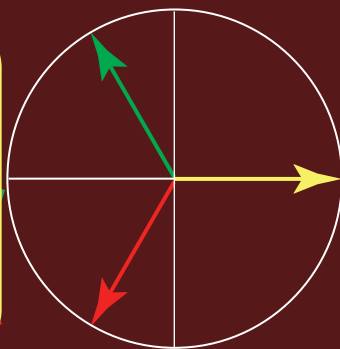
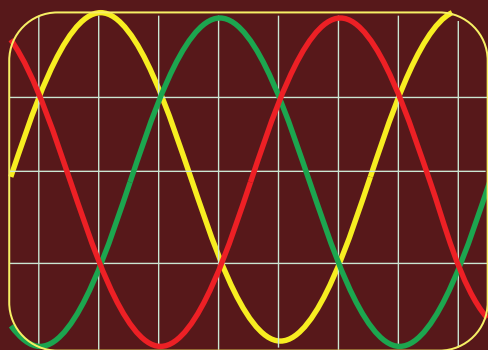
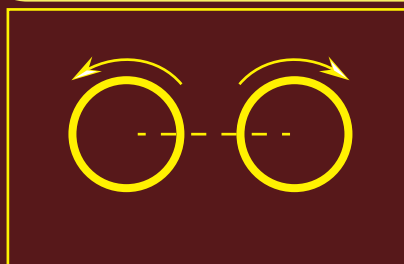


S.Masiokas

Elektro technika



13



Elektros
pavaros

VADOVĒLIS
AUKŠTOSIOMS
MOKYKLOMS

13.1. Elektros pavarų struktūra ir tipai 368

- 13.1.1. Elektros pavaros struktūrinė schema / 368
- 13.1.2. Elektros pavarų tipai / 369

13.2. Elektros pavarų momentai ir dinamika 371

- 13.2.1. Variklių mechaninės charakteristikos; jų kietumas / 371
- 13.2.2. Darbo mašinų mechaninės charakteristikos / 372
- 13.2.3. Pavaros judėjimo lygtis; dinaminis momentas / 373
- 13.2.4. Momentų ir jėgų redukavimas variklio velenui / 375
- 13.2.5. Pavaros mechaniniai pereinamieji režimai / 376
- 13.2.6. Pavaros darbo stabilumas / 377

13.3. Variklių įšilimas ir darbo režimai 378

- 13.3.1. Įšilimas ir ataušimas / 378
- 13.3.2. Izoliacijos klasės / 379
- 13.3.3. Variklio darbo režimai / 379

13.4. Pavaros variklio parinkimas 381

- 13.4.1. Bendros rekomendacijos / 382
- 13.4.2. Ilgalaikė pastovi apkrova / 385
- 13.4.3. Ilgalaikė nepastovi apkrova / 386
- 13.4.4. Trumpalaikė ir trumpalaikė kartotinė apkrova / 390

13.5. Elektrinis stabdymas ir reversavimas 391

- 13.5.1. Elektrinio stabdymo būdai / 392
- 13.5.2. Nuolatinės srovės pavara / 393
- 13.5.3. Asinchroninė pavara / 395
- 13.5.4. Reversavimas / 396

13.6. Elektros pavaros greičio reguliavimas 397

- 13.6.1. Reguliavimo rodikliai / 398
- 13.6.2. Nuolatinės srovės pavara / 399
- 13.6.3. Asinchroninė pavara / 400
- 13.6.4. Samprata apie specialius greičio reguliavimo būdus / 403

13.7. Valdymo aparatai 405

- 13.7.1. Elektrinis kontaktas / 405
- 13.7.2. Rankiniai komutacijos aparatai / 407
- 13.7.3. Eigos jungikliai, herkonai / 408
- 13.7.4. Elektromagnetiniai komutacijos aparatai / 408
- 13.7.5. Apsaugos aparatai / 410
- 13.7.6. Laiko relės / 412
- 13.7.7. Bekontakčiai valdymo aparatai / 412

13.8. Paprasčiausios valdymo įtaisų schemas 413

- 13.8.1. Bendrieji valdymo principai / 413
- 13.8.2. Asinchroninio variklio paleidimo įtaisas / 414
- 13.8.3. Asinchroninio variklio reversavimo įtaisas / 416
- 13.8.4. Asinchroninių variklių nuosekliojo paleidimo įtaisas / 417
- 13.8.5. Asinchroninio variklio su faziniu rotoriumi paleidimo įtaisas / 418
- 13.8.6. Asinchroninio variklio stabdymo įtaisas / 419
- 13.8.7. Samprata apie bekontaktius valdymo įtaisas / 420

Elektros pavara vadinsime elektromechaninę sistemą, kuri verčia judėti darbo mašinos įtaisus, atliekančius gamybinės operacijas, ir valdo jų judesius reikiamu tikslumu.

