

Исправљач са живином паром састоји се из стакленог или челичног суда (ако је у питању врло јака струја) и електрода за довођење наизменичне струје коју желимо исправити. У унутрашњости суда налази се живина пара под ниским притиском.

На сл. 177 претстављен је најобичнији исправљач ове врсте. Његове електроде су једна од гвожђа (или графита) а друга од живе. Начин функционисања овог исправљача састоји се у следећем.



Сл. 177.

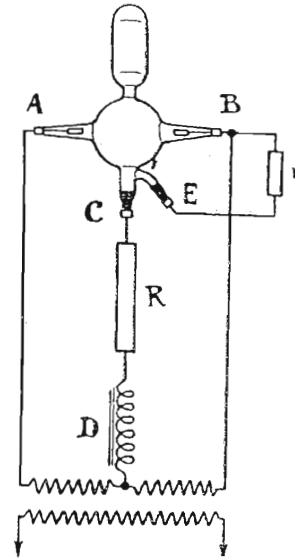
Исправљач са живином паром (искоришћење једног полу-периода).

Кад се електроде вежу за полове извора наизменичне струје, онда се у унутрашњости суда образује електрични лук а струја по природи ових електрода може да пролази само у правцу од гвожђа, односно графита ка живи, тј. само тада кад је гвожђе, односно графит позитиван према живи. На овај начин, ова комбинација електрода показује природу вентилског дејства.

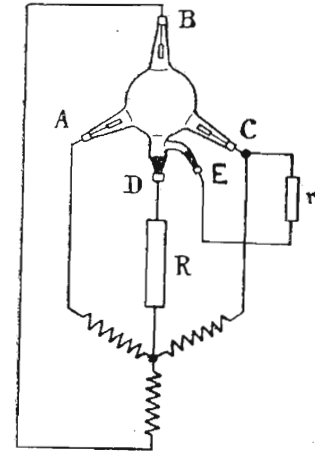
Ако спојимо електроде *Fe* и *Hg* овог исправљача са проводницима монофазне струје (в. сл. 177), он ће пропустити само позитивне полу-периоде.

Негативне ће бити заустављене. Као резултат добићемо у потрошачу *R* пулсациону струју (в. сл. 165) коју можемо да користимо, рецимо, за пуњење акумулатора. Међутим, могуће

је искорисити оба полу-периода монофазне струје. Зато је потребно укључити између мреже монофазне струје и исправљача специјални трансформатор, чији ћемо секундар спојити са електродама исправљача. У овом случају исправљач мора имати две аноде и једну катоду (сл. 178). Катода је спојена преко калема са средњом тачком секундара трансформатора. Калем *D* је овде неопходно потребан да не би струје у потрошачу *R* никад нестало. Заиста, када струја, која тече за време



Сл. 178. Монофазни исправљач са живином паром.



Сл. 179. Трофазни исправљач са живином паром.

једног полу-периода, рецимо, од *A* до *C*, почне да опада, калем *D* ће ту струју, захваљујући појави самоиндукције, подржавати све дотле, док електрода *B* не постане *радном* анодом. Исту улогу одржавања струје у колу врши овај калем и у другом полу-периоду. На тај је начин стално протицање струје у потрошачу *R* осигурано.

Пуштање у рад исправљача са живином паром врши се помоћу помоћне аноде *E* од живе која је спојена преко отпора *r* са једном од гвоздених, односно графитних анода (в. сл. 178). При пуштању у рад треба суд све дотле љуљати док се између ове помоћне аноде и катоде не појави светли лук, који ће затим одмах сам прескочити са помоћне аноде на једну од главних.

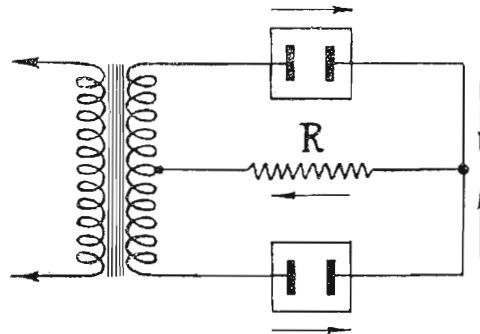
Сл. 179 претставља шему укључивања исправљача са живином паром на мрежу трофазне струје. Из ове шеме видимо да ће јед-

посмислена струја тећи између катоде исправљача и нулте тачке трофазног система развођења електричне енергије, тј. кроз отпор R .

