



LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE
TEHNISKĀ FAKULTĀTE
LAUKSAIMNIECĪBAS ENERĢĒTIKAS INSTITŪTS

Ilmārs Žanis Klegeris

LIETIŠĶĀ ELEKTROTEHNIKA

Studiju materiāli

Lekciju konspekts – 1. daļa LLU Tehniskās fakultātes studentiem
profesionālā bakalaura studiju programmā
„Lauksaimniecības enerģētika”

Jelgava, 2007

S a t u r s

Ievads	4
1. Elektriskā ķēde	5
1.1. Struktūra un enerģijas pārnese procesi	5
1.2. Pamatlikumi.....	7
1.3. Darba režīmi	9
2. Elektriskās strāvas siltuma iedarbība	11
2.1. Siltuma procesi elektroiekārtās.....	11
2.2. Izolācijas materiālu siltumizturība.....	11
2.3. Elektriskajiem vadiem ilgstoši pieļaujamais strāvas stiprums	12
2.4. Iekārtas elektriskās strāvas siltuma darbības izmantošanai.....	13
2.4.1. <i>Kūstošie drošinātāji</i>	13
2.4.2. <i>Termoreleji</i>	15
2.4.3. <i>Elektriskie gaismas avoti</i>	16
2.4.4. <i>Elektriskie siltumenerģijas avoti</i>	17
3. Elektriskās strāvas ķīmiskā iedarbība.....	21
4. Elektriskās strāvas magnētiskā iedarbība.....	22
4.1. Magnētiskā lauka pamatjēdzieni	22
4.2. Magnētiskie materiāli, magnētiskā ķēde	24
4.3. Elektriskās strāvas magnētiskais lauks	24
5. Elektriskās strāvas mehāniskā iedarbība.....	27
5.1. Elektromagnētiskā spēka parādība	27
5.2. Elektromagnēti	27
6. Elektromagnētiskā indukcija	28
7. Sinusoidāla maiņstrāva	30
7.1. Raksturlielumi	30
7.2. Elektrisko lielumu grafiska attēlošana.....	31
7.3. Elektriskā pretestība maiņstrāvas ķēdē.....	32
7.4. Maiņstrāvas jaudas jēdziens	34
8. Trīsfāzu maiņstrāva	37
8.1. Trīsfāzu elektrisko ķēžu pamatjēdzieni	37
8.2. Zvaigznes un trīsstūra slēgumi	38
8.3. Rotējošs magnētiskais lauks trīsfāzu iekārtās.....	40

9. Teorētiskā ievirze lietišķās elektrotehnikas praktikumam.....	41
9.1. Elektrodrošība.....	41
9.1.1. Elektriskās strāvas iedarbība uz cilvēka organismu	41
9.1.2. Elektrobīstamas situācijas	41
9.1.3. Elektroaizsardzības pasākumi	42
9.1.4. A,B,C elektrodrošības kvalifikācijas grupu jēdziens	43
9.1.5. Neatliekamā palīdzība cietušajiem elektronegadījumos.....	43
9.2. Elektroiekārtu pieslēgšana elektriskajam tīklam	44
9.3. Elektrisko lielumu mērīšana vienfāzu maiņstrāvas ķēdē.....	46
9.4. Zvaigznes un trīsstūra slēguma pētīšana	50
9.5. Transformatora pētīšana	53
9.6. Asinhronais motors un tā izmantošana.....	58
9.7. Līdzstrāvas mašīnu darbības īpatnības	66
10. Lietišķās elektrotehnikas praktikuma darbu tematika un uzdevumi	72
10.1. Elektrisko lielumu mērīšana vienfāzu maiņstrāvas ķēdē.....	72
10.2. Zvaigznes un trīsstūra slēgumu pētīšana	73
10.3. Transformatora pētīšana	74
10.4. Asinhronais motors un tā izmantošana.....	75
10.5. Līdzstrāvas mašīnu darbības īpatnības	75
11. Atbildes elektrodrošības kontroltestam	77
12. Terminu skaidrojums.....	79
Izmantotie informācijas avoti.....	81

Ievads

Studiju priekšmets “Lietišķā elektrotehnika” aizsāk specializāciju Latvijas Lauksaimniecības universitātes profesionālā bakalaura studiju programmā “Lauksaimniecības enerģētika”. Apzīmētājs “lietišķā” norāda uz šī priekšmeta studiju praktisko ievirzi, bet norāde lekciju konspekta nosaukumā - “1. daļa” norobežo elektrotehnikas jautājumu apskatu no elektronikas un automātikas elementu plašā pielietojuma skaidrojuma visdažādākajās elektroiekārtās.

Lietišķās elektrotehnikas kursa uzdevums ir palīdzēt pirmā kursa studentiem sagatavoties profilējošo elektroenerģētiskā cikla priekšmetu studijām, ievērojot specifiku, kas saistīta ar elektroiekārtu izmantošanu. Šajā nolūkā: jāprecizē un jāsistematizē elektrotehnisko pamatjēdzienu izpratne un tai atbilstošās terminoloģijas izmantošana; tālāk jāattīsta prasmes - elektromagnētisko procesu analītiska un grafiska apraksta izpratnē un veidošanā, elektrisko ķēžu montāžā un ķēdēm atbilstošo elektrisko shēmu saderības pārbaudē, elektroiekārtu ekonomiski racionālā un tehniskajiem noteikumiem atbilstošā ekspluatācijā un ar ekspluatāciju saistīto mērījumu īstenošanā. Darbā ar elektroiekārtām īpaši aktuāli ir elektrodrošības jautājumi, tāpēc prasme prognozēt elektriskos procesus – orientējoši aprēķināt un pirms elektriskās ķēdes noslēgšanas (sprieguma pieslēgšanas) noteikt izmantojamo elektroiekārtu iespējamo darba režīmu – jau šajā ievadkursā jācenšas attīstīt līdz iemaņu līmenim. Līdzīgi jāveido attieksme un jāizkopj paradums vienmēr un visur rīkoties saskaņā ar elektrodrošības noteikumu prasībām.

Studijām lietīšķajā elektrotehnikā jāpadziļina un jāpaplašina vidējās izglītības mācību iestādēs gūtās zināšanas – īpaši matemātikas, fizikas, rasēšanas un ķīmijas mācību priekšmetos. Enerģijas pārnesei procesi elektriskajās ķēdēs un ar tiem saistītās blakus parādības guvušas plašu pielietojumu visdažādākajās tautsaimniecības nozarēs un tehnoloģijās. Lietīšķās elektrotehnikas kursam jāuzsāk veidot studentu profesionāls skatījums uz šiem procesiem.

1. nodaļā apskatīta elektriskā ķēde, tās raksturlielumi, pamatlíkumi un darba režīmi.

Otrā līdz sestajai nodaļai skaidroti kustīgu elektrisko lādiņu, t.i., elektriskās strāvas sekundārās iedarbības principi un izmantošanas iespējas.

Septītā un astotā nodaļa veltīta vienfāzu un trīsfāzu elektriskajām ķēdēm, to raksturlielumiem, analītiskiem un grafiskiem elektrisko procesu aprakstiem tajās.

Devītā nodaļa dod teorētiskās pamatzināšanas lietīšķās elektrotehnikas praktikuma-laboratorijas darbu saturā izpratnei. Tajā īpaša vieta ierādīta elektrodrošības jautājumiem, strādājot ar elektroiekārtām, t.sk., elektriskās strāvas iedarbībai uz cilvēka organismu un neatliekamai palīdzībai elektronegadījumos cietušajiem.

Desmitā nodaļā doti lietīšķās elektrotehnikas praktikuma darbu temati, uzdevumi un ieteicamie informācijas avoti, gatavojoties to izpildei.

Tabulās izvietotā informācija un ar “*” apzīmētie attēli aizgūti no uzrādītiem izmantotās informācija avotiem. Attēlu tehnisko noformēšanu veica 2006./7.st.g. enerģētikas specialitātes vairāki 2. kursa studenti. Paldies viņiem!

Lekciju konspekts neaptver visu studiju materiāla saturu lietīšķās elektrotehnikas programmas paredzētajā apjomā un dziļumā. Tas izmantojams kā ievirze nopietnām studijām un palīgs gatavojoties laboratorijas praktikuma darbiem. Desmitā nodaļā doti šo darbu precīzi formulēti uzdevumi un darba kārtība. Bet iepriekšējās nodaļās atrodamas nepieciešamās elektriskās shēmas, kuras, gatavojoties uzdevumu praktiskai izpildei, studentiem pašrocīgi jā sagatavo individuālajās darba lapās. Tajās jāturpina mērījumu pieraksti, tiem sekojošie aprēķini un praktikuma darba uzdevumiem atbilstošā grafiskā analīze. Praktikuma darba lapas jāveido kā loģisks inženiertehniskais dokuments, kas ļauj ne tikai izsekot kā iegūts rezultāts, bet arī atkārtot jebkuru mērījumu.

1. ELEKTRISKĀ ĶĒDE

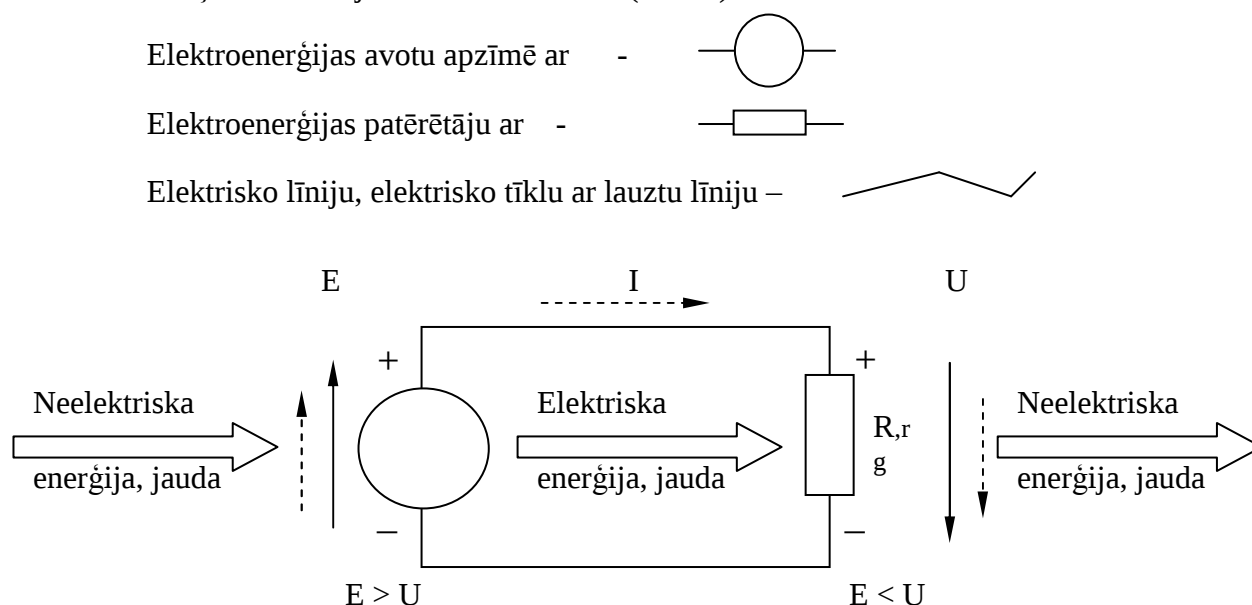
Jēdziens, struktūra, enerģijas pārnēs process, raksturlielumi, pamatlíkumi, darba režími

Par elektrisko ķēdi sauc savstarpēji savienotu, noteiktā kārtībā saslēgtu elektroiekārtu kopumu. Lai elektriskajā ķēdē noritētu elektriskie procesi, jāizpildās diviem nosacījumiem: elektriskajai ķēdei jābūt noslēgtai un vismaz vienai no elektroiekārtām jāģenerē elektroenerģija.

Līdz šim nav atklāti paņēmienu kā saimnieciski nozīmīgos apjomos uzkrāt elektroenerģiju, tāpēc tā jāsarāžo tieši tik daudz, cik dotajā laika momentā nepieciešams izmantošanai – elektriskajā ķēdē ieslēgto elektroiekārtu darbināšanai.

1.1. Struktūra un enerģijas pārnēs process

Atbilstoši elektrotehnikas definīcijai, pašā vienkāršākajā un arī vispārīgākajā gadījumā elektrisko ķēdi veido trīs elementi: elektroenerģijas avots, patērētājs un transportēšanas, pārvadīšanas iekārta – elektrolīnija, elektriskais tīkls. Vienkāršotos elektrisko procesu skaidrojumos pieņem, ka elektriskās ķēdes elementi ir ideāli, t.i., tie darbojas bez zudumiem. Lai atvieglotu elektrisko ķēžu aprakstīšanu un analīzi, jebkuru elektrisko ķēdi ar grafisku apzīmējumu palīdzību var attēlot ar zīmējumu – nosacītu reālas elektriskās ķēdes attēlu jeb elektrisko shēmu (1. att.).



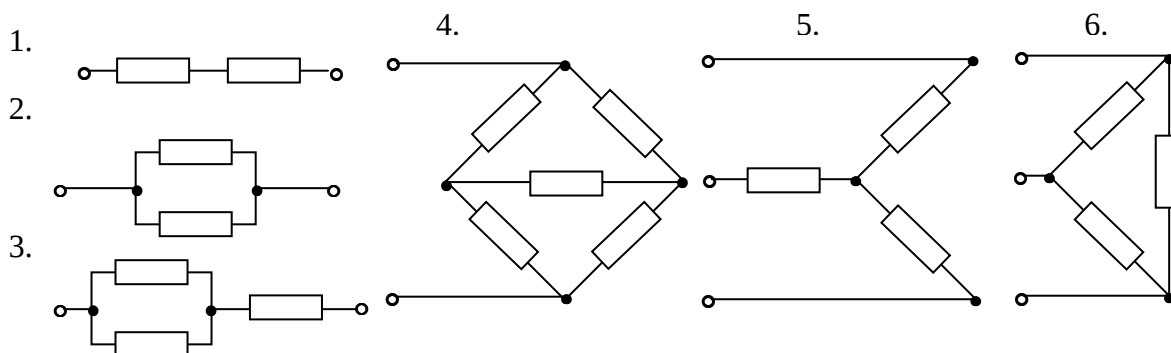
1. attēls. Vienkāršākajai elektriskajai ķēdei atbilstošā elektriskā shēma, tās raksturlielumi un enerģijas pārveidošanas procesi.

E – elektrodzinējspēks, V; U – spriegums, V; I – strāva, A; R, r – pretestība, Ω ; g – vadāmība, S;

ρ – īpatnējā pretestība, Ωm jeb $\frac{\Omega mm^2}{m}$; γ – īpatnējā vadāmība, $\frac{1}{\Omega m}$ jeb $\frac{m}{\Omega mm^2}$;

Katra elektriskās ķēdes daļa var būt vienkāršāka vai sarežģītāka, sastāvēt no vienas vai vairākām elektroiekārtām, kuras savukārt var savstarpēji savienot, saslēgt dažādos slēgumos. Strukturāli vienkāršākos – virknes un paralēlos slēgumus – iegūst (skat. 2. att.), atsevišķos ķēdes elementus slēdzot vienu otram galā (1) vai vienu otram blakus (2). Tos kombinējot, veidojas jauktais slēgums (3). Plašu pielietojumu ir ieguvis elektriskā tīltiņa

slēgums (4). Bet trīsfāzu elektriskajās ķēdēs izplatīti ir zvaigznes (5) un trīsstūra (6) slēgumi. Elektriskās ķēdes elementu savstarpējās savienošanas iespējas ir ļoti plašas.



2.attēls. Elektrisko shēmu elementu savstarpējie savienojumi – slēgumi.

Lai sarežģītu slēgumu elektriskās ķēdes un tām atbilstošās elektriskās shēmas būtu vienkāršāk aprakstīt un analizēt, raksturīgiem slēgumiem, t.s., elektrisko ķēžu ģeometriskajiem elementiem ir doti speciāli nosaukumi:

zars - ķēdes daļa bez nozarojumiem jeb virknes slēgums;

mezgls - trīs vai vairāk zaru savienojums;

kontūrs - jebkura noslēgta elektriska ķēde ar vai bez diagonālēm.

Pievadod elektroenerģijas avotam neelektrisku enerģiju, tajā izjauc elektrisko līdzsvaru- rada elektrisko potenciālu starpību. Elektrisko potenciālu, ko nosaka pozitīvo lādiņu pārpalikums, pieņemts uzskatīt par augstāku, lielāku un tā apzīmēšanai lieto pluss zīmi “+”. Pozitīvo lādiņu iztrūkumu, t.i., negatīvo lādiņu pārpalikumu jeb zemāku potenciālu apzīmē ar mīnuss zīmi “-“. Neelektriskai enerģijai pārveidojoties elektriskajā, starp punktiem ar atšķirīgu potenciālu veidojas elektriskais lauks. Šī pārveidošanas darba mērs, vienlaicīgi arī nozīmīgs elektroenerģijas avota raksturlielums ir elektrodzinējspēks – E , ko mēra voltos -V. Šajā gadījumā neelektrisku spēku padarītu darbu – elektriskā lauka ģenerēšanu – raksturo ar elektrisku lielumu, t.i., elektrodzinējspēku un mēra ar elektriskām metodēm.

Elektriskā laukā darbojas elektriskie spēki, kas pozitīvus lādiņus pārvieto no augstāka potenciāla uz zemāku, t.i., no “+” uz “-“. Šādu orientētu lādiņu kustību sauc par elektrisko strāvu - I . Strāvas stiprumu mēra ampēros (A). Strāvas virzienu, kas atbilst pozitīvo lādiņu kustības virzienam elektriskā laukā, nereti sauc arī par strāvas tehnisko virzienu. Elektrotehnikas likumu formulējumos ievērots šis virziens. Elektriskā līnija, elektriskais tīkls nodrošina elektroenerģijas pārvadīšanu no enerģijas avota uz tās patērēšanas vietu. Ja elektriskā līnija darbojas ideāli un bez zudumiem visu enerģiju novada līdz patērētājam, tad patērētājam pievadītais spriegums (U) – potenciālu starpība – ko mēra voltos (V), saglabājas tāds pats kā līnijas sākumā. Patērētājā, izmantojot elektrisko enerģiju, pozitīvie lādiņi pārvietojas elektrisko spēku ietekmē un, potenciālam samazinoties, elektriskā enerģija pāriet citos enerģijas veidos. Ja enerģijas avots uz neelektriskas enerģijas rēķina potenciālu starpību neatjauno, lādiņu sadalījums elektriskajā ķēdē izlīdzinās, atjaunojas elektriskais līdzsvars un elektroenerģētiskais process ķēdē norimst. Nemainīga procesa uzturēšanai avotam jāsarāž tieši tik daudz elektroenerģijas, cik katrā laika vienībā patērē patērētājs. Šī procesa intensitāti jeb strāvas stiprumu elektriskajā ķēdē nosaka ne tikai E un U , bet arī patērētāja elektriskā pretestība (R), ko mēra omos (Ω). Reālās ķēdēs elektriskā pretestība piemīt arī enerģijas avotiem. To nereti sauc par avota iekšējo elektrisko pretestību un apzīmē ar r vai $r_{iekš}$. Tā uzsver, ka šajā ķēdes

daļā enerģētiskie procesi būtiski atšķiras no procesiem pārējā, t.s., ārējā daļā- ārējā pretestībā. Dažkārt elektriskās pretestības jēdziena vietā izdevīgāk ir izmantot apgriezto - elektriskās vadāmības jēdzienu (γ), ko mēra sīmensos (S). Tehniskos aprēķinos neaizstājami ir arī īpatnējās pretestības (ρ), mērvienība – Ωm jeb $\frac{\Omega mm^2}{m}$; un īpatnējās vadāmības (γ), mērvienība – $\frac{1}{\Omega m}$ jeb $\frac{m}{\Omega mm^2}$ jēdzieni.

1.2. Pamatlikumi

Elektrisko ķēžu raksturlielumus E , U , I , R savstarpēji saista likumi, kas apraksta elektriskos procesus elektriskajā ķēdē kopumā vai kādā tās daļā. Šos likumus var pierakstīt, formulēt vairākos veidos: vārdiski, ar tabulās sakārtotām skaitļu kopām, ar matemātiskām izteiksmēm – formulām un arī grafiski, piem., ar funkciju grafikiem vai vektoru diagrammām. Katra teorētiska vai praktiska gadījuma analīzei izdevīgāka var izrādīties tā vai citi pieraksta forma. Inženierpraksē tomēr priekšroku dod likumu matemātiskajam un grafiskajam pierakstam.

Elektrisko procesu aprakstam, analīzei katrā no trīs raksturīgajiem elektrisko ķēžu elementu savienojumiem jāizmanto savs pamatlikums:

- | | |
|-----------------|---------------------------|
| zariem | - Oma likums; |
| mezglu punktiem | - Pirmais Kirhofa likums; |
| kontūriem | - Otrais Kirhofa likums. |

Visi šie likumi ir enerģijas nezūdamības likuma sekas.

Oma likums

Oma likuma analītisko (matemātisko) izteiksmi iegūst no 1. attēlā dotajām nevienādībām:

$E > U$ - elektriskā procesa virzību nosaka neelektriski spēki, iekārta strādā enerģijas avota, ģenerators režīmā;

$E < U$ - elektriskā procesa virzību nosaka elektriskie spēki, iekārta strādā enerģijas patērētāja režīmā. / E šajā gadījumā ir patērētāja elektrodzinējspēks, kas darbojas spriegumam pretējā virzienā un kuru nereti sauc par pretelektrodzinējspēku, apzīmējot ar E pret vai E' / Apvienojot abas nevienādības vienā izteiksmes iegūst:

$$U = E \pm I R, \quad (1)$$

kur mīnuss zīme attiecas uz ģenerators, pluss zīme uz patērētāja režīmu, t.i.,

Oma likums ģeneratoram: spriegums uz ģenerators spailē ir mazāks par elektrodzinējspēku iekšējā sprieguma krituma dēļ;

Oma likums patērētājam: patērētājam pievadītais spriegums kompensē gan patērētāja elektrodzinējspēku gan sprieguma kritumu patērētājā.

Ne visos elektroenerģijas patērētājos darbības laikā ģenerējas E_{pret} Ja $E = 0$,

$$U = I R \quad (2)$$

Pirmais Kirhofa likums: jebkurā mezglu punktā ieplūstošo strāvu summa ir vienāda ar no šī mezgla punkta izplūstošo strāvu summu, jeb strāvu algebriskā summa jebkurā mezglu punktā vienāda ar nulli

$$\sum_{1}^n I_m = 0 \quad (3)$$

kur n – mezglu punktā saslēgto zaru skaits;
 I_m – m^{ta} strāva 1 ... n zaros

Pirms vienādojuma sastādīšanas jānosaka, kuras strāvas – mezgla punktā ieplūstošās vai no tā izplūstošās – pieņem par pozitīvām, kuras par negatīvām.

Otrais Kirhofa likums: jebkurā kontūrā elektrodzinējspēku algebriskā summa ir vienāda spriegumu algebriskai summai;

Praktiskām vajadzībām, pieļaujot tuvinājumu un ievērojot Oma likumu, spriegumu summu daudzos gadījumos var aizstāt ar sprieguma kritumu algebrisko summu,

$$\sum_1^k E_m = \sum_1^j U_m = \sum_1^j I_m R_m \quad (4)$$

kur k un j - kontūrā ieslēgto elementu skaits ar atbilstošo E vai U pazīmi.

Pirms vienādojuma sastādīšanas brīvi jāpieņem, t.s., kontūra apiešanas pozitīvais virziens. Ja E un I virziens sakrīt ar to, atbilstošajam saskaitāmajam vienādojumā ir pozitīva zīme, ja virzieni nesakrīt – negatīva.

Džoula likums apraksta elektriskās strāvas darbu (A), kas saistīts ar vadītāja iekšējās enerģijas, resp., temperatūras paaugstināšanu: elektriskās strāvas izdalītais siltums vadītājā ir proporcionāls strāvas stipruma (I) kvadrātam, vadītāja elektriskajai pretestībai (R) un strāvas plūšanas laikam (t):

$$A = I^2 R t, \quad J \text{ (džouls)}, \quad (5)$$

Lai uzsvētu elektriskās strāvas siltuma darbību Džoula likuma izteiksmē darba simbolu A nereti aizstāj ar siltuma daudzuma simbolu Q . Izmantojot formulu 2, Džoula likuma izteiksmi var pārveidot:

$$A = Q = U^2 t / R \quad (6)$$

Praksē siltuma daudzuma mērīšanai džoula vietā bieži izmanto kalorijas (cal). Abas mērvienības saista siltuma mehāniskais ekvivalents un darba termiskais ekvivalents:

$$1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J} \quad \text{un} \quad 1 \text{ J} = 0,239 \text{ cal};$$

izmanto arī - 1kcal = 1,16 Wh (vatstundas) un 1 kWh = 860 kcal (kilokalorijas).

Elektriskās strāvas darbs (A), ko tā veic līdzstrāvas ķēdes posmā, ir vienāds ar sprieguma, strāvas stipruma un strāvas plūšanas laika reizinājumu:

$$A = U I t, \quad V A s \quad \text{jeb} \quad J \quad (7)$$

Elektriskā jauda (P) ir elektrisko spēku darbs vai elektriskā enerģija laika vienībā, tā raksturo elektroenerģētiskā procesa intensitāti:

$$P = A / t = U I, \quad VA \text{ jeb } W \text{ (vats)} \quad (8)$$

*Praksē izmanto arī kilovatus (kW) – 10^3 , megavatus (MW) – 10^6 , gigavatus (GW) – 10^9
 Dažreiz jaudu mēra zirgspēkos (ZS), pie kam $1 \text{ kW} = 1,36 \text{ ZS}$ vai $1 \text{ ZS} = 0,735 \text{ kW}$*

Elektriskā enerģija (W) ir elektrisko spēku darbaspēja. Tātad, cik daudz ir enerģija, tik lielu darba apjomu ar to var paveikt:

$$W = A = U I t, \quad * \quad V A s, \quad \text{jeb} \quad Ws, \text{ t.i., } J \quad (9)$$

* [Šeit jāpievērš uzmanība zinātnē un tehnikā nereti sastopamai īpatnībai – ar vienu un to pašu alfabēta burtu vai citu simbolu apzīmēt atšķirīgus jēdzienus. 9. formulā $W = A$ izmantoti enerģijas un darba simboli, bet turpat, skaidrojot šo lielumu mērvienības, A apzīmē strāvas stipruma mērvienību – ampēru, bet burtu W izmanto gan kā enerģijas simbolu, gan kā jaudas mērvienības – vata apzīmējumu]

Džouli (vatsekundes) ir ļoti maza, praktiskiem uzdevumiem mazpiemērota mērvienība. Vatus aizstājot ar kilovatiem (10^3 W) un sekundes ar stundām ($1\text{ h} = 3600\text{ s}$), dabū praktiskiem mērījumiem piemērotāku mērvienību – kilovatstundu (kWh): $1\text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^3\text{ J}$. Lielākiem enerģijas apjomiem izmanto arī MWh (megavatstundas) un GWh (gigavatstundas).

1.3. Darba režīmi

Priekšstatu par reāliem procesiem elektriskajā ķēdē var iegūt, zinot kādā darba režīmā ķēde strādā. Tāpēc jāzina tiem raksturīgās pazīmes un atbilstošā terminoloģija.

Ja darba laikā elektriskās ķēdes raksturlielumi nemainās – tā strādā stacionārā režīmā. Ikkatra elektriskā ķēde var strādāt bezgalīgi daudz stacionāros darba režīmos atkarībā no avota elektrodzinējspēka un ķēdes elektriskās pretestības. Elektroenerģijas patērētāja elektrisko pretestību nereti sauc arī par slodzes pretestību vai izmanto terminu “slodze”. Ar to saprot gan konkrētu elektroiekārtu, kas strādā elektroenerģijas patērētāja režīmā gan vienu no šīs iekārtas galvenajām īpašībām – jaudu, kuru nosaka iekārtas elektriskā pretestība un tai pievadītais spriegums.

Elektriskajai ķēdei pārejot no viena stacionārā darba režīma citā, notiek, t.s., pārejas process, kura laikā izmainās viena vai vairāku raksturlielumu skaitliskās vērtības. Šajā laikā elektriskā ķēde strādā pārejas režīmā. Pārejas režīma apzīmēšanai izmanto tomēr citu terminu – pārejas process. Enerģētiskie procesi pārejas procesu laikā ir ievērojami sarežģītāki par procesiem stacionārajos darba režīmos. Elektrisko ķēžu pārejas procesu dažādība arī ir bezgalīga.

Teorētiski un praktiski nozīmīgākajiem darba režīmiem ir doti speciāli nosaukumi:

- tukšgaitas režīms ($E = U_0$; $I = 0$; $R = \infty$ - elektriskā ķēde nav noslēgta);
- īsslēguma režīms ($E = 0$; $I = I_{\max}$; $R = 0$ - elektriskajā ķēdē ir īsslēgums);
- saskaņotais režīms ($P = P_{\max}$; $R = r$ – ārējā un iekšējā elektriskā pretestība vienādas; $\eta = 0,5$);
- nominālais režīms (visizdevīgākais no tehniski ekonomiskā viedokļa.)

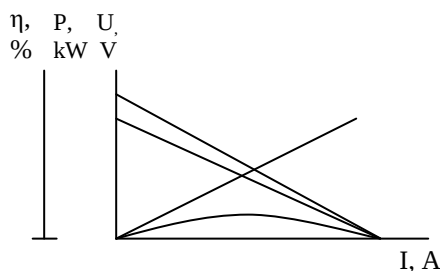
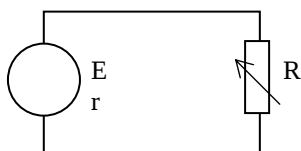
Nominālā režīma raksturlielumu skaitliskās vērtības sauc par nominālajām vērtībām. Tās uzrāda iekārtu pasēs un tehniskajā dokumentācijā. Aprakstot nominālo režīmu tekstā, nominālos lielumus apzīmē ar indeksu “N” -, piem., U_N , P_N , I_N , n_N un tml. Darbinot elektroiekārtas nominālajā režīmā, nodrošina tām garāko darba mūžu un mazākos ekspluatācijas izdevumus. Tehniski pareizi izmantot elektroiekārtu nozīmē – darbināt to nominālajā režīmā! Tomēr tehnoloģiskās slodzes, kurās izmanto elektroenerģiju, iespējamās bezgalīgi daudzveidīgas, kamēr elektroiekārtas elektrotehniskā rūpniecība izgatavo tikai noteiktām jaudas vērtībām, atbilstoši, t.s., standartskalai. Tāpēc reāli, izmantojot elektroiekārtas, nominālais darba režīms iespējams tikai atsevišķos gadījumos.

Elektroiekārtu ekspluatācijas personāla uzdevums ir darbināt elektroiekārtas režīmā, kas ir iespējami tuvs nominālajam, nekādā gadījumā nepārslogojot tās. Jebkura pārslodze paātrināti izmanto iekārtas tehnisko resursu un palielina ne tikai ekspluatācijas izdevumus, bet arī nopietnu iekārtas bojājumu risku.

Kontroluzdevums

Precizēt jēdzienu izpratni un nostiprināt zināšanas par elektriskajām ķēdēm, tās rasksturlielumiem, pamatlukumiem un darba režīmiem var palīdzēt šāda uzdevuma risinājums:

Izpētīt, t.i., aprēķināt, sakārtot tabulā, attēlot grafiski, atbilstoši graduētā koordinātu laukā, un īpaši norādīt dotās elektriskās ķēdes nozīmīgāko darba režīmu raksturīgākās pazīmes, ja slodze mainās bezgalīgā intervālā – $R = (\infty \dots 0) \Omega$; (skat. 3. att.). Izpētei pakļaut: spriegumu - U , elektrisko jaudu - P_{el} , neelektrisko jaudu - $P_{neel} = E I$ un lietderības koeficientu - $\eta = P_{el}/P_{neel}$ kā funkcijas no strāvas - I , ja $E = 60 \text{ V}$ un $r = 2 \Omega$. Komentēt nominālā režīma iespējamo atrašanās vietu tabulā un grafiskajā attēlā.



Nr.	R, Ω	I, A	U, V	P_{el} , kW	P_{neel} , kW	η	Darba režīma nosaukums
1.	∞						
2.	4,0						
3.	2,0						
4.	1,0						
5.	0,0						

3. attēls. Aprēķinu tabulas un koordinātu laukuma sagataves elektriskās ķēdes darba režīmu analīzei un rezultātu pārbaudei.

2. ELEKTRISKĀS STRĀVAS SILTUMA IEDARBĪBA

/Siltuma procesi elektroiekārtās, izolācijas materiālu siltumizturība, elektrovadiem ilgstoši pieļaujamā strāva, kustošie drošinātāji, termoreleji, elektriskie gaismas un siltuma avoti/

2.1. Siltuma procesi elektroiekārtās

Kustīgu lādiņu – elektriskās strāvas siltuma darbību apraksta Džoula likums (5. un 6. formula). Strāvas izdalītais siltums elektriskās ķēdes darba laikā paaugstina tās elementu temperatūru. Tāpēc elektriskajās ķēdēs vienlaikus ar elektriskajiem noris arī termiskie jeb siltuma apmaiņas procesi. Elektroiekārtas, sasilstot virs apkārtējās vides temperatūras, siltuma vadīšanas un starojuma veidā daļu enerģijas atdod videi. Jo lielāka ir temperatūru starpība, t.s., virstemperatūra, jo intensīvāks ir siltuma apmaiņas process. Ja strāvas izdalītais un iekārtas atdotais siltuma daudzums ir vienādi, ja siltuma apmaiņā iestājas, t.s., dinamiskais līdzsvars, temperatūra nostabilizējas. Šo temperatūru sauc par darba temperatūru. Tā kā siltuma procesi ir daudz lēnāki – inerciālāki par elektriskajiem procesiem, tad arī stacionāru darba režīmu, resp., nemainīgu darba temperatūru tajos sasniedz ievērojami lēnāk.

Darba temperatūru nosaka vairāki faktori : no vienas puses - elektroiekārtas darba strāva un elektriskā pretestība, resp., jauda, bet no otras – dzesēšanas apstākļi. Tā kā elektroiekārtās izmantotiem materiāliem ir atšķirīga siltumizturība, tad darba temperatūra ir jāierobežo. Tā nedrīkst pārsniegt pret temperatūru jutīgākā materiāla – izolācijas ilgstoši pieļaujamo temperatūru.

2.2. Izolācijas materiālu siltumizturība

Strāvas siltuma darbības dēļ darba laikā visi elektriskās ķēdes elementi ,visas elektroiekārtas sasilst un, siltuma pārejas procesam beidzoties, sasniedz darba temperatūru. Strādājot nominālajā režīmā, arī elektroiekārtu darba temperatūra nostabilizējas ,sasniegta nominālo vērtību, kas vienlaicīgi ir dotās iekārtas augstākā, ilgstoši pieļaujamā temperatūra. Tā kā, salīdzinot ar citiem elektroiekārtu konstruktīvajiem materiāliem, izolācijas materiāli ir visjutīgākie pret temperatūras ietekmi, tad tieši izolācijas materiāla – dielektriķa īpašības nosaka dotās elektroiekārtas ilgstoši pieļaujamo temperatūru. Jo biežāk un ilgāk darba laikā izolācija pārkarst, jo ātrāk tā bojājas un straujāk saīsinās tās darba mūžs. To labi ilustrē skaitļi par A klases izolācijas materiālu darba mūža garuma atkarību no darba temperatūras (skat. 1. tabulu).

1. tabula.

Izolācijas materiālu darba mūža garuma atkarību no darba temperatūras

Slodzes strāva	I_N	$1,25 I_N$	$1,5 I_N$
Ilgstoša temperatūra	$100\text{ }^{\circ}\text{C}$	$150\text{ }^{\circ}\text{C}$	$200\text{ }^{\circ}\text{C}$
Izolācijas kalpošanas ilgums	15 ... 20 gadi	1,5 mēneši	3 h

Elektroierīcēs izmantoto izolācijas materiālu klāsts ir ļoti plašs. Tos iedala pēc dažādām pazīmēm; pēc agregātvokļa – cieti, šķidri, gāzveidīga; pēc izcelsmes – neorganiskie un organiskie, dabīgie un mākslīgie; pēc pielietojuma – līdz 1000 V un virs 1000 V, zemām un augstām frekvencēm un tml.. Viena no praktiski nozīmīgākajām klasifikācijas sadaļām ir iedalījums pēc siltumizturības. Atbilstoši lielākajai temperatūrai, kuru izolācijas materiāls ilgstoši iztur, būtiski nesamazinoties izolācijas īpašībām, materiālus iedala, t.s., siltumizturības klasēs, ko nosacīti apzīmē ar burtiem (skat. 2. tabulu).

2. tabula

Izolācijas materiālu siltumizturības klases

Izolācijas materiālu apraksts	Siltumizturības klase	$t_{\max}$, °C
Nepiesūcināti celulozes un zīda šķiedru materiāli	Y	90
Organiskie materiāli: koksne, papīrs, kartons, fibra, kokvilnas un zīda šķiedra, kas piesūcināti ar eļļas vai tamlīdzīgām lakām vai iegremdēti šķidrā dielektriķī	A	105
Plastmasas, ieskaitot getinaksu un tekstolitu; arī vadu emaljas izolācija	E	120
Neorganiskie materiāli: vizla, stikla šķiedra, azbests kopā ar piesūcināšanas un saistošiem materiāliem	B	130
Vizlas, stikla šķiedras un azbesta materiāli ar siltumizturīgākiem saistošiem un piesūcināšanas sastāvjiem	F	155
Vizlas, stikla šķiedras un azbesta materiāli, kas piesūcināti un saistīti ar silīcijorganiskiem sveķiem	H	180
Tīri neorganiski materiāli: vizla, porcelāns un citi keramiskie materiāli, stikls, kvarcs – bez saistvielām vai ar neorganiskām saistvielām	C	virs 180

Elektroiekārtas dzesēšana apstākļus nosaka – apkārtējās vides temperatūra, vadu instalācijas veids, siltumu izstarojošo virsmu laukums, siltuma pārneses aģenta – gaisa un citu gāzu vai šķidrumu plūsmas ātrums un citi faktori.

