

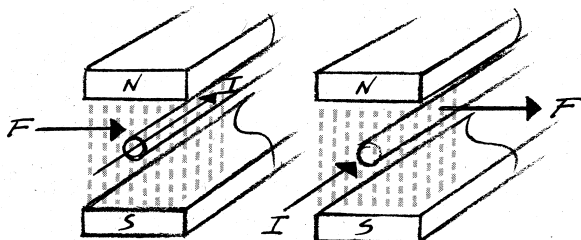
## 8. Elektrimasinad

### 8.1 Elektrimasina tööpõhimõte

Energia muundamiseks magnetvälja vahendusel kasutatakse elektrimasinat.

Mehaanilist energiat muundatakse elektrienergiaks elektrigeneraatoris. **Generaator** pannakse pöörlema enamasti mitteelektrilise jõumasina, näiteks auru- hüdرو- või gaasiturbiiniga, sisepõlemis- või diiselmootoriga. Selle jõu mõjul tekib magnetväljas liikuv juhiv elektrivool.

Elektrienergia muundatakse mehaaniliseks energiaks elektrimootoris. **Mootori** tööpõhimõte on vastupidine: magnetväljas asuvale vooluga juhtmele mõjub jõud, mis paneb selle juhtme liikuma. Mootor paneb tööle tööpingi, mehhanismi või masina.



Elektrimasinaid liigitatakse vooluliigi järgi

- alalisvoolumasinad
- vahelduvvoolumasinad

viimaseid omakorda tööpõhimõtte järgi

- asünkroonmasinad
- sünkroonmasinad

On veel palju teisigi elektrimasina tüüpe.

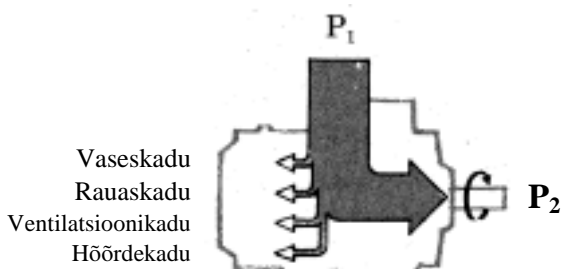
Masinaosade koostöö ja energia muundamine toimub magnetvälja kaudu, mis toimib koostöötavate osade vahelises ruumis, enamasti õhupilus. Võimalikult tugeva magnetvälja saamiseks kasutatakse ferromagnetilisi südamikke, mida lihtsamini nimetatakse magnetsüdamikeks, mis moodustavad magnetahela. Vaheldumagnetväljade puhul valmistatakse südamikud pöörivoolude nõrgendamiseks ja neist tekkiva energiakao vähendamiseks enamasti 0,3...0,5 mm paksusest elektrotehnoloogilise lehtterasest. Elektrivool kulgeb isoleeritud juhist valmistatud mähistes.

Energia muundamine elektrimasinas on paratamatult seotud kadudega. Kaod tekivad

- voolu kulgemisel läbi mähise juhtme, kus tekib mittersoovitav soojus. Seda kadu tuntakse kui **vaseskadu**. Vaseskadu on võrdeline voolutugevuse ruuduga ja juhi takistusega

$$P_{Cu} = I^2 r$$

- magnetsüdamikus ajaliselt muutuva magnetvälja toimel hüstereesist ja pöörivooludest tekkiva soojusena. Seda kadu tuntakse kui **rauaskadu** (ka teraseskadu). Rauaskadu on seda suurem, mida suurem ja massiivsem on magnetsüdamik, mida suurem on magnetsüdamiku materjali hüstereesisilmuse pindala ja mida suurem on ümbermagneetamise sagedus
- masinaosade ja õhu vahelisest hõõrdest – **ventilatsioonikadu**
- hõõrdest laagrites – **hõõrdekadu**



Kadude tõttu on elektrimasina kasulik võimsus võllil  $P_2$  alati väiksem kui elektrivõrgust tarbitav võimsus  $P_1$ . Nende omavahelist suhet iseloomustab masina kasutegur  $\eta$  (kreeka väiketäht *eeta*)

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

Elektrimasina kasutegur on enamasti vahemikus 0,7...0,9. Kasutegur sõltub masina tüübist ning on seda suurem, mida suurem on masin, küündides väga suurtes masinates isegi üle 0,98. Väikeste, alla 10 W võimsusega masinate kasutegur on aga alla 0,5.

Kasutegur sõltub ka masina koormusest. Kaod kasvavad koormuse suurenemisel. Koos sellega suureneb ka soojenemine. Elektrimasina lubatava koormuse määrabki tavaliselt soojenemise lubatav piir, harvem mingi osa mehaaniline tugevus või voolutihedus liugkontaktidel. Seepärast on väga oluline luua soojuse ärajuhtimiseks head jahutus-tingimused.