Исправљачи са живином паром нису осетљиви према случајним ударцима интензитета који се понекад дешавају у линијама. Интересантно је приметити да лук у исправљачу ишчезава чим јачина једносмислене струје опадне испод 3 ампера. Ове две особине врло су погодне за примену исправљача са живином паром код пуњења акумулаторских батерија.

6. Електролитски исправљачи

За исправљање наизменичне струје употребљавају се такође и тзв. *електролитски исправљачи*. Има их углавном две врсте: *алуминиски* и *танталови*. Први се састоји из стакленог суда са електролитом, у који су потопљене две електроде. Електролит је раствор натриум-бикарбоната или амониум-фосфата, а електроде су од алуминиума и од олова (или гвожђа). Код танталовог исправљача

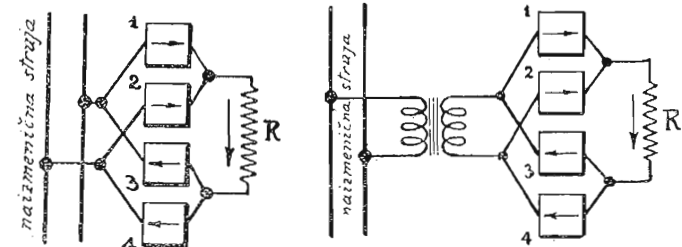


Сл. 180. Шема споја два електролитска исправљача.

електролит је разблажена сумпорна киселина са незнатном примесом гвозденог сулфата а електроде су од тантала и олова. Обе ове врсте електролитских исправљача исправљају монофазну струју захваљујући такође свом вентилском својству. Они пропуштају струју само у правцу од олова (или гвожђа) према алуминиуму, односно од олова (или гвожђа) према танталу. Дакле, струја ће пролазити кроз исправљач само онда ако је алуминиум, односно тантал, *катода*. У оним полу-периодима када алуминиум, односно тантал, постаје *анода*, исправљач неће пропуштати електричну струју. Као резултат добићемо пулсациону струју. Ако хоћемо да искористимо оба полу-периода монофазне струје, морамо узети два електролитска исправљача и укључити их према сл. 180. Онда ће кроз отпор R тећи пулсациона струја којо смо видели на сл. 172. Трансформатор, који се укључује између

мреже наизменичне струје и система исправљања, назива се *мрежни трансформатор*.

Ако желимо да избегнемо употребу мрежног трансформатора, или барем одвод у средини његовог секундара, морамо прибегнути тзв. *Грецовом споју* исправљача, који је претстављен на сл. 181. Овај спој захтева двоструки број исправљача. Пажљиво разматрање сл. 181 доводи нас до закључка да ће струја у отпору R тећи увек у истом смислу. Заиста, пошто су исправљачи према Гре-

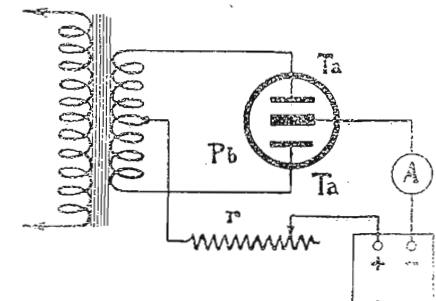


Сл. 181. Гретцов спој вентилских исправљача.

цовом споју укључени тако да први и други пропуштају струју само са лева на десно а трећи и четврти са десна на лево, то, без обзира на поларитет вода наизменичне струје, струја ће у отпору R ићи одозго на доле.

Танталови исправљачи данас се много више употребљавају него ли алуминиумови, из разлога што алуминиумови не могу да поднесу напон од неколико стотина волта. Кад се ради са оваквим напонима треба узимати више алуминиумових исправљача у серији.

Електролитски исправљачи служе углавном за пуњење малих батерија акумулатора. На сл. 182 видимо шему прикључка акумулатора преко танталовог исправљача на мрежу наизменичне струје



Сл. 182. Пуњење акумулатора наизменичном струјом.