2.3. Elektriskajiem vadiem ilgstoši pieļaujamās strāvas stiprums

Lai atvieglotu elektrisko iekārtu tehniski pilnvērtīgu izmantošanu, augstākminētais izmantots inženieraprēķinos, sastādot tabulas, par elektriskajiem vadiem (līnijām, tīkliem) ilgstoši pieļaujamo strāvas stiprumu. Tās izmanto vadu šķērsriezuma izvēlei atkarībā no silšanas. Projektējot elektroiekārtas, arī to nominālo jaudu nosaka tā, lai nodrošinātu darba temperatūru zemāku par atbilstošajai izolācijai ilgstoši pieļaujamo. Šajos aprēķinos pieņemts, ka mērenajā klimatiskajā joslā apkārtējās vides temperatūra ir + 35 °C. Tas nozīmē, ka dzesēšanas apstākļiem uzlabojoties – apkārtējās vides temperatūrai esot zemākai – elektroiekārtas slodzi drīkst atbilstoši palielināt, bet dzesēšanas apstākļiem pasliktinoties – apkārtējās vides temperatūrai esot augstākai par +35°C – elektroiekārtas nedrīkst ilgstoši slogot ar to pasēs uzrādīto nominālo jaudu.

Elektriskajiem vadiem ilgstoši pieļaujamo strāvas stiprumu uzrāda tabulās (rokasgrāmatās) atkarībā no vadu šķērsriezuma laukuma, vadu materiāla un dzesēšanas apstākļiem – instalācijas veida. Pie kam, jo sliktāki dzesēšanas apstākļi, jo mazāks ilgstoši pieļaujamais strāvas stiprums, t.i., jo lielāks jāizvēlas vadu šķērsriezuma laukums. Vadu šķērsriezuma laukuma aprēķinos no silšanas viedokļa jāievēro, ka alumīnija vadi iztur 2/3 no vara vadu slodzes, bet dzelzs vadi tikai 40%. Elektrovadiem ar gumijas un polihlorvinilīta izolāciju ilgstoši pieļaujamās strāvas atkarība no instalācijas veida un vadu šķērsriezuma dotas 3. tabulā. Vada šķērsriezums jāizvēlas atbilstoši instalācijas veidam un strāvas vērtībai, kas ir nākošā lielākā, salīdzinot ar aprēķināto darba strāvu.

3. tabula

Alumīnija / vara vadu ar gumijas un polihlorvinilīta izolāciju
šķērsgriezums atkarībā no ilgstoši pieļaujamās strāvas

Šķērs- griezuma laukums, mm ²	Ilgstoši pieļaujamā strāva, A						
	Atklātā gaisā izvietotiem	Vienā caurulē ievietotiem vadiem				Trīsdzīslu kabeļiem*	
		Diviem viendzīslu	Trijiem viendzīslu	Četriem viendzīslu	Vienam trīsdzīslu	Gaisā	Zemē
0,50	- /11	-	-	-	-	-	-
0,75	- /15	-	-	-	-	-	-
1,0	- /17	-/16	-/15	-/14	8/-	-	-
1,5	- /22	-/19	-/17	-/16	11/-	-/19	-/27
2,5	24/30	20/27	19/25	18/24	16/24	19/25	29/38
4	32/41	28/38	28/35	23/30	21/27	27/35	38/49
6	39/50	36/46	32/42	30/40	26/34	32/42	46/60
10	60/ 80	50/70	47/60	39/50	38/50	42/55	70/90
16	75/100	60/85	60/80	55/75	55/70	60/75	90/115
25	105/140	85/115	80/100	70/90	65/85	75/95	115/130

* Četrudzīslu kabeļos ceturā – zemēšanas (nullēšanas) dzīsla neietekmē ilgstoši pieļaujamo slodzes strāvas vērtību.

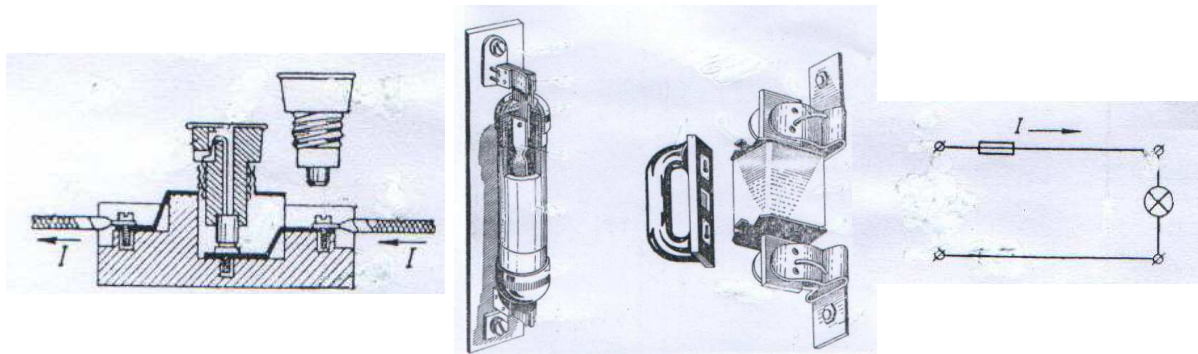
2.4. Iekārtas elektriskās strāvas siltuma iedarbības izmantošanai

2.4.1. Kūstošie drošinātāji

Elektriskās strāvas siltuma darbību izmanto arī dažādās elektroiekārtu aizsardzības ierīcēs. Elektrisko līniju un elektroiekārtu vadi jāaizsargā no pārkaršanas gan vadu pārslodzes gan īsslēguma gadījumos. Īsslēguma gadījumā strāva var daudzkārt pārsniegt nominālo. Elektroiekārtu atslēgšanai īsslēguma gadījumos jāizmanto ātrdarbīgas aizsardzības iekārtas, no kurām pati vienkāršākā un arī senākā ir kūstošais drošinātājs. Kūstošos drošinātājus izgatavo ar maināmiem kūstošiem ieliktņiem. Drošinātāja nominālā strāva atbilst lielākajai kūstošā ieliktņa strāvai.

Kūstošo drošinātāju “atslēdzošais” elements ir kūstošais ieliktņis. To raksturo nominālā strāva – maksimālā pieļaujamā strāva, ko ieliktņis iztur neierobežoti ilgi (I_{dr}). Jo lielāka ir attiecība $I_{pārslodzes} / I_{dr}$, jo ātrāk izkūst (“pārdeg”) kūstošā drošinātāja ieliktņis un atslēdz pārslogoto elektrisko ķēdi. Pieņem, ka vads aizsargāts pret pārslodzi, ja kūstošā ieliktņa nominālā strāva ir ne lielāka par 0,8 no vadam ilgstoši pieļaujamās strāvas. Bet īsslēguma atslēgšana ir nodrošināta, ja vadam ilgstoši pieļaujamā strāva ir mazāka par trīskāršu kūstošā ieliktņa nominālo strāvu. Reālā elektriskā tīklā vairāki drošinātāji ir saslēgti virknes slēgumā un caur tiem īsslēguma vai lielas pārslodzes gadījumā plūst viena un tā pati strāva. Tāpēc I_{dr} jāizvēlas tā, lai katrā konkrētā gadījumā pārdegtu tikai tas ieliktņis, kas aizsargā attiecīgo elektriskās ķēdes posmu, t.i., lai apmierinātu selektivitātes nosacījumus. Aizsardzības selektivitāti parasti var panākt, ja nominālo kūstošā ieliktņa strāvu ņem vismaz par vienu pakāpi lielāku nekā iepriekšējam drošinātājam virzienā uz barošanas avota pusi. Tomēr jāievēro, ka kūstošie drošinātāji, būdami konstruktīvi vienkārši un tāpēc lēti, darbā nav sevišķi precīzi.

Nelielām strāvām izmanto ieskrūvējamus, t.s., vītne tipa drošinātājus – E27 un E33, bet lielākām jaudām - cauruļdrošinātājus, kas var būt vaļēji un slēgti. Elektriskajās shēmās visu tipu kūstošajiem drošinātājiem izmanto vienu un to pašu grafisko apzīmējumu. Skat. 4. attēlu. Kūstošos drošinātājus neizvieto elektrolīnijas neitrālē.



1. 2. 3.
4. attēls*. Kūstošie drošinātāji : ieskrūvējamie – 1; cauruļdrošinātāji – 2 ; grafiskais
apzīmējums – 3.

Izvēloties drošinātāja kūstošā ieliktņa nominālo strāvu, jāveic aprēķini. Tajos izmanto vai nu aizsargājamās elektroiekārtas nominālās vai darba strāvas. Nominālo strāvu uzzina no iekārtas pasēs vai kataloga, bet darba strāva iepriekš jāaprēķina

$$I_{\text{darba}} = \frac{P10^3}{\sqrt{3}U \cos \varphi \eta} k_{\text{nosl}} , \text{ A} \quad (10)$$

kur P – motora nominālā jauda, kW
 $k_{\text{nosl.}}$ – motora noslogojuma koeficients; jaunprojektējamām līnijām $k = 1$;
rekonstruējamām izmanto k reālo vērtību, bet ne mazāku par 0,8
 U – līnijas spriegums, V
 $\cos \varphi$ – jaudas koeficients
 η – lietderības koeficients

Drošinātāju kūstošos ieliktņus tādu elektroiekārtu aizsardzībai, kurām palaišanas strāvas nav lielākas par nominālo vai darba strāvu, izvēlas
- pēc darba strāvas

$$I_{\text{dr}} \geq I_{\text{darba}} \quad (11)$$

Aizsardzībai pret pārslodzēm, ko rada līnijas īsslēguma vai motora palaišanas strāva, piem., trīsfāzu asinhronajam motoram normālos palaišanas apstākļos, kad darba apgriezienus tas sasniedz ātrāk par 10 s, drošinātāju kūstošos ieliktņus izvēlas
- pēc pārslodzes strāvas – $I_{\text{pārslodzes}}$,

$$I_{\text{dr, aprēķina}} \geq I_p / 2,5 \quad (12)$$

Smagos palaišanas apstākļos, kas ilgst vairāk par 10 s, koeficienta vērtību samazina. Pie palaišanas ar pilnu slodzi līdz pat 1,6.

Kūstošo ieliktņu nominālās strāvas ir standartizētas. Zinot drošinātāja kūstošā ieliktņa aprēķina strāvu, no standartskalas jāizvēlas nākošā lielākā kūstošā ieliktņa nominālās strāvas vērtība. Skat. 4. tabulu.

4.tabula

Kūstošo drošinātāju ieliktņu nominālās strāvas

Kūstošā drošinātāja tips	U_N , V	Drošinātāja nominālā strāva, A	Kūstošā ieliktņa nominālā strāva, I_{dr} , A
PN2 – 100	500	100	30, 40, 50, 60, 80, 100
PN2 – 250	500	250	80, 100, 120, 150, 200, 250
PR2 – 15	220 / 500	15	6, 10, 15
PR2 – 60		60	15, 20, 25, 35, 45, 60
PR2 – 100		100	60, 80, 100
PR2 – 350		350	200, 225, 260, 300, 350
C27-1	380	10	6, 10
C27-2	380	20	6, 10, 15, 20
C33-2	380	60	25, 40, 60

Elektrodrošības noteikumi atļauj izmantot tikai rūpnieciski izgatavotus drošinātāju kūstošos ieliktņus. No kļūmīgas pašdarbības var pasargāt zināšanas par strāvas stiprumiem, ko ilgstoši var izturēt neliela diametra vara stieple – skat. 5. tabulu.

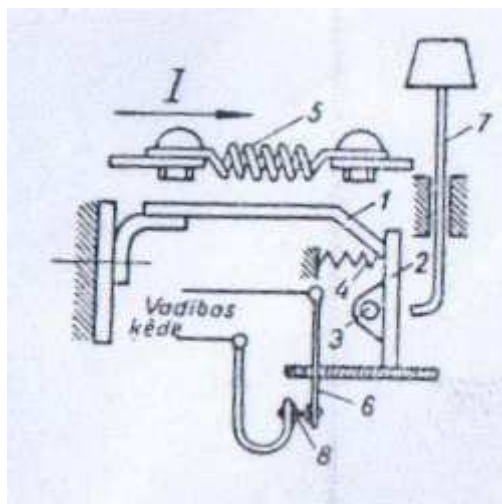
5.tabula

Ilgstoši pieļaujamās strāvas vara neizolētai stieplei gaisā, A

Stieples diametrs, mm	Ilgstoši pieļaujama strāva vītnes tipa drošinātājiem I_{dr} , A	Ilgstoši pieļaujama strāva 80 ... 100 mm gariem ieliktņiem gaisā/ caurulē I_{dr} , A
0,1	4	-
0,15	6	-
0,2	10	-
0,3	15	9,0 / 8,0
0,32	20	-
0,35	-	11,0 / 9,5
0,44	-	16,0 / 13,0
0,51	-	20,0 / 18,0
0,59	-	26,0 / 22,5
0,72	-	35,0 / 30,0
0,9	-	50,0 / 44,0
1,12	-	70,5 / 62,0

2.4.2. Termoreleji

Elektriskās strāvas siltuma darbību izmanto arī termorelejos. Tajos bimetāla plāksnīte izliecas un saslēdz vai/un atslēdz elektriskos kontaktus, strāvai plūstot pa pašu plāksnīti vai speciālu sildelementu. Skat. 5. attēlu.



5. attēls*. Termoreleja konstrukcija

Viens no bimetāla plāksnītes 1 galiem piestiprināts nekustīgi releja korpusam, bet otrs gals balstās pret sviru 2, kas var griezties ap asi 3; sviru bimetāla plāksnei piespiež atsperē 4. Ja elektroiekārtas darba strāva pārsniedz nominālo, tad sildelementa 5 izdalītais siltums pastiprināti karsē bimetāla plāksnīti un tā izliecas uz augšu, atbrīvojot sviru 2, kas mehāniski saistīta ar kustīgo elektrokontaktu 6. Atsperes 4 elastības spēks pagriež sviru 2 un ar kontaktiem 6 un 8 pārtrauc vadības ķēdi. Līdz ar to pārslogoto elektroiekārtu atslēdz no sprieguma. Ar pogu 7 termoreleju pēc 1,5 ... 2 min var sagatavot atkārtotam darbam: saslēgt vadības ķēdes kontaktus 6 un 8, deformēt atsperi 4 – uzkrāt tajā enerģiju vadības ķēdes pārtraukšanai, atjaunot bimetāla plāksnītes 1 un svira 2 sāceri – sprūdu.

Termoreleju uzdevums ir atslēgt elektroiekārtas no tīkla nelielas (10 ... 20 %), bet ilgstošas pārslodzes gadījumos. Šie releji aizsargā arī trīsfāzu iekārtas no pārslodzes, kas parādās “izkrītot spriegumam” vienā fāzē – pazūdot spriegumam vienā no trīsfāzu līnijas vadiem. Termorelejiem pie 20 % pārslodzes jānostrādā pēc 20 minūtēm no pārslodzes sākuma momenta, pie 50 % pārslodzes – pēc 2 min, bet seškārtīgu pārslodzi atslēdz 4 ... 20 sekunžu laikā.

Katram termoreleja tipam izgatavo vairākus savstarpēji nomaināmus sildelementus pēc strāvu standartskalas. Piem., nominālā strāva $I_{N,TR}$ ampēros:

TRN – 10 ir 0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0;

TRN – 40 ir 12,5; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0; 60,0; 80,0; 100,0; 120,0; 150,0.

Termoreleju kontaktiem ir maza atslēgšanas strāva, tāpēc tos bieži izmanto kā starpreļus, piem., kopā ar magnētiskajiem palaidējiem. Termoreleju atslēgšanās strāvu var regulēt, ne tikai nomainot sildelementus, bet (0,75 ... 1,30) $I_{N,TR}$ robežās arī ar speciālu regulēšanas mezglu (skrūvi).

Termoreleju sildelementu nominālo strāvu izvēlas pēc darba strāvas, ņemot nākošo lielāko, atbilstoši nevienādībai

$$I_{N,TR} \geq 1,25 I_{darba} \quad (13)$$

2.4.3. Elektriskie gaismas avoti, kas izmanto strāvas siltuma iedarbību.

Īpatnēju un ļoti plašu praktisku pielietojumu elektriskās strāvas siltuma darbība ieguvusi gaismas tehnikas jomā. Arī vēsturiski 19. gs. beigās elektroenerģijas plaša izmantošana aizsāka apgaismošanas jomā. Virs 500 °C sakarsēts ķermenis sāk izstarot redzamu gaismu. Šī īpašība ir vairāku elektrisko gaismas avotu darbības pamatā. Lai gan to gaismas atdeves koeficients ir ļoti zems – daži procenti un būtībā tie ir siltuma enerģijas avoti. To plaša izmantošana ērtuma, lētuma un arī pieraduma dēļ turpinās. Elektriskās strāvas siltuma iedarbību izmanto: kvēlspuldzēs, t.sk., halogēnajās, elektriskā loka spuldzēs, indukcijas spuldzēs, kas darbojas ar paaugstinātu frekvenci, kā arī

metālhalogēnajās un ksenona spuldzēs, kurās elektriskā loka izlāde noris halogēno metālu tvaikos vai ksenona vidē. Mūsdienās gaismas tehnika ir strauji progresējoša nozare, kas pārskatāmā nākotnē pieļauj gan principiāli jaunu elektrisko gaismas avotu praktisku ieviešanu gan vērā ņemamu lietderības koeficienta uzlabošanu esošajiem strāvas siltuma darbības elektriskajiem gaismas avotiem.

Kvēlspuldzes - stikla balons, no kura izsūknēts gaiss vai kurā ievadīta inertā gāze – argons, kriptons vai ksenons ar volframa kvēldiegu. Kvēldiega gaismas atdeve ir proporcionāla kvēldiega temperatūrai. Volframa kvēldiega temperatūra nedaudz pārsniedz 3100°C un paredz 1000 h garu kvēlspuldžu darba mūžu. Inerto gāzu pildījums ļauj palielināt spuldžu gaismas atdeves koeficientu (spuldzes gaismas plūsma pret spuldzes jaudu). Kvēlspuldžu izstarotās gaismas spektrā, salīdzinot ar dienas gaismu, ir vairāk sarkanā un dzeltenā starojuma. Bet, salīdzinot izstarotās redzamās gaismas enerģiju ar kvēlspuldzes patērēto enerģiju, lietderības koeficients nepārsniedz (3,0 ... 3,5) %. Kvēlspuldzes ir ļoti jutīgas pret sprieguma svārstībām: sprieguma paaugstinājums krasi samazina to darba mūžu - 1 % sprieguma pieaugums par 13 %, bet sprieguma samazinājums būtiski izmaina starojuma spektru, vēl vairāk izceļot tā sarkano daļu. Kvēlspuldzei darbojoties, volframs iztvaiko un nosēžas uz stikla balona iekšējās sienas. Gaismas caurlaidība stiklam samazinās un tas daļu gaismas absorbē. Tāpēc ekspluatācijas laikā kvēlspuldžu lietderības koeficients samazinās. Kvēlspuldžu galvenais trūkums – zemais lietderības koeficients, resp. zemā gaismas atdeve (7 ... 19,1) lm / W un sarkani dzeltenās gaismas dominante spektrā.

Halogenās spuldzes savu nosaukumu ieguvušas no halogēnu grupas metāliem, kuru joni iesaistīti kvēlspuldžu darbībā. Pie noteikta temperatūras režīma, kvēlspuldzē notiekošajā, t.s., joda ciklā, iztvaikojušos volframa atomus no stikla balona sienīņu apvidus, pārnes atpakaļ uz kvēldiegu. Tāpēc halogēnajām spuldzēm pie tās pašas kvēldiega temperatūras iespējams garāks darba mūžs vai, ne mainot darba mūža garumu, var paaugstināt temperatūru kvēldiegam, t.i., gaismas atdevi (līdz 29 lm /W , lietderības koeficientu līdz 7,5 %). Joda cikla ierosināšanai spuldzes balonam nepieciešama augstāka temperatūra par to, līdz kādai sasilst parastā kvēlspuldze. Tāpēc halogēnspuldzēm ir paaugstinātas ugunsdrošības prasības un tās aprīko metāliskā armatūrā.

Elektriskā loka spuldzes izstaro intensīvu baltu gaismu , ko nodrošina elektriskā loka augstā temperatūra – 4000°C . Lietderības koeficients apm. 4 %. To nozīme mūsdienās samazinās, jo ir pieejami citi no tehniski ekonomiskā un ekspluatācijas viedokļa izdevīgāki gaismas avoti

Indukcijas spuldzes cokolā iemontēts frekvenču pārveidotājs, lai ģenerētu augstas frekvences elektromagnētisko lauku. Tas inducē virpuļstrāvas nevis kvēldiegā, bet nosacīti masīva kvēlķermenī, sakarsējot to līdz baltkvēlei. Kvēlķermenis pret augstām temperatūrām ir ievērojami izturīgāks par kvēldiegu. Tāpēc indukcijas spuldzēm raksturlielumi -gan spektrs, gan lietderības koeficients – tāpat gaismas atdeves koeficients, darba mūžs – salīdzinājumā ar kvēlspuldzēm ir uzlaboti.

2.4.4. Elektriskie siltumenerģijas avoti

Elektriskie siltumenerģijas avoti ir elektroiekārtas, kas speciāli izveidotas elektriskās enerģijas pārveidošanai siltuma enerģijā, izmantojot elektriskās strāvas siltuma iedarbību. Siltuma enerģija gan sadzīvē, gan ražošanā ir viens no pieprasītākajiem enerģijas veidiem. Viens no ērtākajiem un komfortablākajiem paņēmieniem tās iegūšanā ir elektroenerģijas pārveidošana siltuma enerģijā. Reāli eksistē ļoti plašs visdažādāko tipu

elektrisko siltumenerģijas avotu piedāvājums. Iekārtas ar dažu desmitu $^{\circ}\text{C}$ darba temperatūru nosacīti apvieno termins “elektrosildītāji”. Augstu darba temperatūru iekārtas visbiežāk sauc par elektriskajām krāsnīm vai plītīm, bet karsta ūdens vai tvaika ieguvei paredzētās – par elektriskajiem katliem.

Elektriskajiem siltumenerģijas avotiem ir vairākas tehniskas un tehnoloģiskas priekšrocības. Galvenās no tām raksturo šādas iespējas :

1. iegūt ļoti augstu temperatūru;
2. ļoti vienmērīgi sadalīt temperatūru lielā masas tilpumā;
3. ērti un precīzi regulēt temperatūru;
4. ļoti ātri sakarsēt izstrādājumu vai kādu tā daļu, vai virsējo slāni, pie tam vajadzīgajā dziļumā;
5. koncentrēt lielas siltuma jaudas mazā tilpumā (karsēšana ar elektrisko loku, indukcijas karsēšana);
6. vienkārši un ērti automatizēt visu termisko procesu.

Pēc darbības principa elektriskos siltumenerģijas avotus iedala - netiešas un tiešas darbības:

- elektriskās pretestības,
- elektriskā loka un
- indukcijas iekārtās

Siltuma pārnese tajās var notikt gan siltuma vadīšanas, gan konvekcijas, gan siltuma starojuma veidā.

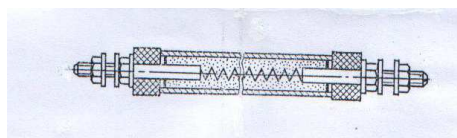
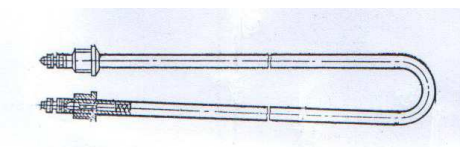
Elektriskās pretestības siltumiekārtas

Tiešas darbības elektriskās pretestības siltumiekārtās siltums izdalās tieši karsējamajā objektā, caur to plūstot strāvai. Šādu iekārtu piemērs – caurplūdes ūdens sildītāji.

Netiešas darbības elektriskās pretestības siltumiekārtās siltums izdalās speciālos termoelementos, kas sakarst, ja caur tiem plūst elektriskā strāva. Siltuma pārnese no termoelementu virsmas uz sildāmo – karsējamo objektu un apkārtējo vidi visbiežāk noris kombinēti - siltuma vadīšanas, konvekcijas un starojuma veidā. Tomēr ir arī tādas siltumiekārtas, kurās kāds no siltuma pārnese veidiem dominē. Piemēram :

- elektriskā plīts ar siltuma vadīšanu;
- elektriskie apsildīšanas radiatoru (eļļas radiatoru) ar konvekciju, pie kam siltuma apmaiņu var paātrināt, palielinot siltuma aģenta plūsmas ātrumu, piem., kaloriferos ar ventilatoru;
- elektrogrils ar starojumu.

Ražo visdažādāko konstruktīvo risinājumu elektriskās pretestības siltumiekārtas ar plašu jaudas un iegūstamās temperatūras diapazonu un gabarītu dažādību. Skat. 6. att..



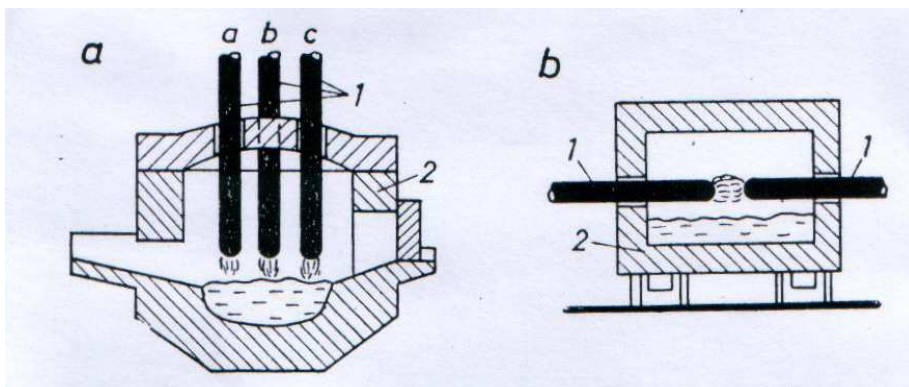
6. attēls*. Cauruļu sildelements.

Elektriskā loka siltumiekārtas

Elektriskā loka siltumiekārtas izmanto augstu temperatūru ieguvei. Ogles anoda temperatūra sasniedz 3900°C un katoda temperatūra ap 3200°C . Metāla elektrodiem tā ir nedaudz zemāka – ap 2600°C un 2400°C .

Tiešas darbības loka iekārtās elektriskais loks veidojas starp elektrodu un karsējamo detaļu. Tātad loks tieši atdod siltumu karsējamam ķermenim. Piemēram, elektrometināšanā vai tērauda kausēšanas krāsnīs. Skat. 7. att.

Netiešās darbības loka iekārtās elektriskais loks karsējamo ķermeni neskar tieši, bet nodod tam siltuma enerģijas starojuma veidā. Piemēram, keramikas apdedzināšanas krāsnis un rotācijas tipa krāsnis metālu kausēšanai.



7.attēls*. Elektriskā loka krāsnis: tiešās darbības (a) un netiešās darbības (b).

1- elektrotehniskās ogles elektrodi; 2 – krāsnis karkass ar siltuma izolāciju.

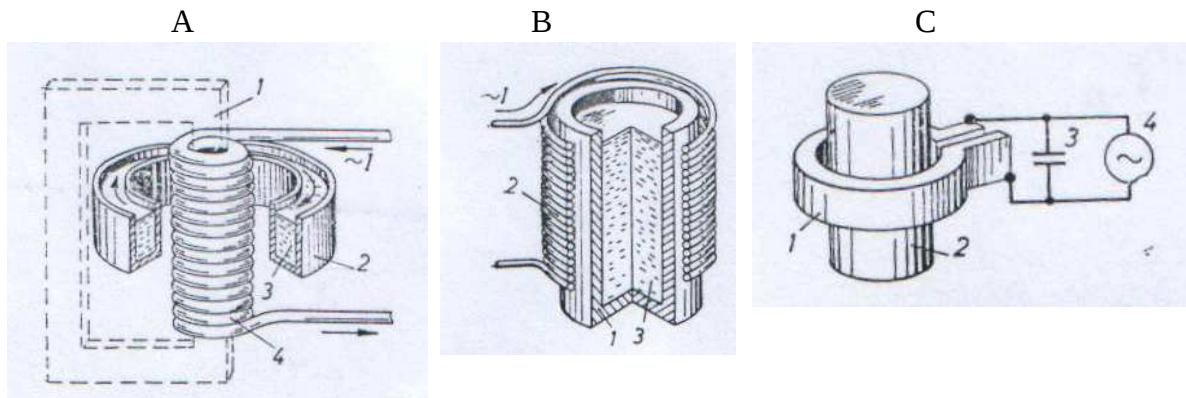
Indukcijas siltumiekārtas

Materiālu termiskai apstrādei indukcijas siltumiekārtās ir šādas priekšrocības:

1. Elektrisko enerģiju siltumā pārvērš pašā karsējamā ķermenī, tā sasniedzot augstu lietderības koeficientu.
2. Liels karsēšanas ātrums.
3. Iespēja mainīt karsēšanas dziļumu (izmantojot virsmas efektu, t.i., mainot frekvenci).

Tiešās darbības indukcijas siltumiekārtās elektriskā enerģija pārvēršas siltumā cietos vai šķīdros ķermeņos, kas atrodas mainīgā elektriskā vai elektromagnētiskā laukā. Izmanto vai nu masīvos elektrovadītājos inducēto virpuļstrāvu, t.s., Fuko strāvu siltuma darbību vai transformatora darbības principa iekārtās - īsi slēgtajā sekundārajā tinumā plūstošo indukcijas strāvu siltuma darbību. Pie tam iekārtas konstrukcija nodrošina, ka sekundārais tinums šādos gadījumos ir karsējamais ķermenis. Izmanto rūpnieciskās frekvences (50 Hz) jeb kanāla indukcijas krāsnis un augstfrekvences jeb indukcijas ķīģelkrāsnis. Visbiežāk šīs iekārtas tomēr strādā ar paaugstinātu elektrisko frekvenci. Šādas iekārtas plaši izmanto, piem., metālapstrādē – tērauda rūdīšana, metālu kausēšana. (Skat.8.att.)

Netiešās darbības indukcijas siltumiekārtās karsējamais ķermenis siltuma enerģiju saņem pastarpināti no indukcijas ceļā uzkarseta sildķermeņa (termoelementa) siltuma vadīšanas vai siltuma starojuma veidā. Piem., elektriskā indukcijas plīts ar auksto keramisko virsmu un speciālu virtuves piederumu aprīkojumu.



8. attēls*. Indukcijas sildiekārtas.

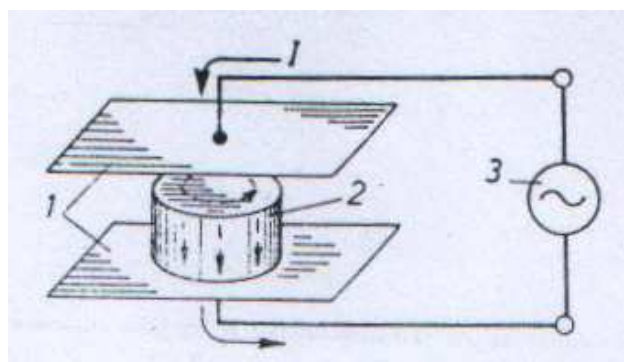
(A) 1 – serde, 2 kanāls, 3 kausējamais metāls, 4 induktors.

(B) 1 – tīģelis, 2 – induktors, 3 kausējamais metāls.

(C) 1 – induktors, 2 – rūdāmā detaļa, 3 – kondensators, 4 – augstfrekvences ģenerators.

Iekārtas dielektriskā karsēšanai

Augstas frekvences elektroenerģijas avotus izmanto arī tehnoloģijai, ko sauc par dielektrisko karsēšanu. Enerģijas pārnesei no elektriskās uz siltuma enerģiju tajā neizmanto elektriskās strāvas siltuma iedarbību, bet dielektriķu polarizāciju - mikrostruktūru orientācijas maiņu mainīga ārēja elektromagnētiskā lauka ietekmē. Šīs tehnoloģijas īpatnība – zemā temperatūra (daži simti grādu Celsija). To izmanto materiāla ātrai uzsildīšanai vai žāvēšanai. Ja dielektriska materiāla ķermeni ievieto mainīgā elektromagnētiskā laukā, dielektriķi pakļauj nepārtrauktai pārpolarizācijai. Rezultātā elektroenerģija pāriet siltuma enerģijā - paaugstinās ķermeņa iekšējā enerģija – temperatūra. Šī tehnoloģija prasa augstu frekvenci – līdz $2,5 \cdot 10^9 \text{ Hz} = 2,5 \text{ GHz}$. Šādas iekārtas plaši izmanto, piem., gan mēbeļu rūpniecībā – koksnes žāvēšana, līmvielu, laku cietināšana, gan pārtikas rūpniecībā – produktu termiskā apstrāde (mikroviļņu krāsnis) un tml. Skat. 9. att..



9.attēls*. Dielektriskās sildīšanas principi;

1 - metāla plates (induktors), 2 – karsējamais dielektriķis, 3 – augstfrekvences ģenerators.

3. ELEKTRISKĀS STRĀVAS ĶĪMISKĀ IEDARBĪBA

Elektriskās strāvas ķīmiskā iedarbība izpaužas elektroenerģijas pārvades procesos elektrolītos – šķīdros vai cietos ķīmiskos savienojumos, kuros elektrisko lādiņu pārnese mehānisms saistīts ar jonu pārvietošanos.

Plašāk izplatītie elektrolīti ir organisku un neorganisku vielu šķīdumi, piem., skābju, bāzu vai sāļu ūdens šķīdumi. Pazīstami arī vairāki desmiti cietie – kristāliskas vielas elektrolīti. Elektroenerģētiskie procesi elektrolītos principiāli atšķiras no enerģijas pārvades metālos. Elektrolītos molekulas disociē jonus. Tiem piemīt elektriskais lādiņš. Pārvietojoties elektriskā lauka spēka ietekmē, joni līdz ar elektriskajiem lādiņiem pārvieto arī dotās vielas noteiktu masu. Metālos lādiņu pārnese ir elektroni un masas kustība praktiski izpaliek. Lai elektrolītu ieslēgtu elektriskajā ķēdē, izmanto elektrodus – anodu ar pozitīvu elektrisko potenciālu un katodu ar negatīvu elektrisko potenciālu. Ja caur izkausētu, izšķīdinātu vai cietu elektrolītu plūst strāva, uz elektrodu virsmas noris elektroķīmiskais process, ko sauc par elektrolīzi. Elektrolīzes reakciju ātrums ir atkarīgs no elektrolīta sastāva, koncentrācijas, elektrodu materiāla, temperatūras un citiem faktoriem. Elektrolīzes procesu apraksta Faradeja likumi: pirmais – uz elektroda izdalījušās masas daudzums ir proporcionāls strāvas stiprumam un strāvas plūšanas laikam (proporcionalitātes koeficientu sauc par izdalītās vielas elektroķīmisko ekvivalentu); otrais – dotās vielas elektroķīmiskais ekvivalents ir tieši proporcionāls tās ķīmiskajam ekvivalentam (elementa atomsvara attiecībai pret tā vērtību). Tātad, lai elektrolīzes procesā izdalītu vielas daudzumu, kas skaitliski vienāds ar ķīmisko ekvivalentu, jebkurai vielai nepieciešamas viens un tas pats elektrības daudzums, kas apmēram vienāds ar 96500 C (Faradeja skaitlis).

Elektrolīzes reakcijas plaši izmanto dažādās tehnoloģijās, piemēram, tīru, t.sk., ķīmiski tīru metālu ieguvē, galvanostēģijā – metālisku pārklājumu un galvanoplastikā – metālisku atveidu iegūšanā, elektroķīmisko analīžu metodikā u.c..

Ja elektrolītā iegremdē elektrodu, starp to un elektrolītu veidojas elektrisko potenciālu starpība, ko sauc par doto vielu elektroķīmisko potenciālu. Iegremdējot divus atšķirīgus elektrodus, arī starp tiem veidojas elektrisko potenciālu starpība. Šādu iekārtu, kas ķīmisko enerģiju pārveido elektriskajā, sauc par galvanisko elementu. Galvaniskos elementus kā elektroenerģijas avotus plaši izmanto mobilajās elektroiekārtās, kas darbos neatkarīgi no elektriskā tīkla.

Elektroenerģijas uzkrāšanai nelielos apmēros mazas jaudas mobilo elektroiekārtu darbināšanai izplatīta ir elektrisko akumulatoru izmantošana. Elektriskie akumulatori ir atgriezeniski galvaniskie elementi, kuru elektrodi izgatavoti no tādiem materiāliem, kas atjauno savas sākotnējās īpašības, ja elektriskā strāva (uzlādes strāva) caur tiem plūst pretējā virzienā izlādes strāvai. Plūstot izlādes strāvai, akumulators darbojas ģeneratora režīmā, bet uzlādes strāvas gadījumā – elektroenerģijas patērētāja režīmā. Elektrības daudzumu, ko var iegūt no akumulatora dotajos darba apstākļos (temperatūra, izlādes strāvas stiprums, sākotnējais spriegums) sauc par akumulatora kapacitāti. To mēra ampērstundās. $1 \text{ Ah} = 3600 \text{ C}$.

