

## SATURA RĀDĪTĀJS

7	PRAKTISKO UZDEVUMU ROKASGRĀMATA.....	2
7.1	APRAKSTS.....	2
7.1.1	Ievads.....	2
7.1.2	Moduļu apraksts.....	5
7.2	TEORIJA.....	19
7.2.1	Ievads par sinhronajām mašīnām.....	19
7.2.2	Sprieguma kritumi.....	21
7.2.3	Pārtrauktas ķēdes un īssavienojuma pārbaude. Sinhronā induktīvā pretestība.....	26
7.2.4	Vektoru diagramma.....	28
7.2.5	Tīklam pievienota maiņstrāvas ģeneratora darbība.....	29
7.2.6	Vispārīgs sinhronās mašīnas izkārtojums.....	34
7.2.7	Asinhrondzinējs.....	36
7.2.8	Asinhronās mašīnas ātrums.....	39
7.2.9	Indukcijas motoru iedarbināšana.....	41
7.3	GALVENIE NORĀDĪJUMI, BRĪDINĀJUMI UN PIESARDZĪBAS PASĀKUMI.....	47

## 7 PRAKTISKO UZDEVUMU ROKASGRĀMATA

### **SVARĪGI!**

**Pirms jebkādu uzstādīšanas vai pārveidošanas darbību veikšanas vienmēr pārlicinieties, vai iekārta ir izslēgta, proti, vai atslēga ir izslēgtā stāvoklī (OFF) un vai ir nospiesta sēnes formas drošības spiedpoga. Kad aprīkošana ir pabeigta, iekārta ir jāieslēdz, un, kamēr tā nav izslēgta, nedrīkst veikt nekādus pārveidojumus.**

### 7.1 APRAKSTS

#### 7.1.1 Ievads

Iekārtu AEL-EEA ir izstrādājis uzņēmums EDIBON, un tā ir paredzēta sinhronu ģeneratoru ar neatkarīgu ierosmi izpētei. Šī iekārta ļauj studentiem gūt pamatzināšanas par šādu ģeneratoru darbību.

Aprīkojums ietver tālāk norādītos moduļus:

- N-ALI02. Galvenais strāvas padeves bloks
- N-VVCA/M. Maiņstrāvas motora ātruma kontrolleris
- EMT7. Trīsfāžu asinhronzinējs
- EMT6. Sinhrons trīsfāžu motora maiņstrāvas ģenerators
- N-VREG. Sprieguma regulatora modulis
- N-REFT300. 300 omu trīsfāžu fiksēts rezistora modulis
- N-INDT. Trīsfāžu induktīvās slodzes avots ar komutatoru
- N-CONT. Trīsfāžu mainkondensatora slodzes avots ar komutatoru
- N-MED60. Tīkla analizators
- N-MED65. Digitālais multimetrs.



1. attēls. AEL-EEA aprīkojums

## 7.1.2 Moduļu apraksts

### 7.1.2.1 N-ALI02. Galvenais strāvas padeves bloks



2. attēls. Modulis N-ALI02

Elektrotīkla strāvas padeves modulis nodrošina pārējo moduļu barošanu. Tas ietver vienas fāzes sprieguma padevi rūpnieciska slēdža veidolā, kā arī līnijas (L), neitrālo (N) un zemējuma (GND) spaiļes.

Izņemama divu pozīciju atslēga (ieslēgts (ON), izslēgts (OFF)) veic galvenā slēdža funkciju.

Kad modulis ir pievienots tīklam un magnētiski termiskais slēdzis ir

aktivizēts, neatkarīgi no atslēgas un ārkārtas izslēgšanas slēdža pozīcijas iedegas sarkanā lampiņa pie ārkārtas izslēgšanas slēdža.

Otra sarkanā lampiņa, kas atrodas blakus drošības atslēgai, iedegas tikai tad, ja izvades spailēs ir spriegums (proti, aizsargfunkcijas ir pilnībā aktivizētas, un ārkārtas slēdzis ir izslēgts).

Iekārtas aizsardzību nodrošina automātiska divpolu diferenciālā aizsardzība (240 V/30 mA/25 A (testēts)) un automātisks divpolu magnētiski termiskais slēdzis (230/400 V, 16 A/6 kA).

Sēnes formas drošības spiedpogu izmanto, ja ķēde ir nekavējoties jāpārtrauc ārkārtas gadījumā.

Modulis N-ALI02 ietver tālāk norādītos elementus.



3. attēls. N-ALI02 elementi

- 1. 230 V maiņstrāvas ievades savienotājs:** šim modulim ir barošanas kabelis, ar kuru moduli var pievienot elektrotīklam.



4. attēls. Barošanas kabelis

- 2. Diferenciālā aizsardzība:** 2 polu 240 V/30 mA/25 A diferenciālais slēdzis (ar testēšanas funkciju) un 2 polu 230/400 V-16 A/6 kA magnētiski termiskais slēdzis nodrošina iekārtas aizsardzību.
- 3. Pievienotas strāvas padeves indikators:** šī lampiņa norāda, ka modulis ir pievienots elektrotīklam un magnētiski termiskā aizsargfunkcija ir aktivizēta.
- 4. Aktīvas izvades indikators:** šī lampiņa iedegas, ja darbojas visas iekārtas aizsargfunkcijas. Šādā gadījumā barošanas modulis ir gatavs lietošanai.
- 5. Ārkārtas apturēšanas sēnes formas drošības spiedpoga:** sēnes formas drošības spiedpogu izmanto, ja ārkārtas situācijā ir nekavējoties jāatvieno strāvas padeve ķēdei.

- 6. Drošības atslēga:** šai atslēgai ir divas pozīcijas: ieslēgta (ON) un izslēgta (OFF). Laboratorijā atbildīgā persona var izņemt atslēgu, kad tā ir izslēgtā pozīcijā, lai neļautu studentiem darbināt moduli. Pārbaudiet, vai, kad ir aktivizēts magnētiski termiskais jaudas slēdzis, iedegas aktīvas izvades gaismas diode un vai ir deaktivizēta sēnes formas drošības spiedpoga, un pēc tam pagrieziet drošības atslēgu ieslēgtā pozīcijā.
- 7. Vienfāzes spaiļes:** divas vienfāzes 230 V maiņstrāvas izvades.
- 8. Zemējuma spaiļe:** šai spaiļei ir jābūt pievienotai, jo, ja rodas kāda kļūme ķēdē, to automātiski uztver paliekošās strāvas jaudas slēdzis. Drošības nolūkos zemējuma spaiļe ir savienota ar moduļa korpusu.

### 7.1.2.2 N-VVCA/M. Maiņstrāvas motora ātruma kontroleris



5. attēls. N-VVCA/M

Šis modulis sastāv no elektroniska variatora, kas kontrolē trīsfāžu indukcijas motoru. Kontrolis nodrošina motoram pievadītās strāvas frekvences izmaiņas. Šis modulis ir aprīkots ar trim savienojumiem (U, V un W) un zemējuma savienojumu (GND). Variatora barošanas spriegums ir 230 V (maiņstrāva); to pievieno, izmantojot spaiļes L un N.

Lai nodrošinātu motora kontroli, katrai variatora izvadei ir jābūt savienotai ar attiecīgo motora fāzi un abu iekārtu zemējumu. Novietojiet slēdži iedarbināšanas pozīcijā un grieziet variatora melno potenciometru, lai regulētu motora ātrumu. Variatora displejā ir redzama motoram piemērotās frekvences vērtība.



### 7.1.2.3 EMT7. Trīsfāžu asinhrondzinējs



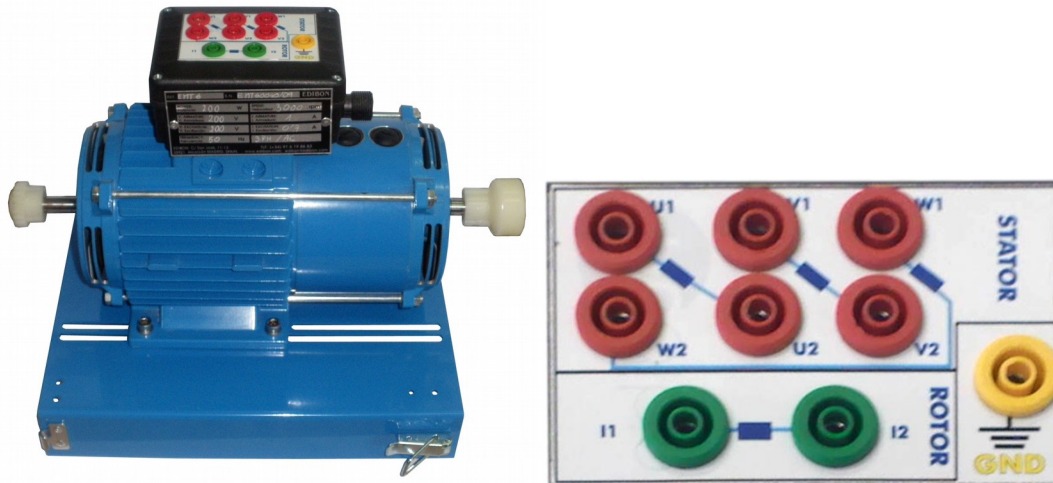
6. attēls. EMT7

Šo motoru izmanto sinhronā ģeneratora darbināšanai dažādos ātrumos.