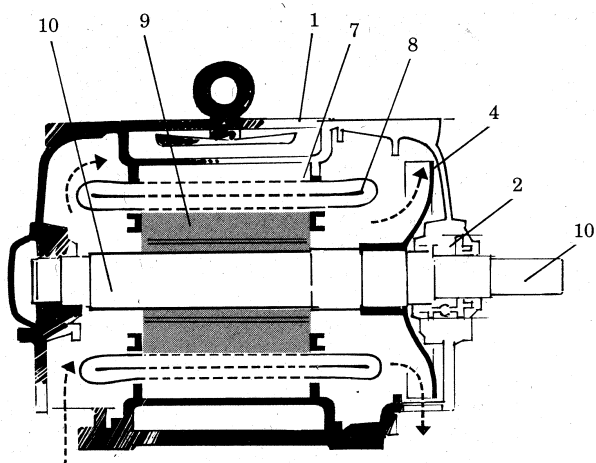
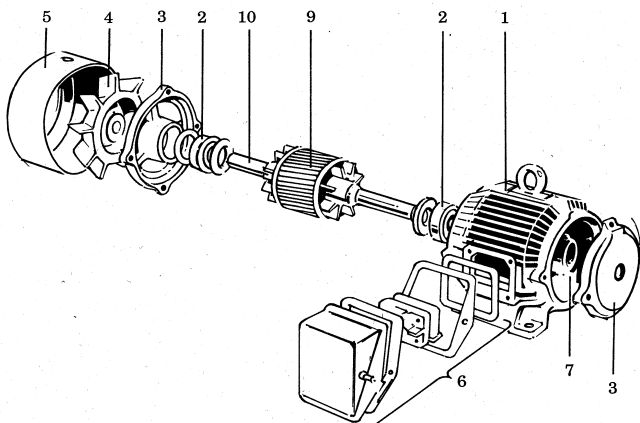
## 8.2 Asünkroonmootor

Enamkasutatavamaks jõuallikaks maailmas on asünkroonmootor. Lühisrootoriga asünkroonmootor ei vaja peaaegu mingit hooldust.

Asünkroonmootori põhiosadeks on staator ja rootor.

**Staator** on mootori paigalseisev osa. Staator paikneb mootorikeres 1, mis fikseerib kõik masinaosad omavahel ja millega mootor kinnitatakse tööpingile. Veerelaagrid 2 paiknevad laagrikilpides 3, mis tagab masinaosade kontsentrisuse.

Keres 1 paikneb staatori magnetsüdamik 7, mis on koostatud 0,3...0,5 mm paksustest stantsitud staatorplekkidest, mis on omavahel isoleeritud. Staatori uures on pöördmagnetvälja tekitav (vt. jaotis 7.6) kolmefaasiline mähis 8.



Laagritel pöörleb völli 10 kinnitatud **rootor** 9. Vabal völli otsal on tavaliselt ventilaator 4, mis mootori pööreldes puhub jahutusõhku mootorikere jahutusribide vahele. Ventilaator on kaetud kattega 5, millega välditakse pöörleva ventilaatori juhuslik puutumine.

Mootori elektriliseks ühendamiseks on kerel klemmikarp 6.

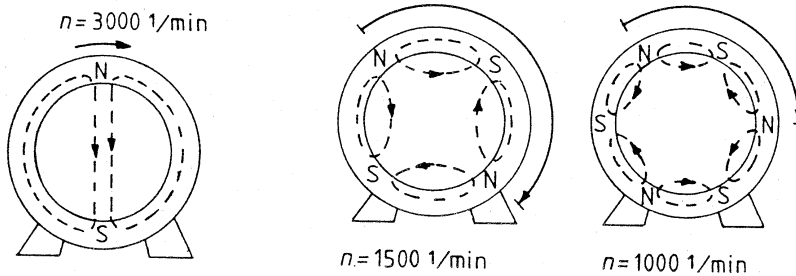
**Staatorimähisest**, täpsemini öeldes, tema poolusepaaride arvust, sõltub mootori pöörlemiskiirus.

Magnetvälja pöörlemiskiirus (seda nimetatakse ka sünkroonkiiruseks)  $\omega_0$  sõltub nii sagedusest  $f$  kui ka poolusepaaride arvust  $p$ :

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p}$$

$\omega$  on tegelikult pöörlemissagedus, mille mõõtühikuks on radiaan sekundis (rad/s). Igapäevaelus kasutatakse enamasti pöörlemiskiiruse mõõtmiseks ühikut pöörret minutis (p/min), mille tähiseks on  $n$ .

$$n_0 = \frac{60}{2\pi} \omega_0 = \frac{60f}{p}$$

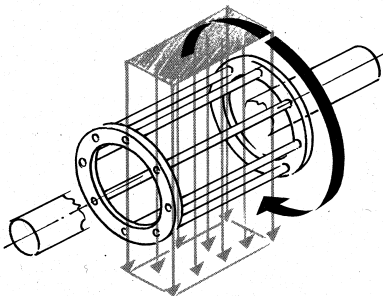


Kahepooluselises ehk ühe poolusepaariga masinas, nagu jaotises 7.6, luuakse magnetväli, mis pöörleb kiirusega

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p} = \frac{2\pi \cdot 50}{1} = 100\pi = 314 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 3000 \text{ p/min},$$

neljapooluselises ehk kahe poolusepaariga masinas on sünkroonkiirus kaks korda väiksem ehk 1500 p/min, kuuepooluselises ehk kolme poolusepaariga masinas on sünkroonkiirus kolm korda väiksem ehk 1000 p/min jne. jne.