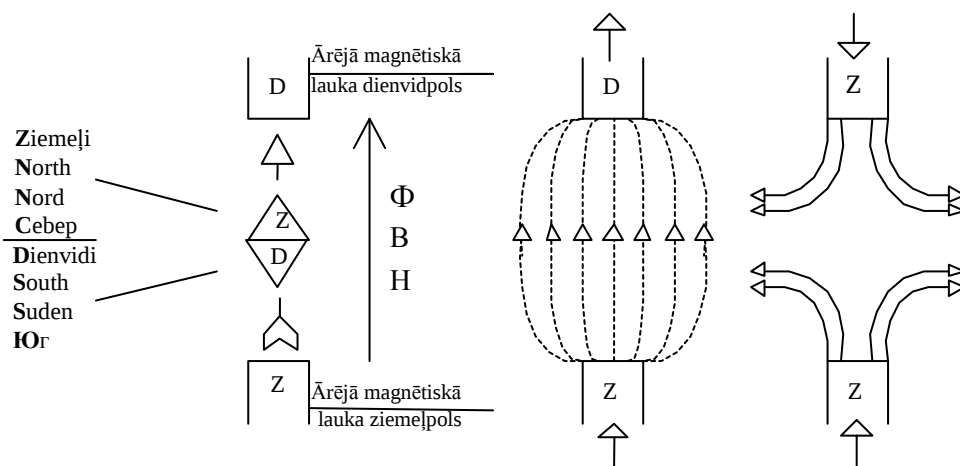
4. ELEKTRISKĀS STRĀVAS MAGNĒTISKĀ DARBĪBA

Magnētiskā lauka jēdziens, raksturlielumi un pamatlikumi, magnētiskie materiāli, magnētiskā ķēde, taisna strāvas vada un spoles – solenoīda magnētiskais lauks, elektriskā un magnētiskā polaritāte, elektromagnēti.

4.1. Magnētiskā lauka pamatjēdzieni

Magnētiskās parādības jau izsenis ir piesaistījušas cilvēces uzmanību. Viens no senākajiem un arī šodienas apstākļos plaši zināmajiem to izmantošanas veidiem ir dienvīdu ziemeļu virziena noteikšana Zemes magnētiskajā laukā. Šādam nolūkam nepieciešama, t.s., magnētadata - kompass. Zemes ģeogrāfiskajos ziemeļos atrodas magnētiskais dienvīdu pols. Pretēja nosaukuma magnētiskajiem poliem pievelkoties un dažāda nosaukuma poliem atgrūžoties, magnētadata Zemes magnētiskajā laukā pagriežas tā, lai tās ziemeļu gals (ziemeļpols) norādītu ģeogrāfisko ziemeļu virzienu. Tātad ārējā (Zemes) magnētiskā lauka virzienu – no ziemeļiem uz dienvidiem – norāda magnētadatas ziemeļu gals. Ziemeļu un dienvīdu polu apzīmēšanai izmanto lielos, pirmos burtus no vārdiem “Ziemeļi”, “Dienvidi” Skat. 10. att..

Magnētisko lauku grafiski parāda vai nu ar magnētiskajām līnijām, kas attēlo, t.s., magnētisko spektru, vai magnētiskā lauka raksturlielumu vektoriem: magnētiskās plūsmas – Φ , magnētiskās indukcijas – B , un magnētiskās intensitātes – H vektoriem. Magnētiskā lauka iegūšanai – ģenerēšanai elektroiekārtās izmanto vai nu elektro- vai pastāvīgos magnētus. Nosacīti vienkārša spektra līdzīgus magnētiskos laukus veido pastāvīgais stienveida magnēts un solenoīds- spolē satīts vadītājs, ja pa to plūst strāva.. To viens gals uzrāda ziemeļpola, otrs – dienvīdpola īpašības.



10. attēls. Magnētiskā lauka simbolika.

Magnētiskā lauka punktu enerģētiskā stāvokļa raksturošanai tajā jānovieto vadītājs, pa kuru plūst strāva, un jānosaka magnētiskā lauka iedarbības spēks F uz to. Magnētiskā lauka raksturošanai izmanto nevis šī spēka absolūto, bet gan īpatnējo, relatīvo vērtību – spēku F attiecīnāto uz vadītāja garuma un strāvas stipruma vienību – nosaucot to par magnētiskā lauka indukciju B :

$$B = \frac{F}{Il}, \quad [B] = \left[\frac{N}{Am} \right] = \left[\frac{VAs}{Amm} \right] = \left[\frac{Vs}{m^2} \right] = [T] \quad (14)$$

kur

B - magnētiskā lauka indukcija, T
 F - magnētiskā lauka iedarbības spēks, N
 I - strāvas stiprums, A
 l - vadītāja garums, m

Magnētiskā lauka indukcija ir vienu teslu liela, ja tas uz katru vadītāja garuma metru pie vienu ampēru stipras strāvas iedarbojas ar vienu ņūtonu lielu spēku. Savukārt, summējot indukciju caur laukumu S , nonāk pie magnētiskās plūsmas Φ jēdziena:

$$\Phi = BS \quad , \quad [\Phi] = \left[\frac{Vs}{m^2} m^2 \right] = [Vs] = [Wb] \quad (15)$$

Magnētiskā plūsma ir vienu vēberu liela, ja uz katru perpendikulārlaukuma kvadrātmetru ir vienu teslu liela indukcija.

Gan indukcija gan plūsma magnētisko lauku raksturo materiālā vidē, kas lauku ietekmē. Lai šo ietekmi izslēgtu, jāzina vides magnētiskās īpašības – materiālu magnētiskā caurlaidība μ . Atdalot materiālu ietekmi, magnētisko lauku raksturo ar magnētiskā lauka intensitāti H :

$$H = \frac{B}{\mu} = \frac{B}{\mu_0 \mu_r} \quad , \quad [H] = \left[\frac{Vs}{m^2} \frac{m}{\Omega s} \right] = \left[\frac{VsAm}{m^2 Vs} \right] = \left[\frac{A}{m} \right] \quad (16)$$

kur,

$\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ [H/m]=[$\Omega s/m$] - absolūtā magnētiskā konstante.

$\mu_r = \mu/\mu_0$ - relatīvā magnētiskā caurlaidība.

Intensitāte pa noteiktu magnētiskās līnijas garumu dod magnētiskā sprieguma U_m jēdzienu, bet magnētisko spriegumu summa pa noslēgtu magnētisko kontūru – magnetodzinējspēka F_m jēdzienu. Magnētiskās ķēdes raksturlielumus ar elektrisko ķēdi sasaista eksperimentāli (empīriski) atrasts likums – pilnās strāvas likums. Tas nosaka, ka jebkura magnētiskā kontūra magnetodzinēspēks skaitliski ir vienāds ar šī kontūra pilno strāvu. Pilnās strāvas likums ievērojami vienkāršo elektrisko un magnētisko lielumu sasaisti spolē – solenoīdā. Spoles vidējās magnētiskās līnijas –magnētiskā kontūra pilno strāvu aprēķina, strāvas stiprumu spolē sareizinot ar spoles vijumu skaitu. Tātad pilnās strāvas likums spolei ir:

$$F_m = \sum_1^{n1} H_k l_k = \sum_1^{n2} I_m = IN \quad , \quad [F] = \left[\frac{A}{m} m \right] = [A] \quad (17)$$

kur

l_k – vidējās magnētiskās līnijas k -to posmu garumi ar konstantu H_k , m;

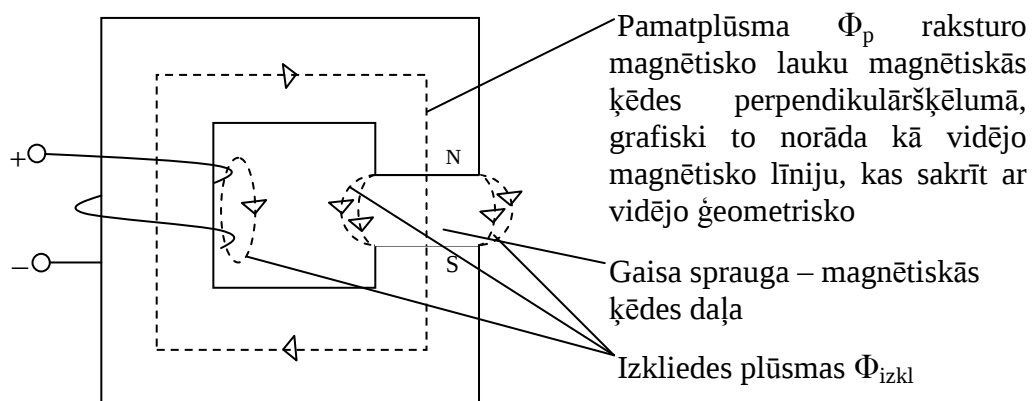
I_m - m -tās strāvas caur magnētisko kontūru, A;

N - spoles vijumu skaits,

$n1$ – magnētisko posmu skaits ar konstantu H ,

$n2$ – kontūru caurtverošo strāvu skaits.

Līdzīgi kā elektriskās ķēdēs elektriskos procesus arī magnētiskās ķēdēs magnētiskos procesus apraksta pirmais un otrais Kirhofa likumi magnētiskām ķēdēm. Reālas magnētiskās ķēdes aprēķinam un analīzei parasti abstrahē, attiecinot tās uz šo ķēžu vidējo magnētisko līniju. Par vidējo magnētisko līniju pieņem attiecīgās konstrukcijas (konkrētās magnētiskās ķēdes) vidējo ģeometrisko līniju. Pie tam, analīzi izdarot pirmajā tuvinājumā, pieņem, ka magnētiskajā serdenī (ķēdē) pastāvošā, t.s., pamatplūsma pārstāv visu magnētisko lauku. To magnētiskā lauka daļu, kas palikusi ārpus ferromagnētiķa konstrukcijas noteiktās konfigurācijas, t.s., izkliedes plūsmu, neievēro. Skat. 11. att.



11. attēls. Magnētiskās ķēdes shematiska attēlošana

4.2. Magnētiskie materiāli, magnētiskā ķēde

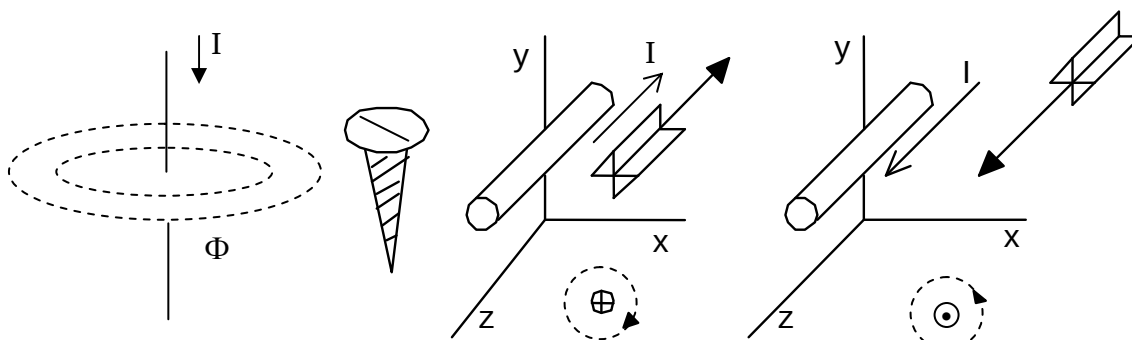
Magnētiskā lauka izmantošanai elektroiekārtās no magnētiskiem materiāliem izveido magnētiskās ķēdes. Magnētiskajos materiālos, t.s., ferromagnētiķos magnētiskais lauks veidojas daudz spēcīgāks nekā vājumā. Ferromagnētiķi magnētisko lauku pastiprina. Savu nosaukumu tie ieguvuši no raksturīgākā dabiskā magnētiskā materiāla – dzels latīniskā nosaukuma “ferrum”. Izteiktas magnētiskās īpašības piemīt arī niķelim un kobaltam. Mūsdienās plaši izmanto mākslīgus magnētiskos materiālus, kas nodrošina spēcīgus magnētiskos laukus, piem., magnētītu, ferrītu, alnīsu un daudzus citus. Materiālu magnētisko īpašību raksturošanai izmanto magnētiskās caurlaidības (permeabilitātes) μ jēdzienu. Par etalonu – par mērvienību materiālu magnētisko īpašību mērīšanai pieņem vākuma magnētiskās īpašības, ko apzīmē ar μ_0 un sauc par absolūto magnētisko konstanti. Šīs konstantes skaitliskā vērtība ir atkarīga no mērvienību sistēmas izvēles, kurā veic aprēķinus vai analīzi. SI mērvienību sistēmā $\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$. Izdalot μ ar μ_0 , iegūst skaitli, kas rāda, cik reizes dotais materiāls pastiprina (dalījums > 1) vai pavājina (dalījums < 1) magnētisko lauku. Šo skaitli jeb relatīvo magnētisko caurlaidību – μ_r visiem materiāliem var atrast rokasgrāmatās. Inženierpraksē parasti pieņem, ka visiem nemagnētiskiem materiāliem $\mu_r = 1$ un tikai ferromagnētiķiem $\mu_r \gg 1$, t.i., tikai ferromagnētiķi būtiski ietekmē magnētisko lauku, pastiprinot to. Līdzstrāvas elektroiekārtās magnētiskās ķēdes ir monolītas, to šķērsgriezums ir homogēns. Maiņstrāvas iekārtām magnētiskās ķēdes veido ar kārtainu šķērsgriezumu no atsevišķām, savstarpēji izolētām magnētiska materiāla loksnēm, mijoties ferromagnētiskajam un izolācijas materiāliem. Šāda uzbūve palielina elektrisko pretestību virpuļstrāvām (Fuko strāvām) un samazina to siltumiedarbību. Elektroiekārtās ar kustīgām daļām, piem., motoros, griežspoles mērinstrumentos un tml., daļu vai vairākas daļas magnētiskajā ķēdē veido nemagnētisks materiāls, visbiežāk gaiss. Nemagnētiska vide magnētiskajai plūsmai uzrāda lielu pretestību. Lai to samazinātu, gaisa spraugas elektroiekārtu magnētiskajās ķēdēs konstruktīvi veido iespējami īsas. Konstruktoriem jāatrod ekonomisks kompromiss – augsta mehāniskā precizitāte iekārtu sadārdzina, bet lieli attālumi starp kustīgajām daļām būtiski pavājina magnētisko plūsmu un pasliktina iekārtas tehniskos parametrus.

Tāpat kā elektriskās arī magnētiskās ķēdes var būt vienkāršas, bez sazarojuma punktiem – mezgliem un sarežģītas, ar vienu vai vairākām diagonālām magnētiskajās kontūros.

4.3. Elektriskās strāvas magnētiskais lauks

Elektriskās strāvas magnētisko iedarbību nosaka kustīgu elektrisko lādiņu īpašība – veidot ap sevi magnētisko lauku. Jo lielāks ir lādiņu skaits un ātrums, jo spēcīgāks magnētiskais lauks veidojas. Elektriskās strāvas un magnētiskā lauka virzienus saista labās

skrūves likums – ja, skrūvi griežot, tās virzes kustības virziens sakrīt ar elektriskās strāvas virzienu, tad skrūves griešanas virziens norāda magnētiskā lauka virzienu. Tas ir fundamentāls likums, kas ļauj sasaistīt elektroiekārtu dažādo sastāvdaļu elektrisko un magnētisko polaritāti. Skat.12 attēlu. Labās skrūves likuma praktiskai lietošanai var izmantot arī šādu paņēmieni –ja ar labo plaukstu apņēmu vadītāju, pret to atbalstot atliekto īkšķi, tad, ja aptverošo pirkstu gali norāda magnētiskā lauka virzienu, atliektais īkšķis norāda elektriskās strāvas virzienu. Un otrādi – ja labās plauksts atliektais īkšķis norāda elektriskās strāvas virzienu vadītājā, tad to aptverošie pirksti vērsta magnētiskā lauka virzienā.



12 attēls. Strāvas un magnētiskā lauka virzienu grafiska apzīmēšana

Strāvas virziens

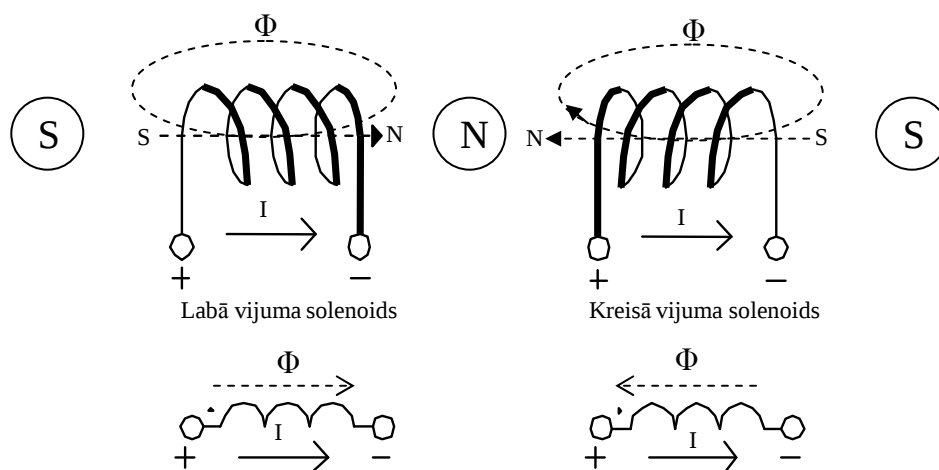
- ⊕ - zīmējuma plaknē iekšā, prom no skatītāja;
- ⊙ - no zīmējuma plaknes ārā, uz skatītāju.

Magnētiskā lauka virzieni:

- ⤵ - pozitīvs virziens, jeb virziens pret pulksteņa rādītāja kustību (pret saules kustības virzienu debess jumā)
- ⤴ - negatīvs virziens, bet pulksteņa rādītāja kustības virziens (saules kustības virziens debess jumā)

Konstruktīvi solenoīdus var izveidot gan kā labā, gan kā kreisā vijuma spoles. Ja tekstā nav atsauces par spoles konstrukciju, tas nozīmē, ka izmantots labais vijums – parastais, normālais konstruktīvais risinājums. Spoles elektrisko polaritāti norāda tās sākuma un beigu gala (spaiļu) augstāka “+” vai zemāka “-” elektriskā potenciāla apzīmējums vai arī norāde uz elektriskās strāvas virzienu (tā plūst no spoles spaiļes ar augstāku elektrisko potenciālu uz spaili ar zemāku potenciālu). Spoles magnētisko polaritāti norāda magnētisko polu apzīmējums spoles galos – N (ziemeļpols), S (dienvidpols) vai arī norāde uz magnētiskās plūsmas virzienu. Spoles vidū magnētiskā plūsma vērsta no spoles “dienvidu gala” uz “ziemeļu gala”, bet ārpusē, t.s., ārējā magnētiskā laukā – no ziemeļpola uz dienvidu polu. Kā redzams, labā vijumā spolēs elektriskās strāvas un magnētiskās plūsmas virziens spoles vidū sakrīt. Tātad, ja, piem., elektriskā strāva plūst no spoles sākuma gala uz beigu gala, tad arī magnētiskajai plūsmai spolē ir tāds pats virziens. Punkts pie spoles grafiskā apzīmējuma viena gala nozīmē, ka tas ir sākuma gals. Analizējot vairāku spoļu dažādus savstarpējos slēgumus, zināšanām par spoļu elektrisko un magnētisko polaritāti ir būtiska nozīme spoļu summāras magnētiskās darbības izpratnē. Spoles magnētisko polaritāti viegli noteikt arī pēc formālām pazīmēm, pēc, t.s., burtu likuma. Ja uz spoli skatās no gala, redz tās vijumu apli. Tajā, atbilstoši spolē esošajam elektriskās strāvas virzienam, var iezīmēt bultiņu. Tā norāda pulksteņa rādītāja kustības vai pretējo virzienu. Šo bultiņu ir viegli savietot ar burtiem S vai N, kuru galos arī var ievilkt

tāda paša virziena bultiņas. Šādā savietojumā burti norāda spoles magnētisko polaritāti. Skat. 13 att.



13. attēls. Spoles (solenoida) magnētiskais lauks, tās elektriskā un magnētiskā polaritāte.

5. ELEKTRISKĀS STRĀVAS MEHĀNISKĀ DARBĪBA

5.1. Elektromagnētiskā spēka parādībā

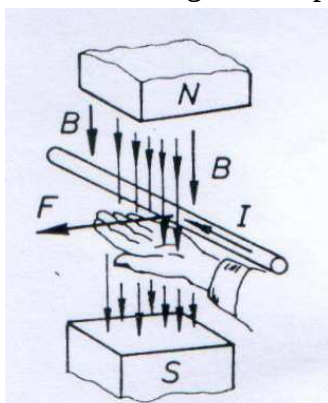
Elektriskās strāvas mehāniskā darbība izpaužas elektromagnētiskā spēka parādībā, kuras pamatā kustīgu elektrisko lādiņu (elektriskās strāvas) mijiedarbība ar magnētisko lauku. Šīs mijiedarbības rezultātā uz vadītāju, kas atrodas magnētiskā laukā un pa kuru plūst elektriskā strāva, iedarbojas spēks F . To sauc arī par elektromagnētisko spēku tā izcelsmes dēļ. Spēka skaitlisko vērtību var noteikt pēc Ampēra likuma. Tā izteiksme ir vienkārša, ja izmanto taisnu vadu homogēnā magnētiskā laukā un ja leņķi starp visiem trīs vektoriem (F , I , B) ir 90° . Ja leņķi nav taisni 20. formulā jāizmanto atbilstošo lielumu normālvektoru skaitliskās vērtības, kuras aprēķina ar sinuss funkcijas palīdzību.

$$F = I B l , \quad (18)$$

kur

- F - elektromagnētiskais spēks , N
- I - strāvas stiprums , A
- B - magnētiskā lauka indukcija, T
- l - vadītāja garums , m

Spēka F virzienu nosaka pēc kreisās rokas likuma: ja kreisās rokas plaukstu novieto pret magnētiskā lauka spēka līnijām un izstieptie pirksti vērsti strāvas plūšanas virzienā, tad atliektais īkšķis rāda elektromagnētiskā spēka virzienu. Skat. 14.att.



14.attēls.*

Elektromagnētiskā spēka F izcelsmes grafisks skaidrojums ar ārējā magnētiskā lauka un taisna vada strāvas magnētiskā lauka mijiedarbību un kreisās rokas likuma praktiska izmantošana F virziena noteikšanai.

Elektriskās strāvas mehānisko darbību ar elektromagnētiskā spēka starpniecību izmanto elektroenerģijas pārveidošanai mehāniskajā. Tā ir visu elektromotoru darbības pamatā.

5.2. Elektromagnēti

Elektromagnētiskais spēks nosaka elektromagnētisko releju enkuru pievilkšanās spēku un elektromagnētu celtspēju F_{magn}

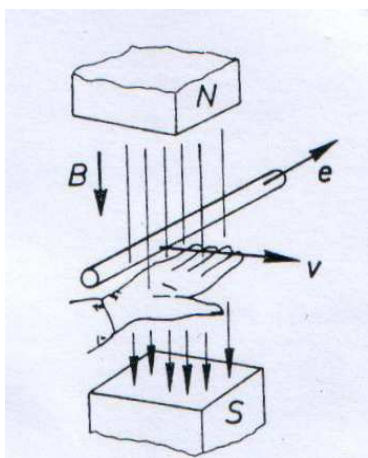
$$F_{\text{magn}} \approx 4 \cdot 10^5 B^2 S , \quad (19)$$

kur

- F - elektromagnēta pola celtspēja , N
- B - magnētiskā indukcija elektromagnēta serdē , T
- S - elektromagnēta pola šķērsgriezuma laukums , m^2

6. ELEKTROMAGNĒTISKĀ INDUKCIJA

Elektromagnētiskās indukcijas jēdziens, Lenca un labās rokas likumi, pašindukcija un savstarpējā indukcija



15. attēls*. Modelis elektromagnētiskās indukcijas parādības uzskatāmajam skaidrojumam un labās rokas likuma izmantošanai indukcijas eds virziena noteikšanai.

Elektromagnētiskās indukcija parādībā vērojams elektromagnētiskā spēka parādībai pretējs process. Ja spēka parādībā elektromagnētiskie spēki ir cēlonis mehāniskam pārvietojumam, tad elektromagnētiskās indukcijas parādībā mehāniskais pārvietojums, izjaucot elektrisko līdzsvaru vadītājā, (ģenerē, rada) inducē tajā elektrodzinējspēku.. Elektromagnētiskās indukcijas process ir elektrodzinējspēka ģenerēšanas process, kura laikā mehāniska (neelektriska) enerģija pārveidojas elektriskajā enerģijā. Ja elektriskā ķēde, kurā inducējas elektrodzinējspēks ir noslēgta, tajā plūst arī strāva. To pieņemts saukt par indukcija strāvu.

Vienkāršākā gadījumā elektromagnētiskās indukcijas procesu var apskatīt taisnā vadītājā, kuru pārvieto homogenā magnētiskā laukā ar vienmērīgu ātrumu perpendikulāri magnētiskajai plūsmai. Skat. 15. att.

Indukcijas elektrodzinējspēka virziens šādā modeli nosakāms pēc labās rokas likuma, bet skaitliskā vērtība:

$$e = Bl v , \quad (20)$$

kur

e - indukcijas elektrodzinējspēks , V

B - magnētiskā lauka indukcija , T

l - vadītāja garums, kura robežās mainās magnētiskais lauks , m

v - vadītāja pārvietošanās ātrums , m/s

Ja vektoru savstarpējie virzieni neveido 90° leņķus, 22.formulā jāizmanto normālvektoru skaitliskās vērtības. Vadītāja garuma - l un ātruma - v reizinājums izsaka laukumu, ko pārvietojoties ,laika vienībā apraksta aktīvais (ģenerējošais) vadītāja garums. Tas ir laukums - S , kurā vadītājs šķēļ magnētiskā lauka līnijas. Bet $B S = \Phi$. Tāpēc elektromagnētiskās indukcijas elektrodzinējspēku Lenca likums apraksta šādi

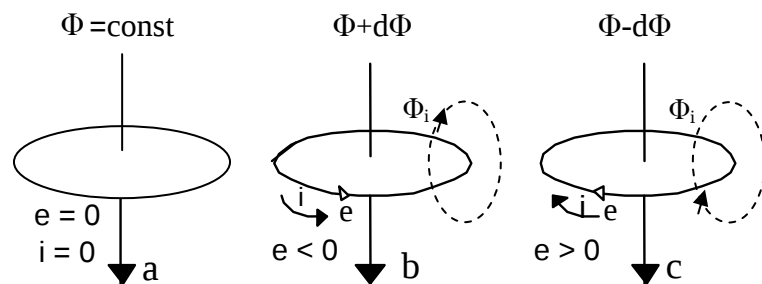
$$e = - d \Phi / d t \quad (21)$$

kur

$d \Phi / d t$ - magnētiskās plūsmas izmaiņas ātrums, Wb /s

“ - “ - mīnuss zīme norāda e virzienu

Lenca likums: noslēgtā kontūrā indukcijas elektrodzinējspēkam un indukcijas strāvai vienmēr ir tāds virziens, ka šīs strāvas magnētiskais lauks darbojas pret magnētiskās plūsmas izmaiņu, kas izsaukusi elektromagnētisko indukciju šajā kontūrā. To uzskatāmi parāda 16. attēls.



16. attēls. Indukcijas elektrodzinējspēks un strāva nekustīgā, noslēgtā elektriskā kontūrā, ko caurtver mainīga magnētiskā plūsma.

a – ja kontūru caurtverošā magnētiskā plūsma nemainās, b – ja kontūru caurtverošā magnētiskā plūsma pieaug, c – ja kontūru caurtverošā magnētiskā plūsma samazinās.

Elektromagnētiskās indukcijas parādību plaši izmanto tehnikā. Tā ir mehānisko elektroģeneratoru darbības pamatā, tās klātbūtne ir neizbēgama visās elektroiekārtās, kas darbojas maiņstrāvas ķēdēs

Ja magnētiskā plūsma šķēlī nevis vienu vijumu, bet spoli ar N vijumiem, spolē inducētais elektrodzinējspēks

$$e = - N d\Phi/dt. \quad (22)$$

Reizinājumu $Nd\Phi = d\Psi$ sauc par magnētiskās plūsmas saķēdējumu. Spolē, mainoties strāvai, mainās plūsmas saķēdējums, kas savukārt izsauc elektrodzinējspēka inducēšanu. Šo parādību – elektrodzinējspēka inducēšanos spolē sakarā ar strāvas (magnētiskās plūsmas saķēdējuma) izmaiņu tajā pašā spolē (kontūrā) – sauc par pašindukciju, bet inducēto elektrodzinējspēku par pašindukcijas elektrodzinējspēku e_L .

$$e_L = - d\Psi/dt = -L di/dt, \quad [L] = [V s / A] = [\Omega s] = [H] \quad (23)$$

kur

L - spoles induktivitāte jeb spoles pašindukcijas koeficients

Spoles induktivitāte ir vienu Henriju liela, ja strāvas stiprumam mainoties ar ātrumu viens ampērs sekundē, spolē inducējas vienu voltu liels pašindukcijas elektrodzinējspēks.

Pašindukcijas elektrodzinējspēks vienmēr rodas maiņstrāvas ķēdēs, īpaši mašīnu un aparātu tinumos, droselēs (spolēs ar dzelzs serdēm), elektromagnētos un tml.. Līdzstrāvas ķēdēs to var novērot tikai ķēžu ieslēgšanas un izslēgšanas laikā, kad notiek strāvas stipruma izmaiņas. Atslēdzot lielas induktivitātes, pašindukcijas elektrodzinējspēka vērtība var ievērojami pārsniegt barošanas tīkla spriegumu. Elektriskās ķēdes pārtraukuma vietā pašindukcijas dēļ nereti veidojas elektriskais loks. Tā dzēšanai elektriskajos slēdžos iebūvē speciālas loka dzēšanas iekārtas.

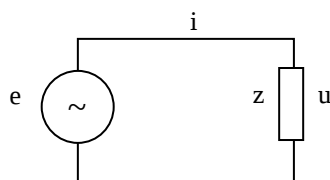
Ja divas elektriskās ķēdes atrodas pietiekami tuvu viena otrai, tad, mainoties strāvai viena no ķēdēm, otrā inducējas elektrodzinējspēks. Šādu parādību sauc par savstarpējo indukciju. Lai savstarpējā indukcija notiktu abu spoļu magnētiskajām plūsmām vai šo plūsmu atsevišķām daļām jābūt savstarpēji caurtverošām. Elektriskās ķēdes vai spoles, kas induktīvi ietekmē viena otru sauc par induktīvi jeb magnētiski saistītām. Tādas, piem., ir nelielā attālumā izvietotas elektrolīnijas.

Savstarpējās indukcijas parādību plaši izmanto dažādās elektroiekārtās. Tā, piemēram, ir transformatoru darbības pamatā.

7. SINUSOIDĀLA MAIŅSTRĀVA

Jēdziens, raksturlielumi, grafiska attēlošana, elektriskā pretestība un jauda maiņstrāvas ķēdēs

Maiņstrāvas jēdziens saistīts ar izpratni par strāvas virziena un stipruma periodisku mainīšanos. Šī periodiskā mainīšanās – kustība var notikt pēc visdažādākajiem likumiem. Tomēr maiņstrāvas elektriskajām ķēdēm ir izvēlēts pats vienkāršākais pazīstamais periodiskas kustības veids – harmoniska kustība. To apraksta harmoniskas kustības vienādojums jeb sinuss funkcija. Tas nozīmē, ka maiņstrāvas elektriskajās ķēdēs visi elektriskie lielumi mainās sinusoidāli. Lietišķajā elektrotehnikā termins “maiņstrāva” ir saīsināts apzīmējums sinusoidālai maiņstrāvai. Pati vienkāršākā un vienlaicīgi vispārīgākā vienfāzu maiņstrāvas elektriskā ķēde – shēma tāpat kā līdzstrāvas gadījumā satur trīs pamatelementus : elektroenerģijas avotu, elektroenerģijas patērētāju un enerģijas pārvadīšanas sistēmu – elektrisko līniju jeb elektriskos tīklus, kuros elektriskie lielumi nepārtraukti sinusoidāli mainās. 17.att.



$$\begin{aligned} e &= E_m \sin (\omega t \pm \psi_e) \\ u &= U_m \sin (\omega t \pm \psi_u) \\ i &= I_m \sin (\omega t \pm \psi_i) \end{aligned} \quad (24)$$

17. attēls. Vienfāzu maiņstrāvas vienkāršākās elektriskās ķēdes principiālā elektriskā shēma.

7.1. Raksturlielumi

Sinusoidāli mainīgos elektriskos lielumus raksturo:

- T - periods, laiks, kurā mainīgais lielums izdara vienu pilnu svārstību, s;
- f - frekvence, pilnu svārstību skaits sekundē, s^{-1} , Hz ; rūpnieciskajos elektrotīklos frekvence ir 50 Hz; to sauc par rūpniecisko frekvenci; ja tekstā nav speciālas norādes, tad frekvence ir 50 Hz.
- e, u, i - acumirkīgās (momentālās) vērtības elektrodzinējspēkam, spriegumam un strāvai, V, V, A ;
- E_m, U_m, I_m jeb E_a, U_a, I_a - maksimālās jeb amplitudiālās vērtības elektrodzinējspēkam, spriegumam un strāvai, V, V, A ;
- E_v, U_v, I_v - vidējās vērtības elektrodzinējspēkam, spriegumam un strāvai, V, V, A; vidējās vērtības izmanto tikai pusperioda, t.i., 0.01 s laika intervālam; vidējā vērtība pusperiodā ir apmēram 0,63 no maksimālās.
- E, U, I - efektīvās vērtības elektrodzinējspēkam, spriegumam un strāvai, V, V, A; praktiskos mērījumos efektīvā vērtība ir pati nozīmīgākā. Tā ir:
 - kvadrātsakne no kvadrāta vidējās vērtības jeb vidējā kvadrātiskā vērtība (matemātiskā interpretācijā) vai
 - tāda līdzstrāvas vērtība, kas vienādos apstākļos ir ar tādu pašu siltumiedarbību kā dotā maiņstrāva (fizikālā interpretācijā).
- $(\omega t \pm \psi)$ – sinusoidāli mainīga lieluma fāzu leņķis, jeb saīsināti – fāze, mainīgā attīstības stadijas raksturotāja, rad..
- ψ - sākuma fāze jeb fāzu leņķis laika skaitīšanas sākumā, kad $t = 0$, rad..
- ω - leņķiskā frekvence

$$\omega = 2 \pi f = 2\pi / T \quad , \quad s^{-1} \quad (25)$$

Lietišķajā elektrotehnikā un elektrotehniskajā praksē vispār īpaši nozīmīgi ir efektīvās vērtības un sākuma fāzes jēdzieni. Maiņstrāvas mērinstrumenti visbiežāk uzrāda lielumu efektīvās vērtības. Bet sākuma fāze ir nozīmīga vairāku elektrisko lielumu vienlaicīgas iedarbības rezultātu izpratnei. Analizējot vairāku elektrisko lielumu vienlaicīgu darbību, salīdzina to sākuma fāzes. Ja tās nav vienādas, salīdzināšanai izmanto jautājumu: “Par cik viena lieluma sākuma fāze ψ_1 ir lielāka, vai mazāka nekā otra lieluma sākuma fāze ψ_2 ?” Nosaka sākuma fāžu starpību $\Delta\psi$.

$$\psi_1 - \psi_2 = \Delta\psi \quad (26)$$

Sākuma fāžu starpībai ir dots speciāls nosaukums – fāžu nobīde, bet fāžu nobīdei starp spriegumu un strāvu arī speciāls apzīmējums - φ , kuram īpaši plašs pielietojums un nozīme lietīšķajā elektrotehnikā un ne tikai...

Atkarībā no fāžu nobīdes skaitliskās vērtības mainīgo lielumu fāžu attiecības raksturo specifiski jēdzieni:

$\varphi = 0$ - lielumi u un i sakrīt fāzē;

$\varphi = 180^\circ = \pi \text{ rad}$ – lielumi u un i ir pretējās fāzēs;

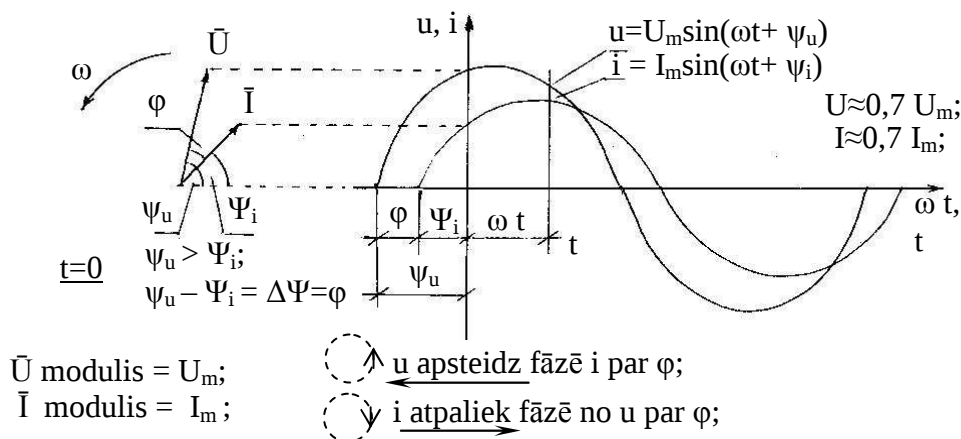
$\psi_1 > \psi_2$ – pirmais lielums apsteidz fāzē otro, otrais lielums atpaliek fāzē no pirmā.

7.2. Elektrisko lielumu grafiska attēlošana

Lai elektriskos lielumus un ar tiem saistītos procesus varētu saprotamāk izskaidrot un aprakstīt, izmanto dažādus grafiskus apzīmējumus. Grafiski attēlot elektriskos lielumus nozīmē, ar grafiskiem paņēmieniem uzrādīt šo lielumu raksturojošās skaitliskās vērtības. Elektrotehnikā izmanto divus grafiskus paņēmienus:

- līniju diagrammas jeb funkciju grafikus un
- vektoru diagrammas jeb rotējošu vektoru kopas.

Pirmo paņēmieni visbiežāk izmanto kvalitatīvai analīzei, bet otro – kvantitatīvai. Skat. 18. att



18. attēls. Sprieguma un strāvas vektoru un līniju diagrammas praksē visbiežāk satopamajam gadījumam, kad sprieguma sākuma fāzes leņķis ir lielāks nekā strāvas sākuma fāzes leņķis

Lietīšķajā elektrotehnikā nozīmīga ir prasme no grafikā attēla nolasīt elektrisko lielumu fāžu attiecības.