#### Tehniskās specifikācijas

- Nominālā jauda: 370 W
- Nominālais spriegums: 3 x 230/400 V (maiņstrāva)
- Frekvence: 50/60 Hz
- Polu skaits: 2
- Apgr./min. 2730 apgr./min.
- Nominālā strāva: 1,67/0,97 A

### 7.1.2.4 EMT6. Sinhrons trīsfāžu motora maiņstrāvas ģenerators



7. attēls. EMT6

Šī iekārta ir sinhrons trīsfāžu magnētelektriskais ģenerators ar neatkarīgu ierosmi, ko izmanto dažādu slodzes vērtību nodrošināšanai.

#### Tehniskās specifikācijas

- Nominālā jauda: 200 W
- Nominālais spriegums: 3 x 200 V (maiņstrāva)
- Frekvence: 50 Hz
- Polu skaits: 2
- Apgr./min. 3000 apgr./min.
- Nominālā strāva: 1 A
- Nominālā ierosmes strāva: 0,7 A

### 7.1.2.5 N-VREG. Sprieguma regulatora modulis



8. attēls. N-VREG elementi

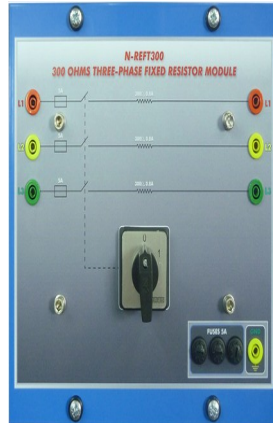
Šo moduli izmanto ģenerators ierosmes kontrolēšanai. Lai kontrolētu šo parametru, poga ir jāgriež pulksteņrādītāju kustības vai pretējā virzienā.

Regulēšanas moduli N-VREG izmanto ģenerators sprieguma moduļa kontrolei.

Daļu apraksts

1. Ampērmetrs. Tas attēlo ģenerators ierosmes strāvu, nodrošinot aktuālu informāciju atkarībā no ģenerators izvades sprieguma.
2. Spaiļes, kas jāsavieno, lai nodrošinātu ģenerators ierosmi.
3. 230 V maiņstrāvas padeves spaiļes.
4. Ierosmes kontrolleris.
5. Fāžu ierosmes drošinātājs.
6. Slēdzis ierosmes iespējošanai.

### 7.1.2.6 N-REFT300. 300 omu trīsfāžu fiksēts rezistora modulis



9. attēls. N-REFT300

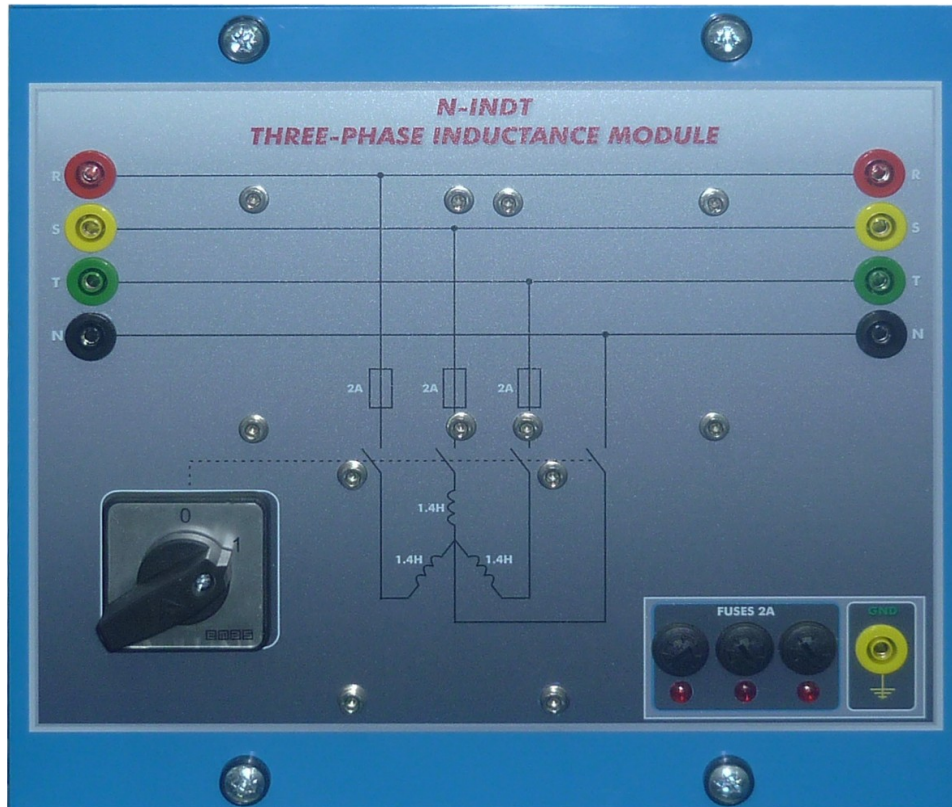
Šo iekārtu izmanto kā trīsfāžu aktīvo slodzi ar 3 x 300 omu vērtību.

Šī iekārta ietver manuālu komutatoru slodzes ieslēgšanai/izslēgšanai.

#### Tehniskās specifikācijas

- Rezistora vērtība: 3 x 300 omu
- Nominālā jauda: 3 x 200 W
- Drošinātāji: 3 x 5 A

### 7.1.2.7 N-INDT. Trīsfāžu induktīvā slodze ar komutācijas funkciju



10. attēls. N-INDT

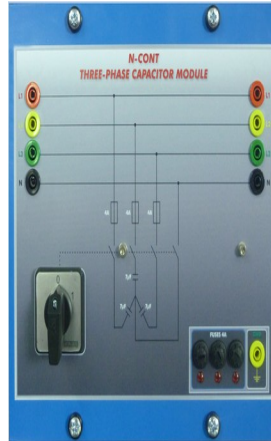
Šo iekārtu izmanto kā trīsfāžu induktīvo slodzi 1,4 H apmērā.

Šī iekārta ietver manuālu komutatoru slodzes ieslēgšanai/izslēgšanai.

#### Tehniskās specifikācijas

- Indukcijas vērtība: 1,4 H
- Nominālā strāva: 1,6 A
- Drošinātāji: 3 x 2 A

### 7.1.2.8 N-CONT. Trīsfāžu kapacitīvā slodze ar komutācijas funkciju



11. attēls. N-CONT

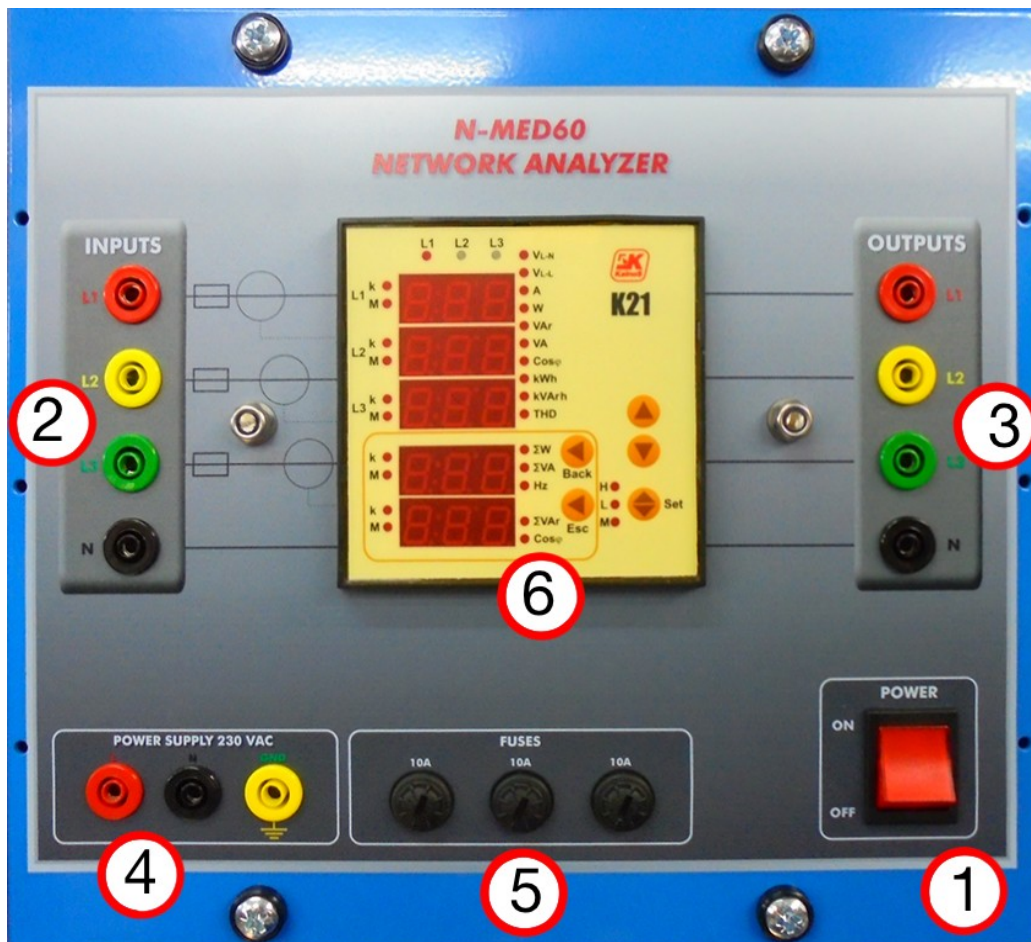
Šo iekārtu izmanto kā trīsfāžu kapacitīvo slodzi 3 x 7 uF apmērā.