Vool tekitatakse asünkroonmootori **rootoris** olevas lühismähises induksiooni teel. Selleks peab rootor pöörlema veidi aeglasemini kui magnetväli.



Staatorimähises loodava magnetvälja pöörlemiskiiruse  $\omega_0$  ja rootori pöörlemiskiiruse  $\omega$  erinevuse iseloomustamiseks kasutatakse mõistet **libistus**. Libistus  $s$  on suhteline pöörlemiskiiruse muutus

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} = \frac{n_0 - n}{n_0}$$

Libistust võib tõlgendada ka rootori suhtelise mahajäämusena sünkroonkiirusega pöörlevast staatori magnetväljast. Rotor pöörleb mittesünkroonselt ehk asünkroonselt, millest tulebki tema nimetus. Standardse asünkroonmootori nimelibistus on mõni protsent, kusjuures suurem libistus on väiksematel mootoritel.

Kui koormus mootori võllil kasvab, siis libistus suureneb. Seetõttu suureneb ka rootoris indutseeritud elektromotoorjõud ja seega ka vool. Mootori arendatav pöördemoment on võrdeline voolu ja magnetvooga:

$$T = k \Phi I$$

$T$  pöördemoment njuutonmeetrites (Nm)  
 $\Phi$  magnetvoog veebrites (Wb)  
 $I$  vool amprites (A)  
 $k$  masina ehitusest sõltuv tegur

Kuivõrd nii vool rootoris kui magnetvoog masina õhupilus on suhteliselt raskesti määratavad ja masina tegur pole tavaliselt teada, avaldatakse mootori moment võimsuse ja kiiruse kaudu:

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{9,55P}{n}$$

$T$  pöördemoment njuutonmeetrites (Nm)  
 $P$  mehaniline võimsus vattides (W)  
 $\omega$  nurkkiirus radiaanides sekundis (rad/s)  
 $n$  pöörlemissagedus pööretes minutis (p/min)

Mootori tarvitav võimsus

$$P_1 = \sqrt{3} U I \cos \varphi$$

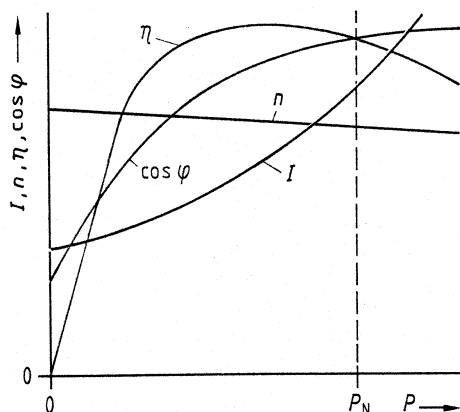
$P_1$  elektriline võimsus vattides (W)  
 $U$  liinipinge vattides (V)  
 $I$  liinivool amprites (A)  
 $\cos \varphi$  võimsustegur

Võimsus mootori võllil

$$P = \sqrt{3} U I \eta \cos \varphi$$

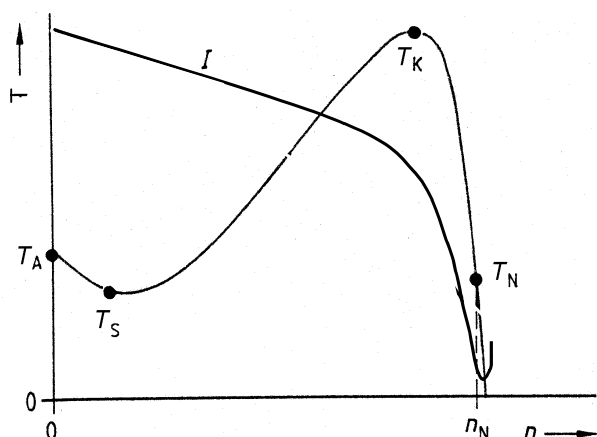
$\eta = \frac{P}{P_1}$  mootori kasutegur.

Lisaks pöörlemiskiirusele  $n$  ja voolule  $I$  sõltuvad koormusest ka kasutegur  $\eta$  ja võimsustegur  $\cos \varphi$ . Seda iseloomustavad tüüpilised tunnusjooned on näha joonisel.