18. attēlā dotajiem spriegumam un strāvai $\psi_u > \psi_i$, tātad spriegums apsteidz fāzē strāvu. Vektoru diagrammā apsteidzošais sprieguma vektors attiecībā pret strāvas vektoru atbilstoši fāžu nobīdei ir pagriezts virzienā pret puksteņa rādītāja kustību, bet atpaliekošais strāvas vektors pret sprieguma vektoru – pulksteņa rādītāja kustības virzienā. Līniju diagrammā apsteidzošā sprieguma sinusoīda attiecībā pret atpaliekošo strāvas sinusoīdu

atbilstoši fāzu nobīdes lielumam ir nobīdīta abscisu ass negatīvajā virzienā, bet atpaliekošā strāvas sinusoīda attiecīgi abscisu ass pozitīvajā virzienā.

Ar vektoriem vienkārši izpildāmas matemātiskās darbības. Pamatkārtula ir šāda: vektorus saskaita, liekot vienu otram galā, un summārais vektors ir no pirmā saskaitāmā sākuma punkta (gala) līdz pēdējā saskaitāmā beigu punktam (galam). Lai elektriskos lielumus varētu izteikt grafiski ar vektoriem, skaitlisku rezultātu ieguvei jāpieņem mērogs. Paņēmiens ir ļoti izdevīgs daudziem praktiskiem uzdevumiem, kad interesē tikai elektrisko lielumu efektīvas vērtības un fāzu nobīde (neinteresējoties par momentālajām vērtībām un sākuma fāzi). Vektoru diagramma tad nav jāpiesaista abscisu ass pozitīvajam virzienam. Šādā gadījumā vektoru garumus (moduļus) aprēķina proporcionāli to efektīvajām elektrisko lielumu vērtībām, leņķi starp vektoru virzieniem nosaka fāzu nobīde, bet vektoru diagrammas orientācija plaknē ir brīva, nesaistīta ar abscisu.

7.3. Elektriskā pretestība maiņstrāvas ķēdē.

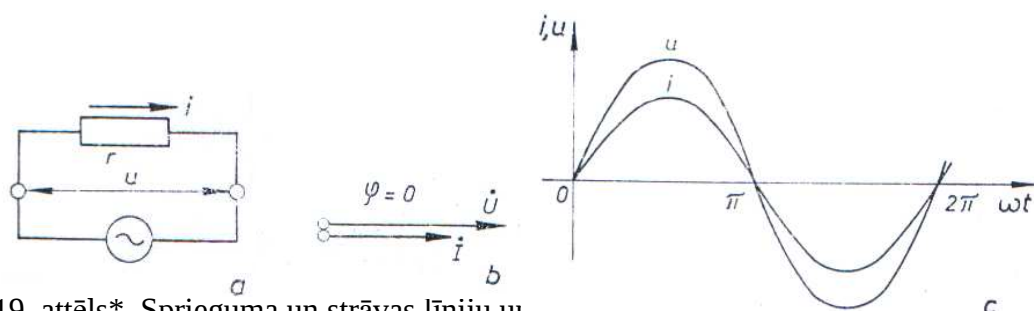
Salīdzinot ar līdzstrāvas elektriskajām ķēdēm, maiņstrāvas ķēdēs ievērojami sarežģītāks ir elektriskās pretestības jēdziens. Būtiskās atšķirības cēlonis ir mainīgais elektromagnētiskais lauks, kas pastāv ap maiņstrāvas ķēdēm. Tā uzturēšanai nepieciešama noteikta enerģija, bet izmaiņšanai arī zināms laiks. Šādi apstākļi traucē elektrisko lādiņu pārvietošanos vadītāja materiāla struktūrā, līdzīgi kā vadītāju materiālu kristāliskais režģis un termokustība. Maiņstrāvas gadījumā, elektriskajiem lādiņiem pārvietojoties – pārvarot materiālu elektrisko pretestību un uzturot mainīgu elektromagnētisko lauku – jāizmanto vairāk enerģijas kā līdzstrāvas elektriskajās ķēdēs. Tāpēc vadītāju elektriskā pretestība maiņstrāvai ir lielāka nekā līdzstrāvai. Ar vadītāja struktūras pārvarēšanu saistīto elektriskās pretestības daļu maiņstrāvas ķēdēs sauc par omisko jeb aktīvo pretestību (r), bet ar elektromagnētisko lauku saistīto – par reaktīvo pretestību (x). Reaktīvās elektriskās pretestības daļu, kas saistīta ar enerģijas zudumiem magnētiskajā laukā, sauc par reaktīvo induktīvo pretestību - x_L , bet to daļu, kas saistīta ar elektrisko lauku, par reaktīvo kapacitatīvo pretestību - x_C . Visas minētās komponentes veido maiņstrāvas pilno elektrisko pretestību. To apzīmē ar "z" un visiem maiņstrāvas elektriskās pretestības veidiem ir viena un tā pati mērvienība – oms.

Analizējot reālas elektriskā ķēdes, tās parasti aizstāj ar aizvietošanas shēmām, kurās iekļauj, t.s., ideālos elementus. Ideālam elementam ir tikai viens vienīgs parametrs. Izšķir aktīvus elementus, kurus raksturo elektrodzinējspēks E un pasīvus elementus:

- rezistīvos – ar raksturojošo lielumu omiskā (aktīvā) pretestība, r ;
- induktīvos – ar induktivitāti L un induktīvo reaktīvo pretestību, x_L ;
- kapacitatīvos – ar kapacitāti C un reaktīvo kapacitatīvo pretestību x_C .

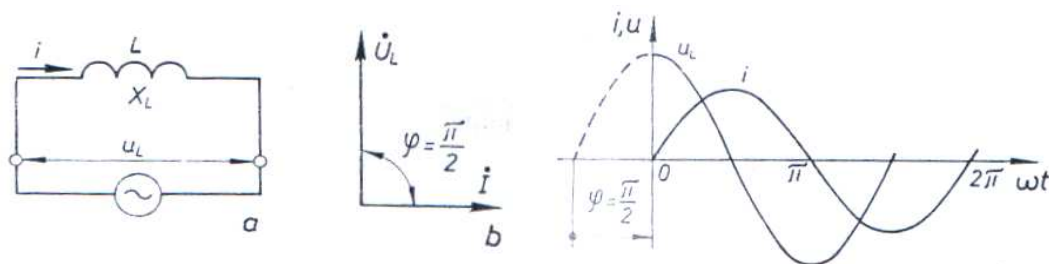
Ideālos elektriskās ķēdes elementus pie zināmiem nosacījumiem tuvināti var attiecināt uz reāliem elektrotehniskiem izstrādājumiem, attiecīgi: rezistoriem, droselēm un kondensatoriem.

Rezistors – elektriskās ķēdes elements, kurš darba laikā nerada spēcīgus, vērā ņemamus elektriskos vai magnētiskos laukus. Rezistortipa iekārtas ir pretestību sildelementi, kvēlspuldzes, reostati u.c.. Šādās iekārtās spriegums un strāva sakrīt fāzē. Skat. 19. attēlu



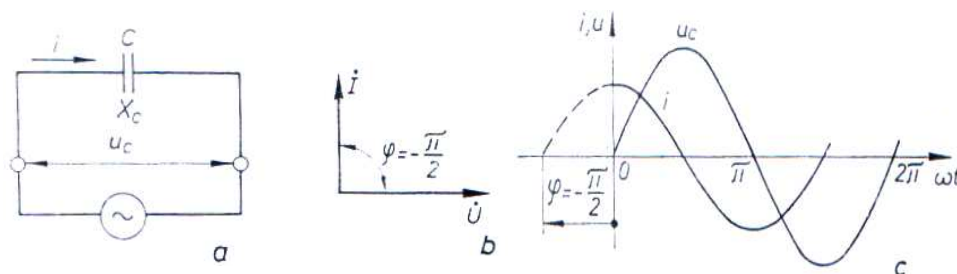
19. attēls*. Sprieguma un strāvas līniju un to grafiskais apzīmējums. a – shēma, b – vektoru diagramma, c – līniju diagramma.

Solenoids – elektriskās ķēdes elements, kurš darba laikā rada spēcīgu magnētisko lauku. Šāda tipa iekārtas ir elektromašīnu tinumi, elektromagnēti, droseles (spoles ar dzelzs serdi) u.c.. Tajās spriegums atpaliek no strāvas fāzē par 90° . Skat. 20. att.



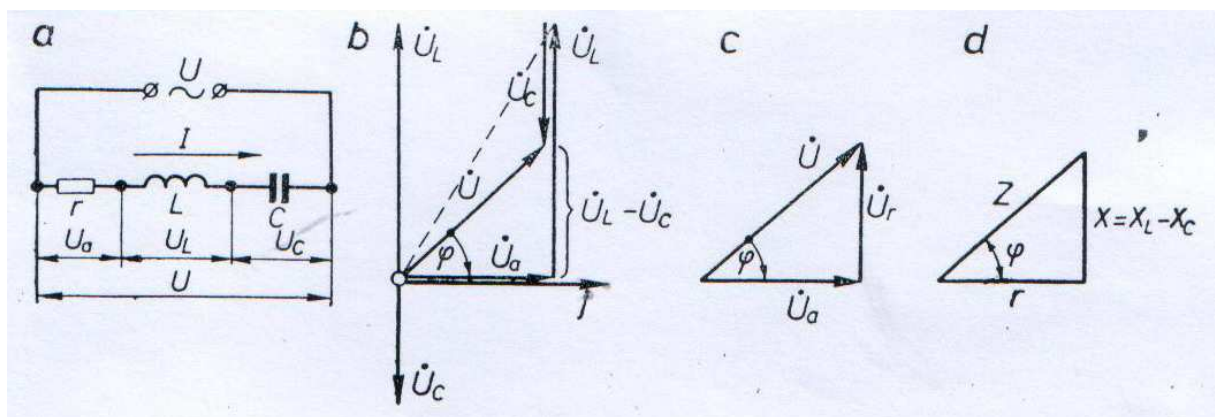
20. attēls*. Sprieguma un strāvas līniju un vektoru diagrammas induktīviem elementiem un to grafiskais apzīmējums. a – shēma, b – vektoru diagramma, c – līniju diagramma.

Kodensators – elektriskās ķēdes elements, kurš darba laikā rada spēcīgu elektrisko lauku. Bez kondensatoriem kapacitatīvi elementi ir, piem., garas elektrolīnijas, u.c.. Šī tipa iekārtās spriegums atpaliek no strāvas fāzē par 90° . Skat. 21. att.



21. attēls*. Sprieguma un strāvas līniju un vektoru diagrammas kapacitatīviem elementiem un to grafiskais apzīmējums, a – shēma, b – vektoru diagramma, c – līniju diagramma.

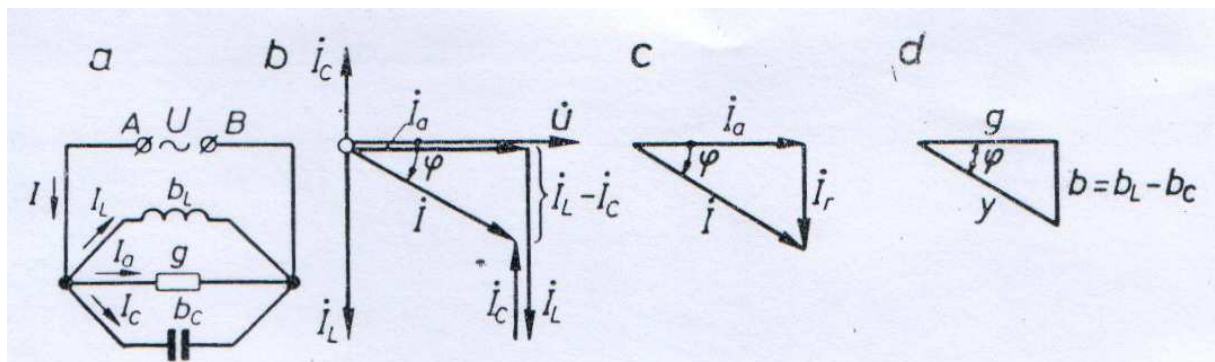
Reālām elektrotehniskām iekārtām piemīt visas trīs pretestības komponentes. Tomēr visbiežāk induktivitāte ir ietekmīgāka par kapacitāti. Tas nozīmē, ka reālās iekārtās visbiežāk strāva atpaliek fāzē no sprieguma par fāzu no bīdes leņķi – elektriskajai pretestībai ir induktīvs raksturs, z_L . Lai vienkāršotu elektrisko procesu analīzi, elektroiekārtu kopējo elektrisko pretestību maiņstrāvai z_L sadala ideālos aizvietošanas elementos r , L , un C . Tos var saslēgt virknes vai paralēlā slēgumā un noskaidrot nosacīti vienkārša procesa norisi katrā elementā atsevišķi. Pēc tam, summējot starprezultātus, iegūst priekšstatu par reālā procesa norisi. Skat. 22. un 23. att.



22. attēls*. Ideālo maiņstrāvas ķēdes elementu virknes slēgums

a – shēma, b – vektoru diagramma, c – sprieguma trīsstūris, d – pretestību trīsstūris.

Mainstrāvas elektrisko ķēžu aprakstam un analīzei elektriskās pretestības jēdziena vietā nereti izdevīgāk ir izmantot elektriskās vadāmības jēdzienu. Tāpat kā līdzstrāvas arī maiņstrāvas ķēdēs vadāmība ir apgrieztais lielums pretestībai un tās mērvienība ir sīmens (S) – oms^{-1} , bet simboli: g – aktīvā, b_L – induktīvā, b_C – kapacitatīvā un y – pilnā vadāmība.



23. attēls*. Ideālo maiņstrāvas ķēžu elementu paralēlais slēgums

a – shēma, b – vektoru diagramma, c – strāvu trīsstūris, d – vadāmību trīsstūris.

7.4. Maiņstrāvas jaudas jēdziens

Pats sarežģītākais maiņstrāvas ķēžu jēdziens ir maiņstrāvas jaudas jēdziens.

Katrā no elektriskās slodzes iekārtas pretestības z_L komponentēm elektroenerģija attīsta tikai šai komponentei raksturīgu elektrisko jaudu. Jaudas komponentu kopums, līdzīgi kā elektriskās pretestības un elektriskās vadāmības gadījumos, veido maiņstrāvas pilnās elektriskās jaudas jēdzienu. Kā būtiski atšķirīgiem fizikāliem lielumiem katrai jaudas komponentei ir sava atšķirīga mērvienība:

- aktīvajā (omiskajā) elektriskajā pretestībā r vai vadāmībā g , t.i., z_L aktīvajā komponentē attīstās maiņstrāvas aktīvā jauda

$$P = UI \cos \varphi, \quad W \text{ (vati) }; \quad (27)$$

- reaktīvajā elektriskajā pretestībā vai reaktīvajā vadāmībā x attīstās maiņstrāvas reaktīvā jauda

$$Q = UI \sin \varphi, \quad \text{VAr (reaktīvie voltamperi)}, \quad (28)$$

pie kam

- elektriskajā pretestībā x_L vai vadāmībā b_L , t.i., z_L reaktīvajā induktīvajā komponentē - Q_L un

- elektriskajā pretestībā x_C vai vadāmībā b_C , t.i., z_C reaktīvajā kapacitatīvajā komponentē - Q_C .
- pilnajā elektriskajā pretestībā vai vadāmībā z_L attīstās maiņstrāvas pilnā jauda

$$S = UI, \text{ VA (voltampēri).} \quad (29)$$

Aktīvo jaudu uzrāda elektroenerģijas patērētājiem (pasēs, tehniskajā dokumentācijā, katalogos), bet pilno jaudu elektroenerģijas ģeneratoriem. Ģeneratoriem jānodrošina viss nepieciešamais enerģijas daudzums, gan tā daļa, kuru izmanto lietderīgi elektroenerģijas patērētājos, pārveidojot citos enerģijas veidos, gan tā, kas nepieciešama mainīga elektromagnētiska lauka uzturēšanai ap maiņstrāvas ķēdi.

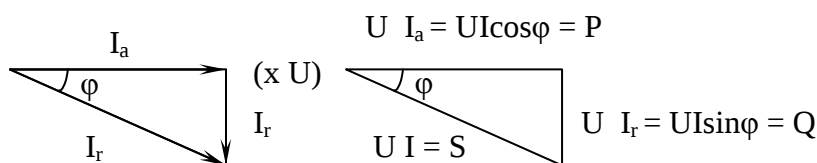
Attiecinot teikto uz jaudām, no 29. un 31. formulām seko

$$\cos \varphi = P / S \quad (30)$$

$\cos \varphi$ sauc par jaudas koeficientu. Tas rāda, kādu daļu no ģenerators saražotās elektroenerģijas - jaudas patērētājos izmanto lietderīgi. Pēc būtības tas ir elektriskais lietderības koeficients. Funkcionālo sakarību starp visām trīs jaudām var atrast, strāvu trīsstūra visas trīs malas no 23. att. sareizinot ar pievadīto spriegumu U . Rezultātā iegūst līdzīgu, t.s., jaudas trīsstūri, kura malas ir skalāri lielumi ar jaudas dimensiju. Skat. 24. att.

No jaudas trīsstūra:

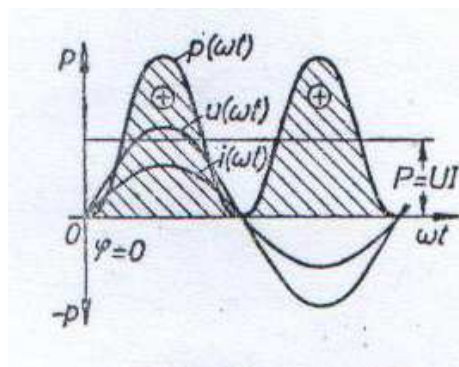
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (31)$$



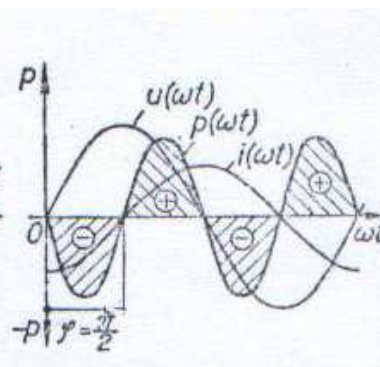
24.attēls. Maiņstrāvas jaudas trīsstūris.

Padziļinātu priekšstatu par maiņstrāvas jaudu dod sprieguma un strāvas līniju diagrammu analīze, piem, induktīva rakstura slodzē. Skat. 25. att. Grafiski atrodot u un i momentālo vērtību reizinājumu, uzskatāmi redzams, ka $p = u \cdot i = f(t)$, t.i., jaudas funkcija nav sinusoidāla funkcija. Laukums starp funkciju un abscisu nosacīti atbilst ģenerētajai jaudai. Perioda laikā tā ir gan pozitīva gan negatīva. Pozitīvās un negatīvās daļas laika sadalījumu nosaka u un i fāzu nobīde. Pie $\varphi = 90^\circ$ abas daļas kļūst vienādas un pozitīva atlikuma nav. Bet, ja $\varphi = 0^\circ$, neatkarīgi no strāvas virziena elektriskajā ķēdē jauda ir pozitīva visu perioda laiku. Pluss zīme norāda, ka enerģija – jauda plūst virzienā no barošanas avota uz patērētāju. Laika intervālā, kad jauda ir pozitīva, elektroenerģijas patērētāji aktīvi absorbē tiem pievadīto elektroenerģiju – jaudu, pārvēršot to citos enerģijas - jaudas veidos. Tas zināmā mērā arī izskaidro terminu “aktīva jauda”. Laika intervālā, kad jauda ir negatīva, maiņstrāvas ķēde elektriskā vai magnētiskā lauka enerģiju atdod atpakaļ avotam. Procesa intensitāti raksturo reaktīvā jauda. Šī jaudas daļa patērētājam nav pieejama. No praktiskā elektroenerģijas izmantošanas viedokļa tā uztur nelietderīgas, nevajadzīgas elektromagnētiskā lauka svārstības. Vienīgais ceļš, kā samazināt šos nelietderīgos jaudas zudumus ir nodrošināt iespējami mazu fāzu nobīdi starp barošanas spriegumu un slodzes strāvu, vai citiem vārdiem – nodrošināt augstu jaudas koeficientu.

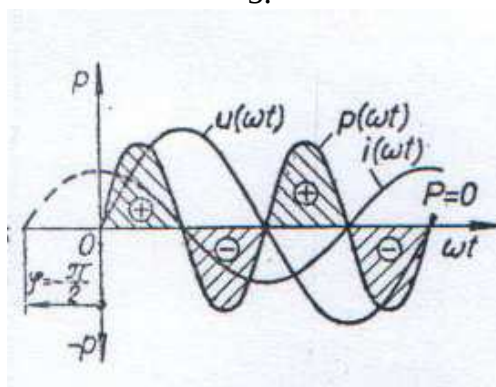
1.



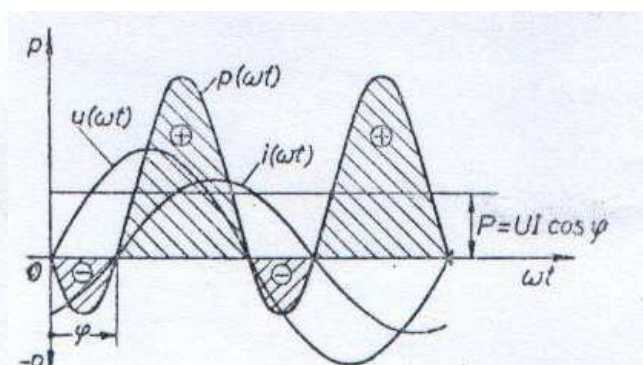
2.



3.



4.



25. attēls*. Maiņstrāvas jauda līniju diagrammas ar ideālu aktīvu (1), induktīvu (2) un kapacitatīvu (3) slodzi un reālu indikatīva rakstura (4) slodzi.

Grafiskās metodes dod ātru, uzskatāmu, bet aptuvenu rezultātu vai priekšstatu par elektriskajiem procesiem maiņstrāvas ķēdēs. Ja nepieciešama precīza analīze, t.sk., ar iepriekš noteiktu precizitāti grafiskās metodes nav piemērotas. Tādos gadījumos jāizmanto cits, analītisks paņēmiens, t.s., simboliskā metode. Strādājot ar to, elektriskos lielumus vispirms izsaka ar simboliem – kompleksiem skaitļiem. Ar tiem veic visas nepieciešamās matemātiskās darbības, iegūstot rezultātu simboliskā formā. Simbolisko rezultātu atšifrējot, atrod elektrisko lielumu skaitliskās vērtības. Izkopjot noteiktas iemaņas darbā ar kompleksiem skaitļiem, šī metode palīdz ātri iegūt precīzu rezultātu.

8. TRĪSFĀZU MAINSTRĀVA

Jēdziens, simetriska un nesimetriska slodze, zvaigznes un trīsstūra slēgumi, līniju un fāzu spriegumi un strāvas, trīsfāzu jauda, rotējošs magnētiskais lauks trīsfāzu iekārtās.

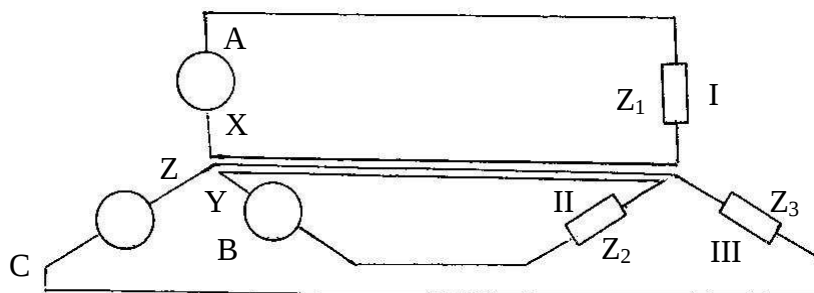
8.1. Trīsfāzu elektrisko ķēžu pamatjēdzieni

Patreiz pasaulē praktiski visu elektroenerģiju saražo trīsfāzu energosistēmās. Tas pamatojams ar trīsfāzu elektroenerģijas ražošanas un pārvades – transportēšanas un sadales ekonomiskumu, elektroiekārtu konstruktīvo vienkāršību un augsto darba drošumu, kā arī iespējām iegūt rotējošu magnētisko lauku un izmatot vienlaikus divus ekspluatācijas spriegumus.

Trīsfāzu energosistēmu var izveidot no trīs vienfāzu maiņstrāvas ķēdēm, ja nodrošina šādu trīs nosacījumu vienlaicīgu izpildīšanos:

$$\begin{cases} f_1 = f_2 = f_3 \\ E_1 = E_2 = E_3 \\ \Delta\Psi = 120^\circ \end{cases} \quad (32)$$

Katru no vienfāzu elektriskajām ķēdēm sauc par fāzi. Ar šo terminu saprot ne tikai visas energosistēmas trešo daļu, bet arī trīsfāzu ģeneratora, patērētāja un arī elektriskā tīkla trešdaļu. Tieši kuras iekārtas trešdaļa konkrētajā gadījumā jāsaprot, tas jāredz no konteksta. Skat.26. att.

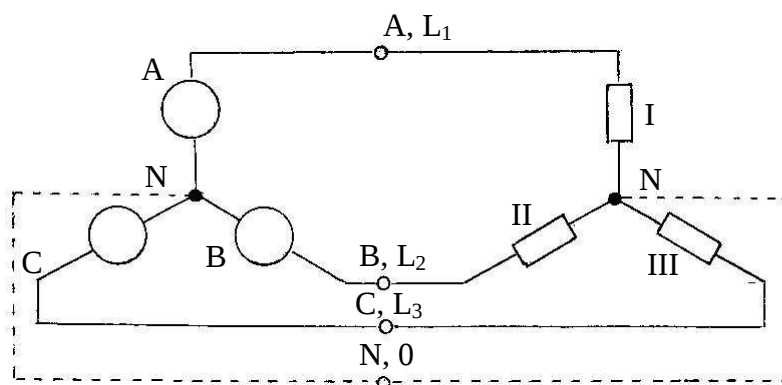


26.attēls. Trīsfāzu neatkarīgā sešu vadu sistēma.

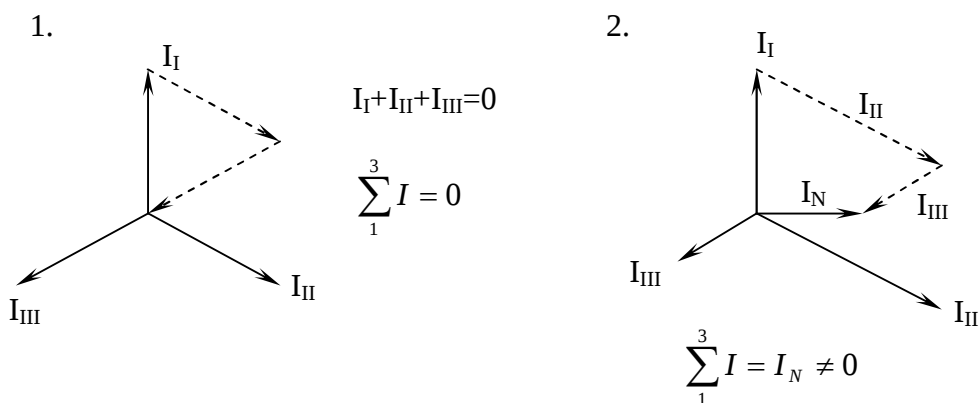
Simetriska un nesimetriska trīsfāzu slodze

Katru no ģeneratora un tīkla fāzēm apzīmē ar A, B un C, bet patērētāja fāzes numurē – I, II un III. Trīsfāzu patērētāju, slodzi sauc par simetrisku, ja fāzu elektriskās pretestības (resp. vadāmības, jaudas) gan pēc skaitliskās vērtības gan rakstura (induktivitātes, kapacitātes) ir vienādas, t.i., ja $z_1 = z_2 = z_3$. Tad arī strāvas ir vienādas $I_1 = I_2 = I_3$ un savstarpēji nobīdītas fāzē par 120° . Tāpēc strāvas vektoru summu ir nulle. Skat.28.att.1. Tas nozīmē, ka gan ģeneratora gan patērētāja visas trīs fāzes, visas trīs vienfāzu elektriskās ķēdes drīkst sasaistīt, elektriski savienot, un izveidotais mezgla punkts būs elektriski neitrāls Skat.27.att. Elektriski neitrālus mezgla punktus nav savstarpēji jāsavieno ar vadiem. Tāpēc simetriskas trīsfāzu slodzes gadījumā enerģijas pārvadīšanai no ģeneratora uz patērētāju nepieciešama tikai trīsvadu elektrolīnija. Skat.27. attēla ar nepārtrauktu līniju apzīmētos elektrolīnijas A, B, C fāzu vadus. Tas dod ievērojamu krāsainā metāla ietaupījumu un ir viena no galvenajām trīsfāzu sistēmas priekšrocībām. Neitrālos punktu apzīmē ar “N” (neitrāls), bet dažreiz arī ar “0” (elektriskais nulles potenciāls, Zemas elektriskais potenciāls, kas pieņemts par nulles potenciālu). Simetrisku slodzi veido, piem., asinhronie un sinhronie trīsfāzu motori.

Ja slodze nav simetriska, strāvu summa trīsfāzu sistēmā nav nulle. Skat.28.att.2. Tās noplūdei neitrālos punktus savieno ar ceturto vadu – neitrāli. Arī šo vadu apzīmē ar “N” (nereti ar “0”). Skat.27. attēla ar raustītu līniju apzīmēto neitrāli.



27. attēls. Trīsfāzu saistītā četrvadu sistēma.



28. attēls. Strāvu vektoru diagrammas simetriskai 1 un nesimetriskai 2 slodzei

Patērētājiem tehniskajā dokumentācijā elektrisko shēmu ģeneratoru daļu parasti neuzrāda. Shēmas sāk ar pieslēgspailēm elektrotīklam – A, B, C un N vai L_1 , L_2 , L_3 , N (0). Tās norāda vietu, kur pieslēgties enerģijas avotam (elektriskajam tīklam).

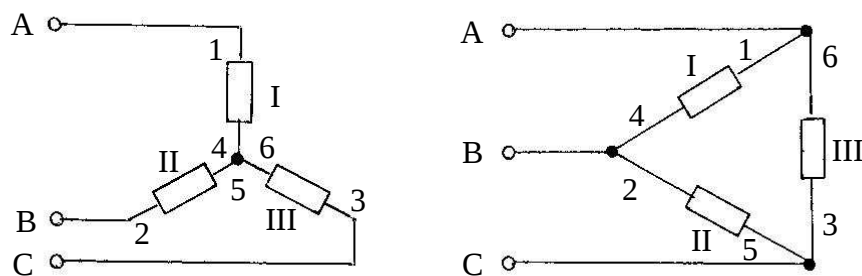
Trīsfāzu patērētājiem fāzes savstarpēji var saslēgt pēc dažādām shēmām. Šo shēmu apraksta un analīzes atvieglošanai fāžu sākuma un beigu galiem doti ciparu apzīmējumi – indeksi :

	I	II	III	fāze
Sākuma gali	1	2	3	
Beigu gali	4	5	6	

Montāžas darbu atvieglošanai fāžu vadu un neitrāles izolāciju apvalkiem ir standartizēta krāsa.

8.2. Zvaigznes un trīsstūra slēgumi

Fāžu izplatītākie slēgumi ir zvaigznes un trīsstūra slēgums, kuri jāveido atbilstoši 29. attēlam: zvaigznes centrā jāsavieno vienāda nosaukuma, t.i., beigu gali, bet sākuma gali jāpieslēdz tīklam; savukārt, veidojot trīsstūra slēgumu, tā virsotnēs jāsaslēdz: pirmās fāzes beigas ar otrās fāzes sākumu, otrās fāzes beigas ar trešās fāzes sākumu un trešās fāzes beigas ar pirmās fāzes sākumu, bet visas trīsstūra virsotnes jāpieslēdz tīklam.



29. attēls. Zvaigznes un trīsstūra slēgumi.

Trīsfāzu sistēmās paplašinās arī sprieguma un strāvas jēdzieni: izšķir fāzu un līniju spriegumus un strāvas.

Fāzu spriegums ir potenciālu starpība starp fāzes sākumu un beigām. Ja zvaigznes centra – neitrālā punkta potenciāls ir nulle, tad seko, ka fāzes spriegums skaitliski ir vienāds ar fāzes sākuma gala potenciālu. Fāzes spriegumu apzīmē ar indeksu “f” – U_f . Ja jānorāda uz kādas konkrētas fāzes spriegumu, tad ģenerators gadījumā izmanto burtu indeksus – U_A , U_B , U_C un patērētāja gadījumā ciparu indeksus – $U_I < U_{II}$, U_{III} vai U_1 , U_2 , U_3 arī U_{14} , U_{25} , U_{36} .

Fāzu strāva ir strāva, kas plūst ģenerators vai patērētāja fāzē. Fāzu strāvu apzīmē ar indeksu “f”. Ja jānorāda kādas konkrētas fāzes strāva, izmanto atbilstošo burtu vai ciparu indeksus.

Līnijas spriegums ir spriegums starp trīsvadu līnijas jeb kuriem diviem vadiem, jeb spriegums starp patērētāja vai ģenerators jebkuru divu fāzu sākumiem. Līnijas sprieguma apzīmēšanai izmanto latīņu alfabēta lielo burtu U bez jebkādiem indeksiem. Ja tomēr jānorāda konkrēti kāds no trijiem iespējamajiem līnijas spriegumiem, izmanto divu indeksu sistēmu, pie kam indeksu kārtība norāda sprieguma vektora virzienu – U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} vai U_{12} , U_{23} , U_{31} .

Līniju strāva ir strāva, kas plūst līnijas vadā. Tās apzīmēšanai izmanto latīņu alfabēta lielo burtu I bez jebkādiem indeksiem. Ja jānorāda konkrēti kāda no trīs iespējamajām līnijas strāvām, izmanto atbilstošo burtu indeksus – I_A , I_B , I_C .

Starp fāzu un līniju spriegumiem un strāvām zvaigznes un trīsstūra slēgumos pastāv atšķirīgas sakarības:

Zvaigznes slēgumā	Trīsstūra slēgumā	
$U = \sqrt{3} U_f$	$U = U_f$	
$I = I_f$	$I = \sqrt{3} I_f$	(33)

Latvijā rūpnieciskajos trīsfāzu sadales tīklos, kas pievada elektroenerģiju patērētājiem, līnijas spriegums ir 380 V. Bet apgaismošanas tīkli, kas ir vienfāzu – divvadu tīkli, strādā ar fāzu spriegumu $U_f = 220$ V. Apgaismošanas tīklos izmanto vienu trīsfāzu līnijas, t.s., fāzu vadu – A, B, vai C un neitrāli – N.

Līnijas un fāzu spriegumu un strāvu jēdzieni prasa precizēt arī trīsfāzu jaudas jēdzienu. Ja izmanto fāzu spriegumu un strāvu pēc formulas 29, 30 un 31 var aprēķināt fāzes jaudu. Ja slodze ir simetriska, trīsfāzu jaudu var atrast, fāzu jaudu reizinot ar trīs. Bet, ja slodze ir nesimetriska – visu trīs fāzu jaudas jāsūmmē.

Ja izmanto līnijas spriegumu un strāvu jēdzienus, trīsfāzu jaudu aprēķina:

$$P = \sqrt{3} U I \cos \varphi \quad , \quad W \quad (34)$$

$$Q = \sqrt{3} U I \sin \varphi \quad , \quad \text{Var} \quad (35)$$

$$S = \sqrt{3} U I \quad , \quad \text{VA} \quad (36)$$

8.3. Rotējošs magnētiskais lauks trīsfāzu iekārtās

Viena no lielākajām trīsfāzu elektroiekārtu priekšrocībām ir iespēja ar trīsfāzu strāvas palīdzību iegūt rotējošu magnētisko lauku. Tam nepieciešams trīs spoles telpā izvietot tā, lai spoļu asis savstarpēji veidotu 120^0 lielu leņķi. Pieslēdzot šādu spoļu sistēmu trīsfāzu tīklam, spolēs plūstošām strāvām būs 120^0 fāzu nobīde un katras spoles ass virzienā sinusoidāli pulsēs magnētiskā plūsma. Šīm plūsmām summējoties, veidojas rotējošs magnētiskais lauks. Tā apgriezību skaitu laika vienībā aprēķina

$$n_1 = 60 f / p \quad (37)$$

kur

n_1 – rotējošā magnētiskā lauka frekvence, apgr./ min.

f – maiņstrāvas frekvence, Hz

p – spoļu skaits fāzē, jeb rotējošā lauka polu pāru skaits.

Katrā fāzē izvietojot vairākas spoles un atbilstoši tās izkārtojot telpā, pie tīkla frekvences 50 Hz var iegūt šādas magnētiskā lauka griešanās frekvences:

n_1	3000	1500	1000	750	600	500
p	1	2	3	4	5	6

Rotējošā magnētiskā lauka vienkāršo iegūšanas iespēju un tā īpašības plaši izmanto tehnikā – elektromotoros un ģeneratoros.

9. TEORĒTISKĀ IEVIRZE LIETIŠKĀS ELEKTROTEHNIKAS PRAKTIKUMAM

9.1. Elektrodrošība

9.1.1. Elektriskās strāvas iedarbība uz cilvēka organismu

Elektriskās strāvas iedarbība uz cilvēka organismu ir daudzveidīga. Elektriskajai ķēdei saslēdzoties vai to pārtraucot, saskares vietā ar cilvēka organismu var veidoties dzirksteļošana vai pat elektriskais loks. Intensīvais starojums un tiešais kontakts ar organismu šādos gadījumos rada nopietnus (otrās, trešās pakāpes un pārogļojuma) apdegumus. Elektriskai strāvai ilgstoši plūstot caur organismu, izpaužas ne tikai strāvas siltuma iedarbība, bet dažādos elektrolīzes procesos arī tās ķīmiskā iedarbība ar nereti fizioloģiski neatgriezenisku rezultātu. Nozīmīgs ir arī elektriskās strāvas iedarbības psiholoģiskais efekts.