Šī iekārta ietver manuālu komutatoru slodzes ieslēgšanai/izslēgšanai.

#### Tehniskās specifikācijas

- Kondensatora vērtība: 3 x 7 uF
- Nominālais spriegums: 400 V maiņstrāva
- Drošinātāji: 5 A

### 7.1.2.9 N-MED60. Tīkla analizators



12. attēls. N-MED60. Tīkla analizators

Tīkla analizatora moduli izmanto, lai analizētu tīkla elektriskos parametrus: aktīvo jaudu, reaktīvo jaudu, pilno jaudu, aktīvo un reaktīvo enerģiju, jaudas koeficientu, strāvu un frekvenci.

Daļu apraksts

- 1. Ieslēgšanas/izslēgšanas slēdzis.**
- 2. Ievades spaiļes:** mērīšanas punkta ievades savienojums.

3. **Izvades spaiļes:** mērišanas punkta izvades savienojums.
4. **Padeves spaiļes:** šīs spaiļes izmanto moduļa barošanai (230 V maiņstrāva).
5. **Drošinātāji:** 10 A drošinātāji.
6. **Tīkla analizatora displejs:** tajā ir norādītas sprieguma, strāvas, aktīvas, reaktīvās un pilnās jaudas, frekvences un enerģijas mērijumu vērtības.



**7.1.2.10 N-MED65. Digitālais multimetrs****13. attēls. N-MED65. Digitālais multimetrs**

Šis modulis ir aprīkots ar 3 ½ ciparu digitālo multimetru un diviem aptuveni 4 mm kabeļiem ar divkāršiem galakontaktiem, kas nodrošina savienojumus.

Ar digitālo multimetru var mērīt šādas vērtības:

- Spriegums
- Strāva
- Pretestība
- Kondensatoru kapacitāte
- Temperatūra

## 7.2 TEORIJA

### 7.2.1 Ievads par sinhronajām mašīnām

Sinhronās mašīnas ir elektriskas mašīnas, kuru rotācijas ātrums “n” (apgr./min.) ir tieši saistīts ar maiņstrāvas tīkla frekvenci saskaņā ar šādu vienādojumu:

$$n = \frac{60 \cdot f}{p}$$

“p” ir mašīnas polu pāru skaits. Atšķirībā no asinhronajām mašīnām sinhrono mašīnu rotācijas ātrums ir vienmērīgs.

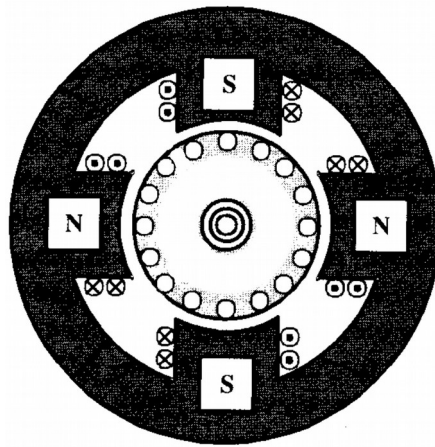
Šīs mašīnas izmanto industriālu iekārtu piedziņai ar vienmērīgu transmisijas ātrumu. Turklāt, salīdzinot ar asinhronām mašīnām, vēl viena priekšrocība ir iespēja vienlaikus regulēt jaudas koeficientu, kas noteiktiem pielietojumiem ir ļoti būtiski.

Šādi nav nepieciešams uzstādīt kondensatorus, lai samazinātu instalācijas absorbēto reaktīvo jaudu. Kad sinhronās mašīnas darbība ietver kapacitīvās jaudas koeficientu, tā darbojas kā sinhrons kondensators.

Līdzīgi kā citu veidu elektriskās mašīnas, sinhronās mašīnas sastāv no diviem neatkarīgiem tinumiem:

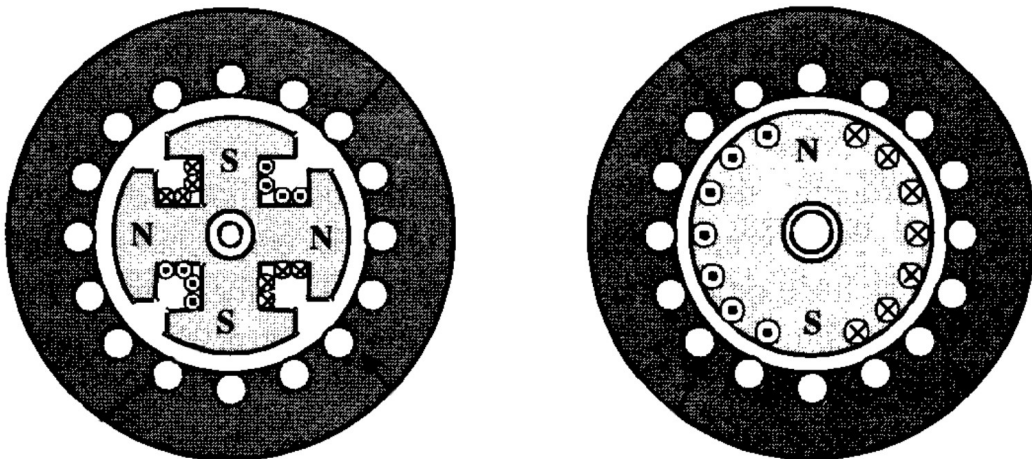
- induktora tinums ar līdzstrāvas barošanu, kas nodrošina mašīnas polus;
- enkura tinums, kas veido trīsfāžu tinumu.

Mazākām mašīnām induktora tinums parasti atrodas statorā. Enkura tinums atrodas rotorā un veido trīs fāzes.



14. attēls. Induktora tinums statorā

Lielām sinhronajām mašīnām poli atrodas rotorā un trīsfasu tinums atrodas statorā. Šādā gadījumā rotora konstrukcija var būt divu veidu — izvirzītu polu vai bezrievu rotors.



15. attēls. Induktora tinums rotorā

Induktora tinums tiek veidots, izmantojot divus gredzenus mašīnas kustīgajā daļā.

Jaudīgu mašīnu induktora atrašanās rotorā sniedz vairākas priekšrocības. Rotējošam enkura tinumam ir nepieciešami trīs gredzeni, lai uzņemtu ģenerēto spriegumu un nosūtītu to uz ārējo ķēdi. Šiem gredzeniem ir jābūt vismaz daļēji atsegtiem, tādēļ tos ir grūti izolēt, it īpaši, ja spriegums ir liels. Turklāt šādi gredzeni bieži izraisa dažādus traucējumus, tajā skaitā dzirksteles, īssavienojumus utt. Savukārt fiksētam enkura tinumam nav nepieciešami gredzeni, un vadītāji var būt pilnībā izolēti.

Vēl viena lieta, kas jāņem vērā saistībā ar šādām mašīnām, ir rotora konstrukciju atšķirības (bezrievu vai izvirzītu polu rotors). Šo divu veidu izvēle ir atkarīga no mašīnas griešanās ātruma. Ja nepieciešams lielāks ātrums, izmantojiet sinhrono mašīnu ar bezrievu rotoru. Mazākam ātrumam ir ieteicams izmantot sinhrono mašīnu ar izvirzītiem poliēm.

### 7.2.2 Sprieguma kritumi

Ja sinhronai mašīnai pievieno slodzi, iegūtais spriegums “V” kļūst zemāks nekā iepriekš “ $E_A$ ”. Izvades sprieguma samazināšanos izraisa enkura strāvas parādīšanās. Šī strāva izraisa sprieguma kritumu, kā arī vienlaikus ģenerē magnetodzinēj spēku “F”, kas mijiedarbojas ar induktoru. Šajā brīdī mainās mašīnas gaisa spraugas magnētiskā plūsma.

Sprieguma kritumu enkura ķēdē izraisa tinumu radītā pretestība. No vienas puses pastāv tinuma pretestība “R”, kas izraisa ļoti nelielu sprieguma kritumu (no 1% līdz 2% lieliem ģeneratoriem) un kas vairumā gadījumu ir nenozīmīga.

Uzmanība ir jāpievērš enkura pretestībai, jo statora izkliedes plūsmas dēļ tā nereaģē ar rotora plūsmu. Šī izkliedes plūsma nosaka induktivitāti ( $L\sigma$ ), kuru reizinot ar impulsstrāvu, iegūst statora izkliedes induktīvo pretestību:

$$X = L \cdot \omega = L \cdot 2\pi f$$

Šī pretestība izraisa lielāku sprieguma kritumu nekā iepriekš aprakstītā pretestība (no 10% līdz 15%).

Tagad apskatīsim, kā enkura magnetodzinējspēka ietekmē mainās mašīnas gaisa spraugas magnētiskā plūsma. Šo fenomenu dēvē par enkura reakciju un tas ietekmē statora strāvas lielumu un fāzi.

Trīsfāžu maiņstrāvas ģeneratora gadījumā inducētā strāva, plūstot caur tinumiem, ģenerē spēku ar sinhronizācijas ātrumu, kas vienāds ar rotora ātrumu.

Šis spēks ietekmē induktora tinuma ģenerēto spēku un var deformēt, palielināt vai samazināt mašīnas lauka ierosmi atkarībā no caur enkura tinumu plūstošās strāvas fāzes.