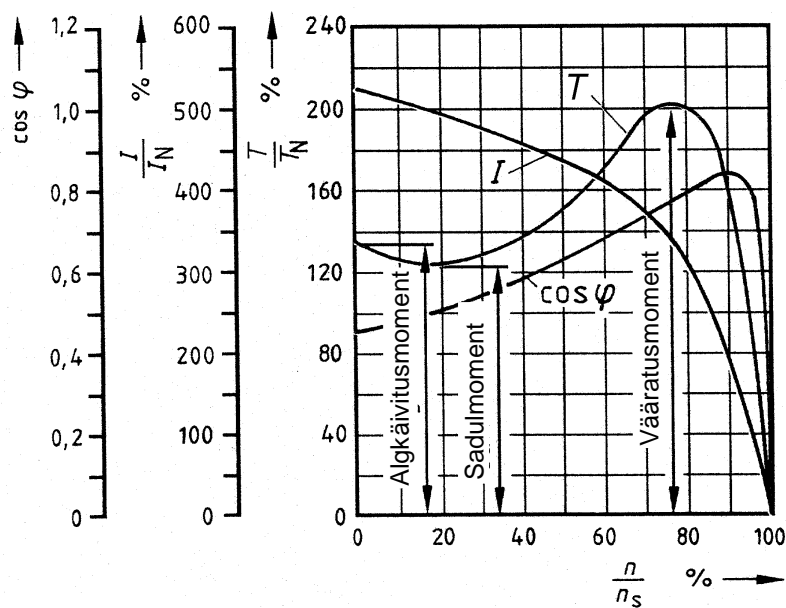


Asünkroonmootori lülitamisel võrgupingele (kiirus on siis null) tekib suur käivitusvool, mille algväärtus on tavaliselt 5...7 korda nimivoolust suurem, ja mis kiiruse kasvades väheneb esialgu üsna aeglaselt. Samal ajal käivituse algmoment  $T_A$  on enamasti vaid veidi suurem nimimomendist  $T_N$  ning algul enamasti langeb sadulväärtuseni  $T_S$ , siis kasvab väärtusmomentini  $T_K$ , misjärel saab väärtuse, mis sõltub koormusest mootori võllil.

Vääratusmoment ehk kriitiline moment  $T_K$  on maksimaalne moment, mida mootor suudab arendada.



Lülitamisel võrgupingele on ka mootori võimsustegur esialgu väike. Joonisel on näha, kuidas tüüpilisel mootoril moment  $T$ , vool  $I$  ja võimsustegur  $\cos\varphi$  muutuvad sõltuvalt pöörlemiskiirusest.



Oluline on teada, et **asünkroonmootori moment on võrdeline pinge ruuduga**. See tähendab, et kui mingil põhjusel toitevõrgus pinge langeb ja moodustab nimipingest näiteks vaid 70% ehk 0,7, siis suudab mootor arendada vaid  $0,7^2 = 0,49$  ehk vähem kui pool arvutuslikust momendist. Küllalt suure tõenäosusega võib siis koormusmoment olla suurem kui vääratusmoment. Siis mootor vääratub – kiirus väheneb nullini ning tekib sisuliselt lühistalitus.

Asünkroonmootori käivitusvoolu vähendamiseks ja käivitusaja juhtimiseks sobib hästi **sujuvkäiviti** (*soft starter*). Kui on vaja ka reguleerida kiirust, siis lahendab kõik probleemid **sagedusmuundur**.

Mootori pöörlemissuuna muutmiseks tuleb klemmkarbis omavahel vahetada **kaks** toitepingejuhet.

Mootori andmed saab teada mootori sildilt.

### 8.3 Ühefaasiline asünkroonmootor

Korterites ja kontorites puudub sageli kolmefaasilise voolu kasutamise võimalus. Väiketarvites, näiteks ventilaatorites, pumpades, kodumasinates ei saa siis kasutada kolmefaasilist asünkroonmootorit.

Ühefaasiline asünkroonmootor erineb kolmefaasilisest eelkõige selle poolest, et tal puudub loomulik käivitusmoment. Ühefaasilise mootori staatori ühefaasiline vool  $I_1$  tekitab pulseeruvvälja, mida võib vaadelda kui kaht ühesuguse amplituudiga välja, mis pöörlevad teineteisele vastassuunas kiirusega

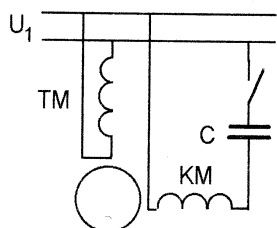
$$\omega_1 = \frac{2\pi f_1}{p}$$

Kui rootor on mingis suunas pöörlema pandud, saavutab ta lõpuks püsikiiruse.

Käivitusmomendi tekitamiseks on mitu võimalust.

#### Kondensaatormootor

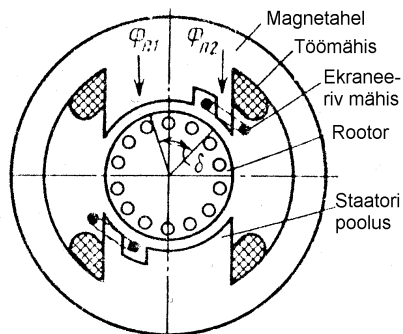
Kondensaatormootoris on lisaks staatori töömähisele TM veel käivitusmähis KM, mille telg on töömähise suhtes nihutatud 90 elektrilise kraadi võrra. Selle mähisega jadamisi on magnetvoo faasis nihutamiseks ühendatud kondensaator C. Pärast käivitamist lülitatakse käivitusmähis välja.



Kondensaator suurendab mootori massi ja mõõtmeid ning võib tekitada toitepinge moonutusi, mis häirib sidevahendite tööd.