Elektriskās strāvas iedarbībai uz cilvēka organismu izšķir vairākas pakāpes:

- atkarībā no nervu sistēmas tipa un organisma tonusa cilvēki subjektīvi sāk sajust 1,5 ... 3,0 mA stipras elektriskās strāvas iedarbību;
- līdz 10 mA stipra strāva rada, t.s., strāvas triecienu (nepatīkamas sajūtas);
- daži desmiti mA jeb, t.s., satverošā, strāva izsauc kustību koordinācijas traucējumus, muskuļu krampjveida savilkšanos, tāpēc cietušais pats nevar pārtraukt elektrisko ķēdi un atbrīvoties no strāvas iedarbības;
- pie 50 ... 60 mA sākas sirds fibrilācija – neregulāra sirds muskuļaudu darbība – raustīšanās;
- apm. 80 mA izsauc elpošanas nervu centru paralizi;
- 100 mA un vairāk paralizē sirds darbību.

9.1.2. Elektrobīstamas situācijas

Ja cilvēkam ir iespējams iekļaut (ieslēgt) savu ķermeni vai tā daļu darbīgā elektriskā ķēdē, tad situāciju uzskata par elektrobīstamu. Situācija ir jo bīstamāka, jo stiprāka varētu būt iespējamā elektriskā strāva caur organismu, t.i., jo labāks kontakts var veidoties starp cilvēka ķermeni un pārējiem elektriskās ķēdes elementiem, jo fiziski vieglāk šādu kontaktu izveidot, jo lielāka ir potenciālu starpība starp cilvēkam pieejamiem strāvu vadošiem objektiem, t.i., jo augstāks spriegums cilvēkam pieejams un tml..

Ļoti bieži cilvēks pakļauj sevi elektriskās strāvas iedarbībai, pieskaroties elektroiekārtai ar bojātu izolāciju. Stāvot uz zemes vai elektrovidoša grīdas seguma, kam labs elektriskais kontakts ar zemi, pieskāriens noslēdz elektrisko ķēdi un caur cilvēka ķermeni sāk plūst strāva. Līdzīga situācija veidojas, vienlaicīgi pieskaroties elektrolīniju neitrālajam vadam (nereti sauktam arī par “ nullvadu “, jo tam ir neitrāls potenciāls– tāds pats kā Zemes virsmi, t.i., nulles potenciāls) un kādam no līnijas fāzu vadiem. Abos gadījumos cilvēks iekļaujas elektriskajā ķēdē, pieskaroties tikai vienam punktam, kura potenciāls atšķiras no Zemes potenciāla. Tas ir, t.s., vienpolīgais pieskāriens, kura laikā cilvēks parasti pakļauj sevi fāzu sprieguma 220 V iedarbībai.

Divpolīga pieskāriena gadījumā cilvēks vienlaicīgi pieskaras diviem punktiem, kuru elektriskie potenciāli ir gan savstarpēji atšķirīgi, gan atšķirīgi arī no Zemes virsmas potenciāla. Šāda situācija veidojas, vienlaicīgi pieskaroties jebkuriem diviem trīsfāzu elektrolīnijas fāzu vadiem vai objektiem, kas ar šiem vadiem savienoti. Cietušais tad nokļūst līnijas sprieguma - 338 V ietekmē. Vēl bīstamāka ir situācija, kad cilvēks stāv uz zemes un ir pieskāries vienlaicīgi diviem trīsfāzu elektrolīnijas fāzu vadiem. Šādā

gadījumā cilvēka ķermenī veidojas sazarota elektriskā strāva ar 380 V un 220 V spriegumiem.

Elektrobīstama situācija specifiskam divpolīgam pieskārienam veidojas, kad kaut kādu iemeslu dēļ uz Zemes nokrīt elektrolīnijas fāzu vads un avārijas strāvas stiprums nav pietiekams, lai bojāto vietu atslēgtu. Tādā gadījumā ap vada nokrišanas vietu izveidojas elektriskais lauks, kura punktu potenciāls samazinās, pieaugot attālumam. Tuvojoties šādai vietai, soļa garums noteiks potenciālu starpību – spriegumu starp Zemes virsmas punktiem, kurus soļojot skar pēdas. Atbilstoši šim, t.s., soļu spriegumam caur kājām plūdis elektriskā strāva.

Lai atvieglotu elektrobīstamības skaidrojumu, dažādu aizsardzības pasākumu piemērošanu un mobilizētu darbinieku uzmanību, telpas pēc to elektrobīstamības iedala vairākās kategorijās:

- telpas bez paaugstinātas elektrobīstamības;
- telpās ar paaugstinātu elektrobīstamību, ja tajās darbojas viens no faktoriem:
 - paaugstināts gaisa relatīvais mitrums,
 - augsta gaisa temperatūra,
 - telpās ir strāvu vadoša grīda,
 - telpās izdalās strāvu vadoši putekļi,
 - cilvēkam ir iespēja vienlaicīgi pieskarties elektroiekārtu metāliskām daļām un ar zemi savienotām metāla konstrukcijām;
- sevišķi elektrobīstamas telpas, ja tajās:
 - darbojas vairāki elektrobīstamību veicinoši faktori vai
 - relatīvais gaisa mitrums ir tuvs 100%, vai
 - veidojas ķīmiski aktīva vide.

9.1.3. Elektroaizsardzības pasākumi

Elektrodrošības paaugstināšanai: paredzētas mācības elektrodrošībā - visiem darbiniekiem, kuri strādā ar elektroiekārtām, jābūt instruētiem elektrodrošībā; elektroiekārtas jāzēvē vai jānūllē; jānodrošina zem sprieguma esošu objektu nesasniedzamība; jāizmanto - dubultizolācija, pazemināts spriegums, atdaloši transformatori, brīdinoši uzraksti un zīmes, elektriskā potenciāla izlīdzināšana, bloķēšana un signalizācija, un individuālie aizsardzības līdzekļi; automātiskā aizsargatslēgšana; jānodrošina ugunsdrošība.

Lai darbs ar elektroiekārtām būtu drošs kā darba darītājam, tā darba devējam jāzina un jāievēro patērētāju elektroiekārtu ekspluatācijas drošības noteikumi un elektroiekārtu tehniskās ekspluatācijas noteikumi.

Darba elektrodrošības noteikumos iekļauti organizatoriska un tehniska rakstura pasākumi. Pirmie paredz, ka:

- personālam jābūt ne tikai ar profesionālo kvalifikāciju, bet arī ar kvalifikāciju elektrodrošībā; Izšķir A, B un C kvalifikācijas grupas elektrodrošībā;
- uzsākot darbu ar elektroiekārtām, jāsaņem instruktaža, kas jāapliecina ar instruējamā un instruētāja parakstiem;
- darbam elektroietaisēs, nepieciešams rakstisks rīkojums;
- elektrobīstamus darbus nedrīkst veikt vienatnē u.c..

Nozīmīgākie tehniskie elektrodrošības pasākumi paredz:

- elektroizolāciju ne mazāku par 0,5 megaomu darba spriegumam līdz 1000V;
- zemējumu elektroiekārtu metāliskām daļām, kas var nonākt zem sprieguma;
- dubultizolāciju;

- pazeminātu darba spriegumu paaugstinātas vai sevišķas elektrobīstamības gadījumos;
- grupveida un individuālos aizsardzības līdzekļus;
- avārijas signalizāciju, informāciju par elektrobīstamību u.c..

9.1.4. A, B un C elektrodrošības kvalifikācijas grupu jēdzieni

Latvijas Energostandarts LEK 025 “Drošības prasības, veicot darbus elektroietaisēs”, izstrādāts uz VAS “Latvenergo” ekspluatācijas pieredzi un tas attiecināms uz Latvijā izvietotām ekspluatācijā esošām elektroietaisēm ar spriegumu līdz 50 V un lielāku. Standarta prasības saskaņojusi LR Labklājības ministrija, tas izskatīts Elektroietaišu ierīkošanas un ekspluatācijas standartizācijas tehniskajā komitejā un apstiprināts Latvijas Elektrotehnikas komisijā 30.03.2001-05-16 reģ. nr. 008. Ar 04.03.2005 stājas spēkā LEK 025 IZMAINĀS 2 reģ. nr. 071. Šī standarta 2. nodaļa “Prasības personālam” un 3. nodaļa “Elektroietaišu operatīvā apkalpošana” nosaka prasības personāla kvalifikācijai elektrodrošībā un noteikumus elektroietaišu drošai ekspluatācijai. Tie ir saistoši Latvijas elektroenerģētikas nozarē strādājošiem un nomainīja līdz tam spēkā esošos “Patērētāju elektroiekārtu tehniskās ekspluatācijas noteikumus” un “Patērētāju elektroiekārtu ekspluatācijas drošības tehnikas noteikumus”, kas paredzēja sešas elektrodrošības kvalifikācijas grupas.

Elektrodrošības kvalifikācijas grupa nozīmē darbinieku zināšanu, prasmju un to praktiskas lietošanas apliecinājumu, atbilstoši kuram darbinieks ir tiesisks veikt noteiktus darbus ekspluatācijā esošās elektroietaisēs, t.i., elektroietaisēs, kas pēc ierīkošanas un pārbaudes pieņemtas ekspluatācijā, noformējot ar aktu.

Elektroietaisē drīkst ekspluatēt tikai tad, ja darbam norīkots tehniskais vadītājs (darbinieks ar C kvalifikācijas grupu elektrodrošībā), izņemot lietotāju elektroietaisē ar vienlaicīgu atļauto elektrisko slodzi 30 kW, kurās izmanto apgaismošanas ierīces, elektrosildītājus un elektromotorus ar spriegumu līdz 1000 V.

Darbiniekiem, kuri apkalpo elektroietaisē, jābūt veiktai obligātajai veselības pārbaudei un viņu zināšanām jāatbilst noteiktas elektrodrošības kvalifikācijas grupas prasībām. Atbilstoši izglītībai, profesionālajām mācībām un darba stāžam ekspluatācijā esošās elektroietaisēs darbiniekiem var piešķirt šādas kvalifikācijas grupas elektrodrošībā:

- A grupu – darbiniekiem bez speciālās izglītības un darba stāža ekspluatācijā esošās elektroietaisēs pēc mācībām par konkrēta darba izpildīšanu.
- B grupu - darbiniekiem ar elektrotehnisko izglītību un vismaz viena mēneša darba stāžu ekspluatācijā esošās elektroietaisēs vai darbiniekiem bez profesionālās izglītības ar viena gada darba stāžu ekspluatācijā esošās elektroietaisēs.
- C grupu - darbiniekiem ar elektrotehnisko izglītību un vismaz sešu mēnešu darba stāžu ekspluatācijā esošās elektroietaisēs vai trīs mēnešu darba stāžu ar B grupu elektrodrošībā.

9.1.5. Neatliekamā palīdzība cietušajiem elektronegadījumos

Sniedzot palīdzību cietušajiem no elektriskās strāvas, **pirmais uzdevums, kas jāveic palīdzības sniedzējam, ir – sargājot sevi, atbrīvojot cietušo no elektriskās strāvas iedarbības. Tad jānovērtē iegūto traumu raksturs un, atbilstoši tam, jāorganizē palīdzība uz vietas un jāizsauc neatliekamā medicīniskā palīdzība.**

Ja cietušais ir:

1. pie samaņas

- jānodrošina cietušajam svaigs gaiss, ērta poza, miers un
- dažādi pārsējumi brūcēm, apdegumu apkopšana, kaulu lūzumu gadījumos traumētās vietas jāfiksē – visos gadījumos neaizmirstot sterilitāti.

2. bezsamaņā – jārikojas pēc ABC programmas

- A (elpceļi) jāatbrīvo elpošanas ceļi;
- B (elpošana), ja cietušais neelpo, nekavējoties jāuzsāk mākslīgā elpināšana un jākonstatē asins cirkulācija (pulss);
- C (cirkulācija), ja cirkulācija nav, jāuzsāk arī sirds masāža ritmā 2 : 15 un jāturpina plaušu – sirds atdzīvināšana līdz ierodas mediķi.

3. šķietami maz cietis no elektriskās strāvas iedarbības un nav ieguvis notikuma vietā nešaubīgi konstatējamas traumas, arī tad nepieciešams mediķu slēdziens.

Kontroluzdevums

Ar elektrobīstamību saistīto jēdzienu izpratnes pietiekamu dziļumu var apstiprināt rakstiskas atbildes uz šādiem jautājumiem :

1. Kā elektriskā strāva iedarbojas uz cilvēka organismu?
2. Cik stipra elektriskā strāva cilvēkam ir nāvējoša?
3. Kādā secībā ir jārikojas, lai novērtētu cietušā stāvokli un sniegtu viņam neatliekamo palīdzību ?
4. Pie kādiem nosacījumiem darbs ar elektroiekārtām ir drošs ?
5. Kādi ir elektrodrošības noteikumu svarīgākiem organizatoriskie pasākumi ?
6. Kādi ir elektrodrošības noteikumu svarīgākiem tehniskie pasākumi ?
7. Kāda ir telpu klasifikācija pēc to elektrobīstamības ?
8. Kādi faktori nosaka telpu paaugstinātu elektrobīstamību ?
9. Kas raksturo sevišķi elektrobīstamu telpu ?
10. Ko nozīmē jēdzieni : A, B, C elektrodrošības kvalifikācijas grupas ?

Savas rakstiskās atbildes salīdziniet ar 11 nodaļā dotajām !

9.2. Elektroiekārtu pieslēgšana tīklam

Vispārīgie norādījumi:

Izmantojot dažādas elektroiekārtas, paaugstinās darba ražība, uzlabojas produkcijas kvalitāte, pazeminās tās pašizmaksa un ceļas komforta līmenis kā ražošanā tā sadzīvē. Tāpēc to ieviešana visdažādākās tautsaimniecības jomās nepārtraukti paplašinās. Tomēr, neprasmīgi ekspluatējot elektroiekārtas, tās var būt arī bīstamas cilvēka veselībai un pat dzīvībai un radīt arī ievērojamus materiālos zaudējumus. Tāpēc strādājot ar elektroiekārtām, pedantiski jāievēro to izmantošanas elektrodrošības un tehniskās ekspluatācijas noteikumi.

Elektriskās strāvas iedarbība uz cilvēka organismu atkarībā no strāvas stipruma, frekvences, organisma īpatnībām un citiem konkrētās situācijas apstākļiem var izpausties dažādi. Rūpnieciskās – 50Hz frekvences strāvas iedarbību cilvēki subjektīvi sajūt, sākot ar 1,5...3,0 mA. Dažus desmitus miliamperus stipra strāva paralizē kustību koordināciju, strāvas stiprumam pieaugot – elpošanu (bezsamaņa) un sirdsdarbību. 0,1 A stipra strāva cilvēkam ir nāvējoša.

Elektrotraumas parasti ir komplicētas, jo kombinējas ar sasitumiem, nobrāzumiem, kaulu lūzumiem, apdegumiem u.tml. Vairumā gadījumu cietušais pats sev nevar palīdzēt vai to var tikai ierobežoti. Tāpēc daudzus ar elektroiekārtām saistītus darbus nedrīkst

izpildīt vienatnē un par to veikšanu jābūt atbilstošai informācijai – instruktažai. Iekārtu elektrodroša ekspluatācija prasa speciālas zināšanas. Pieaugot darba sarežģītībai un elektrobīstamībai arī darbinieku kvalifikācijai, kuriem ir tiesības veikt šādus uzdevumus, ir paaugstinātas prasības. Tiem, kārtojot eksāmenu, jāiegūst atbilstoša profesionāla kvalifikācija elektrodrošībā – elektrodrošības kvalifikācijas grupas: A,B vai C. Elektromontieriem, piemēram, nepieciešama B kvalifikācijas grupa.

Lai izslēgtu elektrotraumu iespējamību un panāktu augstu darba drošību, saskaņā ar elektrodrošības noteikumiem, darbā ar elektroiekārtām jāievēro noteiktas organizatoriskas un tehniskas šo noteikumu prasības. Pašas svarīgākās no tām:

1. Nozīmējot darbā ar elektroiekārtām, obligāta ir drošības tehnikas instruktaža ar atbilstošu ierakstu instruktažas žurnālā.
2. Strāvu vadošām elektroiekārtas daļām jābūt izolētām. Pie tam izolācijas pretestība iekārtām darbā ar spriegumu līdz 1000 V nedrīkst būt mazāka par 0,5 megaomu (ir atsevišķi izņēmumi). Pieņemot ekspluatācijā jaunu iekārtu, izolācijas pārbaudes mērījumi sertificētam darbiniekam jāaktē un šī pārbaude regulāri jāatkārto drošības tehnikas noteikumos paredzētos termiņos.
3. Elektroiekārtu daļām, kas izolācijas bojājumu gadījumos var atrasties zem sprieguma, jābūt zemētām (nullētām) – elektriski savienotām ar Zemi. Pie kam šī savienojuma pārejas pretestība nedrīkst pārsniegt 4, 10, vai 30 omus (atkarībā no jaudas un sprieguma). Arī zemējuma pārbaudes mērījumi jāaktē līdzīgi kā izolācijas pārbaudē.
4. Izolācijas bojājumu gadījumā caur zemējumu noslēdzas elektriskā ķēde un sāk plūst avārijas strāva, kas liek nostrādāt aizsardzības iekārtai un atslēgt bojāto vietu no sprieguma – elektriskā tīkla.
5. No elektrodrošības viedokļa elektrotīkla nozīmīgākais vads ir neitrāle (nullvads). Tāpēc, montējot elektroiekārtu pieslēgumu tīklam, neitrālei jāpievērš īpaša uzmanība – šķērssgriezumam atbilstība, elektriskā kontakta drošums, nepārtrauktība (neitrālē nedrīkst likt slēdzus); spraudsavienojuma gadījumā tā konstrukcijai jānodrošina vadu savienošanās secība: pirmo savieno un pēdējo atvieno neitrāli. Tāpēc, piemēram, spraudnis neitrālei vienmēr ir garāks par pārējo līnijas vadu spraudņiem. Atbilstoši iekārtu tehniskās dokumentācijas norādēm vienfāzu tīkla pieslēgumam daudzos gadījumos jāizmanto trīskontaktu spraudsavienojumi u.tml.

Tāpat darbinieku kvalifikācija, iekārtu izolācija, zemējums (nullējums) kopā ar noregulētu aizsardzības iekārtu un organizatorisku pasākumu kopums garantē elektroiekārtu drošu ekspluatāciju.

Lai elektroiekārtas varētu izmantot, tās jāpievieno elektrotīklam un jāpieslēdz spriegumam (tas neattiecas uz iekārtām ar autonomiem elektroenerģijas avotiem). Pievienošanu elektrotīklam izdara elektrosadalēs, nozarkārbās vai ar spraudkontaktiem, bet spriegumu padevi nodrošina dažāda tipa komutācijas iekārtas – slēdži. Konkrētais tehniskais risinājums jāizvēlas atkarībā no iekārtas jaudas, sprieguma un ekspluatācijas īpatnībām (paaugstināts mitrums, ķīmiski agresīva vide, tehnoloģisko iekārtu īpatnības u.tml.).

Pamatprincipi tehniskā risinājuma izvēlē:

1. Elektrotīkla (U_t) un elektroiekārtas nominālajam spriegumiem (U_N) jābūt saskaņotiem – $U_t = U_N$. Elektroiekārtu nekādā gadījumā nedrīkst pieslēgt pārspriegumam $U > U_N$. Latvijas teritorijā Valsts elektrotīkla sprieguma

standartvērtība: trīsfāzu (spēka) tīklam – 380V, vienfāzu (apgaismošanas) tīklam – 220V.

2. Pirms pievienot jaunus elektroenerģijas patērētājus, esošajam elektrotīklam (firmas ražotnē vai birojā, savrupmājā vai daudzdzīvokļu ēkas dzīvoklī) jāpārlicinās par elektrotīkla jaudas rezervju atbilstību jaunajam pieprasījumam. Jāievēro, ka līdz 1985. gadam daudzdzīvokļu ēkās projektētā uzstādāmā jauda vienam dzīvoklim bija 3 kW un atbilstoši šai jaudai izvēlēti arī elektroinstalācijas elementi: vadu šķērs griezumi, vadu savienojumi nozarkārbās, spraudkontakti un slēdži. Iekšējās instalācijas elementu jaudām jābūt saskaņotām (lielākām vai vienādām) ar elektroenerģijas patērētāju jaudām.
3. Pārvietojamas elektroiekārtas elektrotīklam pievieno ar lokaniem kabeļiem (vadiem) un spraudkontaktiem.
4. Paaugstinātas jaudas (virs 1kW) vienfāzu iekārtas un vienfāzu iekārtas, kas paredzētas izmantošanai paaugstinātas elektrobīstamības apstākļos, pievienojot elektrotīklam ar spraudkontaktiem, jānodrošina ar zemējumu.
5. Savienojot dažādu materiālu vadus, jo sevišķi vara vadus ar alumīnija vadiem, lai novērstu elektroķīmiskā potenciāla veidošanos, to tieša saskare, piemēram, savijot, nav pieļaujama. Veidojot skrūvju savienojumu, starp dažāda materiāla vadiem jāievieto starplika, kas vadu kontaktvirsma samazinātu elektroķīmiskā potenciāla starpību un nodrošinātu ilglaicīgu elektrosavienojuma darbību.

9.3. Elektrisko lielumu mērīšana vienfāzu maiņstrāvas ķēdē

Tāpat kā jebkura fizikāla lieluma mērīšanas gadījumā, arī sagatavojot elektriska lieluma mērīšanu, nepieciešama sākotnējā informācija par mērinstrumentam nepieciešamo mērdiapazonu, mērījuma precizitāti, konkrēto mērīšanas metodi, iespējamām izmaksām, darba drošību un tml.

Mērinstrumentam nepieciešamo mērdiapazonu nosaka mērāmā lieluma sagaidāmā skaitliskā vērtība. Šo vērtību var orientējoši noteikt pēc iekārtu pases vai tehniskajā dokumentācijā dotajiem nomināllielumiem, vai arī aprēķināt, zinot elektrisko ķēžu pamatlukumus, piem.

$$U=Ir; U=Iz; P=UI\cos\varphi; W=Pt=UI t \text{ un tml.} \quad (38)$$

Ja mērījumu izdara ar valsts elektrotīklu saistītā ķēdē, par sprieguma orientējošo vērtību jāpieņem elektrotīkla standartspriegums 380 vai 220V. Strāvas, jaudas un enerģijas konkrēto vērtību nosaka tīklam pieslēgtā slodze, elektroenerģijas patērētāja elektriskā pretestība. Praksē slodzes raksturošanai visbiežāk lieto jaudas jēdzienu.

Organizējot mērīšanu, piem. tehnoloģiskā procesa norises kontrolei, kāda procesa vai objekta zinātniskai izpētei vai aprakstam, ļoti svarīgi ir saprātīgi noteikt mērījumiem nepieciešamo precizitāti. Jo augstākas prasības precizitātei, jo sarežģītāki un dārgāki mērinstrumenti un mērīšanas metodes, un lielākas mērījumu izmaksas.

Elektrisko mērinstrumentu precizitāti nosaka to precizitātes klase – kļūda procentos no pilnas skalas vērtības (mērdiapazona). Ir septiņas precizitātes klases: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Šo skaitli (procentu skaitlisko vērtību) jeb precizitātes klasi, izņemot 4.klasi, uzrāda uz mērinstrumenta skalas. Piem. piecu ampēru (5A) pirmās precizitātes klases (1,0) ampēmetra absolūtā kļūda ir $\Delta I = \pm 0,05A$. Ja rādītājs mērījuma laikā uzrāda 4A, tad mērījuma korekts pieraksts ir $I = (4,00 \pm 0,05) A$, bet relatīvā kļūda ir $\Delta I / I_N = 0,05 / 4,00 = 0,01 \rightarrow 1,0\%$, t.i., 1,0 precizitātes klase.

Pēc precizitātes klases elektriskos mērinstrumentus nosacīti iedala: etalon, laboratorijas un tehniskajos mērinstrumentos. Tehnisko mērinstrumentu skala graduēta mērāmā lieluma mērvienībās. Ampērmetriem – ampēros, voltmetriem – voltos u.t.t. Tie paredzēti mērīšanai konkrētā, parasti mērāmā lieluma nelielā maiņas intervālā, visbiežāk tiem ir paneļa izpildījums – tie ir vadības vai kontrolpanelī iebūvēti instrumenti.

Laboratorijas mērinstrumentiem ir plašāks pielietojums. Tiem parasti ir maināms mēr diapazons, kas ļauj organizēt precīzāku, orientējošam aprēķinam atbilstošu, mērījumu – mērījumu ar mazāku relatīvo kļūdu. To panāk nodrošinot, lai rādījums būtu jānolasa mērinstrumenta skolas beigu daļā. Laboratorijas mērinstrumentu skolas parasti ir graduētas iedaļās nevis mērāmā lieluma mērvienībās. Tāpēc mērījuma noteikšanai nepieciešams aprēķināt iedaļas vērtību: mēr diapazons jādala ar pilnas skolas iedaļu skaitu. Laboratorijas mērinstrumentiem parasti ir galda instrumentu izpildījums, ar tiem ērti strādāt arī neprofesionālā vidē.

Lai nodrošinātu mērījuma atkārtojamību, veicot mērījumus, pierakstam jāietver visi aprēķinam nepieciešamie dati. Jāuzrāda: mērinstrumenta nosaukums, tips, numurs, precizitātes klase, mēr diapazons (ja iespējami vairāki mēr diapazoni – izmantotais jāpasvīturo), rādījums/skolas iedaļu skaits. Piemēram: Ampermetrs ACT; Nr.102515; 1,0; 5,0 2,5A; 67/100 ied.

Ja mērāmā lieluma orientējošais aprēķins rāda, ka sagaidāmais mērījums pārsniedz mērinstrumenta mēr diapazonu, tad mēr diapazons jāpaplašina. To var izdarīt ar dažādiem paņēmieniem.

Voltmetra mēr diapazona paplašināšanai izmanto ar voltmetru virknē slēgtu rezistoru – papildu pretestību r_p . Saskaņā ar virknes slēguma likumiem (skat. 30. attēlu)

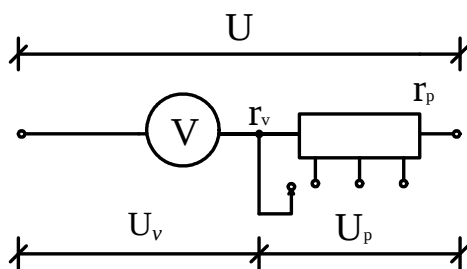
$$\begin{cases} U = U_v + U_p \\ \frac{U_v}{U_p} = \frac{r_v}{r_p} \end{cases}$$

$$r_p = \frac{r_v U_p}{U_v} = r_v \frac{U - U_v}{U_v} = r_v \frac{\frac{U}{U_v} - \frac{U_v}{U_v}}{\frac{U_v}{U_v}} = r_v (n - 1)$$

$$r_p = r_v (n - 1), \quad \Omega \quad (39)$$

kur r_v – voltmetra iekšējā pretestība,

n – skaitlis U / U_v , kas rāda, cik reizes dotā papildu pretestība paplašina voltmetra mēr diapazonu.



30. attēls. Voltmetra mēr diapazona paplašināšana ar papildrezistoru.

Ja papildus rezistoram ir pārslēdzamas pakāpes, tad voltmetram iespējami vairāki mērdiapazoni, kuru vērtību norāda atbilstošs pārslēga stāvoklis. Ja spriegums pārsniedz 1000V voltmetru mērdiapazona paplašināšanai izmanto sprieguma mērtransformatorus, spriegummaiņus.

Ampērmetra mērdiapazona paplašināšanai var izmantot šuntu – ampermetram paralēli slēgtu rezistoru (skat. 31. attēlu). Saskaņā ar paralēla slēguma likumiem šunta pretestību r_s aprēķina:

$$\begin{cases} I = I_a + I_s \\ \frac{I_a}{I_s} = \frac{r_s}{r_a} \end{cases}$$

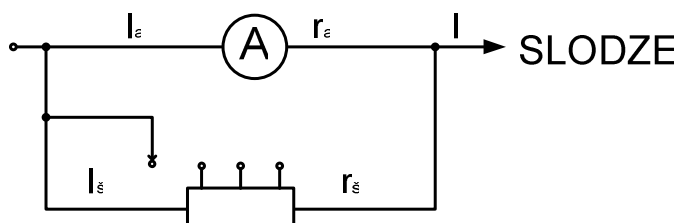
$$\frac{I_a}{I - I_a} = \frac{r_s}{r_a} \Rightarrow r_s = \frac{I_a r_a}{I - I_a} = r_a \frac{I_a}{I - I_a}, \text{ ja skaitītāju un saucēju, dala ar } I_a, \text{ tad}$$

$$r_s = r_a \frac{1}{\frac{I}{I_a} - 1} \Rightarrow \frac{I}{I_a} = n \Rightarrow r_s = \frac{r_a}{n - 1}, \Omega \quad (40)$$

kur r_a – ampērmetra iekšējā pretestība, Ω

n – skaitlis, kas rāda, cik reizes dotais šunts paplašina ampērmetra mērdiapazonu.

Ja šunta rezistoram ir pārslēdzamas pakāpes, tad ampērmetram iespējami vairāki mērdiapazoni, kuru vērtību norāda atbilstošs pārslēga stāvoklis. Iespējams arī, ka katram mērdiapazonam ir sava izejas spaile. Tādā gadījumā pie tās norāda atbilstošo mērdiapazonu.



31. attēls. Ampērmetra mērdiapazona paplašināšana ar šunta rezistoru

Gan papildus, gan šunta rezistorus mērdiapazona paplašināšanai bieži izmanto laboratorijas tipa mērinstrumentiem.

Ražošanas apstākļos maiņstrāvas ķēdēs ampērmetra mērdiapazona paplašināšanai izmanto strāvas mērtransformatorus (strāvmāiņus). Tiem ir primārais un sekundārais tinums. Primāro slēdz virknes slēgumā slodzes ķēdē, kurā jāmēra strāvas stiprums, bet sekundārajam tinumam pieslēdz ampērmetru, kura mērdiapazons jāpaplašina. Šādā gadījumā

$$I_{slodzes} = I_a k, A \quad (41)$$

kur

I_a – ampērmetra uzrādītais strāvas stiprums, A;

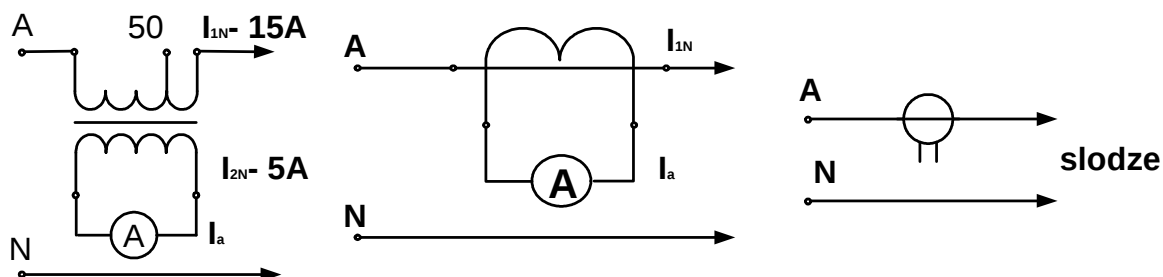
k - strāvas transformācijas koeficients.

$$k = I_{1N} / I_{2N}, \quad (42)$$

kur

I_{1N} un I_{2N} – strāvas mērtransformatora primārā un sekundārā nominālā strāva (pēc transformatora pases nominalstrāvām) A.

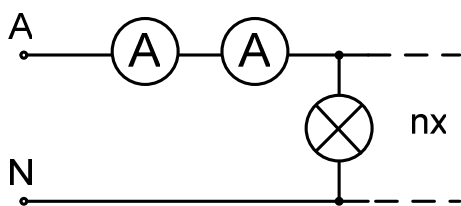
Laboratorijas mērtransformatorus iespējams ieslēgt ar dažādu primārā tinuma vijumu skaitu – dažādu transformatoru koeficientu. Tādā gadījumā pie atbilstošajām primārā tinuma izvadspailēm norāda I_{1N} skaitliskās vērtības (skat. 32.attēlu).



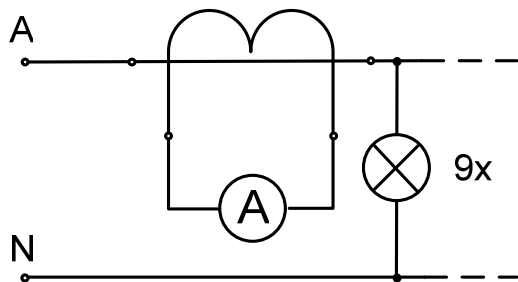
32. attēls. Strāvas mērtransformatoru grafiskie apzīmējumi un slēgumu shēmas.

Sevišķi ērti strāvas mērtransformatoru lietot kopā ar ampērmetru, kura mērdiapazons vienāds I_{2N} (32. attēlā dotā piemērā - 5A). Tad ampērmetra pilna skala atbilst ieslēgtajam I_{1N} diapazonam (32. attēlā dotā piemērā - 15A). Strāvas transformatorus pēc līdzīgām slēguma shēmām izmanto arī vatmetru, elektroenerģijas skaitītāju un citu mērinstrumentu strāvas spoļu mērdiapazona paplašināšanai.

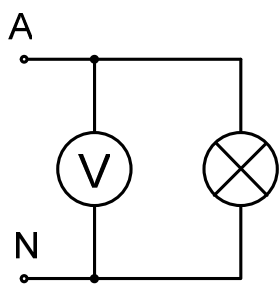
Shēmas ampērmetra, voltmetra, vatmetra un elektroenerģijas skaitītāja ieslēgšanai elektriskajā ķēdē dotas 33., 34.,35.,36 un 37. att.



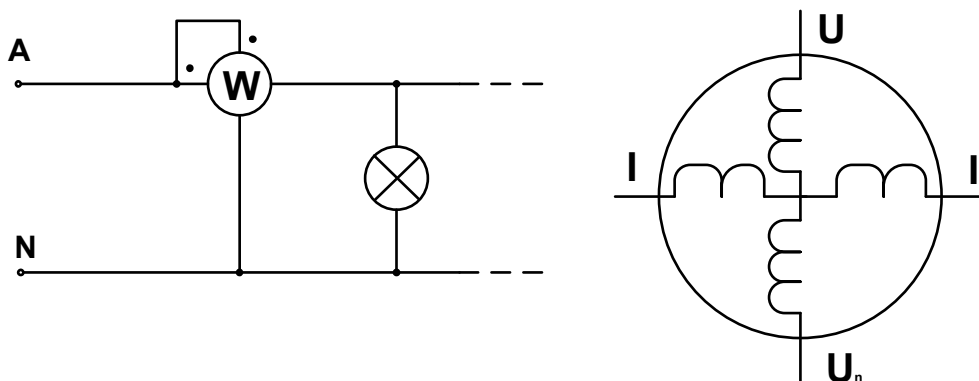
33.attēls.Mērshēma strāvas mērīšanai (ieslēdzot vienlaicīgi dažāda tipa ampērmetrus, var salīdzināt to rādījumus)



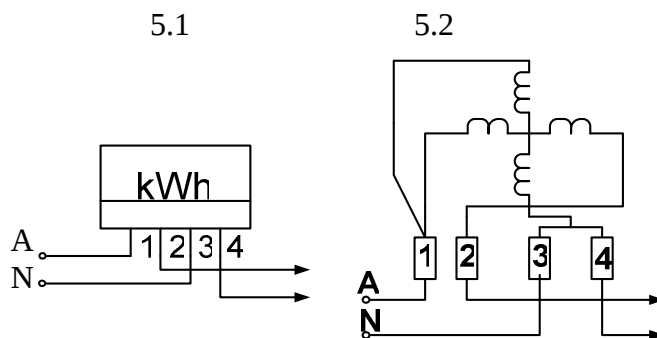
34.attēls. Mērshēma ampērmetra mērdiapazona paplašināšanai ar strāvas mērtransformatoru .



35. attēls. Mērshēma sprieguma mērīšanai



36 attēls. Mērshēma aktīvās jaudas mērīšanai



37 attēls. Mērshēma enerģijas mērīšanai – montāžas (5.1), principālā (5.2).

9.4. Zvaigznes un trīsstūra slēguma pētīšana

Elektriskos procesus zvaigznes un trīsstūra slēgumos jāapskata saistībā ar trīsfāzu energosistēmu pamatjēdzieniem un vispārīgajiem darbības principiem. Skat. 8.1. un 8.2.

Trīsfāzu elektrisko ķēdi var izveidot no trīs sinusoidālas maiņstrāvas vienfāzu ķēdēm, ja izpildās šādi trīs nosacījumi: visās trīs ķēdēs ir vienādas frekvences, vienādi elektrodzinējspēki un to savstarpējā fāzu^{*} nobīde ir 120° .