Aplūkosim induktora un enkura tinuma magnetodzinējspēku sastāvu ar aktīvu, induktīvu un kapacitīvu slodzi.



16. attēls. Faradeja likums un labās rokas likums

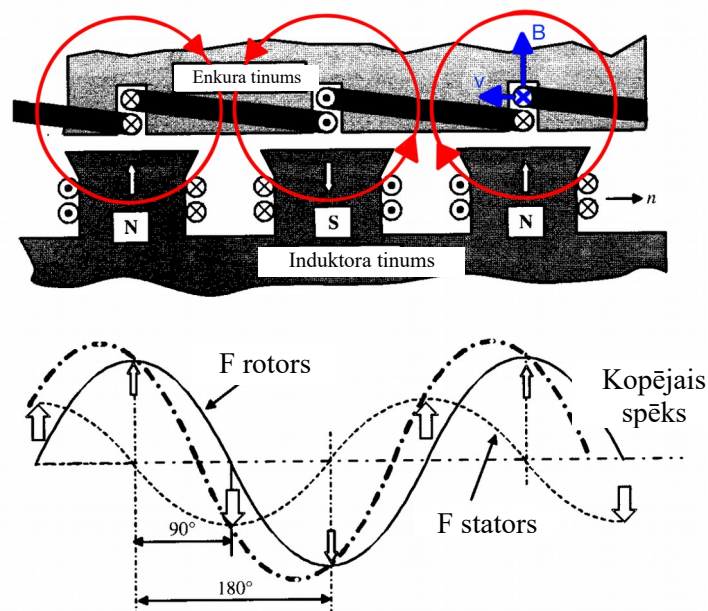
Ja slodze ir aktīva, jaudas koeficients un fāzes nobīde starp elektrodzinējspēku (e.m.f.) un strāvu ir  $\varphi = 0$ . Lai aprēķinātu “e.m.f.s.” virzienu, ir

jāizmanto Faradeja likums. Ātrums ir pretējs rotora griešanās virzienam, izskaidrojot relatīvo kustību starp abām ķēdēm (piemēram, fiksētu induktoru un kustīgu enkura ķēdi).

Šī strāva ģenerē magnetodzinējspēku. Tā virzienu nosaka, izmantojot labās rokas likumu. Reizēm tas tiek neutralizēts, un reizēm tas gūst pārsvaru. Ņemot vērā šo informāciju, var attēlot “f.m.m.” enkuru.

### a) Aktīva slodze

Apvienojot magnetodzinējspēkus, iegūstam kopspēku. Ir novērots, ka aktīvās slodzes gadījumā kopspēks tiek novirzīts par  $90^\circ$ , kas izraisa asimetrisku magnetodzinējspēka sadali zem poliem.

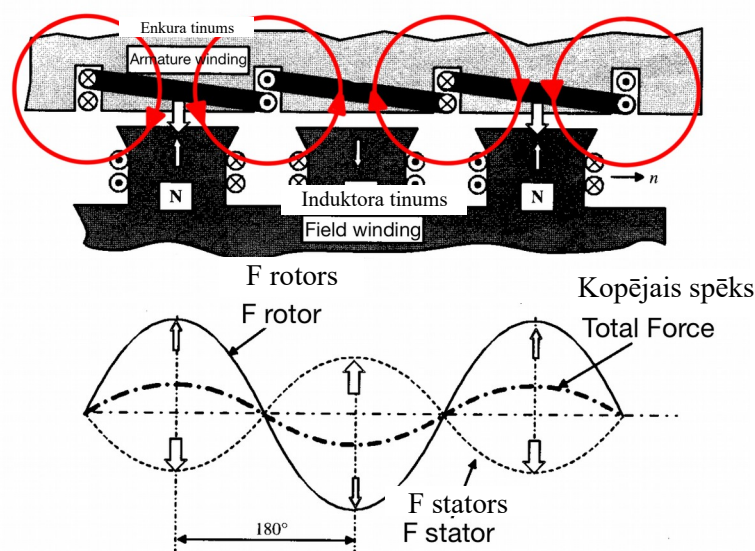


17. attēls. Rezistīvs lādiņš

**b) Induktīva slodze**

Induktīvas slodzes gadījumā fāzes nobīde starp “e.m.f.” un strāvu ir  $90^\circ$ . Šādā gadījumā strāva tiek novirzīta par  $90^\circ$  attiecībā pret rotora griešanās virzienu.

Attēlojot magnetodzinējspēkus, redzam, ka tie darbojas pretī. Tas samazina gaisa spraugas plūsmu un sprieguma kritumu.



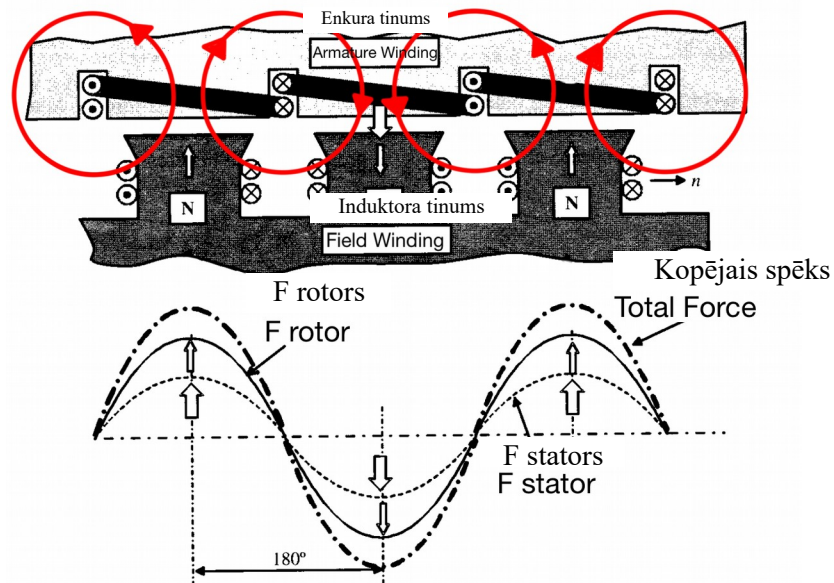
18. attēls. Induktīvs lādiņš

**b) Kapacitīva slodze**

Kapacitīvas slodzes gadījumā fāzes nobīde starp “e.m.f.” un strāvu ir  $90^\circ$ . Šādā gadījumā strāva tiek novirzīta par  $90^\circ$  attiecībā pret rotora griešanās virzienu.

Tagad varam novērot, ka kopspeks ir lielāks, un ir iespējamas divas situācijas:

- neliels sprieguma kritums;
- lielāks sprieguma kritums nekā iepriekš.



19. attēls. Kapacitīvs lādiņš

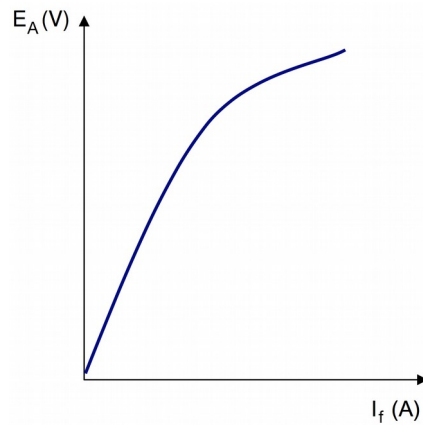
Lādiņu kombinācijas gadījumā fāžu starpība ir diapazonā no  $-90^\circ$  līdz  $+90^\circ$ , un pastāv asimetriska magnetodzinējspēka sadale zem poliēm.

### 7.2.3 Pārtrauktas ķēdes un īssavienojuma pārbaude.

#### Sinhronā induktīvā pretestība

Pārtrauktas ķēdes pārbaude nosaka “e.m.f.”. “ $E_A$ ” ir mašīnas spriegums, kad enkura strāva ir nulle ( $I_A=0$ ). Šajā pārbaudē mašīna kustas sinhronizācijas ātrumā. Induktoram tiek pievadīta līdzstrāva “ $I_f$ ”, kas pakāpeniski tiek palielināta, līdz tiek sasniegts nominālais izvades spriegums.

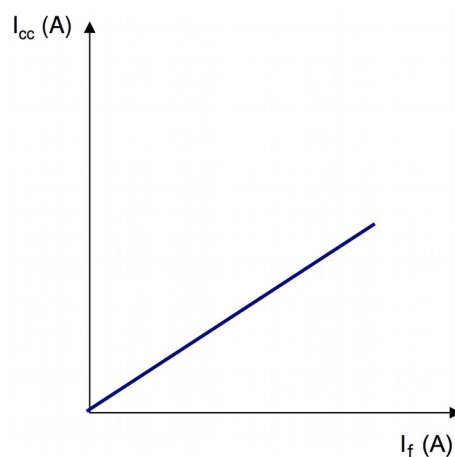




20. attēls. Pārtrauktas ķēdes līkne

Īssavienojuma pārbaude tiek veikta, lai aprēķinātu sinhrono induktīvo pretestību. Šajā pārbaudē mašīnas spriegums ir nulle.

Īssavienojuma pārbaudē maiņstrāvas ģenerators kustas sinhronizācijas ātrumā. Sākotnēji " $I_f = 0$ ", tāpēc pakāpeniski palielinām " $I_f$ ", līdz enkura strāva sasniedz nominālo vērtību.