#### Ekraanieritud poolustega mootor

Niisuguses mootoris saavutatakse magnetvoogude faasinihe abimähisega, mis on paigutatud staatori lõhestatud pooluseotsale. Magnetvood  $\Phi_{n1}$  ja  $\Phi_{n2}$  on teineteise suhtes faasis nihutatud. Seetõttu tekib pöörlev elliptiline magnetväli, mis koos rootori lühismähises indutseeritava vooluga loob pöördemomendi.

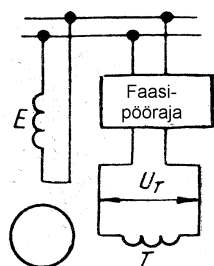


Niisugune mootor on kondensaatormootorist lihtsam ja töökindlam. Ka teeb ta vähem müra, sest staatoril pole uurdeid.

Puudustena tuleb nimetada madalat kasutegurit (kadude tõttu ekraneerivas mähises tavaliselt  $\eta = 0,25 \dots 0,4$ ) ja madalat võimsustegurit ( $\cos\phi = 0,4 \dots 0,6$ ). Ka käivitusmoment pole eriti suur.

## 8.4 Kahefaasiline asünkroonmootor

Automaatjuhtimissüsteemides on täiturmootorina (servomootorina) kasutusel ka kahefaasilised asünkroonmootorid. Mähised on ruumis nihutatud ning pöördemoment tekib nagu ühefaasilises käivitusmähisega masinas.



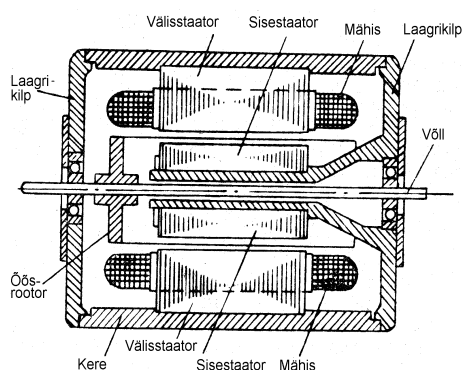
Üks mähis – ergutusmähis E – töötab konstantsel pingel  $U_1$ . Teine – tüürmähis T – töötab pingel  $U_T$ , mille suurus või faasi juhtsignaaliga muudetakse.

Täiturmootorile esitatakse järgmisi nõudeid

- vabakäigu puudumine, s.t. toitepinge kadumisel peab mootor isepidurduma ja seiskuma
- stabiilne töö mistahes kiirusel
- pööblemiskiiruse muutumine tüürpinge suuruse või faasi muutudes
- suur käivitusmoment
- väike tüürvõimsus
- suur toimekiirus
- töökindlus
- väike mass ja mõõtmed

## Õõsrootoriga mootor

Mittemagnetilise õõsrootoriga mootoril on õhukeseseinaline (0,2...1 mm) alumiiniumrootor. Rootoril on väike inerts ja suur takistus. Erinevana teistest mootoritest pöörleb õõsrootor kahe staatori vahel. Need on välisstaator ja sisestaator. Sisestaator on ureteta, mähis on välisstaatoril.





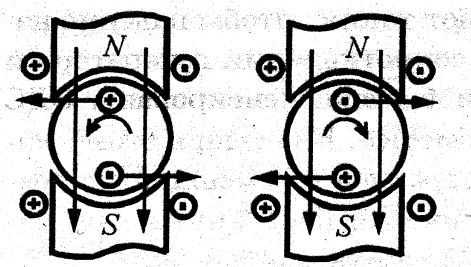
## 8.5 Alalisvoolumootor

Alalisvoolumootori tööpõhimõte oli sisuliselt vaatluse all jaotises 3.2: magnetväljas paiknevale vooluga juhtmele mõjub jõud.

Magnetväli tekitatakse alalisvoolumasinas **poolustega**. Poolused on kas **püsimagnetitest** või tekitatakse elektrivooluga **ergutusmähises**. Poolused on kinnitatud silindrilise terasikke külge, mis on üheaegselt masina kereks ja magnetahela osaks. Seda masinaosa, kus luuakse magnetväli, nimetatakse **induktoriks**.

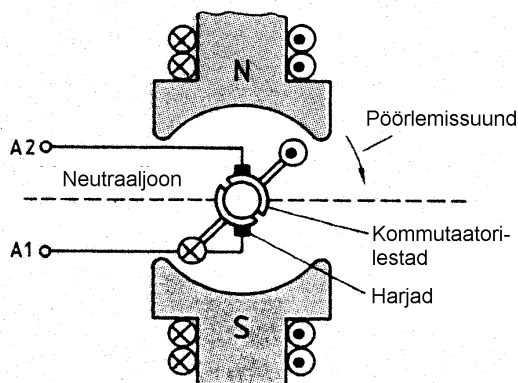
Vooluga juhtmeks on mähis, mis paikneb elektrotehnilisest terasest plekist valmistatud rootori uures. Seda masinaosa nimetatakse **ankruks** ja mähist **ankrumähiseks**.