ради пуњења. Овде, да би исправљање било *потпуно* (да би се искористили оба полу-периода наизменичне струје), исправљач има *две* катоде и једну аноду. Отпор r служи за регулисање струје пуњења.

7. Суви исправљачи

У последње време ушли су у праксу тзв. *суви исправљачи*. Они са успехом конкуришу електролитским па чак и цевним (термо-електронским) исправљачима јер не садрже никакве течности, заузимају мало простора и могу одлично служити за пуњење акумулатора и исправљање наизменичне струје ради напајања пријемних радио-апарата.

И ови исправљачи поседују вентилску особину. Састоје се из две металне плочице у тесном контакту. Једна је оловна а друга бакарна. Она страна бакарне плочице, на коју је притиснута оловна плочица, оксидирана је логаним грејањем тако да се на њој ствара танки слој бакарног оксидула (Cu_2O). Према томе овај исправљач образује систем: бакар — бакарни оксидул — олово. У оваковом систему струја може да пролази само у правцу од бакра према олову. Отуда проистиче вентилска особина овог сувог исправљача.

Један пар плочица овог исправљача може да поднесе само око два волта напона. Услед тога, за веће напоне потребно је спајати више пари плочица у серију, те на тај начин образовати „батерије“ сувих исправљача.

Укопчавање сувих исправљача аналогно је укопчавању електролитских исправљача. Напр. на сл. 180 уместо електролитских исправљача долазе одговарајуће батерије сувих исправљача. Улогу алуминиума, односно тантала, овде игра оловни пол. Други пол сувог исправљача, бакарни, одговара гвозденој, односно оловној електроди електролитског исправљача.

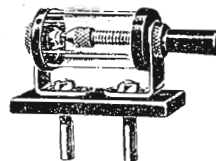
У групу сувих исправљача спада такође *кристални детектор*, чија је примена у радио-апаратима опште позната.

Али кристални детектори не могу се употребити за сврхе за које се употребљавају остале врсте исправљача, и то из разлога, што могу подносити само мале напоне и пропуштати кроз себе струје, чија јачина износи само неколико милиампера.

Њихова примена ограничава се на тзв. *детектирање* радио-сигнала које прима пријемна радио-станција. *Детектирање* или *демодулирање* радио-сигнала састоји се у претварању модулираних високофреквентних осцилација у нискофреквентне струје, на које може да реагира телефон пријемног радио-апарата. Ово претварање једне врсте наизменичне струје у другу постизава се посредством *исправљања* високофреквентних осцилација, које прима антена радио-пријемника. Ову улогу исправљача обавља са успехом кристални детектор, јер су у питању струје незнатног напона и незнатне јачине.

Постоји више врста кристалних детектора који се међусобно разликују у погледу осетљивости, стабилности рада, отпора који противстављају пролазу електричне струје итд. Али ове разлике у њиховим особинама нису од битне важности, те се стога може рећи да је и примена разноврсних кристалних детектора подједнака.

Кристални детектор састоји се из металног шиљка и неког кристала или из два кристала који се додирују. Овакве комбинације карактеришу се вентилским својством у погледу пропуштања електричне струје што даје могућности да буду примењени као *демодулатори* у пријемним радио-апаратима.



Сл. 183. Кристални детектор.

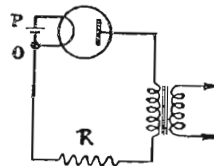
Најглавније врсте кристалних детектора добијају се следећим комбинацијама: кристал галенит (оловни сулфид) — шиљак од бакарне жице, карборундум — шиљак од челичне жице, цинкит — борнит, цинкит — халкопирит итд. На сл. 183 доносимо фотографију једног кристалног детектора смештеног у стакленој цеви да би се сачувао од прашине и другог штетног дејства споља.

8. Цевни исправљачи

Да би употпунили преглед разноврсних исправљача наизменичне струје у једносмислену, казаћемо неколико речи о електронским исправљачима и о исправљачима са племенитим гасовима.