^{*} terminam “fāze”, kā redzams ir vairākas nozīmes; piem., ar to apzīmē vienu no trīsfāzu nergosistēmu veidojošajām vienfāzu elektriskajām ķēdēm un apzīmē arī maiņstrāvas ķēžu raksturlielumu (e, u vai i) fāzi – sinuss argumentu. Praktiski ar terminu “fāze” nereti saprot vienu no trīsfāzu trīsvadu elektrotīkla A, B vai C vadiem. Terminam “fāze” var būt arī citas nozīmes. Kādā nozīmē šis vārds konkrētā gadījumā lietots, tas jāsecina no konteksta

Elektroenerģijas avota un patērētāju fāzu galu apzīmēšanai izmanto burtu – ciparu simboliku:

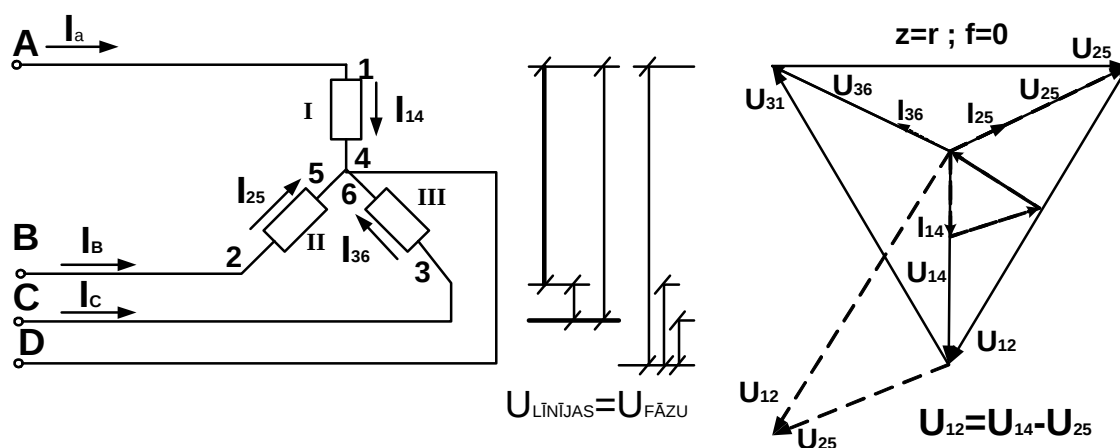
	Avots			Patērētājs		
Fāze	A	B	C	I	II	III
Sākums	A	B	C	1	2	3
Beigas	X	Y	Z	4	5	6

Fāzu galu apzīmējumi atvieglo montāžas darbu

Zvaigznes slēgums jāveido, savstarpēji savienojot fāzu beigas. Veidojot trīsstūra slēgumu, jāievēro fāzu secība - A(I) fāzes beigas jāsavieno ar B(II) fāzes sākumu, tās beigas – ar C (III) fāzes sākumu, bet C (III) fāzes beigas ar A(I) fāzes sākumu. Tādējādi gan zvaigznes, gan trīsstūra slēguma avotam pieslēgtā elektrolīnija aizsākas ar fāzu sākumiem un līnijas fāzu vadus apzīmē ar tiem atbilstošajiem burtiem – A, B, C. Četrvadu līnijas gadījumā neitrāli** apzīmē ar N.

Elektriskajās shēmās izjaucama elektriskā kontakta grafiskais apzīmējums – “○”. Tam pierakstot burtu A, B, C vai N , arī L1, L2, L3 un N 0(kreisajā pusē vai virspusē!) norāda vietu, kur avotam (tīklam) pieslēgt elektroenerģijas patērētāju. Ar šo grafisko simbolu parasti arī elektroiekārtu tehniskās dokumentācijas shēmās norāda barošanas avota pieslēgšanas vietu, piem., A ○—

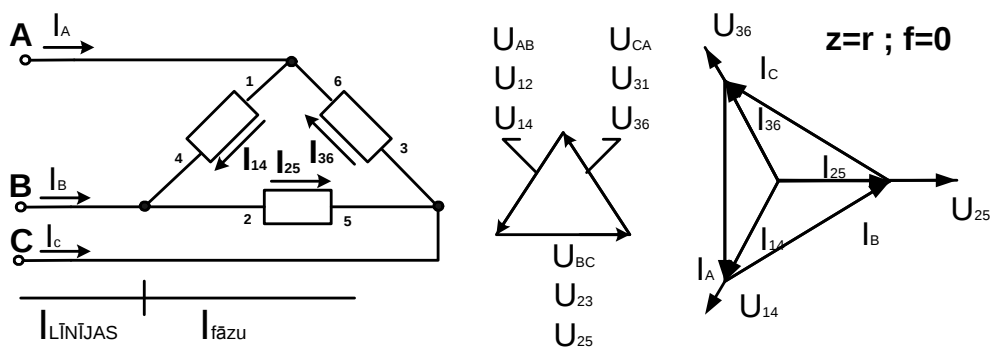
Fāzu un līniju spriegumu un strāvu jēdzienus elektriskajā shēmā un vektoru diagrammā zvaigznes slēgumam pie simetriskas slodzes ilustrē 38.attēls.



38 attēls. Fāzu un līniju spriegumi un strāvas simetriskai, aktīvai slodzei zvaigznē.

Trīsstūra slēgums jāveido, pirmās fāzes beigas – 4 saslēdzot ar otrās fāzes sākumu – 2; otrās fāzes beigas – 5 ar trešās fāzes sākumu – 3 un trešās fāzes beigas – 6 ar pirmās sākumu – 1.

Ja par strāvas pozitīvo virzienu pieņem virzienu no avota uz patērētāju un patērētājā no fāzes sākuma uz fāzes beigām, tad, izmantojot pirmo Kirhofa likumu, trīsstūra virsotnei (mezgla punktam) iegūst, piem. $I_{14} + I_B - I_{25} = 0$ un $I_B = I_{25} - I_{14}$, t.i., trīsstūra slēgumā līniju strāva ir fāzu strāvu starpība. (skat. 39 attēlu).



39 attēls. Fāzu un līniju spriegumi un strāvas trīsstūra slēgumā simetriskai, aktīvai slodzei.

Lai strāvu vektorus attēlotu grafiski kopīgā vektoru diagrammā ar sprieguma vektoriem, jāņem vērā visu spriegumu un strāvu fāzu nobīdes

$$\varphi = \Delta\psi = \psi_u - \psi_i \quad (43)$$

kur ψ_u un ψ_i - sprieguma un strāvas sākuma fāzes
no “u” un “i” sinusfunkcijas argumenta – $(\omega t \pm \psi)$.

Ja slodze ir aktīva – kvēlspuldzes, pretestības sildelementi, reostati un tamlīdzīgi – $\varphi = 0$, tas ir, spriegums un strāva sakrīt fāzē, sakrīt atbilstošo fāzes sprieguma un strāvas vektoru virzieni.

Zvaigznes slēguma vektoru diagrammu konstruē šādā secībā,

1. Atkarībā no mērījumu skaitliskajām vērtībām un vēlamajiem iegūstamā attēla – diagrammas izmēriem pieņem mērogu spriegumam – m_U , V/mm vai V/cm un mērogu strāvai – m_I , A/mm vai A/cm.
2. Uzkonstruē līniju spriegumu vektoru vienādmalu trīsstūri.
3. No trīsstūra virsotnēm uz tā centru attiek fāzu sprieguma vektoru garumus (iezīmējot loka fragmentus), atrod fāzu sprieguma kopīgo sākuma punktu (loka fragmentu krustpunktu vai loka fragmentu ietvertās figūras smaguma centru) un, savienojot to ar virsotnēm, iezīmē fāzu spriegumu vektorus.
4. Taisnes nogriežņu (vektoru) atbilstošajos galos ievēl bultiņas, t.i., apzīmē līniju un fāzu spriegumu vektoru virzienus.
5. Ievērojot fāzu nobīdi, pret katru fāzes sprieguma vektoru novelk atbilstošās fāzes strāvas vektoru.

Kontrole:

Ja slodze simetriska, fāzes strāvu vektoriālā summa ir 0, t.i., summas pēdējais vektors beidzas tajā pašā punktā, kurā sākas pirmais.

Ja slodze ir nesimetriska $\sum I_f = I_N$. Zinot mērogu, to var pārbaudīt skaitliski.

Trīsstūru slēguma divfāzu režīmā jāievēro, ka trīsstūra divas malas veido virknes slēgumu, kas savukārt, trīsstūra trešajai malai pieslēgts paralēli. Tāpēc elektrisko procesu skaidrojumam jāizmanto virknes un paralēlā slēguma aprēķina (analīzes) sakarības, kas atvasinātas no Oma likuma.

Paralēlam slēgumam:

1. U – konstants
2. $I = I_1 + I_2 + \dots$
3. $g = g_1 + g_2 + \dots$

Diviem paralēliem zariem $R = r_1 r_2 / (r_1 + r_2)$

Vienādas pretestības n paralēliem zariem $R = r/n$,

kur r_i - i -tā zara pretestība

$$4. I_1 / I_2 = g_1 / g_2 = r_2 / r_1$$

Virknes slēgumam: (44)

1. I – konstants
2. $U = U_1 + U_2 + \dots$
3. $R = r_1 + r_2 + \dots$

$$4. U_1 / U_2 = r_1 / r_2$$

Nolasījumu tabula

Nr. pk.	Tīkla uzbūve	Slodzes simetrija	Strāva I, A				Līnijas spriegums U, V			Fāzu spriegums U_f , V		
			I_1	I_2	I_3	I_N	U_{12}	U_{23}	U_{31}	U_{14}	U_{25}	U_{36}
1.	4 vadu	simetriska										
2.	4 vadu	nesim-ska										
3.	3 vadu	nesim-ska										

9.5. Transformatora pētīšana

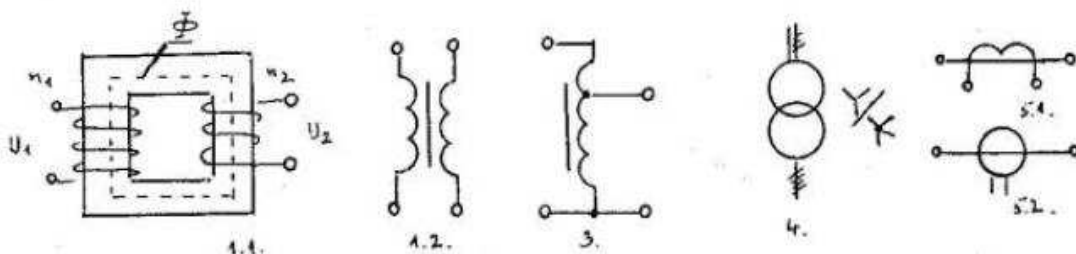
Elektroiekārtu, kas ar elektromagnētiskās indukcijas palīdzību pārvada elektroenerģiju no vienas elektriskās ķēdes otrā, sauc par transformatoru. Transformatoriem nav kustīgu sastāvdaļu, līdz ar to nav enerģijas zudumi berzes dēļ un ir augsts lietderības koeficients.

Parasti transformatoram ir ferro-magnētiska materiāla serde un divi elektriskie tinumi – primārais un sekundārais. Starp tiem notiek enerģijas pārvadīšana. Elektrisko lielumu piederību primārajam vai sekundārajam tinumam apzīmē ar indeksiem 1 vai 2. Transformatoru tinumu galu apzīmēšanai lieto latīņu alfabēta burtus: augstākajam spriegumam – lielos, zemākajam – mazos burtus, piemēram trīsfāzu transformatoram:

tinuma sākumu spaiļes: A, B, C ; a,b,c ; vienfāzu transf. A; a; bet, ja ir dubulttinums – A,B ; a,b;

tinuma beigu spaiļes: X, Y, Z ; x,y,z ; vienfāzu transf. X; x; bet, ja ir dubulttinums – X,Y; x,y.

Transformatorus grafiski var attēlot, izmantojot 40. attēlā doto simboliku.



40. attēls. Transformatoru grafiskā simbolika :

1 – konstruktīvs attēls; 2 – simbols principālām shēmām; 3 – autotransformators; 4 – simbols elektroapgādes shēmām; 5 – mērtransformatori.

Transformatorus visbiežāk izmanto vienfāzu un trīsfāzu sprieguma mainīšanai. Ja transformatori ieslēgti elektroenerģijas pārvades un sadales ietaisēs, tos sauc par spēka transformatoriem (1., 2., 4.). Transformatorus, kuriem primāro un sekundāro tinumu veido vienas spoles atsevišķas daļas – sauc par autotransformatoriem (3.), bet tādus, kurus izmanto mērinstrumentu mērīšanas diapazona paplašināšanai vai atdalīšanai no augsta sprieguma, par mērtransformatoriem (5.1., 5.2.). Transformatorus klasificē un nosauc arī pēc citām pazīmēm, piemēram, metināšanas, ieejas, eļļas, u.tml. transformatori.

Transformatoru primārais tinums darbojas elektroenerģijas patērētāja, bet sekundārais – ģeneratora režīmā. Uz tiem attiecināms Oma likums:

$$U_1 = -E_1 + I_1 r_1 + I_1 x_1 \quad (\text{elektroenerģijas patērētājam}) \quad (45)$$

$$E_2 = U_2 + I_2 r_2 + I_2 x_2 \quad (\text{elektroenerģijas ģeneratoram}) \quad (46)$$

Jāatceras, ka E , U , I ir vektori un jāsummē vektoriāli (ģeometriski).

Tinumos inducētā eds vērtības nosaka Lenca likums

$$e = -n(d\Phi/dt), \quad (47)$$

kur n – vijumu skaits tinumā.

Inducēto elektrodzinējspēku efektīvās vērtības ir

$$E_1 = 4,44 n_1 f \Phi_m \quad \text{un} \quad E_2 = 4,44 n_2 f \Phi_m \quad (48)$$

kur Φ_m – abu tinumu magnetodzinējspēku $I_1 n_1$ un $I_2 n_2$ maksimālās vērtības (serdē radītās magnētiskās plūsmas maksimums).

Tātad

$$E_1/E_2 = n_1/n_2 = k. \quad (49)$$

Tā kā tukšgaitas režīmā, kad $I_2 = 0$, $E_1 \approx U_1$ un $E_2 = U_2$, tad

$$k = U_1/U_2 \quad (50)$$

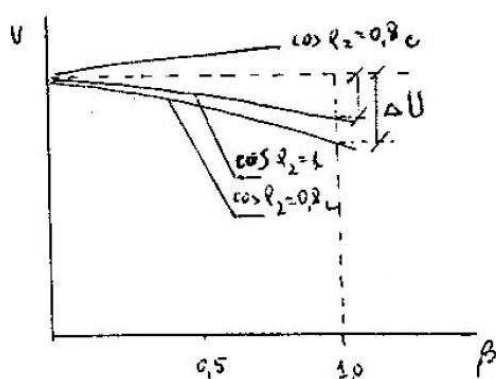
kur k – transformācijas koeficients (transformatora tukšgaitas spriegumu attiecība, kas rāda, cik reizes dotais transformators izmaina spriegumu).

Parasti transformācijas koeficientu izsaka ar augstākā sprieguma attiecību pret zemāko spriegumu. Jāievēro, ka transformatora sekundārais nominālais spriegums attiecas uz tukšgaitu. Slogotam transformatoram sekundārā sprieguma kā arī atdotās jaudas vērtības atšķiras no nominālajām. Mainoties slodzes strāvai, mainās iekšējais sprieguma kritums primārajā un sekundārajā tinumā – $I_1 z_1$ un $I_2 z_2$. Tāpēc mainās arī spriegums transformatora izejā. Šo sprieguma un slodzes strāvas sakarību nosaka transformatora ārējā raksturlīkne $U_2 = f(I_2)$. Skat 41.att. Sprieguma starpību starp tukšgaitas spriegumu (nominālo) U_{2N} un spriegumu slodzes režīmā U_2 raksturo procentuālā sprieguma maiņa, t.s., procentuālais sprieguma kritums ΔU

$$\Delta U = (U_{2N} - U_2) 100 / U_{2N}, \% \quad (51)$$

Var pieņemt, ka procentuālais sprieguma kritums nomināli slogotiem transformatoriem (noslogojuma koeficients $\beta = I_1/I_{1N} = I_2/I_{2N} = 1$) ar $\cos \varphi_2 = 0,8$ pie induktīvas slodzes rakstura ir apmēram 5%. Zinot to, var noteikt sekundārā tinuma spaiļu spriegumu

$$U_2 = U_{2N} [1 - (\Delta U / 100)], V. \quad (52)$$



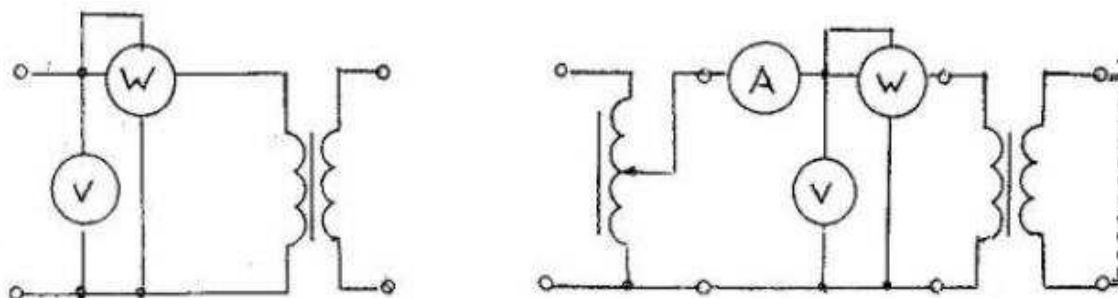
41. attēls. Transformatora ārējā raksturlīkne.

Transformatoru sprieguma saskaņošanai ar to elektrolīniju spriegumiem, kurās transformators darbojas paredzēti pārslēgi transformācijas koeficienta regulēšanai $\pm 5\%$ robežās. Tos ierīko augstākā sprieguma pusē. Lai pārietu no vienas sprieguma pakāpes uz otru atbilstoši jāiestata pārslēgs pret vajadzīgo atzīmi: “+5%” (I), “Nom” (II) vai “- 5%” (III). Sprieguma regulēšana iespējama gan rokas, gan automātiskā (parasti) režīmā.

Pārvadot enerģiju no transformatora primārā tinuma uz sekundāro, neizbēgami rodas enerģijas zudumi. Tāpēc sekundāra (lietderīgā) aktīvā jauda P_2 ir mazāka par primāram tinumam pievadīto jaudu P_1 . Šo jaudu attiecība nosaka transformatora lietderības koeficientu η .

$$\eta = P_2 / P_1 = P_2 / (P_2 + P_{\text{zudumi}}) \quad (53)$$

Zudumi transformatorā rodas ferromagnētiskā materiāla serdē – t.s., magnētiskie zudumi P_{mag} jeb P_{Fe} – un tinumos (tinumu varā – Cu, vai alumīnijā Al) – t.s. elektriskie zudumi P_{el} jeb $P_{\text{Cu (Al)}}$. Pirmie ir gandrīz nemainīgi (proporcionāli U_1) un tos var noteikt tukšgaitas mēģinājumā: pie $U_1 = U_{1N}$ un $I_2 = 0$, $P_{\text{mag}} = P_{\text{magN}}$. Elektriskie zudumi ir proporcionāli strāvas kvadrātam un to nominālo vērtību var noteikt īsslēguma mēģinājumā pie $I_1 = I_{1N}$ ($I_2 = I_{2N}$) un $U_1 \ll U_{1N}$.



42. attēls. Transformatora tukšgaitas un īsslēguma mēģinājumu shēmas

Pirms sekundāro tinumu saslēdz īsi, jāieregulē $U_1 = 0$!!!

Mērījumi zudumu noteikšanai transformatorā

P_{mag}										
P_{el}, W										
I_1, A										
β										

Precīziem lietderības koeficienta aprēķiniem īsslēguma mēģinājuma elektrisko zudumu P_{el} mērījumi jāreducē atbilstoši transformatora darba temperatūrai. Izsakot lietderīgo aktīvo jaudu ar transformatora noslogojuma koeficientu $\beta = I_1/I_{1N} = I_2/I_{2N}$, nominālo pilno jaudu S_2 un jaudas koeficientu $\cos \varphi_2$, iegūst sakarību lietderības koeficienta aprēķināšanai.

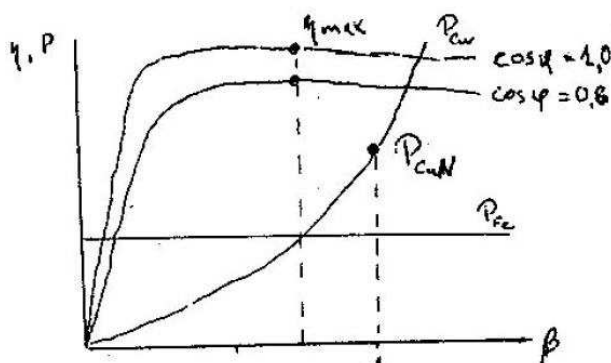
$$\eta = \frac{\beta S_{2N} \cos \varphi_2}{\beta S_{2N} \cos \varphi_2 + P_{mag} + \beta^2 P_{elN}} \quad (54)$$

Katram φ_2 ir sava raksturlīkne un $\eta=f(\beta)$ ir raksturlīkņu kopums (saime) skat 43. att.

Šai funkcijai ir maksimums un tā nosacījums ir $P_{mag} = P_{el}$.

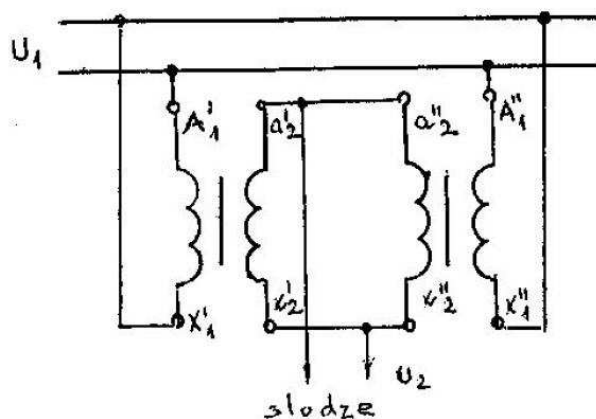
Spēka transformatora ekspluatācijā noslogojums bieži ir $\beta=0,5 \dots 0,7$ diapazonā. Lai transformatori iespējami ilgāku laiku darbotos ar maksimālo lietderību, šajā diapazonā jāatrodas η_{max} .

Minētos teorētiskos apsvērumus var eksperimentāli pārbaudīt ar tukšgaitas un īsslēguma mēģinājumiem, mērījumu un aprēķinu rezultātus attēlojot grafiski.



43. attēls. Transformatora elektrisko un magnētisko zudumu un lietderības koeficienta raksturlīknes.

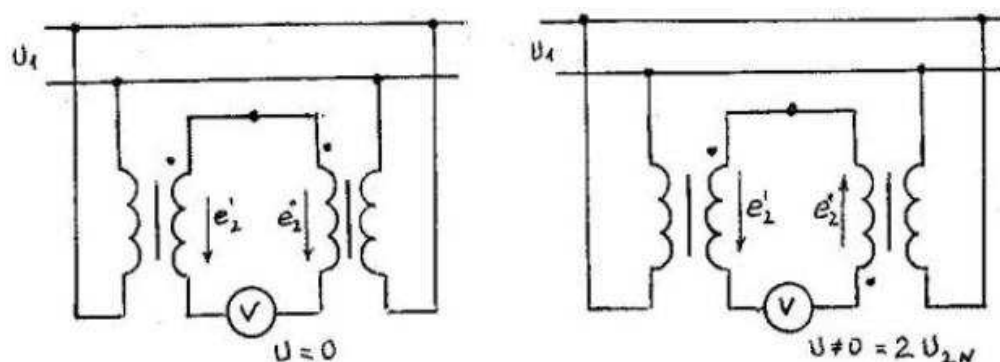
Transformatoru apakšstacijās (TA) bieži uzstāda vairākus transformatorus paralēlam darbam skat. 44. att. Tad mazas slodzes laikā dažus transformatorus atslēdzot, pārējiem paaugstinās lietderības un jaudas koeficienti; tāpat viena transformatora tehniskās apkopes vai remonta laikā var turpināt netraucētu energoapgādi un TA kopumā strādā ekonomiskāk.



44. attēls. Transformatoru paralēlas darbības principiālā shēma

Transformatoru paralēlā darbībā jāievēro, ka:

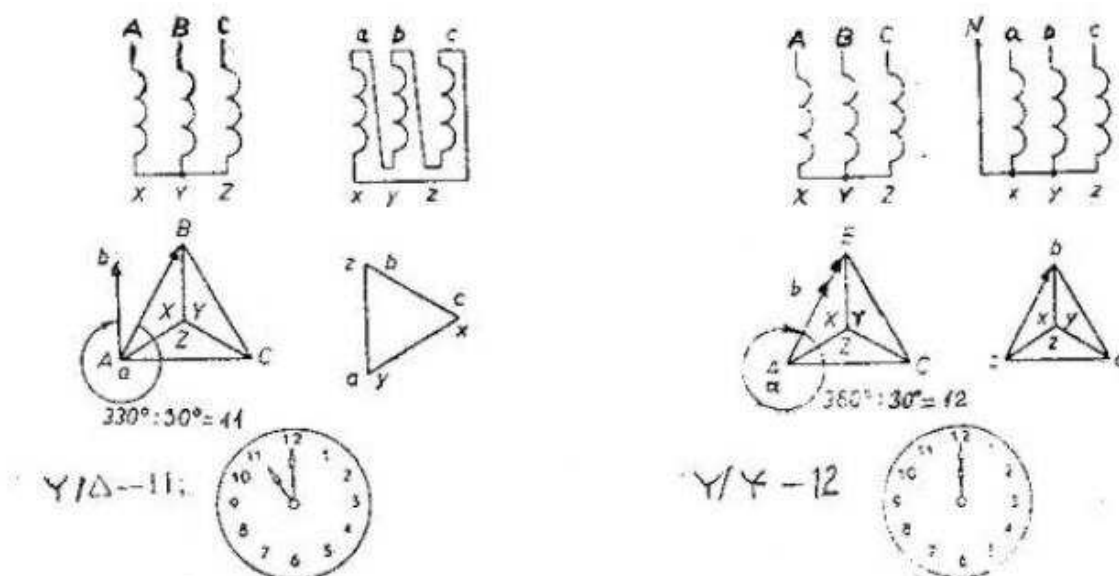
1. transformācijas koeficientiem jābūt vienādiem; no vidējās vērtības tie nedrīkst atšķirties vairāk par 5%.
2. transformatoru īsslēguma spriegumi nedrīkst atšķirties vairāk par 10% no vidējās vērtības.
3. transformatoru tinumu slēgumu grupām jābūt vienādām.
 - 1) Vienfāzu transformatora gadījumā tas nozīmē, ka katrai kopnei (līnijas vadam) jāpieslēdz transformatoru tinumu vienāda nosaukuma spaiļi (sākuma vai beigu spaiļi). Ja spaiļu apzīmējumi nav zināmi, tie jānosaka. Piemēram, ar šādu mērījumu. Skat. 45. att.



45. attēls. Mērījumu shēmas transformatoru tinumu sākuma un beigu galu noteikšanai.

- 2) Trīsfāzu transformatoru primāro un sekundāro tinumu slēdzot zvaigznes vai trīsstūru slēgumos, iespējamas četras slēgumu shēmas: Y/Y; Y/Δ; Δ/Y; Δ/Δ. Slēgumus var dažādot mainot fāzu secību gan primārā, gan sekundārā tinumā (iespējamas divpadsmit kombinācijas). Rezultātā līnijas spriegumi transformatora ieejā un izejā (augstākā un zemākā sprieguma pusē) var būt dažādās fāzu attiecībās - ar dažādu fāzu nobīdi. Fāzu nobīdi starp augstāko un zemāko līnijas spriegumu mēra pulksteņa rādītāja kustības virzienā.. 30^0 vienībās un šis mērskaitlis apzīmē transformatora tinumu slēguma grupu. Leņķiskās nobīdes noteikšanu starp augstākā un zemākā līnijas sprieguma vektoriem var uzskatāmi paskaidrot izmantojot pulksteņa ciparnīcu. Skat 46. att. Lai transformatorus slēgtu paralēlam darbam, to līniju sprieguma vektoru virzieni jāsaskaņo – jāizveido vienādas slēgumu grupas. Tātad paralēli strādājošiem transformatoriem, fāzu nobīdei starp augstāko un zemāko līnispriegumu jābūt vienādai.

Slēguma grupas izvēlas atkarībā no transformatoru (TA) ekspluatācijas īpatnībām, piemēram, 12 grupu Y/Y lieto mazas jaudas transformatoros ar spriegumu 10/0,4 vai 6/0,4 kV un neitrālā punkta izvadu, jauktai apgaismes un jaudas (spēka) slodzei;



46. attēls. Transformatoru tinumu slēgumu grupas.

9.6. Trīsfāzu asinhronais motors un tā izmantošana

Trīsfāzu asinhronā mašīna ir universāla, jo to var darbināt dažādos režīmos. Izplatītākais ir motora režīms.

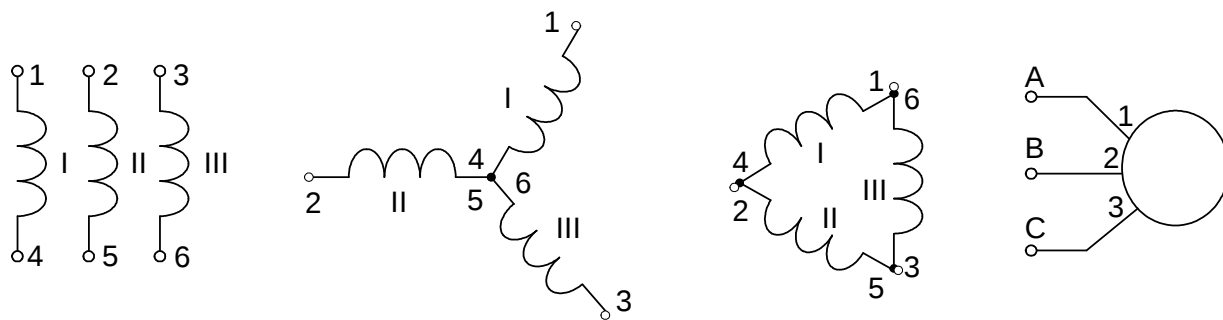
Asinhrono motoru konstruktīvās vienkāršības un darba drošuma dēļ plaši izmanto visdažādākajās tautsaimniecības nozarēs.

Uzbūve.

Motora stators veidots no ferromagnētiska materiāla dobja cilindra formā, kurā izvietots trīsfāzu tinums – vienkāršākajā gadījumā trīs elektriskā tinuma spoles – fāzes ar spoļu asu savstarpējo 120° novirzes leņķi. Ja šīs spoles savieno zvaigznes vai trīsstūra slēgumā un pieslēdz trīsfāzu spriegumam, stators rada rotējošu magnētisko lauku. Tas arī ir statora uzdevums. Magnētiskā lauka rotācijas frekvenci (t.s., sinhrono ātrumu) n_1 , nosaka elektriskā frekvence un statora tinuma uzbūve, skat. (39).

Statora tinumu grafiski attēlo kā trīs neatkarīgas spoles- pirmo (I), otro (II) un trešo (III) fāzi, kuras var saslēgt zvaigznes vai trīsstūra slēgumā skat. 47 att.. Fāžu sākumu un beigu galus apzīmē ar arābu cipariem :

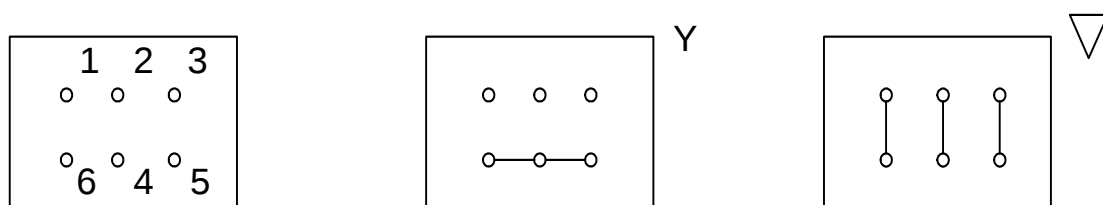
Fāzes	I	II	III
Sākums	1	2	3
Beigas	4	5	6



47. attēls. Trīsfāzu asinhronā motora statora tinuma principiālās shēmas

Asinhronā motora statora vispārīgais apzīmējums ir aplis. Lietojot šo apzīmējumu, statora tinuma slēguma veidu parasti nenorāda.

Motora ārpusē statora tinuma galus izvieto kontaktplāksnē – divās rindās pa trīs savstarpēji vienādos attālumos šādā secībā skat. 48. att.:

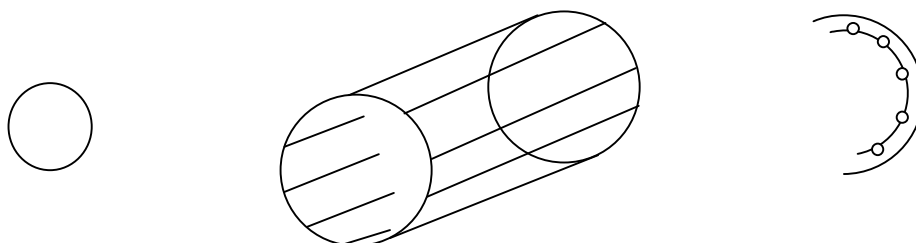


48. attēls. Asinhronā motora statora tinuma galu izvietoējums kontaktplāksnītē un zvaigznes/ trīsstūra slēgumu montāžas shēmas.

Asinhronā motora rotors ir ferromagnētiska materiāla cilindriskas formas ķermenis, kura ārējā virsmā izveidotas rievas elektriskajam tinumam. Atkarībā no rotora tinuma veida asinhronās mašīnas iedala divās grupās, t.s. īsi slēgtajās un fāzu rotora mašīnās.

Īsi slēgto rotora tinumu veido rotora ārējās virsmas rievās ievietoti neizolēti vadītāji, kuru gali savstarpēji savienoti īsslēgumā - (saslēgti īsi). Ja rotora tinumu atdalītu no ferromagnētiskā materiāla cilindrveida ķermeņa, tā konstrukcija vizuāli līdzinātos vāveres ratam. Tāpēc pieņemts teikt, ka īsi slēgtajiem asinhronajiem motoriem ir vāveres rata tipa rotora tinums.

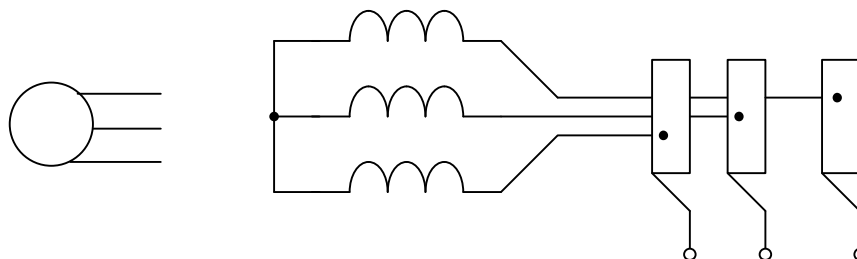
To izgatavo ar liešanas metodi. Tas ir konstruktīvi vienkāršs, darbā izturīgs un drošs. Īsi slēgta asinhronā motora rotora grafiskais apzīmējums ir aplis ar divreiz mazāku diametru kā statoram skat. 49. att.. Atsevišķos gadījumos šī apla iekšpusē var shematiski attēlot arī īsi slēgto rotora tinumu.



49. attēls. Asinhronā motora rotora elektriskā tinuma shematisks attēlojums.

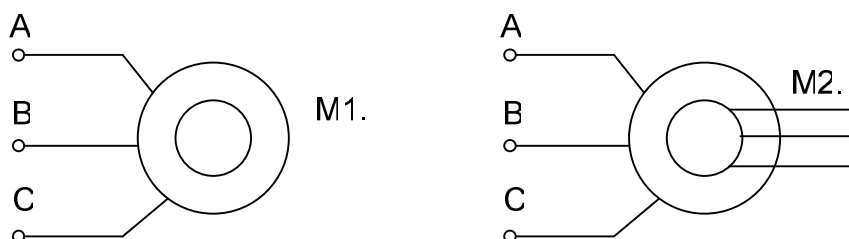
Otrai asinhrono mašīnu grupai – fāzu rotora motoriem - rotora tinumu veido no izolēta vada spolēm kā trīsfāzu tinumu, kas saslēgts zvaigznē skat. 50. att.. Spoļu aktīvās malas nostiprina rotora ķermeņa ārējās virsmas rievās, bet spoļu sākumu galus ar kontaktgredzenu un suku starpniecību, var pieslēgt ārējai elektriskai ķēdei. Šāda

konstrukcija ir ievērojami sarežģītāka un darbā kaprīzāka, bet tā dod iespēju samazināt motora palaišanas strāvu un noteiktā diapazonā regulēt rotora griešanās frekvenci (ātrumu), pie tam nevis lēcienveidīgi, bet nepārtraukti. Fāzu rotora motoriņiem rotora grafiskā apzīmējuma aplim pievieno trīs rotora tinuma izvadus, bet rotora tinumu attēlo kā trīs spoļu zvaigznes slēgumu, kas pievienots kontaktgredzeniem un sukām



50. attēls. Fāzu rotora motora rotora tinuma shematiskais attēlojums.

Asinhrono motoru tipa (markas) apzīmēšanai lieto burtu ciparu simboliku, kas dažādām ražotājfirmām ir atšķirīga. Piemēram, Krievijas elektromašīnbūves rūpnīcās izmanto: A-asinhronais motors; 4A-ceturtais sērijas īsi slēgtais asinhronais motors; 4A...K... - fāzu rotora asinhronais motors;



51. attēls. Trīsfāzu īsi slēgtā un fāzu rotora motoru principiālās shēmas.

Aprakstot shēmas, to elementu apzīmēšanai arī lieto burtu- ciparu simboliku, piem. M-motors, M1., M2. – pirmais, otrais motors un tml. skat. 51. att..

Darbības princips.

Asinhronā motora darbības pamatā ir statorā rotējošā magnētiskā lauka mijiedarbība ar šī lauka inducēto strāvu rotora tinumā. Ja rotora griešanās frekvence (ātrums) n_2 ir mazāka par sinhrono – $n_2 < n_1$, šīs mijiedarbības radītais griezes moments ir vērsts magnētiskā lauka griešanās virzienā. Tātad rotors griežas lēnāk par magnētisko lauku, t.i., asinhroni (no tā arī motora nosaukums), bet tajā pašā virzienā kā magnētiskais lauks. Šo ātrumu starpību raksturo slīdes s jēdziens

$$s = (n_1 - n_2)/n_1 \quad (55)$$

Tieši slīde nosaka visu elektromagnētisko procesu intensitāti asinhronā motorā – arī momenta M vērtību. Funkciju $M = f(s)$ sauc par asinhronā motora mehānisko raksturlīkni. Tā dod iespēju aprēķināt jaudu P_2 , ko attīsta motora rotors (vārpsta).

$$M_2 = 9550 P_2 / n_2, \quad N_m \quad \text{vai} \quad P_2 = M_2 n_2 / 9550, \text{ kW}, \quad (56)$$

ja n - apgr/min;

Lai asinhronais motors attīstītu šādu mehānisko jaudu, enerģijas pārveidošanā neizbēgamo zudumu dēļ, statoram jāpievada lielāka elektriskā jauda P_1 .

$$P_2/P_1 = \eta, \quad (57)$$

kur η – asinhronā motora lietderības koeficients.