21. attēls. Īssavienojuma līkne

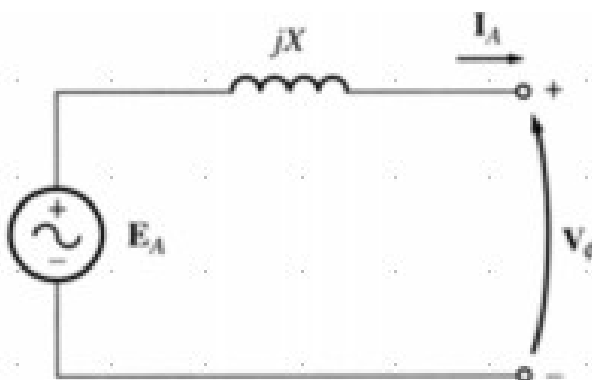
Sinhronā induktīvā pretestība ir:

$$Z_S = \frac{E_A}{I_{cc}} \quad X_S = \sqrt{Z_S^2 - R^2}$$

“R” ir fāzes pretestība.

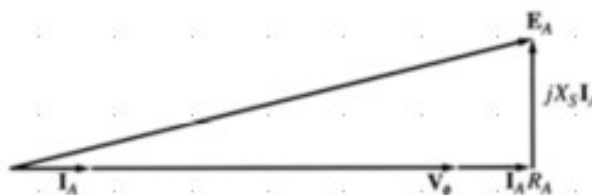
### 7.2.4 Vektoru diagramma

$$E_A = V_\phi + j \cdot X_S I_A$$



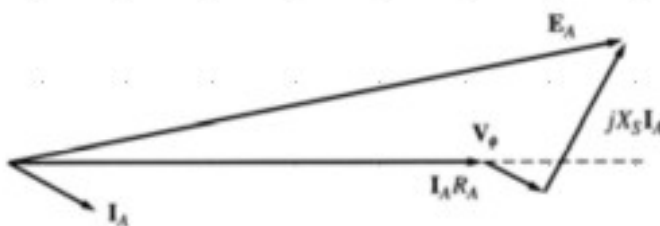
22. attēls. Ekvivalentā shēma

Bieži vien enkura pretestība un pašindukcija tiek apvienotas kā mašīnas sinhronā induktīvā pretestība “ $X_s$ ”.



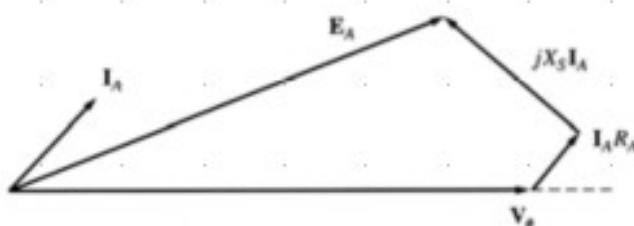
23. attēls. Sinhrona ģenerators ar aktīvu slodzi vektoru diagramma

Induktīva slodze: iekšēji ģenerēts spriegums " $E_A$ ", kas ir lielāks, nekā nepieciešams, lai apsteidzošais jaudas koeficients veidotu tādas pašas fāzes spriegumu.



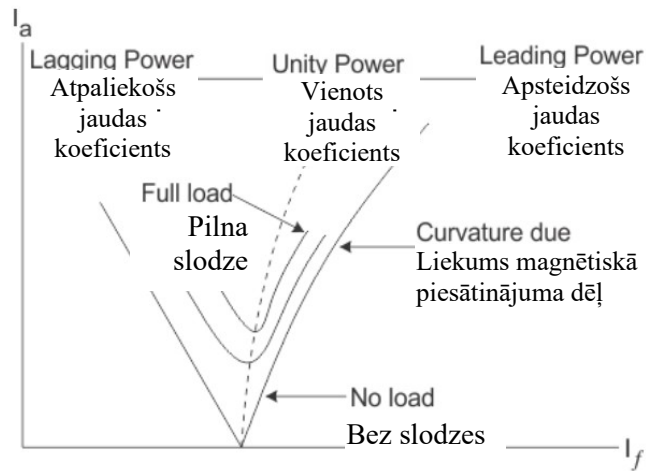
24. attēls. Sinhrona ģeneratora ar induktīvu slodzi vektoru diagramma

Kapacitīva slodze: pie noteiktas ierosmes strāvas un slodzes strāvas spriegums spailēs ir zemāks pie atpaliekošas slodzes un lielāks pie apsteidzošas slodzes.



25. attēls. Sinhrona ģeneratora ar kapacitīvu slodzi vektoru diagramma

Kad sinhronā mašīna darbojas ar nemainīgu sprieguma padevi ( $V$ ), " $V$ " pieprasa jaunu gaisa spraugas magnētiskās plūsmas vērtību. Iegūto gaisa spraugas magnētiskās plūsmas vērtību nosaka, kombinējot enkura tinuma maiņstrāvas padevi un rotora tinuma līdzstrāvas padevi.

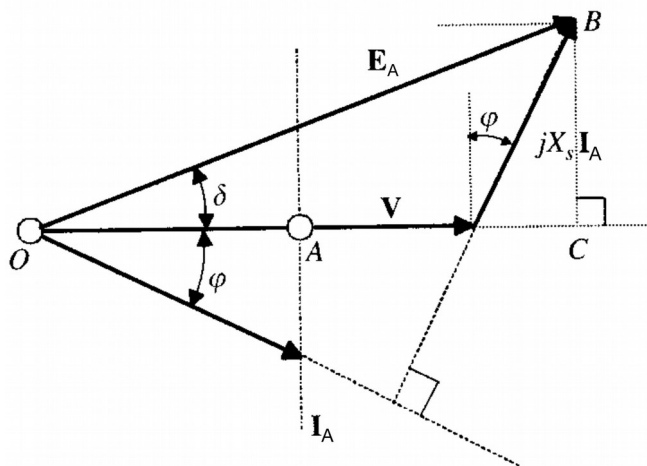


26. attēls. Sinhronā motora V likne

## 7.2.5 Tīklam pievienota maiņstrāvas ģenerators darbība

Vispirms aplūkosim sinhrono mašīnu ģenerēto jaudu, strādājot ar primāro enerģiju.

Izmantosim šādu vektoru diagrammu:



27. attēls. Vektoru diagramma

Pilnā jauda ir:

$$S = 3VI_A^* = 3VI_A \cos(\phi) + j3VI_A \sin(\phi) = p + jQ$$

“ $I_A^*$ ” ir “ $I_A$ ” konjugāts.

Iegūstam strāvu:

$$I_A = \frac{E_A - V}{jX_S}$$

Mēs zinām:

$$E_A = E_A \angle \delta = E_A \cos(\delta) + jE_A \sin(\delta)$$

$$V = V \angle 0^\circ$$

Tad strāva ir:

$$I_A = \frac{(E_A \cos(\delta) - V) + jE_A \sin(\delta)}{jX_S}$$

Konjugētā strāva ir:

$$I_A^* = \frac{(E_A \cos(\delta) - V) - jE_A \sin(\delta)}{jX_S}$$

Pilnā jauda ir:

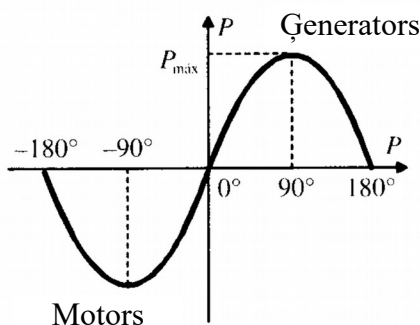
$$S = 3V \frac{(E_A \cos(\delta) - V) - jE_A \sin(\delta)}{jX_S}$$

$$S = \frac{3E_A V}{X_S} \sin(\delta) + 3 \frac{E_A V \cos(\delta) - V^2}{X_S}$$

Varam noteikt, ka aktīvā un reaktīvā jauda ir:

$$P = \frac{3E_A V}{X_S} \sin(\delta)$$

$$Q = 3 \frac{E_A V \cos(\delta) - V^2}{X_S}$$



28. attēls. Aktīva jauda

Redzam, ka maksimālā ģenerētā jauda ir “ $\delta = 90^\circ$ ”. Šis leņķis atspoguļo stabilitātes ierobežojumu. Ja leņķis ir lielāks, jauda samazinās, un jaudas rezerve tiek pārveidota paātrinājuma griezes momentā, kas palielina ģeneratora ātrumu, tādējādi zaudējot sinhronizāciju.

$$P = \frac{3E_A V}{X_S}$$

Ja “ $\delta > 0$ ”, mašīnas ģenerētā aktīvā jauda ir pozitīva un atbilst sinhronā ģeneratora darbībai. Ja “ $\delta < 0$ ”, aktīvā jauda ir negatīva, un mašīna darbojas kā sinhronais motors.

Palielinot jaudu, palielinās “ $\delta$ ”. “ $E_A$ ” vērtība paliek nemainīga, jo tā ir atkarīga no ierosmes intensitātes. “ $E_A$ ” raksturotais lokuss (konstantei “ $I_f$ ”) ir aplis ar centru “ $C$ ” un rādiusu “ $E_A$ ”.