Двоелектродна електронска цев (диода) састоји се као што знамо из двеју електрода: влакна (катоде) и металне плочице (аноде). Ове две електроде смештене су у безваздушном стакленом балону. Оваква диода показује вентилско својство. Ако њу укључимо у коло наизменичне струје, она ће пропуштати струју само у једном правцу. Наиме, кроз безваздушни простор цеви пролазиће електрони само у том случају ако је плочица на позитивном потенцијалу. У противном електронска цев ће прекидати проводно коло. Вентилска особина електронске цеви даје могућности да се она примени за сврхе детектирања радио-сигнала, а такође за исправљање наизменичне струје из мреже у циљу напајања радио-апарата или пуњења акумулатора.

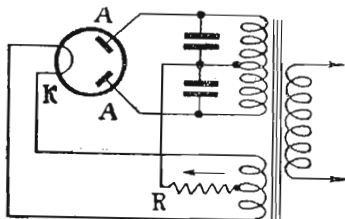
Сл. 184 приказује начин укопчавања диоде ради исправљања монофазне струје.



Сл. 184. Диода као исправљач монофазне струје.

Да се искористе оба полу-периода наизменичне струје, није потребно да се користимо два диода. Можемо за ову сврху узети специјалну цев тзв. *дуо-диоду*, која има две аноде и једну катоду. Оваква цев спаја се према шеми показаној на сл. 185.

Исправљање са електронским цевима има ту ману што захтева извесну потрошњу енергије ради усијавања катодe. Катодa диоде, односно дуо-диоде, мора да се напаја електричном струјом из посебног извора или из исте мреже. У овом последњем случају мрежни трансформатор мора имати специјални намотај за довођење струје у метално влакно. Морамо приметити да, у случају кад се влакно напаја наизменичном струјом, оно неће моћи непрекидно да испушта електроне, без чега је немогућ рад цеви. У овом случају цев

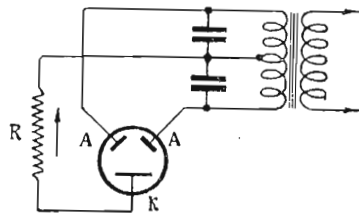


Сл. 185. Шема споја дуо-диоде као исправљача наизменичне струје.

се конструише тако, да влакно није катодa цеви већ је катодa један посебан метални омот, који обухвата влакно а који је помоћу специјалног непроводног материјала изолован од њега. Оваква катодa усијава се, дакле, посредно јер прима топлоту коју развија наизменична струја, пролазећи кроз влакно, те тако испушта електроне које хвата позитивно напуњена анодна плочица.

У последње време појавили су се на тржишту специјални цевни исправљачи код којих нема потребе да се катодa усија. Ови цевни исправљачи јесу тзв. *цеви са племенитим гасовима*. Ове су цеви напуњене разређеним племенитим гасом, обично неоним или хелиумом. Катодa је у овим цевима превучена оксидом каквог земљоалкалног метала, напр. натриума, калиума итд. Рад ових врста исправљача потсећа на рад исправљача са живином паром.

На сл. 186 видимо шему укупчавања неонске, односно хелиумске цеви, са два анодама у циљу исправљања наизменичне струје. Она је аналогна шеми на сл. 185, само овде није потребан специјалан намотај на мрежном трансформатору, јер катодa цеви са племенитим гасом остаје хладна.



Сл. 186. Шема споја цеви са племенитим гасом као исправљача наизменичне струје.

ДВАНАЕСТА ГЛАВА

Акумулирање електрицитета

1. Генератори, потрошачи, трансформатори и акумулатори електричне енергије

Ако размотримо устројство, функционисање, намену и искоришћавање разноврсних електричних машина, апарата, прибора итсл., видећемо да све ове направе, према својој природи, или стварају, или троше, или трансформирају или пак акумулирају електричну енергију.

До сада смо се већ упознали са принципом и улогом многих електричних направа. Знамо да се електрична енергија ствара у *генераторима* на рачун механичке, хемиске или које друге врсте енергије. То су динамомашине за једносмислену струју, алтернатори, галвански елементи и др. Овако добивена електрична енергија у виду електричне струје или у виду електромагнетских таласа разводи се тамо где се тражи да буде искоришћена. Електричну енергију искоришћују разнолики апарати *потрошачи*. Најглавнији су *посредни потрошачи*, електрични мотори који добивену електричну енергију претварају у механичку да би се преко машина радилица или ма каквих индустријских машина могао обављати механички рад у фабрикама, радионицама итд. Други потрошачи електричне енергије користе је директно ради стварања топлоте и светлости као што су апарати за грејање, сијалице итд. Тешко је данас побројати све врсте потрошача електрицитета употребљене у савременом животу.