Lietderības koeficienta skaitliskā vērtība ir atkarīga no motora konstruktīvām īpatnībām un slodzes pakāpes. Nomināli slogotu 4A sērijas asinhrono motoru lietderības koeficienta skaitliskās vērtības ir apm. 80 %.

Palaišana.

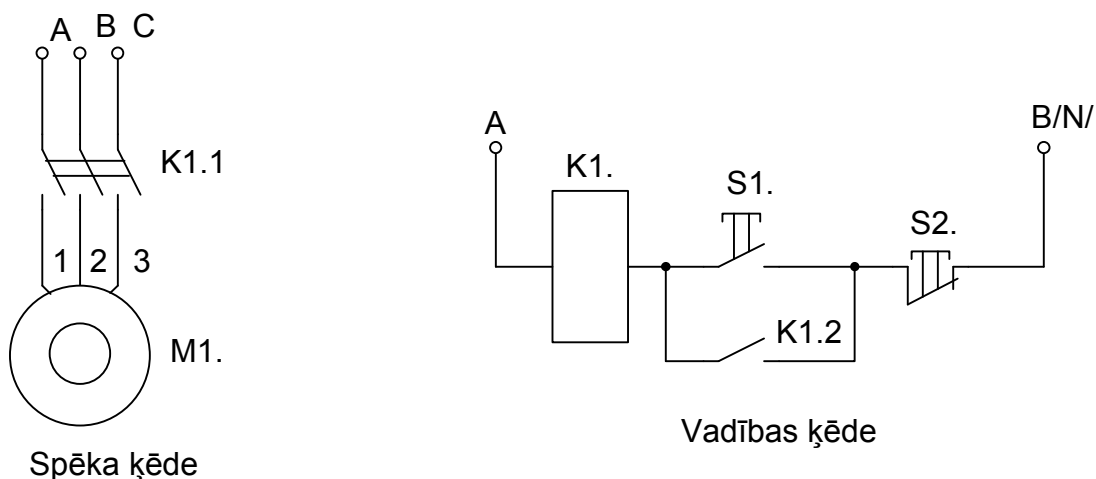
Asinhronā motora vienkāršākais palaišanas paņēmieni ir t.s., tiešā palaišana – zvaigznē vai trīsstūrī saslēgtu asinhronā motora statora tinumu tieši pieslēdz elektrotīklam, izpildot nosacījumu $U_{tīkla} = U_N$. U_N – motora nominālais spriegums, pie kam $U_{NY} > U_{N\Delta}$. Paņēmieni ir ļoti vienkārši, bet tam ir būtisks trūkums – lielas palaišanas strāvas I_p . Aptuvenai palaišanas strāvu noteikšanai var izmantot sakarību $I_p \approx 5 I_N$. Precīziem aprēķiniem nepieciešams kataloga lielums, t.s., palaišanas strāvu daudzkārtņi I_p/I_N . Palaišanas strāvu aprēķinu un mērījumus pārskatāmi var sakārtot tabulā.

Mērījumu tabula asinhronā motora palaišanas strāvu noteikšanai

Statora Fāzu Slēgums	Tīkla U, V	I_p , A (orientējoši)	I_p , A (mērījumi)
Y	380		
Δ	220		
Y	220		

Pieslēdzot elektroiekārtu tīklam, elektriskās ķēdes saslēgšanai un pārtraukšanai var izmantot dažādas komutācijas iekārtas: svirslēdžus, paketslēdžus, palaišanas automātus, elektromagnētiskos kontaktorus, magnētiskos palaidējus un tml... Divu pēdējo gadījumā šo iekārtu kustīgo daļu, kas saslēdz elektrisko ķēdi darbina elektromagnēts, bet to vada ar speciālu slēdžu (vadības pogu) palīdzību. Elektriskās ķēdes daļu, kas elektrotīklam pieslēdz elektromotoru sauc par spēka ķēdi. Tajā plūst stipra strāva, kuras vērtību nosaka elektromotora jauda. To elektriskās ķēdes daļu, kas ietver elektromagnētu, tā vadības elementus un nereti arī signalizācijas iekārtas sauc par vadības ķēdi. Strāvas vērtības vadības ķēdē ir nelielas, jo elektroenerģijas patērētāji tajā ir mazjaudīgi. Kaut gan spēka un vadības ķēdes darbojas saistīti, elektriskās shēmas tām parasti uzdod atdalīti. Skat. 52. att.

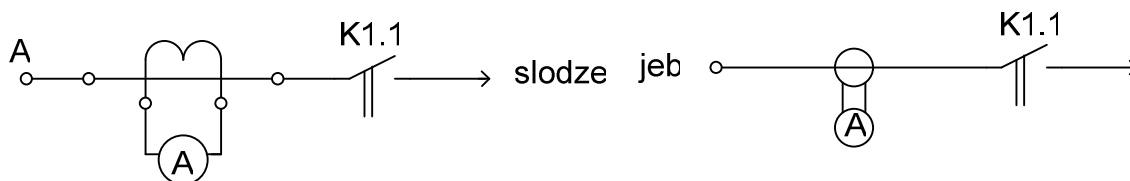
Lai izprastu un aprakstītu (analizētu) šādu savstarpēji formāli atdalītu elektrisko shēmu darbību, to sastāvdaļu apzīmēšanai lieto burtu ciparu simboliku, izvietojot to ar punktiem atdalītās trīs pozīcijās. Pirmā pozīcija – iekārtas nosaukuma apzīmējuma burts un tās kārtas numurs apskatāmajā shēmā; otrā pozīcija – skaitlis, kas norāda dotās iekārtas elementa kārtas numuru; trešā pozīcija – dotā elementa uzdevuma, funkcijas apzīmējuma burts. Piem. K2.05.S – otrā kontaktora piektais kontakts, kura uzdevums ir ieslēgt/izslēgt signalizācijas iekārtu.



52. attēls. Trīsfāzu asinhronā motora tiešas palaišanas spēka un vadības elektrisko ķēžu principiālās shēmas.

Saslēdzošā palīgkontakta K1.2 uzdevums ir bloķēt palaišanas pogu, t.i. nodrošināt K1 barošanu, kad palaišanas pogu SI pēc motora palaišanas atbrīvo un tā pārtrauc elektrisko ķēdi skat. 52. att..

Lai izmērītu palaišanas strāvas, jānobloķē rotors – $n_2 = 0$ un atbilstoši strāvu orientējošam aprēķinam, jāsaslēdz mērķēde – A, B vai C fāzē caur strāvas transformatoru jāieslēdz ampērmetrs skat. 53. att..

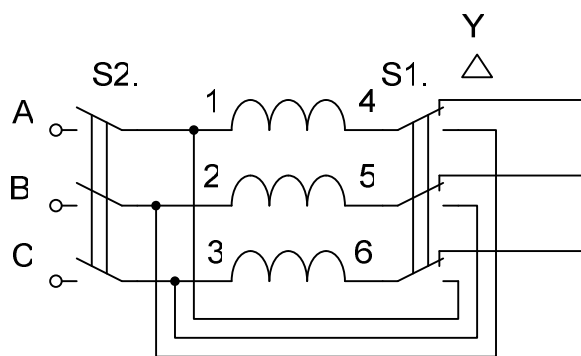


53. attēls. Shēmas asinhronā motora palaišanas strāvu mērīšanai.

Efektīvs paņēmieni palaišanas strāvu samazināšanai ir palaišana ar pazeminātu spriegumu (Tas gan vienlaicīgi samazina palaišanas momentu). Šādu palaišanu var realizēt ar dažādiem paņēmieniem, piem. palaišanas laikā pārslēdzot statora tinumu no trīsstūra slēguma zvaigznes slēgumā. Teorētiski tas I_p samazina trīs reizes, jo $U_Y / U_{\Delta} = \sqrt{3}$, t.i. U samazinās $\sqrt{3}$ reizes, bet, pārslēdzot statora tinumu no trīsstūra slēguma zvaigznē, $Z_{\Delta} / Z_Y = 1/\sqrt{3}$, t.i., slēguma starpfāzu pretestība pieaug $\sqrt{3}$ reizes. Tātad saskaņā ar Oma likumu

$$I_{pY220} = \frac{1}{3} I_{p\Delta220} . \quad (58)$$

Šādas palaišanas realizēšanai nepieciešams speciāls Δ un Y pārslēdzis- Δ un Y slēgumu komutēšanas slēdzis. Tas var būt gan trīsfāzu trīspozīciju ($0-Y-\Delta$) svirslēdzis, gan valču tipa slēdzis skat. 54. att.. Pārslēgšanu var realizēt arī ar elektromagnētiskajiem kontaktoriem un citiem paņēmieniem.



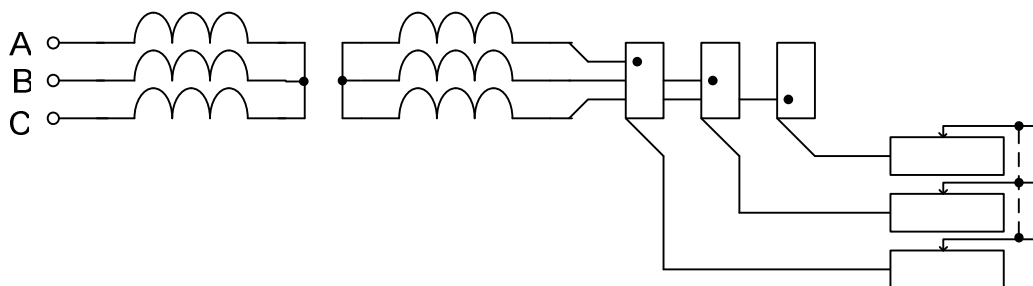
54. attēls. Shēma asinhronā motora palaišanai, pārslēdzot statora tinumu no zvaigznes slēguma trīsstūra slēgumā.

Smagos palaišanas apstākļos, kad nepieciešams liels asinhronā motora palaišanas moments, var izmantot palaišanu ar palielinātu slīdi. Šādā gadījumā jāizmanto fāzu rotora motors, kura rotora ķēdē jāieslēdz aktīva pretestība - reostats. Šis paņēmieni nodrošina vienlaicīgu palaišanas strāvas samazināšanu un palaišanas momenta palielināšanu. Iespējams panākt, lai palaišanas sākuma momentā, kad $n_2=0$ un $s=1$, palaišanas moments būtu maksimālais.

Šis nosacījums izpildās, ja

$$r_{\text{reostata}} = x_2 - r_2 \quad (59)$$

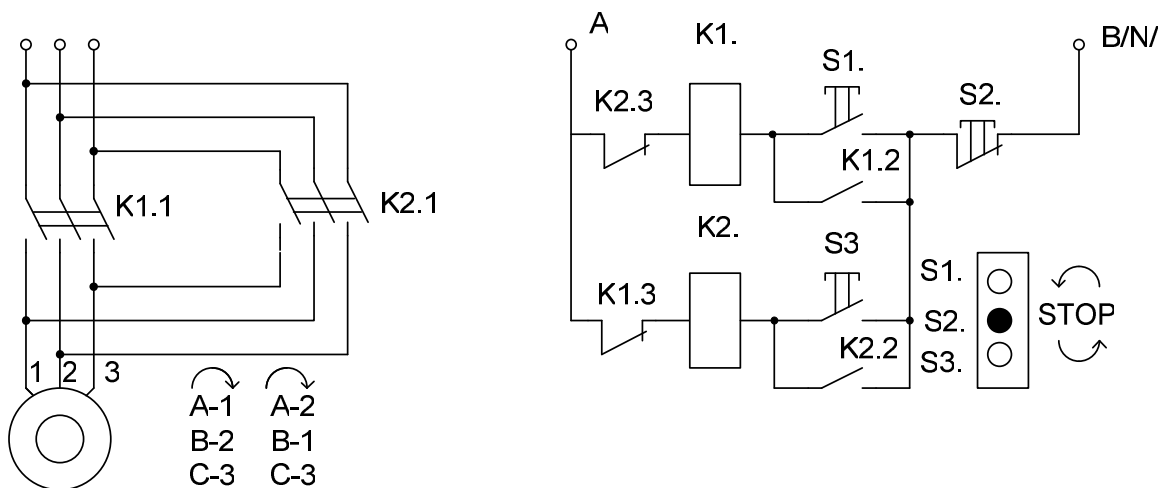
Parasti reostata fāzu pretestību izvēlas 8 ...10 reizes lielāku par rotora tinuma fāzes pretestību skat. 55.att..



55. attēls. Palaišanas reostata pieslēgšanas shēma fāzu rotoram.

Reversēšana

Trīsfāzu asinhronā motora rotora griešanās virziens ir tāds pats kāds ir statora radītajam rotējošajam magnētiskajam laukam. Bet tā virzienu nosaka fāzu secība – kārtība kādā ABC fāzēs seko vienādas vērtības momentālās strāvas vai spriegumi, piem., nulles vērtības vai vienāda nosaukuma ekstremālās vērtības. Samainot vietām jebkurus divus statora tinuma pieslēguma līnijas vadus, šo secību un tātad arī rotora griešanās virzienu var mainīt. Atbilstošu spēka ķēdes komutāciju var izdarīt arī ar diviem elektromagnētiskajiem kontaktoriem. Reversīvajiem kontaktoriem, lai novērstu iespēju vienlaicīgi nostrādāt abām kontaktu grupām K1.1 un K2.1, iekārtota mehāniska bloķēšana – viens elektromagnēts, nostrādājot, ar sviru sistēmas palīdzību nobloķē otra elektromagnēta enkura kustības iespēju. Motoru reversējot, ar parastajiem kontaktoriem, skat. 56.att., jānodrošina to savstarpēja elektriska bloķēšana – atslēdzotie palīgkontakti K1.3 un K2.3 vadības ķēdē, vienam konatktoram nostrādājot, otra kontaktora ķēdē rada papildus pārtraukumu, kas neļauj ķēdi noslēgt par palaišanas pogu S1 vai S3 palīdzību.



56. attēls. Asinhronā motora reversēšanas shēmas

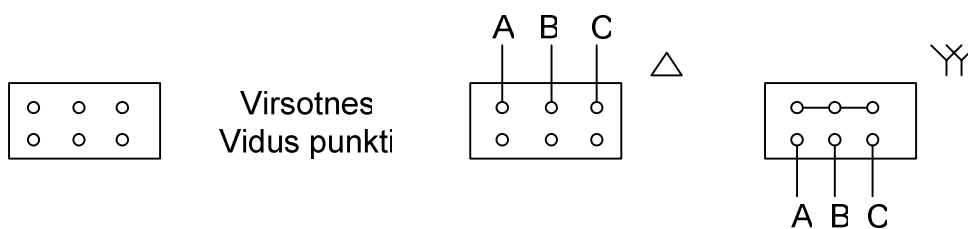
Ātruma regulēšana

Trīsfāzu asinhronā motora rotora griešanās frekvenci (ātrumu) n_2 nosaka sinhronais ātrums $n_1 = 60f/p$. Pie tam $n_1 > n_2$. Tātad n_2 var regulēt:

- - mainot frekvenci; nepieciešams frekvenču regulators;
- - mainot p ; regulēšana lēcienveidīga, jo p iespējams tikai vesels skaitlis;
- - mainot slīdi s ; nepieciešams fāzu rotora motors, regulēšana nepārtraukta, bet no motora noslogojuma atkarīga un neekonomiska.

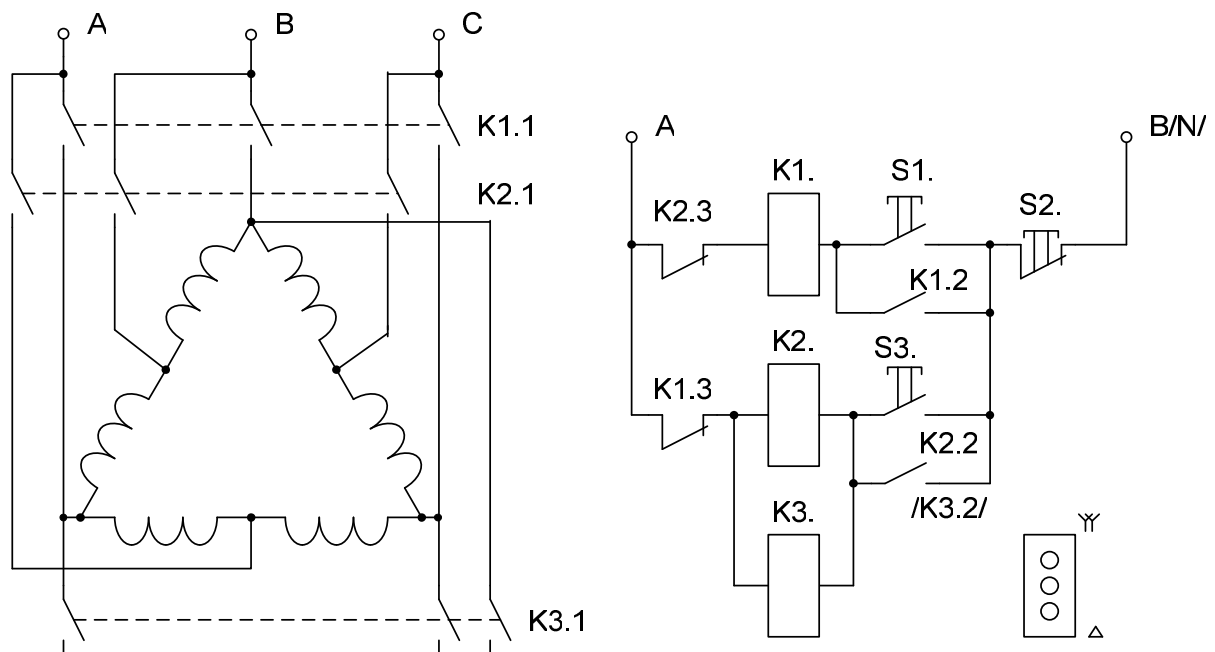
Ražo 2, 3 un 4 ātrumu trīsfāzu asinhronos motorus. Tiem tipa apzīmējumā pēdējais skaitlis ir daļu skaitlis – 2,3 un 4 daļīgs.

Šiem motoriem statora tinums ir pārslēdzams dažādām p vērtībām. Divātrumu motoriem lieto, piem. trīsstūra un dubultās zvaigznes (divas paralēli saslēgtas zvaigznes - YY) slēgumu. Tādā gadījumā statora tinums ir saslēgts trīsstūrī un no motora korpusa izvadītas šī trīsstūra virsotnes un fāzu viduspunkti. Atbilstošos šo spaiļu izvietojums uz kontaktplāksnītes nodrošina ērtu Δ un YY komutāciju. Skat. 57. att.



57. attēls. Divātrumu asinhronā motora statora tinuma galu izvietojs kontaktplāksnītē un trīsstūra / zvaigznes slēgumu montāžas shēmas.

Operatīvu Δ un YY pārslēgšanu var realizēt ar elektromagnētiskajiem kontaktoriem skat. 58. att..



58. attēls. Divātrumu asinhronā motora spēka un vadības principiālās shēmas.

Vadības dublēšana.

Elektromagnētiskie kontaktori ļauj ar vienkāršiem paņēmieniem dublēt (arī daudzkārstot) vadību. Šajā nolūkā vadības ķēdē vajadzīgais skaits palaišanas pogas jāslēdz paralēli, bet stop pogas virknē.

Vienfāzu režīms.

Ja trīsfāzu asinhronā motora darba laikā kādā no tīkla A,B,C fāzēm pazūd spriegums, motors turpina darboties vienfāzu režīmā. Šim režīmam raksturīgi, ka motora jauda samazinās par 1/3. Tas nozīmē, ka pareizi izvēlēts motors (tā nominālā jauda ir nedaudz lielāka par slodzes jaudu) turpina darboties pārslodzes režīmā. Ja aizsardzības iekārta nav precīzi noregulēta – motors pārkarst, pat “sadeg” un tas jānomaina.

Tomēr, pareizi ekspluatējot, jebkuru trīsfāzu asinhrono motoru var ilgstoši ekspluatēt arī vienfāzu režīmā. Tikai jāatceras, ka vienfāzu režīmā tā palaišanas moments $M_p = 0$ un, motoram darbojoties ar atvienotu vienas fāzes tinumu, jauda $P_{\text{vienfāzu}} = 0,6 P_{\text{Ntrīsfāzu}}$. Pieslēgšanas shēmu vienfāzes tīklam papildinot ar darba kondensatoriem, jaudu var palielināt līdz $P_{\text{vienfāzu}} = 0,8 P_{\text{Ntrīsfāzu}}$. Darba kondensatora kapacitāte

$$C_d = 4800 I_N / U_N, \mu F, A, V. \quad (60)$$

Par cik $M_p = 0$, trīsfāzu motoru vienfāzu palaišanai nepieciešami speciāli palaišanas paņēmieni. Trīsfāzu asinhrono motoru vienfāzu režīmā var palaist trejādi: ar mehānisku iegriešanu un elektriski – daļu statora tinumu izmantojot palaišanai ar fāzē nobīdītu palaišanas strāvu. Šo fāzu nobīdi var nodrošināt ar palaišanas kondensatora C vai rezistora r palīdzību. Nepieciešamās C un r vērtības nosaka tīkla spriegums un motora jauda.

Palaišanas kondensatora kapacitāte 2,5 ... 3 reizes pārsniedz C_d .

Kondensatoru lietošana tomēr ir ierobežota, jo nepieciešami ļoti lielas kapacitātes kondensatori - apmēram 10 μF uz katrām motora jaudas 100 W.
 Palaišanas rezistora elektrisko pretestību aprēķina:

$$r = \frac{0,7\eta_N \cos \varphi_N}{P_N (I_{pal} / I_N)} , \Omega \quad (61)$$

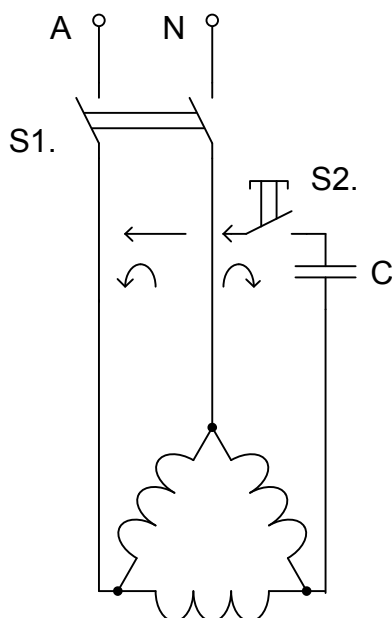
kur

η_N – lietderības koeficients procentos,

P_N – jauda, W

I_{pal}/I_N – palaišanas strāvas daudzkārtnis.

Vienfāzu režīmā strādājoša asinhronā motora rotora griešanās virzienu nosaka vai nu mehāniskas iegriešanas virziens motoru palaižot vai tas, kuram līnijas vadam A vai N pieslēdz palaišanas C vai r. Skat. 59. att..



59. attēls. Trīsfāzu asinhronā motora vienfāzu palaišanas shēma.

9.7. Līdzstrāvas mašīnu pētīšana

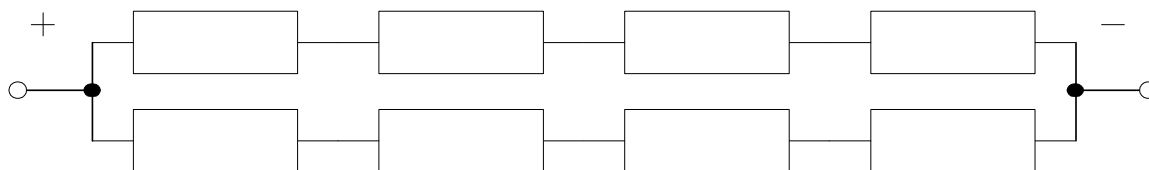
Līdzstrāvas mašīnu apgriežamības princips nosaka, ka tos bez konstruktīvām izmaiņām var darbināt gan ģenerators gan motora režīmā. (Šo principu 1833. gadā formulējis E.Lencs).

Līdzstrāvas mašīnas nodrošina elektriskās enerģijas pārveidošanu mehāniskajā un mehāniskās enerģijas pārveidošanu elektriskajā ar nemainīga virziena strāvas – līdzstrāvas palīdzību. (B.Jakobi 1834.g. motors). Līdzstrāvas mašīnu galvenās sastāvdaļas ir:

- stators, pie mazām un vidējām jaudām, visbiežāk induktors, kura uzdevums ir inducēt (radīt) magnētisko lauku. Parasti šim nolūkam izmanto elektromagnētus.
- rotors, pie mazām un vidējām jaudām visbiežāk enkurs, kurā ģenerators režīmā inducējas EDS, bet motora režīmā attīstās griezes moments.

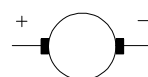
- kolektors un sukuks; mehānisks taisngriezis, kas ģeneratora režīmā nodrošina strāvas un sprieguma taisnošanas procesu, bet motora režīmā – pretējo procesu, darbojoties kā mehānisks invertors.

Kolektoru veido savstarpēji un no rotora ferromagnētiskā ķermeņa izolētas vara plāksnītes (lamēles), kurām ir cilindriska virsma. Katrai no tām ir pieslēgts vienas rotora tinuma sekcijas beigu un blakussekcijas sākuma gals. Tā rotora tinuma sekcijas ar kolektora plāksnīšu starpniecību veido noslēgtu elektrisko ķēdi – kontūru. Ar suku palīdzību, kas rotora elektrisko kontūru sadala divos paralēlos zarus, to var pieslēgt ārējai elektriskai ķēdei. Ja katru rotora tinuma sekciju apzīmē kā rezistoru, tad rotora tinuma ekvivalentā principiālā elektriskā shēma ir:



57. attēls. Līdzstrāvas mašīnas rotora ekvivalentā shēma

Pieņemtais grafiskais apzīmējums ir vienkāršāks:



Rotoram griežoties, zem sukām slīd kolektora plāksnītes, bet rotora tinuma sekcijas pārslēdzas no viena slēguma paralēlā zara otrā. Šo procesu sauc par komutācijas procesu līdzstrāvas mašīnās.

Induktors magnētisko lauku visbiežāk ģenerē ar elektromagnētu palīdzību. Elektromagnētu tinumu – spoles (veidojot mašīnas elektrisko ķēdi), ar enkura tinumu var saslēgt dažādi, piem., gan virknes, gan paralēlajā slēgumā. Atbilstoši paredzētajam slēgumam, spoļu parametri izvēlēti tā, lai nodrošinātu augstāku mašīnas lietderības koeficientu:

- paralēlam slēgumam – spolē daudz relatīvi maza šķērsriezuma vijumi, šī tinuma pretestība daži simti omi un ierosmes strāva tajā $I_{ierosmes} \approx 5\% I_N$, bet grafiskais apzīmējums – četru pusloku spole .
- virknes slēgumam – spolē daži nosacīti liela šķērsriezuma vijumi, šī tinuma pretestība daži omi, $I_{ierosmes} = I_{slodzes}$, bet grafiskais apzīmējums – trīs pusloku spole .

Līdzstrāvas mašīnām ar jaudu virs 1kW parasti bez galvenajiem magnētiskajiem poliēm ir arī papildus poli. Šo elektromagnētu tinuma grafiskai apzīmēšanai lieto divu pusloku spoles simbolu. Skat. 58. att.



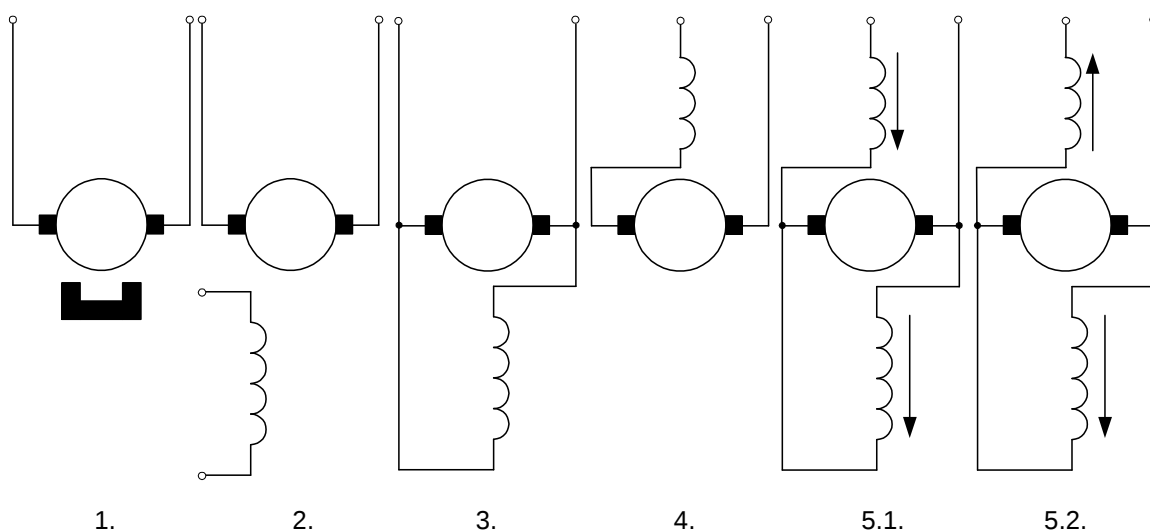
58. attēls. Līdzstrāvas mašīnu ierosmes tinumu grafiskie apzīmējumi.

Atsevišķā grupā jāizdala mašīnas, kurām induktora magnētisko lauku nodrošina pastāvīgie magnēti (1) Skat 59. att.

Līdzstrāvas mašīnas, kurās induktora tinumu barošanai izmanto ārēju – no dotā mašīnā notiekošajiem procesiem neatkarīgu – enerģijas avotu, sauc par neatkarīgas ierosmes mašīnām (2)

Līdzstrāvas mašīnas, kurās induktora un enkura elektriskās ķēdes ir elektriski saistītas, kurās, piem., ģenerators režīmā induktora tinumu pieslēdz barošanai no enkura EDS, sauc par pašierosmes mašīnām.

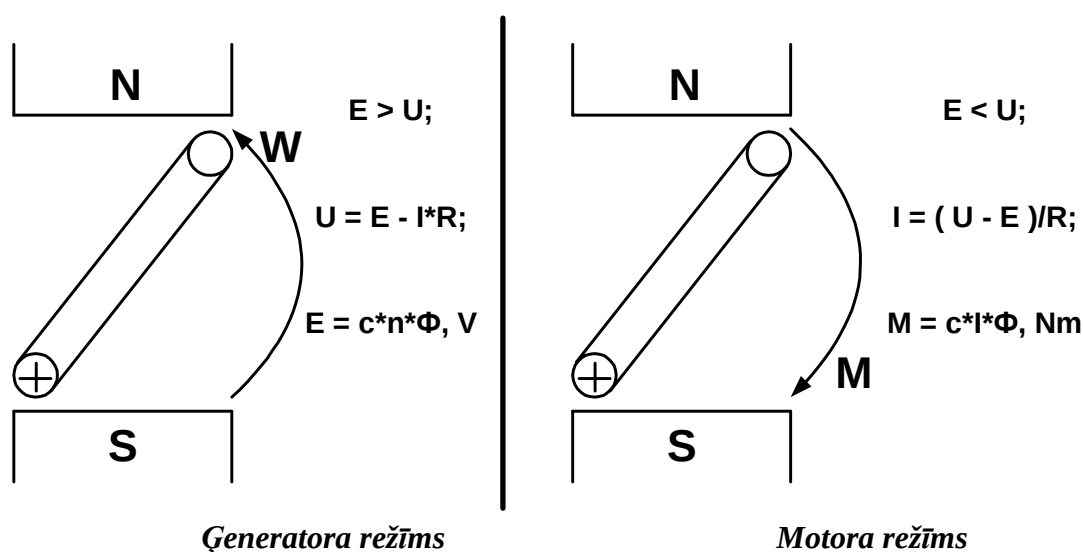
Atkarībā no induktora un enkura slēguma veida pašierosmes mašīnas iedala: paralēlas (3), virknes (4) un jauktas (5) ierosmes mašīnās. Visbiežāk izmanto jauktas ierosmes mašīnas. Tajās galveno magnētisko plūsmu ģenerē paralēlas ierosmes tinums un to papildina virknes ierosme. Jauktā ierosmē iespējams abu ierosmes tinumu līdzslēgums, kad spoļu magnētiskie lauki ir vienā virzienā vērsti - kompaundmašīnas (5.1), un pret slēgums ar pretēji vēršiem magnētiskajiem laukiem - pretkompaundmašīnas (5.2.).



59. attēls. Dažādas ierosmes līdzstrāvas mašīnu principiālās shēmas.

Līdzstrāvas mašīnu darbības pamatā ir elektromagnētiskās indukcijas un elektromagnētiskā spēka parādības. Darbības principu gan ģenerators, gan motora režīmā uzskatāmi parāda divpolīgais mašīnas modelis. Skat. 60 att.

Nodrošinot ģenerators rotora mehānisku kustību – rotāciju, tā tinumā – enkurā – inducējas EDS (EDS virzienu nosaka labās rokas likums).



60. attēls. Līdzstrāvas ģenerators un motora darbības principu skaidrojoši modeļi un likumsakarības.

Nodrošinot līdzsprieguma pieslēgumu rotoram, kas atrodas magnētiskā laukā, attīstās rotoram pielikts griezes moments (spēka virzienu nosaka kreisās rokas likums).

Gan līdzstrāvas ģeneratoriem, gan motoriem ir savas raksturīgas īpašības, kuras apraksta šo mašīnu parametru savstarpējās sakarības (likumības). Šo sakarību analītiskās formas parasti ir tik sarežģītas, ka praktiskai lietošanai ir neērtas. Parametru savstarpējās sakarības (likumus) var uzdot – aprakstīt gan analītiskā, gan grafiskā, gan vārdiskā, gan tabulu formā. Šīs sakarības pieņemts saukt par raksturlīknēm. Teorētiski un praktiski nozīmīgākajām raksturlīknēm ir īpaši nosaukumi. Tā piem.,

ģeneratoriem nozīmīgākās raksturlīknes ir:

- ārējā raksturlīkne $U = f(I_{\text{slodzes}})$, pie n - konstanta un U_{ier} - konstanta;
- tukšgaitas raksturlīkne $U = f(I_{\text{ierosmes}})$, pie n - konstanta un $I_{\text{slodzes}} = 0$.

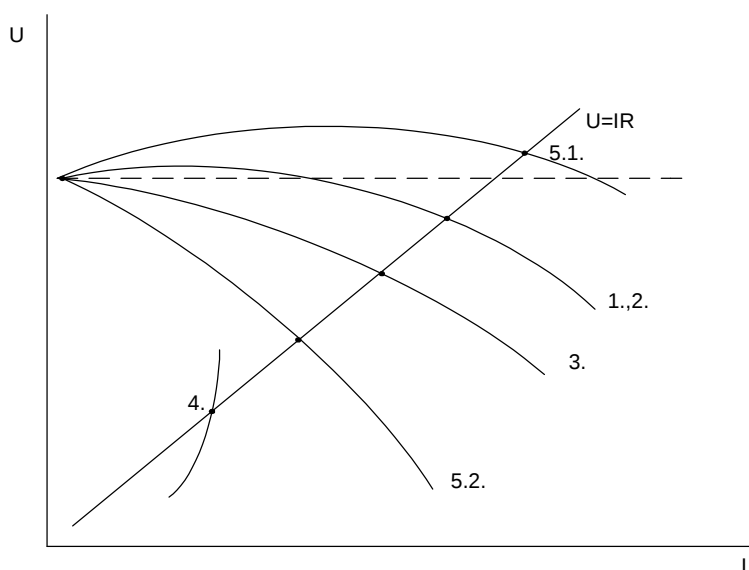
Nozīmīgākās raksturlīknes motoriem ir:

- mehāniskā raksturlīkne $M = f(n_2)$, pie U - konstanta un I_{ier} - konstanta;
- regulēšanas raksturlīkne $I_{\text{ier}} = f(I_{\text{sl}})$ pie n - konstanta un U - konstanta.

Raksturlīknes, protams, ir atšķirīgas katrai no atšķirīgas ierosmes mašīnām.

Piemēram, līdzstrāvas ģeneratora ārējo raksturlīkni apraksta Oma likums enerģijas avotam $U = E - I r_{\text{n}}$. Tas ļauj izskaidrot dažādas ierosmes ģeneratoru darbības īpatnības.

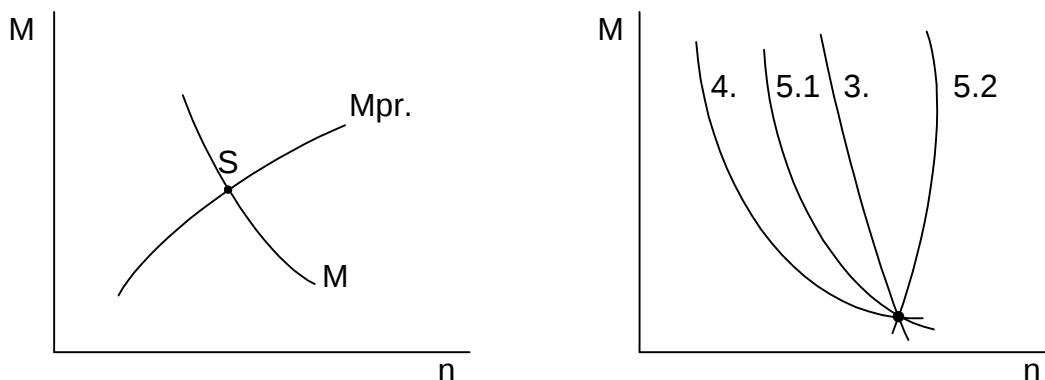
Atrisinot šo vienādojumu kopā ar elektroenerģijas patērētāja voltampēru raksturlīkni $U = IR$ (Oma likums patērētājam, ja $I = 0$) var noteikt darba režīmu un tam raksturīgos parametrus. Skat 61. att.