Redzam, ka “ $X_S I_A$ ” projekcija uz vertikālās ass ir proporcionāla nodrošinātajai aktīvajai jaudai, un projekcija uz horizontālās ass atbilst reaktīvajai jaudai.

$$|OB| = X_S I_A \quad |AB| = X_S I_A \cdot \cos(\delta) \quad |OB| = X_S I_A \cdot \sin(\delta)$$

Aktīvā un reaktīvā jauda ir:

$$P = 3VI_A \cdot \cos(\phi) \quad Q = 3VI_A \cdot \sin(\phi) \quad S = 3VI_A$$

Reizinot un dalot ar “ $X_S$ ”, iegūstam šādus vienādojumus:

$$P = \frac{3V}{X_S} I_A \cdot X_S \cdot \cos(\phi) \quad Q = \frac{3V}{X_S} I_A \cdot X_S \cdot \sin(\phi) \quad S = \frac{3V}{X_S} I_A \cdot X_S$$

Tad:

$$P = \frac{3V}{X_S} |AB| \quad Q = \frac{3V}{X_S} |OA| \quad S = \frac{3V}{X_S} |OB|$$

Varam secināt, ka:

- 1) palielinot aktīvo jaudu, mainās arī reaktīvā jauda un fāzes leņķis “ $\phi$ ”;
- 2) ja  $\delta > 0$ , jauda samazinās, un jaudas rezerve tiek pārveidota paātrinājuma griezes momentā, kas palielina ģenerators ātrumu, tādējādi zaudējot sinhronizāciju.

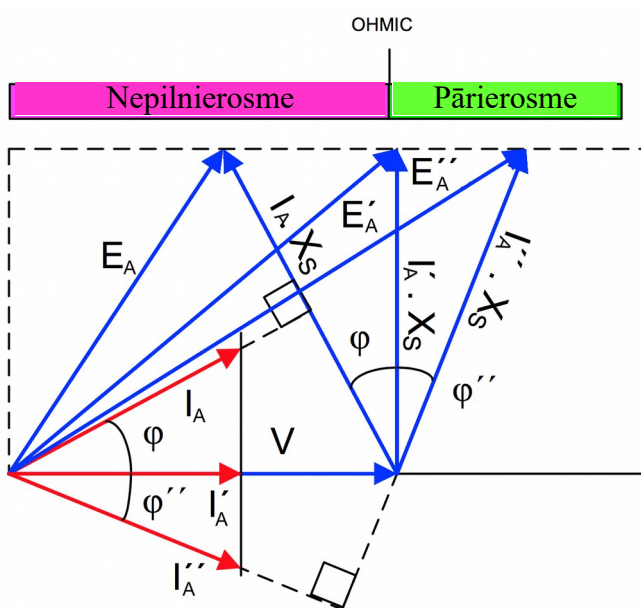
Tagad pievērsīsimies ierosmes strāvai.

Palielinoties ierosmes strāvai, aktīvā jauda nemainās.

$$P = 3VI_A \cdot \cos(\phi)$$

“ $X_S I_A$ ” projekcija uz vertikālās ass nemainās, taču pilnā jauda mainās. Tas nozīmē, ka, mainot ierosmi, vektora “ $E_A$ ” gals pārvietojas paralēli horizontālajai asij.

Pastāv četri darbības veidi: nepilnierosme (nodrošina kapacitīvu reaktīvo jaudu tīklam), pārierosme (nodrošina reaktīvu jaudu tīklam), omiskais parametrs un nestabilais reģions ( $\delta > 90^\circ$ ). Tādējādi, kontrolējot sinhronā motora ierosmes strāvu, var kontrolēt energosistēmas patērēto vai tai piegādāto reaktīvo jaudu.



29. attēls. Vektoru diagramma

### 7.2.6 Vispārīgs sinhronās mašīnas izkārtojums

Parasti sinhronā mašīna sastāv no tālāk norādītajām daļām.

- **Stators:** tas ir mašīnas inducētais tinums, kas parasti ir novietots magnētisko plātņu toroidālā cilindriskā kodolā un piestiprināts pamata plātnei.
- **Rotors:** tas ir mašīnas tinuma induktors, kura barošanu nodrošina līdzstrāva. Tam var būt izvirzīti vai cilindriski poli. Atsevišķos gadījumos rotora tinums var būt aizstāts ar pastāvīgajiem magnētiem.



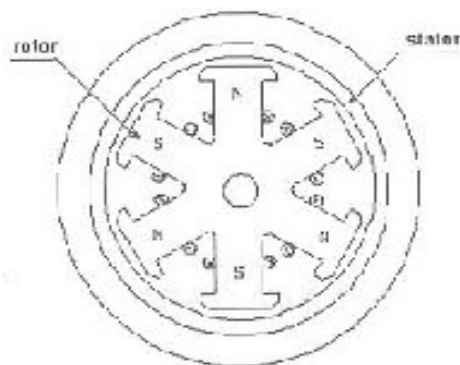
- **Ierosinātājs:** tā ir neliela dinamo ierīce, kuras jauda gandrīz vienmēr ir zemāka nekā 5% maiņstrāvas ģenerators jaudas. To parasti uzstāda pie maiņstrāvas ģenerators ass, lai izvairītos no nepieciešamības pēc papildu neatkarīga mehāniskā motora tā darbināšanai. Mūsdienās šos ierosinātājus aizstāj ar elektroniskiem strāvas taisngriežiem.

Tādēļ tikai mazām mašīnām (līdz 5 kW) enkura tinums atrodas rotorā un induktors — statorā (kā līdzstrāvas mašīnām).

Tā kā barošanu nodrošina līdzstrāva, pastāv tieša saistība starp ātrumu un statora maiņstrāvas frekvenci (un apgriezta saistība attiecībā pret polu skaitu).

$$\frac{n}{f} = \frac{1}{p} T = \frac{W_{rot} \cdot 60}{2 \pi n}$$

“n” ir apgriezienu skaits sekundē, “f” ir statora strāvas frekvence, un “p” ir polu pāru skaits.



30. attēls. Sinhronās mašīnas rotors un stators

Tādējādi maiņstrāvas ģenerators inducētās statora strāvas frekvence ir:

$$f = p \cdot n \text{ Hz}$$

Sinhronā motora gadījumā rotora ātruma vērtība ir šāda:

$$n = 60 \cdot f / p \text{ apgr./min.}$$

Sinhronās mašīnas pēc fāžu skaita var iedalīt vienfāzes un vairākfāžu (parasti — trīsfāžu) mašīnās.

Atkarībā no induktīvās sistēmas sinhronās mašīnas var iedalīt heteropolārās un homopolārās mašīnās. Heteropolārām mašīnām enkura tinuma spoles pamīšus ir virzītas caur pretējiem poliem, savukārt homopolārām mašīnām spoles vienmēr ir virzītas caur vienādiem poliem.

Plašāk tiek izmantotas heteropolārās mašīnas ar frekvenci no 25 līdz 60 Hz. Homopolārās mašīnas izņēmuma kārtā izmanto vidēju frekvenču (no 400 līdz 10 000 Hz) maiņstrāvas ģeneratoriem.

### 7.2.7 Asinhronzinējs

Tas sastāv no tālāk norādītajām daļām.

- a) **Magnētisko plātņu gredzens** biezumā no 0,35 līdz 0,5 mm. Katra plātne ir izolēta no pārējām ar lakas pārklājumu. Katrā plātnē ir iekšējs padziļinājums, un tās ir saspiežot piestiprinātas čuguna apvalkam vai lodētām tērauda rāmim.
- b) **Izkliedēts vairākfāžu tinums**, kas atrodas statora bloka padziļinājumā. Šis tinums kalpo kā induktors un ģenerē rotējošu magnētisko lauku, kas

nodrošina rotora kustību.

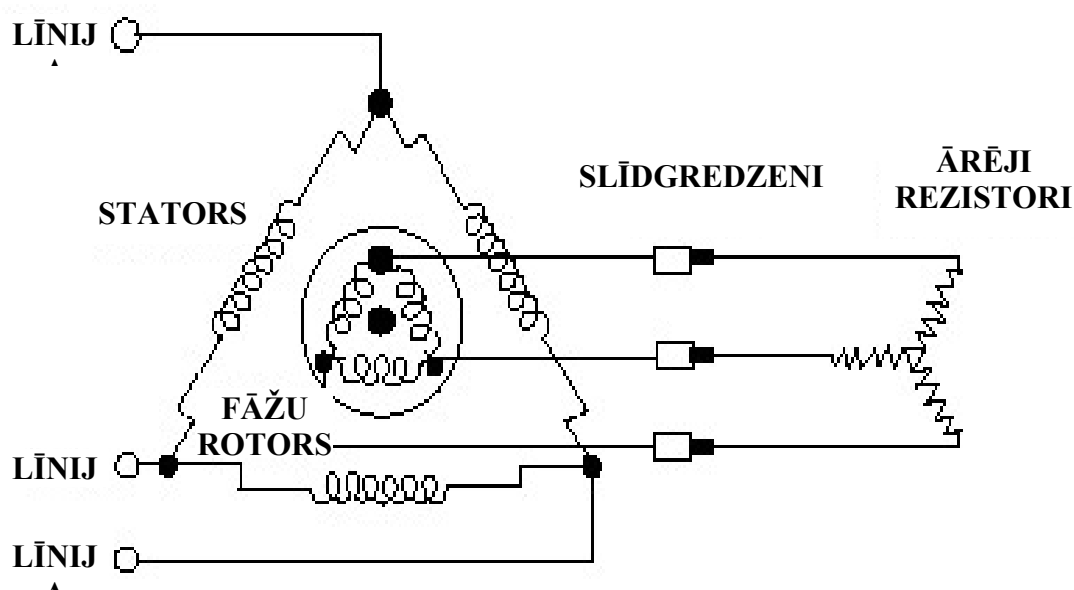
- c) **Magnētisko plātņu gredzens**, kas mazām mašīnām ir uzstādīts tieši uz ass, savukārt vidējas un lielas jaudas mašīnām tas ir piestiprināts tērauda konstrukcijai, kas pielodēta asij (ar padziļinājumiem uz āru).
- d) **Vairākfāžu tinums**, kas atrodas rotora padziļinājumos un kas kalpo kā asinhronās mašīnas inducētais tinums.