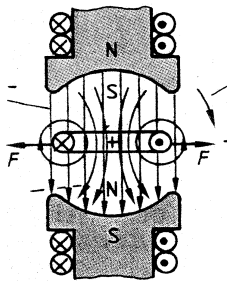
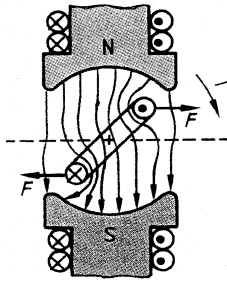
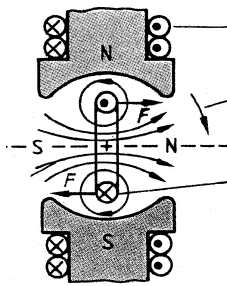
Mähise pöörlemisel magnetväljas on juhtmekeerule mõjuva jõu suund sõltuv keeru asendist. Joonisel on lihtsuse mõttes vaadeldud vaid ühte juhtmekeerdu (mähise ühe keeruga pooli).



Et ankur pöörleks, tuleb iga poolpöörde (180 **elektrilise** kraadi) järgi muuta voolu suunda poolis. Seda tehakse neutraaljoonel, kus poolis tekkivad jõud on võrdsed ja vastassuunalised, ega pööra enam ankru, sest pöördemoment on null.

Selleks on masina völliil **kommutaator**, mis pöörleb koos ankrumähisega ja, nagu ta nimi ütleb, kommuteerib ehk muudab voolu suunda. Kommutaator koosneb üksteisest isoleeritud **lestadest** ehk lamellidest, mis on järgmisel joonisel kujutatud kahe poolringina. Ankrumähise pooliotsad on ühendatud lestadega. Vool juhitakse ankrumähisesse **harjadega**, mille vahel pöörlevad kommutaatorilestad. Harjad on söest, grafiidist või vasest ning asuvad harjahoidjas, kus nad vedruga surutakse vastu kommutaatorilesti.



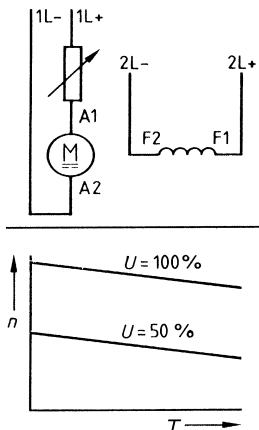


Neutraaljoonel muutatakse niiviisi voolu suund poolis.

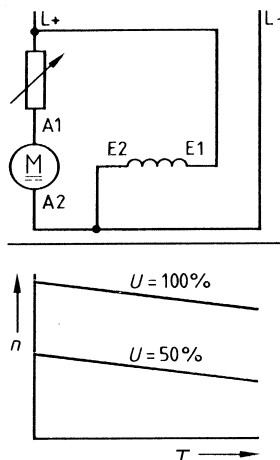
Iga pool on ühendatud kahe lestaga ehk: kommutaatorilesti on samapalju kui poolikülgi. Mida rohkem on masinas poole, seda ühtlasem on pööremiskiirus.

Selle järgi, kuidas on omavahel ühendatud masina ankru- ja ergutusmähis, liigitatakse alalisvoolu-mootorid

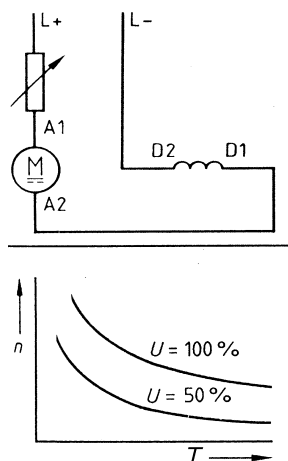
- a) **sõltumatu** ehk **võõrergutusega** masin, kus ankrumähis ja ergutusmähis toidetakse eraldi; sisuliselt on püsिमagnetitega masin samasuguste omadustega



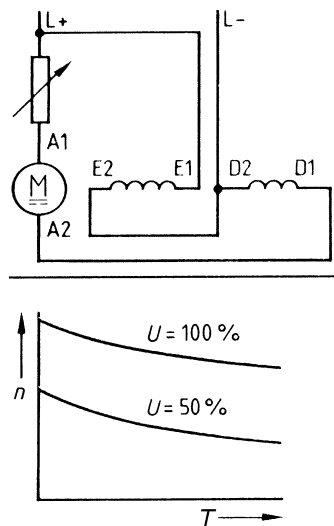
- b) **rööpergutusega** ehk haruvoolumasin, kus ergutusmähis on ühendatud ankrumähisega rööbiti; ergutusmähis on suure keerdude arvuga, ergutusvool on enamasti vaid mõni protsent ankruvoolust

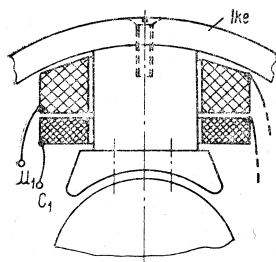


- c) **jadaergutusega** ehk peavoolumasin, kus ergutusmähis on ühendatud ankrumähisega jadamisi; ergutusmähist läbib ankruvool, ergutusmähisel on vähe keerde



- d) **liitergutusega** ehk segaergutusega ehk kompaundmasin, mille poolustel on nii rööpergutusmähis kui jadaergutusmähis.