При преносу електричне енергије на даљине, при стварању електричне енергије у електричним централама и радио-станицама, а такође често пута и при потрошњи те енергије много се пута тражи, из чисто техничких или економских разлога, да се она трансформира у електричну енергију друге врсте. Ово претварање једне врсте електричне енергије у другу постиже се помоћу трансформатора. Ми смо се упознали са овом врстом електричних

направа. Знамо да постоје трансформатори који претварају електричну струју ниског напона у електричну струју високог напона и обрнуто. И исправљачи наизменичне струје, који претварају монофазну, трофазну или полифазну струју у једносмислену струју, јесу трансформатори у ширем смислу речи. Као што већ знамо и њихова је примена врло широка и корисна.

Али, и генератори и трансформатори стварају, односно претварају, електричну енергију која се одмах троши у разноврсним потрошачима. Међутим за технику и практичне потребе живота претставља огроман интерес могућност да се електрична енергија накупи у извесном резервоару, где ће се извесно време сачувати или, боље рећи, акумулира с тиме да ју можемо допније по вољи и кад се укаже потреба трошити по својој жељи у размацама времена и у повољним количинама. Акумулирање електрицитета је питање које одавно тражи погодно решење.

Познато нам је да, кад се обичан кондензатор прикључи неком извору струје, он се напуни електрицитетом. Напуњени кондензатор садржи извесну количину електричне енергије коју при пражењу по нашој жељи добивамо натраг. Према томе, кондензатори су у неку руку првобитни *акумулатори* електричне енергије.

Арматуре (облоге) напуњеног кондензатора примају подједнаку количину електрицитета. Једна од његових облога напуни се позитивно а друга негативно. Количина електрицитета, коју могу да приме обе облоге кондензатора, зависи од потенцијала извора којим је пуњење вршено и од капацитета кондензатора. Ову зависност даје образац:

$$Q = C \times U$$

Из овог обрасца видимо да је за нагомилавање великих количина електрицитета у кондензатору потребно створити велику разлику потенцијала између облога и имати кондензатор са великим капацитетом. Повећавање разлике потенцијала између облога кондензатора и његовог капацитета може да иде само до извесне границе, која ни из далека није довољна да омогући велико нагомилавање електрицитета. Кондензатори, дакле, могу да приме релативно веома незнатну количину електрицитета и стога њихова улога као акумулатора електричне енергије не долази практички у обзир. Томе је такође узрок и то да се пражење кондензатора врши тако рећи моментано и то у виду једносмислене или наизменичне струје високе фреквенције, што зависи од особина кола, кроз које се пражење врши.

Акумулирање електричне енергије у правом смислу речи врши

се данас помоћу направа, које се састоје из комбинације извесних хемиских састојака. То су *оловни и гвоздено-циклени акумулатори*. Као и галвански елементи, акумулатори имају две електроде (аноду и катоду) које су потопљене у електролит. Акумулатори су посредни потрошачи и посредни генератори електричне енергије. Зато се понекад називају *секундарни елементи*. Кад је акумулатор пун електрицитета (напуњен), он ради као галвански елемент, тј. даје у спољно проводно коло једносмислену струју и има практички сталну електромоторну силу. Чим се акумулатор, након извесног времена, испразни, он престаје бити генератор. Да поново може да даје електричну струју, потребно је укључити га на мрежу једносмислене или, преко исправљача, на мрежу наизменичне струје и напунити га електрицитетом. Тада је он потрошач електричне енергије. Дакле, акумулатор је генератор електричне енергије кад се *празни*, а потрошач је кад се *пуни*. Да напоменемо да је смисао струје пуњења обратан смислу струје пражења. То значи да приликом пуњења негативни пол акумулатора мора бити спојен са позитивним полом извора који га пуни, а позитивни пол за негативни пол извора (в. сл. 182). Акумулатори као и галвански елементи имају електромоторну силу и унутрашњи отпор. Као и галвански елементи и они се могу груписати у *батерију акумулатора*. Спољни изглед акумулатора видимо на сл. 187.