Statora gredzens un tinumi kalpo kā stators un ne ar ko neatšķiras no trīsfāžu maiņstrāvas ģeneratora statora.

Atšķirībā no sinhronajām mašīnām rotoram nav nepieciešams līdzstrāvas avots, lai ģenerētu polu magnētismu. Tas nav elektriski savienots ar citām daļām un ir lēti izgatavojams, tādēļ šādi rūpnieciskie motori ir ļoti plaši izmantoti. Asinhronajiem motoriem var būt divu veidu rotoru, no kā atkarīgas noteiktas motora īpašības.

- **Īsslēgts rotors:** to dēvē arī par īssavienojuma rotoru. Parasti tā gredzeni ir veidoti no alumīnija. Tie ir savienoti ar tāda paša materiāla stieņiem, veidojot cilindrisku kārbu, kuras iekšpusē un apkārtņē veidojas kodols, ko nodrošina magnētiskās plātnes. Ar šāda veida rotoru parasti ir aprīkoti mazas un vidējas jaudas motori.
- **Fāžu rotors:** to dēvē arī par slīdgredzenu rotoru. Šādus rotorus izmanto tikai lielas jaudas motoriem, kaut gan izpētes nolūkos ir iespējams izgatavot arī mazus motorus ar fāžu rotoru. Tas sastāv no cilindriskā kodola no magnētisku plātņu grēdas ar noteiktu skaitu padziļinājumu sānos, kur atrodas izolēti vara vadītāji. Tinumi veido trīs atsevišķas spoles, kas kalpo kā trīsfāžu sistēma ar tādu pašu enkura posmu skaitu, kas atbilst statora

polu skaitam. Savienojumi parasti tiek veidoti zvaigznes formā. Trīs izvades ir savienotas ar trim gredzeniem, nodrošinot savienojumu ar spaiļu bloku ar trim birstēm. Normālos darba apstākļos spaiļes ir savienotas ar reostata galiem, kā norādīts 31. attēlā.



31. attēls. Fāžu rotora normāla darbība

Reostats nodrošina maksimālu pretestību iedarbināšanas vajadzībām un, kad motors uzņem ātrumu, pakāpeniski tiek veidots īssavienojums. Šādi samazinās iedarbināšanas strāva un palielinās griezes moments. To atspoguļo tālāk norādītā informācija.

### 7.2.8 Asinhronās mašīnas ātrums

Asinhronais motors ietver rotējošu magnētisko lauku, kura ātrumu būtībā nosaka elektrotīkla frekvence un polu pāru skaits. To atspoguļo šis vienādojums:

kur “f” ir tīkla frekvence (ciklos sekundē), “p” ir statora polu pāru skaits,

$$n_s = \frac{f}{p}$$

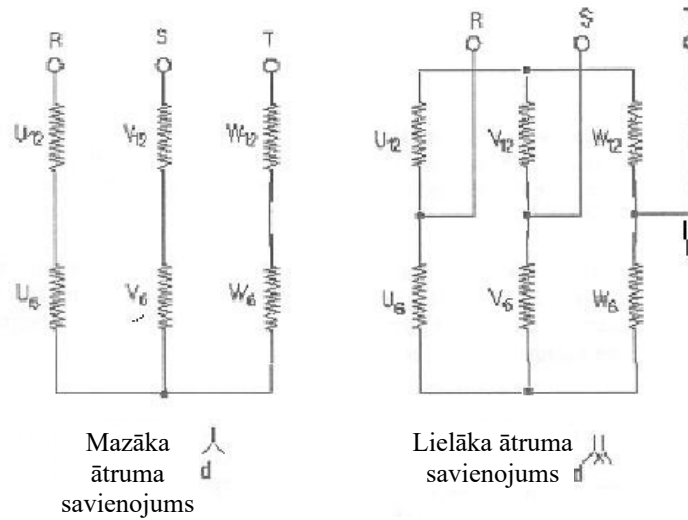
un “n” ir rotējošā magnētiskā lauka ātrums (apgriezīenos sekundē).

“n<sub>s</sub>” ir sinhronizācijas ātrums. Tas atbilst magnētiskā lauka rotācijas ātrumam, taču rotors griežas nedaudz lēnāk par rotējošo lauku. Šo relatīvo ātrumu dēvē par absolūto buksēšanu un tā vērtība ir:  $n_d = n_s - n$

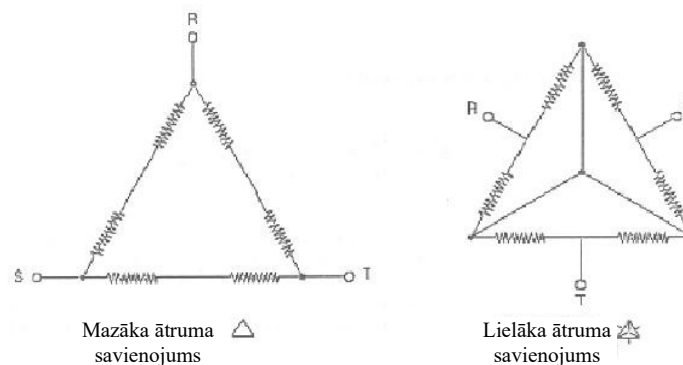
Relatīvo buksēšanu izsaka ar šādu izteiksmi:

$$s = \frac{n_d}{n_s} = \frac{n_s - n}{n_s} = 1 - \frac{n}{n_s}$$

Vienam motoram ir iespējams panākt vairākas (divas, trīs vai pat četras) ātruma vērtības, mainot statora polu skaitu. Šo procesu izmanto motoriem ar īsslēgtu rotoru, jo rotora poli vienmēr ir tādi paši kā statoram. To var izmantot arī motoriem ar fāžu rotoru, taču šādā gadījumā būtu jāizmanto rotora polu vienlaicīgs mainīgums, kas procesu padara pārmērīgi sarežģītu. Divu ātrumu nodrošināšanai tiek izmantotas divas klasiskas metodes.



32. attēls. Savienojums, zvaigzne — divkārša zvaigzne



33. attēls. Savienojums, delta zvaigzne

- **“Dahlander” savienojums:** tinumus izmanto ar divām pusēm. Veicot vienkāršu savienojumu maiņu, tiek panākti divi ātrumi 2:1 attiecībā. 32. un 33. attēlā ir norādīti divi pieejamie varianti: zvaigzne — divkārša zvaigzne un delta zvaigzne.
- **Savienojums ar neatkarīgiem tinumiem:** savstarpēji tiek savienoti divi neatkarīgi tinumi. Katrs no tiem veido nepieciešamo polu skaitu. Šādu

savienojumu var izmantot jebkādai polu kombinācijai. Savietojot divus “Dahlander” tinumus, var iegūt četrus ātrumus.

Mūsdienās ar šādiem motoriem bieži aizstāj dažādas jaudas līdzstrāvas motorus to lielās jaudas, kompakto izmēru un ekonomisko izmaksu dēļ. Ātrumu var mainīt, izmantojot elektronisku shēmu, kas elektrotīkla maiņstrāvas spriegumu pielāgo vēlamajai trīsfāžu maiņstrāvas sprieguma vērtībai, kurai vienlaikus var mainīt frekvenci un spriegumu (attiecībai “ $v/f$ ” ir jāpaliek nemainīgai, līdz ir sasniegts nominālais ātrums. Pēc tam tiek palielināta tikai frekvence). Motora ātrumu var mainīt diapazonā no gandrīz nulles līdz tā divkārtšam nominālajam ātrumam. Problēmas sagādā šādu shēmu sarežģītība un elektroniskā aprīkojuma izmaksas.

### 7.2.9 Indukcijas motoru iedarbināšana

Tīklam pievienoto ierīču dēļ tieša savienojuma gadījumā ir jāņem vērā panākt samazinātu iedarbināšanas strāvu. Būtībā intensitāti izsaka kā nominālās strāvas reizinātāju, ļaujot salīdzināt dažādu izmēru motorus. Pārmērīgi maza iedarbināšanas strāva nelabvēlīgi ietekmē mašīnas tehniskos parametrus, it īpaši iedarbināšanas griezes momentu, maksimālo griezes momentu un nominālo jaudas koeficientu. Tomēr tā ļoti maz ietekmē sniegumu.

Motorus iedarbina dažādi atkarībā no tā, vai tiek iedarbināts motors ar īsslēgtu rotoru vai slīdgredzenu rotoru. Tas ir aprakstīts tālāk.