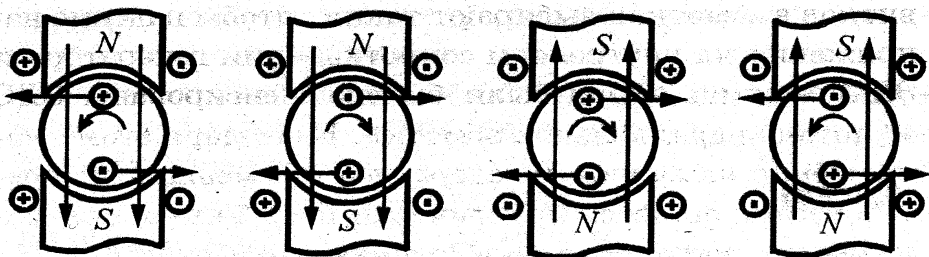


Jadaergutusmähis  
Rööpergutusmähis

Alalisvoolumootori **pöörlemissuuna muutmiseks** on vaja muuta voolu suund **kas** ankrumähises (vasakult teine joonis) **või** ergutusmähises (vasakult kolmas joonis).

Polaarsuse muutmisega masina klemmidel (pluss- ja miinusjuhtme vahetamisega) pöörlemissuunda muuta ei saa.

Seda illustreerib parempoolne joonis, kus vasakpoolse (esialgsega) võrreldes on muudetud nii ergutusvoolu kui ankruvoolu suunda, juhtmele mõjuva jõu suunda see pole muutnud.



Alalisvoolumootorit ei tohi käivitada otselülitamisega liinipingele. Tekkiv käivitusvool on nimivoolust kuni paarkümmend korda suurem (seda suurem, mida suurem ja mida kiirem on mootor, suurtel masinatel isegi kuni 50 korda). Suur vool tekitab kommutaatoril ringtule ja rikub kommutaatori ning seega kogu mootori. Käivitamiseks kasutatakse pinget sujuvat tõstmist või (vanemates seadmetes) käivitustakistit (käivitusreostaati).

Otsekäivitamine on mõeldav väikese pinge ja väikese mootori korral, mille ankrumähise takistus on suur.

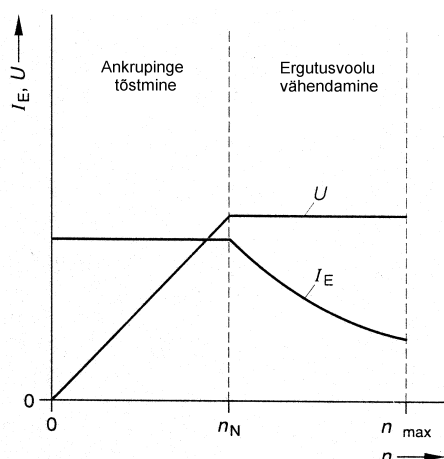
### Pöörlemiskiirus

$$\omega = \frac{U_a - I_a (R_a + R)}{k\Phi_\delta}$$

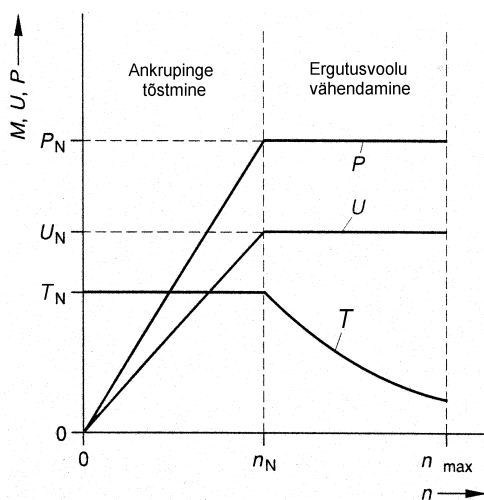
- $\omega$  pöörlemissagedus radiaani sekundis (rad/s)
- $U_a$  ankrupinge voltides (V)
- $I_a$  ankruvool amprites (A)
- $R_a$  ankrumähise takistus oomides ( $\Omega$ )
- $R$  ankrumähisega jadamisi ühendatud takistus oomides ( $\Omega$ )
- $k$  masinategur, sõltub masina ehitusest
- $\Phi_\delta$  magnetvoog õhupilus, võrdeline ergutusvooluga

**Pöörlemiskiiruse reguleerimine** toimub kuni nimikiiruseni ankrupinge tõstmisega nimipingeni. Edasine kiiruse tõstmine, kui masina ehitus seda

võimaldab (tsentrifugaaljõud on võrdeline pöörlemiskiiruse ruuduga), toimub ergutusvoolu vähendamisega.