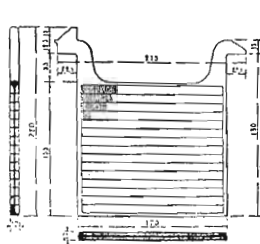
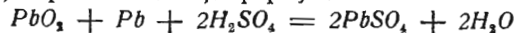
Сл. 187. Спољни изглед акумулатора.

2. Хемиске реакције у оловним акумулаторима

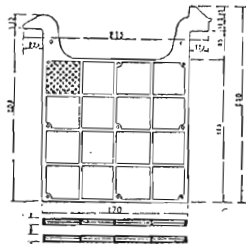
Активни састојци оловног акумулатора јесу: олово-диоксид (PbO_2) као анода (сл. 188), чисто олово (Pb) као катода (сл. 189) и раствор сумпорне киселине (H_2SO_4) као електролит. Хемиске реакције које се дешавају приликом пражења и пуњења акумулатора нису још потпуно тачно познате. Према мишљењу већине научних ауторитета сматра се да се у оловним акумулаторима дешава овакав хемиски процес:

За време пражења акумулатора сумпорна киселина електролита распада се на *јоне* и то водоник (H), који је позитивно наелектрисан (*анијон*) и на оксидни остатак (SO_4), који је негативно наелектрисан (*катијон*). Катијоне привлачи катода те као резултат

хемиске реакције између оксидног остатка и олова добивамо олово-сулфат ($PbSO_4$) који се таложи на катоди. Позитивно наелектрисани водоник тече у правцу струје и код аноде ступа у хемиску реакцију са олово-диоксидом и сумпорном киселином. Као резултат ове реакције ствара се олово-сулфат и вода (H_2O). Према томе, за време пражњења акумулатора на његовим електродама таложи се олово-сулфат а електролит постаје мање концентрисан. Ова реакција претстављена је формулом

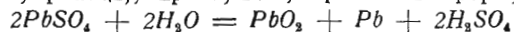


Сл. 188. Анода оловног акумулатора.



Сл. 189. Катода оловног акумулатора.

За време пуњења акумулатора сумпорна киселина електролита такође се распада на водоник и оксидни остатак. Водоник путује у правцу струје и са олово-сулфатом, који се налази на катоди, ступа у хемиску реакцију. Као резултат ове реакције образује се чисто олово и сумпорна киселина. Оксидни остатак ступа такође, близу аноде, у реакцију са олово-сулфатом и водом електролита. Продукти ове реакције јесу олово-диоксид и сумпорна киселина. Према томе, за време пуњења акумулатора активни састојци се обнављају и електролит добива пређашњу концентрацију. Хемиску реакцију при пуњењу претставља формула



3. Електромоторна сила и унутрашњи отпор оловних акумулатора

Електромоторна сила оловног акумулатора износи практички два волта. У незнатним границама она се мења са концентрацијом електролита. Са повећањем степена концентрације она расте.

Степен концентрације електролита изражава се обично у јединицама за мерење густине течности која се зове *боме*. Она се одређује помоћу тзв. *ареометра*. То је направа која се састоји из залемљене стаклене цеви са тегом на дну (сл. 190). Ареометар у

електролиту не тоне, већ плива мање или више потопљен у зависности од специфичне тежине електролита. Степени густине у бомеима обележени су на самој цеви, што даје могућности да се лако сазна специфична тежина, односно степен концентрације електролита.



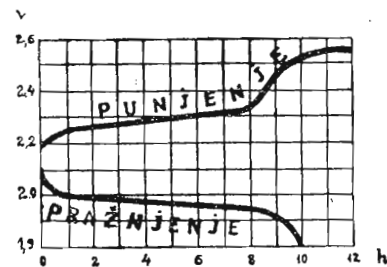
Сл. 190. Ареометар.

Унутрашњи отпор акумулатора је незнатан. Он је утолико мањи уколико је површина електрода већа и уколико је мање отстојање између њих. Отпор раствора сумпорне киселине зависи од степена концентрације. У границама од 20 до 40 бомеа овај је отпор непроменљив. Интересантно је приметити да испражњени оловни акумулатор има већи унутрашњи отпор него ли напуњени. То се објашњава тиме што је специфични отпор олово-сулфата већи од специфичног отпора олово-диоксида и чистог олова.