61. attēls. Dažādas ierosmes līdzstrāvas ģeneratoru ārējās raksturlīknes

Līdzstrāvas motoriem stabilu darbību – nemainīgu griešanās frekvenci /ātrumu/ nosaka motora elektromehāniskā griezes momenta M un pretmomenta M_{pr} attiecība. Matemātiski darbības stabilitāti izsaka sakarība $dM_{\text{pr}}/dn \geq dM/dn$

Šīs nevienādības robežgadījuma $M = M_{\text{pr}}$ atrisinājums ir raksturlīkņu krustpunkts, t.s., darba punkts (S).



62. attēls. Līdzstrāvas motoru mehāniskās raksturlīknes.

Līdzstrāvas motora elektromehāniskais $M = f(n)$ ir atkarīgs no

$$M = C I_e \Phi, \text{ Nm} \quad (62)$$

kur

C - konstante ;

I_e – enkura strāvas, A;

Φ - induktora lietderīgā magnētiskā plūsma, Wb.

Praksē motora momenta M_2 noteikšanai lieto citu formulu.

$$M_2 = 9550 P_2 / n_2, \text{ Nm}, \quad (63)$$

kur P_2 – rotora attīstītā jauda, kas uzrādīta motora tehniskajā pasē, kW ;

n_2 – rotora vārpstas griešanās frekvence, ātrums, apgr/min. ;

Indekss “2” norāda, ka visi lielumi attiecināmi uz rotoru – (enkuru).

Saskaņā ar Oma likumu patērētajam strāva līdzstrāvas motora enkūrā

$$I_e = (U - E) / R_e, \text{ A} \quad (64)$$

Motoru palaižot, $n_2 = 0$, tāpēc arī pretelektrodzinējspēks $E = 0$ un

$$I_{e \text{ pal}} = U / R_e, \text{ A} \quad (65)$$

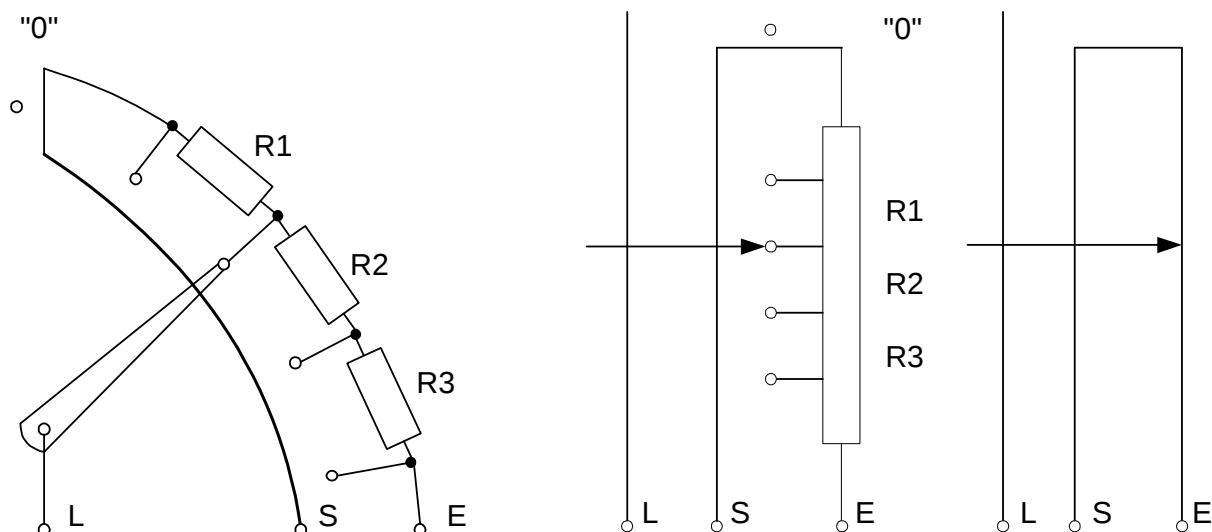
Tā kā R_e ir neliela – daži omi, tad $I_{e \text{ pal}}$ sasniedz ļoti lielu vērtību – $10 I_N$ un vairāk.

Līdzstrāvas motora palaišana

Lielās palaišanas strāvas dēļ līdzstrāvas motoru palaišanai nepieciešams palaišanas reostats. Ja nav speciālu nosacījumu, palaišanas reostatu izvēlas tā, lai tas samazinātu palaišanas strāvas līdz $I_{e \text{ pal}} = (1,5 \dots 2,0) I_N$. Ja tehnoloģiskā iekārta nosaka palaišanas momenta robežas $M_{p \text{ max}}$ un $M_{p \text{ min}}$, tad palaišanas reostata pakāpes, to skaitu un katras pakāpes pretestību speciāli jāaprēķina. Parasti šādus reostatus izveido ar 4 - 7 pakāpēm, tā, lai $I_{p \text{ max}} = (1,75 - 1,5) I_N$ un $I_{p \text{ min}} = (1,5 - 1,1) I_N$. Palaišanas reostata siltumizturību aprēķina pēc vidējās palaišanas strāvas

$$I_{p, \text{ vid}} = \sqrt{I_{p \text{ max}} I_{p \text{ min}}} = (1,5 \dots 1,3) I_N \quad (66)$$

Lai, izmantojot palaišanas reostatu, motorā nodrošinātu nominālo magnētisko plūsmu paralēlās ierosmes tinumam caur palaišanas reostata slīdkontaktu pievada nominālo spriegumu. Skat. 63. att.



63. attēls. Līdzstrāvas vektora palaišanas reostata grafiskais attēlojums.

Līdzstrāvas motora reversēšana

Lai līdzstrāvas motoru reversētu (mainītu momenta zīmi, virzienu), jāmaina enkura strāvas vai induktora magnētiskās plūsmas zīme – virziens. Parasti maina enkura strāvas virzienu, jo otrs paņēmieni, izslēdzot motoru, var radīt nepieļaujami lielu pašindukcijas EDS, kas var caursist izolāciju.

Ātruma regulēšana.

Apvienojot EDS vienādojumu ar Oma likumu patērētājam, iegūst sakarību līdzstrāvas motora rotora griešanās ātruma noteikšanai.

$$n = (U - I_e r_e) / c\Phi \quad , \text{ apgr./min} \quad (67)$$

Tātad līdzstrāvas motora rotora griešanās ātrums ir lineārā, tieši proporcionālā atkarībā no sprieguma, apgriezti proporcionālā atkarībā no magnētiskās plūsmas, kuru nosaka ierosmes veids. Ar magnētiskās plūsmas maiņu – regulēšanas reostatu ierosmes ķēdē – var ekonomiski un vienmērīgi palielināt ātrumu 1,5 - 3,0 reizes virs nominālās vērtības. Griešanās ātrumu var regulēt (samazināt), arī palielinot rotora ķēdes pretestību ($r_e + r_r$) ar regulēšanas reostatu rotora ķēdē, tomēr šis paņēmieni nav ekonomisks.

10. LIETIŠKĀS ELEKTROTEHNIKAS PRAKTIKUMA DARBU TEMATIKA UN UZDEVUMI

10.1. Elektrisko lielumu mērīšana vienfāzu maiņstrāvas ķēdē

Darba uzdevums

Izmērīt – 2 h :

1. Strāvu kvēlspuldžu grupai vienlaicīgi ar laboratorijas un tehnisko ampērmetriem.
2. Deviņu kvēlspuldžu strāvu, ieslēdzot ampērmetru caur strāvas mērtransformatoru (paplašinot ampērmetra mēr diapazonu).
3. Tīkla spriegumu.
4. Kvēlspuldžu grupas aktīvo jaudu ar laboratorijas vatmetru.
5. Kvēlspuldžu grupas patērēto elektroenerģiju brīvi izvēlētā laikā, piem., 10, 15, 20 vai 30 minūtēs.

Visos mērījumos ievērot šādu darba secību:

1. Konkretizēt mērīšanas uzdevumu:
 - noteikt orientējošu mērāmā lieluma skaitlisko vērtību un tai atbilstošu nepieciešamo mēr diapazonu mērinstrumentam;
 - formulēt prasības mērījuma precizitātei;
 - izvēlēties (sastādīt) konkrētu mērīšanas shēmu;
2. Saslēgt mērīšanas ķēdi (shēmu) un pārbaudīt tās darbību (vai mērinstrumenti darbojas, vai elektrisko kontaktu vietas – vadu savienojumi – nedzirksteļo, vai nav pārslodze – tās robežu nosaka lielumu nominālās vērtības. Ja saslēgtā ķēde nedarbojas, ļoti iespējams bojāts kāds no montāžas vadiem).
3. Izdarīt vajadzīgo mērījumu un veikt nepieciešamos aprēķinus.
4. Pārbaudīt (novērtēt) mērīšanas rezultātu, salīdzinot iegūto mērskaitli ar aprēķināto orientējošu mērāmā lieluma skaitlisko vērtību. Pieļaujamā nesakritība $\pm 10\%$.

Katra darba uzdevuma veikšanai izdarīt vienu mērījumu. Darba pierakstus katram studentam individuāli veidot tā, lai katru mērījumu varētu atkārtot, aprēķinus un to algoritmus pārbaudīt. Tāpēc jāuzrāda: mērinstrumentu tips, Nr. un raksturlielumi, izejas dati - tiešie mērinstrumentu nolasījumi, aprēķina algoritms, skaitļošanas izteiksmes, rezultāts un tā vērtējums.

Literatūra

J. Zolbergs. Vispārīgā elektrotehnika. Zvaigzne, R. 1974. 340.lpp. 12., (13.) 14.-1., 2., 5., 8. nodaļas un to paragrāfi.

J.Laganovskis. Elektrotehnika. Zvaigzne, R. 1985. 280.lpp. 2-1., 2., 3., 4., 5. nodaļas paragrāfi.

V.Popovs, S.Nikolajevs. Elektrotehnika. Zvaigzne, R. 1972. 582.lpp. 7.-1, 2., 3., 4., 5., 6. nodaļas paragrāfi.

10.2. Zvaigznes un trīsstūra slēguma pētīšana

Darba uzdevums

1. Zvaigznes slēgums – 1h mērījumiem

- 1.1. Saslēgt kvēlspuldžu grupas (pa trīs kvēlspuldzēm) zvaigznes slēgumā un pieslēgt to tīklam, paredzot:
 - ampērmetrus strāvu mērīšanai visās trīs fāzēs un neitrālē;
 - voltmetru līniju un fāzu spriegumu mērīšanai (ar tausta paņēmieni).
- 1.2. Pārbaudīt shēmas darbību un izdarīt mērījumus simetriskas un nesimetriskas slodzes gadījumiem četrvadu un trīsvadu tīklā.
- 1.3. Tabulā sakārtotos mērījumus attēlot ar vektoru diagrammām nesimetriskai slodzei četrvadu un trīsvadu tīklā.
- 1.4. Ar vektoru diagrammu palīdzību abiem gadījumiem grafiski aprēķināt fāzu strāvu summu ampēros un salīdzināt to ar mērījumos iegūto strāvu neitrālē. (teorētiski četrvadu tīklam $\Sigma I_f = I_N$, bet trīsvadu tīklam $\Sigma I_f = 0$).
- 1.5. Izpētīt fāzu spriegumu maiņu, mainoties slodzes simetrijai, trīsvadu tīkla gadījumā:
 - izanalizēt, izskaidrot pārsprieguma rašanās iespējas fāzēs;
 - noteikt un ar vektoru diagrammas palīdzību izskaidrot, pamatot iespējamo pārsprieguma maksimumu;
 - izdarīt secinājumus par sekām, kuras izsauc neitrāles pārrāvumus.

2. Trīsstūra slēgums – 1h

- 2.1. Saslēgt kvēlspuldžu grupas (pa trīs kvēlspuldzēm) trīsstūra slēgumā un pieslēgt to tīklam, paredzot:
 - ampērmetrus strāvu mērīšanai vienā līnijas vadā un vienā fāzē;
 - voltmetru līniju un fāzu spriegumu mērīšanai (ar tausta paņēmieni).
- 2.2. Pārbaudīt shēmas darbību un, izdarot mērījumus, pārlicināties, ka simetriskas slodzes gadījumā trīsstūra slēgumā $U = U_f$, bet $I = \sqrt{3} I_f$
- 2.3. Izpētīt divfāzu režīmu (atslēgts viens līnijas vads):
 - izanalizēt, izskaidrot notiekošo (Oma likuma pielietojums);
 - pārbaudīt savu spēju prognozēt izmaiņas.

Literatūra:

- J.Zolbergs. Vispārīgā elektrotehnika. Zvaigzne, R. 1974. 340.lpp. – 7.nodaļa.
J.Laganovskis. Elektrotehnika. Zvaigzne. R.1985. 284.lpp. – 1.-(26. ... 31.)nodaļa.
V.Popovs, S.Nikolajevs. Elektrotehnika. Zvaigzne. R., 1972. 582.lpp. –

10.3. Transformatora pētīšana

Darba uzdevums

Transformatora lietderības koeficients – 1h mērījumiem.

1. Saslēgt vienfāzu transformatora tukšgaitas mēģinājuma shēmu un izmērīt magnētiskos zudumus - P_{mag} .
2. Saslēgt vienfāzu transformatora īslēguma mēģinājuma shēmu un uzņemt elektrisko zudumu līkni - $P_{\text{el}} = f(\beta)$, kur $\beta = I_1 / I_{1N}$.
3. Attēlot grafiski $P_{\text{mag}} = f(\beta)$ un $P_{\text{el}} = f(\beta)$. (Abas funkcijas vienā un tajā pašā koordinātu laukā. Īpašu uzmanību jāpievērš koordinātu asu mēroga –skalu izveidošanai.)
4. Aprēķināt un attēlot grafiski vienu no funkciju saimes $\eta = f(\beta)$ brīvi izvēlētam jaudas koeficientam $\cos\phi$. (Šajā nolūkā iepriekš izveidoto koordinātu lauku papildināt ar η skalu.
5. Veiktā darba kvalitātes pārbaudei izmantot sakarību $\eta - \max$, ja $P_{\text{mag}} = P_{\text{el}}$.

Transformatoru paralēla darbība - 1h.

1. Saslēgt nepieciešamās mērshēmas un izmērīt lielumus, kas nepieciešami vienfāzu transformatoru saderības noteikšanai paralēlam darbam.
2. Noteikt doto vienfāzes transformatoru saderību paralēlam darbam pēc kritērijiem:

$$. k_1 = k_2 \text{ – pieļaujamā kļūda } \pm 0,5\%$$

$$. U_{k1} = U_{k2} \text{ – pieļaujamā kļūda } \pm 10\%,$$

$$\Delta U_{k\%} = (U_{k1} - U_{k2}) * 100 / U_{k\text{vid.}} \leq 10\%, \text{ kur } U_k \text{ – īsslēguma spriegums}$$

$$. S_1 / S_2 < 3, \text{ ja } S_1 > S_2$$

3. Eksperimentāli noteikt doto transformatoru tinumu sākuma un beigu galus.
4. Saslēgt shēmu doto transformatoru paralēlam darbam, izveidojot abiem vienu un to pašu slēguma grupu un paredzot ampērmetrus katra transformatora slodzes un kopējās slodzes strāvas mērīšanai.
5. Veiktā darba kvalitātes pārbaudei izmantot sakarības:

$$I = I_1 + I_2 ; I_1 / I_2 = U_{k2} / U_{k1}$$

Literatūra

- J.Zolbergs. Vispārīgā elektrotehnika. Zvaigzne, R. 1974. – 14.nodaļa.
J.Laganovskis. Elektrotehnika. Zvaigzne. R.1985. – 4. nodaļa.
V.Popovs, S.Nikolajevs. Elektrotehnika

10.4. Asinhronais motors un tā izmantošana

Darba uzdevums

Palaišana – 2h

1. Aprēķināt dotā īsi slēgtā asinhronā motora palaišanas strāvas, ja
 - statora tinums saslēgts zvaigznē – I_{pY}
 - statora tinums saslēgts trīsstūrī – $I_{p\Delta}$
 - statora tinumu pārslēdz no zvaigznes trīsstūrī $I_{pY-\Delta}$
2. Saslēgt un pārbaudīt darbā īsi slēgta asinhronā motora tiešas palaišanas shēmu ar elektromagnētisko kontaktoru.
3. Izmērīt īsi slēgta asinhronā motora palaišanas strāvas (pie nobloķēta rotora - $n_2=0$) un mērījumus salīdzināt ar 1.punktā aprēķinātajām I_p vērtībām.
4. Palaist īsi slēgtu asinhrono motoru, pārslēdzot statora tinumu no zvaigznes trīsstūra slēgumā.

Reversēšana - 1h.

6. Saslēgt un pārbaudīt darbā īsi slēgta asinhronā motora reversēšanas shēmu ar elektromagnētiskajiem kontaktoriem.
7. Dublēt īsi slēgta asinhronā motora reversēšanas vadību.

Vienfāzu režīms – 1h.

6. Pārbaudīt īsi slēgta trīsfāzu asinhronā motora darbību vienfāzu režīmā.
7. Palaist trīsfāzu īsi slēgtu asinhrono motoru vienfāzu režīmā (pārbaudīt abus griešanās virzienus).

Literatūra.

J. Zolbergs. Vispārīgā elektrotehnika. Zvaigzne, R. 1974. 340.lpp. 16. nodaļa.

J.Laganovskis. Elektrotehnika. Zvaigzne, R. 1985. 280.lpp. 6. nodaļa.

V.Popovs, S.Nikolajevs. Elektrotehnika. Zvaigzne, R. 1972. 582.lpp. 10. nodaļa.

10.5. Līdzstrāvas mašīnu darbības īpatnības

Darba uzdevums

1. Uzņemt paralēlas un jauktas ierosmes līdzstrāvas ģeneratoru ārējo raksturlīkni un attēlot tās grafiski.
2. Palaist paralēlas ierosmes līdzstrāvas motoru, izmantojot palaišanas reostatu.
3. Reversēt paralēlas ierosmes līdzstrāvas motoru.
4. Uzzīmēt shēmu paralēlas ierosmes līdzstrāvas motora ātruma regulēšanai, saslēgt to un pārbaudīt tās darbību (trīs ātruma regulēšanas paņēmienus).

Līdzstrāvas ģenerators – 1h mērījumiem

Darba kārtība

1. Līdzstrāvas ģeneratora ārējā raksturlīkne

- 1.1. Pieslēgt tīklam īsi slēgto asinhrono motoru, kas paredzēts līdzstrāvas ģenerators darbināšanai, un pārbaudīt tā darbību.
- 1.2. Saslēgt paralēlas ierosmes ģenerators shēmu un pievienot ģeneratoram tā ražotās elektroenerģijas patērētāju- slodzes reostatu; shēmā paredzēt mērinstrumentus ģenerators sprieguma un slodzes strāvas mērīšanai.
- 1.3. Pārbaudīt shēmas darbību: konstatēt, ka, mainot slodzi – reostata pretstību, mainās mērinstrumentu rādījumi.
- 1.4. Uzņemt raksturlīkni - mainot slodzi, izdarīt mērinstrumentu nolaskījumus un ierakstīt tos tabulā.

I, A											
U, V											

- 1.5. Eksperimentāli iegūtos datus attēlot grafiski $U=f(I_{sl})$ un novērtēt iegūto raksturlīkni salīdzinājumā ar teorētisko.
- 1.6. Saslēgt jauktas ierosmes ģenerators shēmu un turpināt laboratorijas uzdevuma izpildi 1.2 ... 1.5 norādītajā kārtībā.

Līdzstrāvas motors – 1h

2. Līdzstrāvas motora palaišana
 - 2.1. Iepazīties ar dotā palaišanas reostata uzbūvi un darbības principu.
 - 2.2. Saslēgt doto shēmu paralēlas ierosmes līdzstrāvas motora palaišanai, izmantojot palaišanas reostatu un palaist motoru. Noteikt tā rotora griešanās virzienu.
3. Paralēlas ierosmes līdzstrāvas motora reversēšana.
 - 3.1. Izdarīt shēmā vajadzīgās izmaiņas rotora reversēšanai.
 - 3.2. Pārbaudīt shēmas darbību. Konstatēt rotora pretējo griešanās virzienu.
4. Paralēlas ierosmes līdzstrāvas motora rotora frekvences regulēšana.
 - 4.1. Pieslēgt esošo shēmu maināma līdzsprieguma avotam.
 - 4.2. Palaist motoru un regulēt tā apgriezienus, mainot spriegumu. Novērtēt apgriezienu izmaiņu atbilstību teorētiski sagaidāmajai.
 - 4.3. Papildināt esošo shēmu ar regulēšanas reostatiem ierosmes un enkura ķēdēs. Vispirms to uzzīmēt!
 - 4.4. Palaist motoru un regulēt tā apgriezienus, mainot regulēšanas reostatu pretestību. Novērtēt apgriezienu izmaiņu atbilstību teorētiski sagaidāmajai.

Literatūra:

- J.Zolbergs. Vispārīgā elektrotehnika. Zvaigzne, R. 1974. 340.lpp. – 17.nodaļa.
 J.Laganovskis. Elektrotehnika. Zvaigzne. R.1985. 284.lpp. – 3 nodaļa.
 V.Popovs, S.Nikolajevs. Elektrotehnika. Zvaigzne. R., 1972. 582.lpp.

11. ATBILDES ELEKTRODROŠĪBAS KONTROLTESTAM

- elektriskās strāvas iedarbība uz cilvēka organismu;
- neatliekamā palīdzība cietušajiem elektronegadījumos;
- elektrodrošības noteikumu organizatorisko un tehnisko pasākumu sadalas;
- telpu klasifikācija pēc to elektrobīstamības;
- personāla kvalifikācijas grupas elektrodrošībā.

1. Kā elektriskā strāva iedarbojas uz cilvēka organismu?

- daži (līdz 10) miliampēri, mA ...izsauc nepatīkamas sajūtas ...
- strāvas stiprumam pieaugot, tās iedarbība pakāpeniski pastiprinās – notiek:
 - *kustību koordinācijas traucējumi- daži desmiti mA jeb, t.s., satverošā strāva izsauc muskuļu krampjveida saraušanos;*
 - *pie 50 ... 60 mA sākas sirds fibrilācija;*
 - *seko samaņas zudums;*
 - *apm. 80 mA izsauc elpošanas nervu centru paralīzi;*
 - *100 mA un vairāk paralizē sirds darbības nervu centrus.*

2. Cik stipra strāva cilvēkam ir nāvējoša ?

... 0,1 A jeb 100 mA ...

3. Kādā secībā **jārīkojas, lai novērtētu cietušā stāvokli un sniegtu viņam neatliekamo palīdzību ?**

- sargājoties pašam palīdzības sniedzējam, cietušais **jāatbrīvo no strāvas iedarbības;**
- jānovērtē iegūto traumu raksturs un, atbilstoši tam, jāorganizē palīdzība uz vietas;
- **jāizsauc neatliekamā medicīniskā palīdzība un, ja cietušais ir:**

1. pie samaņas:

- *jānodrošina cietušajam **svaigs gaiss, ērta poza, miers un***
- *dažādi pārsējumi brūcēm un apdegumiem, neaizmirstot sterilitāti; kaulu lūzumu gadījumos traumētās vietas jāfiksē.*

2. bezsamaņā - jārīkojas pēc ABC programmas:)

- *A (elpceļi) jāatbrīvo elpošanas ceļi;*
- *B (elpošana) ja cietušais neelpo, nekavējoties jāuzsāk mākslīgā elpināšana un jākonstatē asins cirkulācija (pulss);*
- *C (cirkulācija), ja cirkulācijas nav, jāuzsāk sirds masāža ritmā 2 : 15 un jāturpina plaušu – sirds atdzīvināšana līdz ierodas mediķi*

3. šķietami maz cietis no elektriskās strāvas un nav ieguvis notikuma vietā konstatējamās traumas, arī tad **nepieciešams mediķu slēdziens**

4. Kas jā dara, **lai darbs** ar elektroiekārtām **būtu drošs ?**

*kā darba darītājam, tā darba devējam **jāzina un jāievēro** patērētāju elektroiekārtu ekspluatācijas drošības noteikumi un patērētāju elektroiekārtu tehniskās ekspluatācijas **noteikumi.***

5. Darba elektrodrošības noteikumu organizatoriskā sadaļa paredz šādu svarīgāko pasākumu īstenošanu:

- *personālam **jābūt** ne tikai ar profesionālo kvalifikāciju, bet arī ar **kvalifikāciju elektrodrošībā** – A, B vai C kvalifikācijas grupu elektrodrošībā;*
- *uzsākot darbu ar elektroiekārtām, **jāsaņem instruktāža**, kas jāapliecina ar instruējamā un instruētāja parakstiem;*

- darbam elektroietaisēs, nepieciešams rakstisks rīkojums;
 - elektrobīstamus darba uzdevumus **nedrīkst veikt vienatnē**.
6. Darba elektrodrošības noteikumu tehnisko pasākumu sadaļa paredz :
- **elektroizolāciju** ne mazāku par vienu megaomu darba spriegumam līdz 1000 V;
 - **zemējumu** elektroiekārtu metāliskām daļām, kas var nonākt zem sprieguma;
 - **dubultu izolāciju**;
 - **pazeminātu darba spriegumu** paaugstinātas vai sevišķas elektrobīstamības gadījumos;
 - **grupveida un individuālos aizsardzības līdzekļus**: cimdus, apavus, nožogojumus u.c.;
 - **avārijas signalizāciju, informāciju** par elektrobīstamību u.t.t..
7. Kāda ir telpu klasifikācija pēc to elektrobīstamības ? Izšķir **telpas**:
- **bez paaugstinātas elektrobīstamības**;
 - **ar paaugstinātu elektrobīstamību**;
 - **ar sevišķu elektrobīstamību**.
8. Kādi faktori nosaka telpu paaugstinātu elektrobīstamību
- paaugstināts gaisa **mitrums**;
 - augsta gaisa **temperatūra**;
 - strāvu vadošs **grīdas materiāls**;
 - strāvu vadošu **putekļu izdalīšanās**;
 - **iespēja** cilvēkam **vienlaicīgi pieskarties** elektroiekārtu metāliskām daļām un ar zemi savienotām metāla konstrukcijām;
9. Kas raksturo sevišķi elektrobīstamu telpu ?
- **augsts gaisa relatīvais mitrums, tūvs 100% ;**
 - **divu vai vairāku elektrobīstamības faktoru vienlaicīgas iedarbības iespēja**;
 - **telpā veidojas ķīmiski aktīva vide**.
10. Ko nozīmē jēdzieni : A, B, C elektrodrošības kvalifikācijas grupas ?
- Elektrodrošības kvalifikācijas grupa nozīmē darbinieka zināšanu, prasmju un to praktiskas lietošanas apliecinājumu, atbilstoši kuram darbiniekam ir tiesības veikt noteiktus darbus ekspluatācijā esošās elektroietaisēs, t.i., elektroietaisēs, kas pēc ierīkošanas un pārbaudes pieņemtas ekspluatācijā, noformējot aktu.
 - Vispārīgais jēdziens par kvalifikācijas grupām elektrodrošībā: ... Elektroietaise drīkst ekspluatēt tikai tad, ja darbam norīkots tehniskais vadītājs (darbinieks ar C kvalifikācijas grupu elektrodrošībā), izņemot lietotāju elektroietaisēs ar vienlaicīgi atļauto elektrisko slodzi 30 kW, kurās izmanto apgaismošanas ierīces, elektrosildītājus, un elektromotorus ar spriegumu līdz 1000 V.
- Darbiniekiem, kuri apkalpo elektroietaisēs, jābūt veiktai obligātajai veselības pārbaudei un viņu zināšanām jāatbilst noteiktas elektrodrošības grupas prasībām. Atbilstoši izglītībai, profesionālām mācībām un darba stāžam ekspluatācijā esošās elektroietaisēs, darbiniekiem piešķir šādas kvalifikācijas grupas elektrodrošībā:
- **A grupu** – darbiniekiem bez speciālās izglītības un darba stāža ekspluatācijā esošās elektroietaisēs pēc mācībām par konkrēta darba izpildīšanu;
 - **B grupu** - darbiniekiem ar elektrotehnisko izglītību un vismaz viena mēneša darba stāžu ekspluatācijā esošās elektroietaisēs vai darbiniekiem bez profesionālās izglītības ar viena gada darba stāžu ekspluatācijā esošās elektroietaisēs;
 - **C grupu** - darbiniekiem ar elektrotehnisko izglītību un vismaz sešu mēnešu darba stāžu ekspluatācijā esošās elektroietaisēs vai trīs mēnešu darba stāžu ar B grupu elektrodrošībā.

12. TERMINU SKAIDROJUMS

Darba drošības instruktāža – normatīvs akts, kas nosaka drošības prasības uzņēmuma darbiniekiem, veicot darbu vai pildot amata pienākumus.

Darba vieta – uz paredzēto darbu izpildes laiku speciāli sagatavota vieta, kurā veikti nepieciešamie tehniskie un organizatoriskie pasākumi, kas nodrošina dzīvībai un veselībai nekaitīgus darba apstākļus.

Darba vietas sagatavošana – tehnisku pasākumu izpilde, kas nodrošina drošu darba veikšanu

Elektriskā pretestība (R, r) – pretestība, ko elektrisko lādiņu kustībai (elektriskai strāvai) rada vielas struktūra, kas ir atkarīga no materiāla, vadītāja izmēriem un temperatūras. Līdzstrāvas elektriskajās ķēdēs to sauc par ķēdes elementu omisko elektrisko pretestību, bet maiņstrāvas elektriskajās ķēdēs – par aktīvo elektrisko pretestību. Elektriskās pretestības apgrieztais lielums ir elektrovadāmība (g). Elektrisko pretestību mēra omos, bet vadāmību – sīmensos (S, oms^{-1}).

Elektrisks – tāds, kas raksturīgs elektrībai, ko izraisa vai kas izraisa elektrību.
Elektriskais lauks – vide, kurā izpaužas elektrisko spēku darbība

Elektrība [$<$ gr. ēlektron – dzintars] – elektriski lādētu ķermeņu un daļiņu eksistences, kustības un mijiedarbības izraisītu procesu un parādību kopums. Nekustīgi elektriskie lādiņi telpā ap sevi rada elektrostatisko lauku, kurā darbojas elektriskie spēki. Ap kustīgiem elektriskiem lādiņiem, ko sauc par elektrisko strāvu, veidojas gan elektriskais, gan magnētiskais lauks un kustīgu elektrisko lādiņu mijiedarbība notiek ar elektromagnētiskā lauka, elektromagnētisko spēku starpniecību. Elektromagnētiskā mijiedarbība dabā ir ļoti izplatīta un izpaužas daudzveidīgi arī dažādos mehāniskos, termiskos, optiskos, ķīmiskos u.c. procesos.

Elektrodrošības grupa – darbinieka drošības noteikumu zināšanu, prasmju un to praktiskās lietošanas līmeņa apliecinājums, atbilstoši kuram darbiniekam ir tiesības veikt noteiktus darbus ekspluatācijā esošās elektroietaisēs.

Elektroenerģija - elektromagnētiskās mijiedarbības spēja veikt darbu, elektromagnētisko spēku darba mērs, elektromagnētiskās mijiedarbības kvantitatīvs raksturlielums.

Elektroiekārta – tehnisks izstrādājums, inženierkonstrukcija, kurā ģenerē, pārvada vai izmanto elektroenerģiju, pārveido to citos enerģijas veidos.

Elektroietaise – elektroiekārtu un konstrukciju kopums, kas atrodas vienā vietā un paredzēts kopīgu funkciju veikšanai.

Elektromagnētiskā indukcija – process, kurā izpaužas elektriskā un magnētiskā lauka neatdalāmā vienotība, veselums. Procesa būtība – magnētiskā lauka izmaiņas elektrovadītājos materiālos izjauc elektrisko līdzsvaru, ģenerē (inducē) tajos elektrodzinējspēku; un otrādi: elektriskā lauka izmaiņas (elektrisko lādiņu kustība) vienmēr izsauc atbilstošas izmaiņas magnētiskajā laukā. Elektromagnētiskajā indukcijā izpaužas viens no vispārīgākajiem dabas likumiem – iedarbības un pret darbības, ierosas un kavēšanas jeb, citiem vārdiem sakot, inerces likums. Indukcijas elektrodzinējspēka radītās

elektriskās strāvas magnētiskais lauks vienmēr kavē indukcijas procesa norisi, jo ir vērsts pret tā magnētiskā lauka izmaiņām, kas ierosina indukciju

Elektrotehnika – zinātnes un tehnikas nozare par elektromagnētisko parādību praktisku izmantošanu; šaurākā nozīmē- par elektroenerģijas ražošanu, pārvadīšanu un izmantošanu.

Ekspluatācijā esoša elektroietaise – elektroietaise vai tās daļa, kas pēc tās ierīkošanas un pārbaudes pieņemta ekspluatācijā, noformējot aktu.

Enerģija [*<gr. energeia – darbība, spēks*] – spēja veikt darbu; kvantitatīvs kustības un mijiedarbības mērs. Atkarībā no mijiedarbības rakstura izšķir mehānisko, siltuma, elektrisko, gaismas u.c. enerģijas veidus. Noslēgtā sistēmā enerģija pāriet no viena veida citā bez zudumiem.(Enerģijas nezūdamības likums).

Ģenerators [*< lat. generator – radītājs, ražotājs*] - ierīce, aparāts vai mašīna, kas ražo kādu produktu (tvaika ģenerators, gāzģenerators, elektroģenerators u.c.) vai arī vienu enerģijas veidu pārvērš citā enerģijas veidā (hidroģenerators, vēja ģenerators, impulsu ģenerators un tml.).

Indukcija [*<lat. inductio – uzvedināšana, ierosināšana*] – ierosas un kavēšanās procesu mijiedarbība. *E l e k t r o s t a t i s k ā i n d u k c i j a* – elektrizācija no attāluma, piem., tuvinot elektriski uzlādētu ķermeni. *M a g n ē t i s k ā i n d u k c i j a* – magnetizēšana no attāluma, piem., tuvinot magnētu.

Induktivitāte (L)–spēja ģenerēt magnētisko lauku. Ja, elektriskās strāvas stiprumam mainoties ar ātrumu 1A/s , tās mainīgais magnētiskais lauks inducē (ģenerē) 1 V lielu elektrodzinējspēku, iekārtas induktivitāte ir viens henrijs (H). Specializētas iekārtas, kuru galvenā īpašība ir induktivitāte sauc par droselēm (spolē saīti vadītājs ar dzelzs serdeni).Teorētiskajā elektrotehnikā arī ,t.s., ideālajam elektriskās ķēdes elementam – spolei, solenoidam ir tikai viens raksturlielums – induktivitāte. Induktivitāte (L)–spēja ģenerēt magnētisko lauku. Ja, elektriskās strāvas stiprumam mainoties ar ātrumu 1A/s , tās mainīgais magnētiskais lauks inducē (ģenerē) 1 V lielu elektrodzinējspēku, iekārtas induktivitāte ir viens henrijs (H). Specializētas iekārtas, kuru galvenā īpašība ir induktivitāte sauc par droselēm (spolē saīti vadītājs ar dzelzs serdeni).Teorētiskajā elektrotehnikā arī ,t.s., ideālajam elektriskās ķēdes elementam – spolei, solenoidam ir tikai viens raksturlielums – induktivitāte.

Kapacitāte (C) – spēja uzkrāt elektriskos lādiņus, ģenerēt elektrisko lauku jeb elektroietilpība. Ja vienu kulonu liels elektriskais lādiņš (elektrības daudzums) rada vienu voltu lielu elektriskā potenciāla starpību, elektroiekārtas kapacitāte ir viens farads (F). Specializētas iekārtas, kuru galvenā īpašība ir elektriskā kapacitāte sauc par kondensatoriem. Teorētiskajā elektrotehnikā parasti izmanto ideāla kondensatora jēdzienu. Tiem dielektriķa elektriskā pretestība ir bezgalīgi liela.

Magnētisks – tāds, kam piemīt magnēta īpašības. *M a g n ē t i s k a i s l a u k s* – vide, kurā izpaužas magnētisko spēku darbība.

Tehniskais vadītājs – ar elektroietaises vadītāja rīkojumu noteikts darbinieks ar C elektrodrošības grupu, kurš organizē drošu un pareizu elektroietaises ekspluatāciju atbilstoši drošības noteikumiem un tehniskās ekspluatācijas noteikumiem vai standartiem.

LEKCIJU MATERIĀLAM IZMANTOTIE INFORMĀCIJAS AVOTI

1. A.Baltiņš, A.Kanbergs, S.Miesniece. Zemsprieguma elektriskie aparāti- R.,
2. Jumava, 2003.
3. Drošības prasības, veicot darbus elektroietaisēs/Latvija energostandarts – R., Latvijas Elektrotehnikas komisija, 025 – 1, 2001. 025 – 2, 2005.
4. Elektroenerģētikas pamatterminu skaidrojošā vārdnīca 1. un 2. daļa.- R., Jumava, 1999.
5. J. Laganovskis. Elektrotehnika-R., Zvaigzne, 1985.
6. J. Laganovskis. Enerģētika – R., Zvaigzne, 1972.
7. Ģ.E.Lagzdīņš. Pamatkurss elektrotehnikā – R., Jumava, 2004.
8. A.Lielturks. Elektriskās mašīnas- R.,Zvaigzne, 1969.
9. A.Lielturks. Teorētiskā elektrotehnika un radiotehnika – R.,Zvaigzne, 1966.V.
10. N.Koškins, M.Širkevičs. Elementārās fizikas rokasgrāmata- R.,Liesma, 1967.
11. V. Popovs. Elektrotehnika – R., Zvaigzne,1975.
12. Svešvārdu vārdnīca – R., Norden AB, 2003.
13. J. Videnieks. Elektroiekārtas lauksaimniecībā- R., Liesma, 1970.
14. J. Zolbergs. Vispārīgā elektrotehnika – R., Zvaigzne, 1974.