Mootori pöördemoment ja võimsus muutuvad siis nii, nagu kujutatud järgmisel joonisel.



$$T_N = \frac{P_N}{\omega_N} = 9,55 \frac{P_N}{n_N}$$

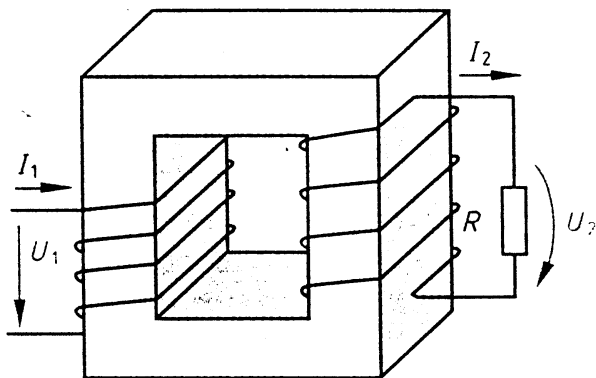
- $T_N$  nimipöördemoment võllil njuutonmeetrites (Nm)
- $P_N$  nimivõimsus (mootori võllil) vattides (W)
- $\omega_N$  niminurkkiirus radiaanides sekundis (rad/s)
- $n_N$  nimipöörlemissagedus pööretes minutis (p/min)

## 8.6 Trafo

Trafo ehk transformaator (ladina keelsest sõnast *transformatore* – muundama) on elektromagnetilisel induksioonil põhinev seade vahelduvvoolu pinge muutmiseks. Seejuures muutub ka voolutugevus, kuid sagedus jääb samaks.

Lihtsaim trafo koosneb kahest mähisest, mis parema omavahelise magnetilise sidestuse tagamiseks on paigutatud ühisele ferromagnetilisele südamikule. Trafosüdamik on harilikult valmistatud 0,35 või 0,5 mm paksusest trafoplekist ehk elektrotehnilisest lehtterasest, väiketrafodel kasutatakse ferriit-südamikku. Kui üks mähis – primaarmähis – ühendada vahelduvvooluallikaga, mille pinge on  $U_1$ , tekib südamikus vool  $I_1$  ja vahelduv magnetvoog  $\Phi$ ,

mis teises mähises – sekundaarmähises – indutseerib vahelduvpinge  $U_2$ . Kui sekundaarmähis ühendada tarvitiga, mille takistus on  $R$ , tekib neis vool  $I_2$ .



Primaar- ja sekundaarpinge suhe sõltub mähiste keerdude arvu suhtest:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2} = k$$

- $U_1$  primaarpinge
- $U_2$  sekundaarpinge
- $w_1$  primaarmähise keerdude arv
- $w_2$  sekundaarmähise keerdude arv
- $k$  ülekandesuhe

Trafo kaod on väikesed, kasutegur on tavaliselt 0,98...0,99, suurel trafol isegi üle 0,99. Seepärast vaadeldakse trafot sageli ideaalse trafona. See tähendab, et primaarmähise ja sekundaarmähise võimsused on võrdsed ehk

$$U_1 I_1 = U_2 I_2$$

- $U_1$  primaarpinge
- $I_1$  primaarvool
- $U_2$  sekundaarpinge
- $I_2$  sekundaarvool

Konstantse võimsuse juures on vool ja pinge pöördvõrdelises seoses – pinget tõstes vool väheneb ja pinget alandades vool suureneb:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Kui primaarpinge on siinuspinge, südamik magnetiliselt ei küllastu ja sekundaarahela takistus ei olene pinge ega voolu hetkväärtusest, siis on ka sekundaarpinge ja –vool siinuselised.

Trafo võimsus võib olla voltampri murdosast sadade megavoltampriiteni, sõltuvalt vajadusest ja kasutusalaast.

Järgnevalt mõne trafotüübi lühikirjeldus.

### Jõutrafo

On kasutusel elektrivõrkudes pinge tõstmiseks elektrijaamades ja alandamiseks tarvitite lähedal.

Eesmärgiks on kadude vähendamine ülekandeliinides. Vaseskadu on võrdeline voolu ruuduga. Vool väheneb pinge kümnekordsel tõstmisel kümme korda. See tähendab, et kaod ülekandeliinis vähenevad sada korda. Tegelikult tõstetakse pinget palju rohkem. Eesti suurtest elektrijaamadest väljuvate liinide pinge on 330 kV. Kui tarviti pingeks lugeda 400 volti, on trafo(de) ülekandesuhe 825, see tähendab, et kõrgepingeliinis on vool tarviti vooluga võrreldes 825 korda väiksem, kaod aga ideaaljuhul 680 tuhat korda väiksemad võrreldes sellega, kui ülekanne toimuks tarviti pingel. Tegelikult see päris täpselt nii pole, sest juhtme takistus on väiksema ristlõike tõttu suurem, kõrgepingeliinides lisanduvad muud kaod, ja arvestada tuleb ka trafo(de) kasutegurit.

Jõutrafo on enamasti kolmefaasiline. Võimsus peab vastama trafo sekundaarpoolele ühendatud tarvitite vajalikule võimsusele.

Jõutrafod on harilikult õlijahutusega, väiksemaid, alla 15 MVA võimsusega trafosid valmistatakse ka õhkjahutusega

#### **Mõõtetrafod**

- Pingetrafo, mida kasutatakse kõrge pinge mõõtmiseks vahelduvvooluahelas
- Voolutrafo, mida kasutatakse suure vahelduvvoolu mõõtmiseks.

#### **Eraldustrafo**

Toitevõrgust eraldamiseks, et tagada elektritarvitiite käsitlemisohutust.

#### **Impulsstrafo**

Pinge- ja vooluimpulsside tekitamiseks ja muundamiseks.