Електромоторна сила и унутрашњи отпор оловног акумулатора такође се мењају у току пражњења, односно пуњења. Томе је узрок што се за време пражњења, односно за време пуњења, мења степен концентрације раствора сумпорне киселине, као и специфички отпор електрода. Из тога излази да се разлика потенцијала између полова оловног акумулатора мора да мења у току пражњења, односно пуњења. Опат ово потврђује (в. сл. 191).

4. Едисоновог акумулатор

Гвоздено-никлени акумулатор познат је у пракси под називом



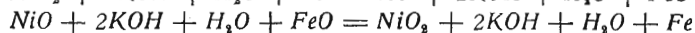
Сл. 191. Мењање разлике потенцијала између полова оловног акумулатора у току пражњења и пуњења.



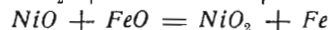
Сл. 192. Електроде гвоздено-никленог акумулатора.

Едисоновог акумулатор. Његове електроде (сл. 192) су никлов диоксид (анода) и чисто гвожђе (катода). Електролит је раствор калиум-

хидроксида. Едисонови акумулатори разликују се од оловних акумулатора по томе, што се код њих за време пражњења и пуњења степен концентрације електролита не мења. Заиста, из следећих хемиских једначина, које претстављају хемиске реакције за време пуњења и пражњења, видимо да електролит остаје без промене.



или скраћено:



Из ових једначина следује да се за време пражњења никлов диоксид (NiO_2) и гвожђе (Fe) претварају респективно у оксид никла и оксид гвожђа. За време пуњења обнавља се првобитни састав електрода.

Важно је приметити да су Едисонови акумулатори врло издржљиви и у механичком и у електричком погледу што није случај са оловним акумулаторима. Захваљујући њиховом релативно великом унутрашњем отпору и механичкој издржљивости ови акумулатори лако подносе и дужи кратки спој без штетних последица по њихову доброту. Електромоторна сила Едисонових акумулатора је константна. Она износи практички 1,5 волт.

5. Капацитет акумулатора

За карактеристику акумулатора врло је важан појам о њиховом *капацитету*. Капацитет акумулатора јесте количина електрицитета коју он ослобађа за време пражњења. Ако претпоставимо да је јачина струје пражњења стална, онда је његов капацитет,

$$K = i \times t$$

где је K — капацитет акумулатора у ампер-сатима,

i — јачина струје пражњења у амперима,

t — трајање пражњења у сатима.

Капацитет акумулатора зависи од дебљине, величине и структуре електрода. Он зависи такође и од температуре и степена концентрације електролита. Поред тога на величину капацитета акумулатора утиче и јачина струје пражњења. Тако напр., ако акумулатор, чија јачина струје пражњења износи 2 ампера, може да ради 10 часова, у случају кад јачина струје пражњења износи 4 ампера он неће моћи да ради 5 часова већ само приближно три. Ако пак јачина струје пражњења тог истог акумулатора износи свега 0,5 ампера, он ће моћи да ради више од 40 часова, приближно 50.

Дакле, тај исти акумулатор у првом случају има капацитет од 20 ампер-часова, у другом свега 12, а у трећем 25 ампер-часова. Према томе закључујемо да повећање јачине струје пражњења смањује капацитет акумулатора.

За упоређивање акумулатора, обично се подразумева да њихово пражњење траје тачно 10 сати. Тако, напр., ако је назначено да неки акумулатор има капацитет од 60 ампер-часова то значи да је он у стању да даје у току од 10 часова струју, чија јачина износи 6 ампера.

Капацитет једне батерије акумулатора зависи од начина спајања појединих акумулаторских *ћелија*, како се поједини акумулатори обично називају. Ако је батерија образована спајањем у серију идентичних акумулатора онда ће капацитет целокупне батерије бити исти као и капацитет једног акумулатора који улази у састав батерије. Капацитет батерије, која је образована паралелним спајањем идентичних акумулатора, једнак је збиру капацитета свих компонентних акумулатора.