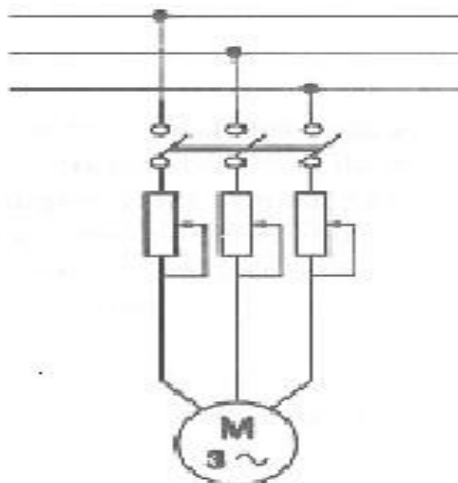
#### 7.2.9.1 Motoru ar īsslēgtu rotoru iedarbināšana

Motora iedarbināšanai ir nepieciešams straujš paātrinājums un tādējādi — liels iedarbināšanas griezes moments. Tam jābūt daudz lielākam par slodzes pretestības griezes momentu un berzi.

Iedarbināšanas griezes moments ir jāsasniedz bez pārmērīga paātrinājuma,

lai izvairītos no sprieguma krituma tīklā, kas traucētu citu tam pievienoto iekārtu darbību. Lai panāktu pietiekamu iedarbināšanas griezes momentu pie ierobežotas strāvas, izmanto vienu no četrām tālāk aprakstītajām procedūrām.

- **Tiešs savienojums:** šī procedūra ir plaši izmantota gandrīz visos rūpnieciskajos pielietojumos, taču to var izmantot tikai tad, kad to pieļauj tīkla apstākļi. Iedarbināšanas strāva ir līdzīga motora īssavienojuma strāvai pie nominālā sprieguma. Tā pārsniedz nominālo strāvu no 3 līdz 8 reizēm, savukārt iedarbināšanas griezes moments pārsniedz nominālo vērtību no 1 līdz 1,4 reizēm.
- **Rezistoru ievietošana statorā:** šo metodi izmanto, ja nepieciešams samazināt iedarbināšanas strāvu, jo ir jāsamazina padeves spriegums. Viens veids, kā to panākt, ir katram motora tinumam pievienojot maiņrezistoru, kura darbība samazinās, motoram paātrinoties, kā norādīts 34. attēlā.



34. attēls. Rezistoru ievietošana statorā

Jebkura metode, kas samazina motora statoram pievadīto spriegumu, samazina no līnijas gūto strāvu un griezes momentu. Strāva samazinās tādā pašā

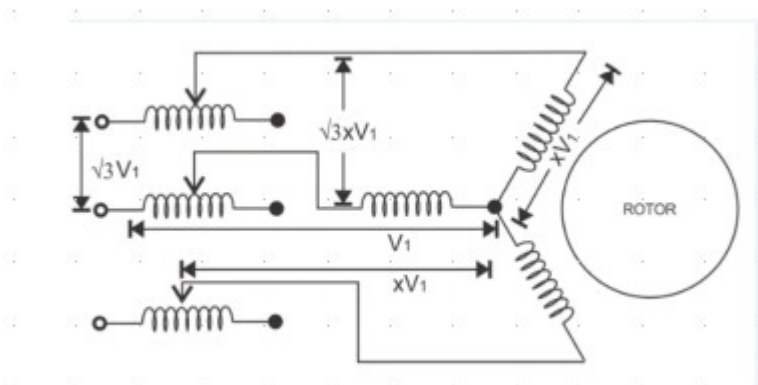


attiecībā kā spriegums, un griezes moments samazinās kvadrātiski.

### a) Automātiskā transformatora ievietošana padeves ķēdē

Lai samazinātu spriegumu (un tādējādi arī strāvu) iedarbināšanas brīdī, var izmantot trīsfāžu automātisko transformatoru ar izvadēm, kas nodrošina 50, 65 un 80% līnijas sprieguma. Ja motors nespēj veikt paātrinājumu pie zemākā sprieguma, var izvēlēties lielāku spriegumu, līdz tiek panākts vajadzīgais iedarbināšanas griezes moments.

Šāda sistēma ir attēlota 35. attēlā.



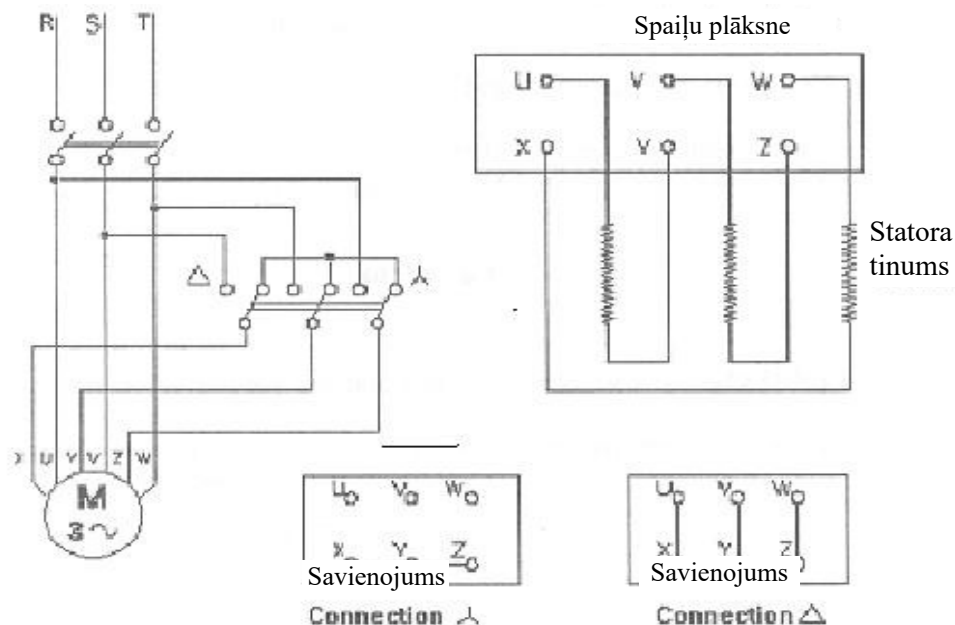
35. attēls. Automātiskā transformatora ievietošana padeves ķēdē

Neatkarīgi no transformatora šādā sistēmā ir nepieciešami releji minimālā sprieguma un kontaktu aizsardzībai. Parasti tas attiecas uz iedarbināšanas sistēmām ar manuālu vai automātisku transformatoru. Tādēļ salīdzinoši lielo izmaksu dēļ (salīdzinājumā ar iedarbināšanu, izmantojot rezistorus) šo metodi izmanto motoriem ar jaudu virs 50 kW.

### b) Iedarbināšana, zvaigzne — trijstūris

Šo metodi var izmantot tikai motoriem, kuru darba ķēde veido trijstūra savienojumu. Iedarbināšanas laikā statora tinums tiek pārveidots uz zvaigznes veida

savienojumu. Kad tiek sasniegts nominālajam ātrumam tuvs ātrums, tiek izveidots trijstūra savienojums. Šāda veida ķēde ir attēlota 36. attēlā.



36. attēls. Iedarbināšana, zvaigzne — trijstūris

## 7.2.9.2 Slīdgredzenu motoru iedarbināšana

Slīdgredzenu motoriem parasti ir trīsfāžu tinumi, kas zvaigznes vai trijstūra veidā savienoti ar trim slīdgredzeniem. Šos gredzenus skar birstes, kas savienotas ar ārējiem rezistoriem, šādi noslēdzot fāžu ķēdi. Vairumam slīdgredzenu motoru, kuru parametri pārsniedz 100 kW un 1500 apgr./min., ir fiksētas birstes. Jaudīgākiem dzinējiem izmanto aprīkojumu birstu pacelšanai un rotora īssavienojuma izveidei. Ja slēgumā ar katru rotora fāzi ir uzstādīti ārēji rezistori, iedarbināšanas strāvu, griezes momentu un paātrinājumu var pielāgot plašā diapazonā.

### 7.3 GALVENIE NORĀDĪJUMI, BRĪDINĀJUMI UN PIESARDZĪBAS PASĀKUMI

Pirms jebkādas ķēdes uzstādījumu maiņas ir jāatvieno strāvas padeve. Šim nolūkam nospiediet strāvas padeves moduļa (N-ALI02) sēnes formas drošības spiedpogu. Strāvas padevi var atslēgt arī, pagriežot strāvas padeves moduļa (N-ALI02) atslēgu izslēgtā (OFF) pozīcijā. Šo metodi var izmantot tikai atbildīgais skolotājs. Laikā, kad netiek veikti praktiskie uzdevumi, atslēga ir jāuzglabā nepieejamā vietā, lai nepieļautu nepilnvarotu aprīkojuma lietošanu. Pārbaudiet, vai iekārtas aizmugurē esošais magnētiski termiskais jaudas slēdzis ir ieslēgtā (ON) pozīcijā, lai konstatētu, vai strāvas padeves modulis ir aktīvs.

Vienmēr pievērsiet uzmanību spriegumam ķēdēs. Ņemiet vērā, ka mazos sešstūra savienotājus izmanto pie maza sprieguma (24 V vai 12 V), savukārt lielos savienotājus — pie liela sprieguma (230 V vai 400 V).

Ievērojiet sprieguma polaritātes moduļu ķēdēs atbilstību padeves polaritātei (tā var sakrist).

Pirms praktisko uzdevumu veikšanas, izmantojot transformatorus, ir ieteicams pārlicināties (skatot transformatora parametru plāksnīti), vai aprīkojums ir piemērots izveidotās ķēdes ģenerētajai intensitātei.