Apie 2/3 visos pasaulyje pagaminamos elektros energijos paverčiama mechanine energija elektros pavarose. Šiuolaikinėje intensyvioje gamyboje ypač plačiai naudojamos automatizuotos elektros pavaros. Jų parametrai valdomi automatiškai, ir tai turi lemiamos reikšmės gamybos ekonomikai, tikslumui ir darbo kultūrai, nes: **a)** mažėja darbo sąnaudos; **b)** ekonomiškiau vartojamos žaliavos ir energija; **c)** produkcija yra geresnės kokybės; **d)** gamybiniai įrenginiai dirba patikimiau; **e)** realizuojami tokie technologiniai procesai, kurie dėl ribotų žmogaus psichofiziologinių savybių neįmanomi, kai pavara valdoma rankiniu būdu.

13.1

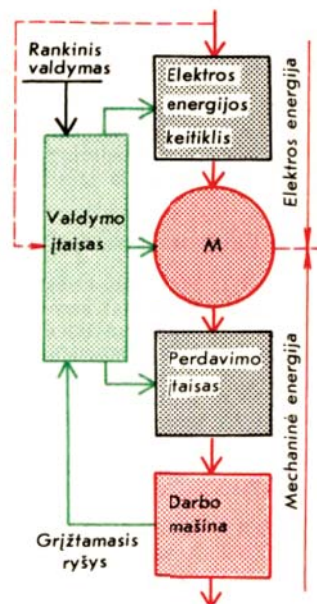
Elektros pavarų struktūra ir tipai

13.1.1. Elektros pavaros struktūrinė schema. Elektros pavaroje (13.1 pav.) elektros energija iš šaltinio per keitiklį patenka į elektros variklį M , kuriame paverčiama mechanine. Toliau mechaninė energija per perdavimo įtaisą patenka į darbo mašiną, kur yra suvartojama. Automatizuota pavara turi valdymo įtaisą, kuriuo galima reguliuoti bei kontroliuoti ir elektrinius, ir mechaninius elektros pavaros parametrus. Tuo tikslu dažnai sudaromas grįžtamasis ryšys; jo signalas gali būti įvairių elektros pavaros grandžių kuris nors parametras. Pavyzdžiui, 13.1 pav. pavaizduotas grįžtamasis ryšys pagal darbo mašinos parametrus.

Elektros energijos keitikliai pakeičia elektros energijos parametrus: įtampą, dažnį ar kurį nors kitą. Tai – transformatoriai, dažnio keitikliai, lygintuvai, stiprintuvai ir kiti panašūs elektros įtaisai.

Perdavimo įtaisai reikalingas, kai variklio rotoriaus ir darbo įtaiso judesys turi būti kitoks nei variklio rotoriaus (slenkamasis, švytuojamasis ar pan.). Dažniausiai naudojami mechaniniai (krumpliaratinis, krumpliatiebinis, diržinis, frikcinis) arba hidrauliniai perdavimo įtaisai.

Valdymo įtaisai dažniausiai esti skirtas elektros varikliui valdyti: jam paleisti, reversuoti, stabdyti, reguliuoti ar stabilizuoti jo greitį. Antra vertus, jis gali valdyti ir energijos keitiklį, ir net perdavimo įtaisą. Valdymo apa-



13.1 pav. Elektros pavaros struktūrinė schema

ratūra gali būti relinė-kontaktorinė arba bekontaktė. Automatizuotose pavarose naudojami teigiamo arba neigiamo grįžtamojo ryšio signalai, kurie perduodami automatinio valdymo įtaisui iš darbo mašinos, variklio arba perdavimo įtaiso.

Esant lanksčiai automatizuotai gamybai, plačiai naudojami programinio valdymo elektros pavaros. Tokią pavarą gali valdyti atskiras mikroprocesorius arba ji gali būti kompleksinės automatizuotos gamybos sistemos, kurią valdo ESM, dalis.

Elektros pavarų valdymą vis labiau automatizuojant, elektros pavaros struktūroje dažnai išskiriamos dvi skirtingų funkcijų dalys: 1) energetinė, arba jėgos, kurioje elektros energija paverčiama reguliuojamų parametrų mechanine energija; 2) valdymo, kuri valdo ir kontroliuoja elektros pavaros elektrinius bei mechaninius parametrus ir apsaugą nuo avarinių režimų.

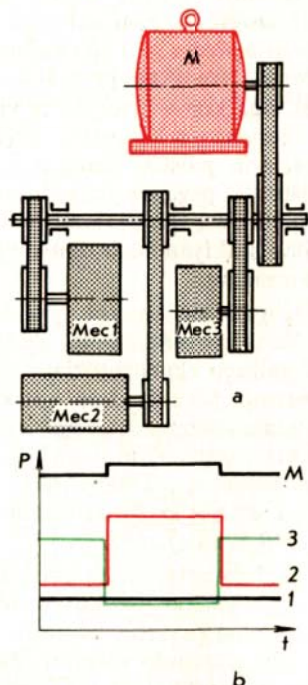
Net ir automatizuotoje gamyboje technologinių įrenginių darbą tiesiogiai arba netiesiogiai kontroliuoja ir valdo žmogus – operatorius. Rankinio valdymo funkcijos yra nevienodos įvairaus automatizavimo lygio pavarose. Kiekvienu atveju žmogui yra skiriamos tokios operacijos, kurias atlikti įgalina jo psichofiziologinės savybės.

Paprastesnėse elektros pavarose kai kurių grandžių (keitiklio, perdavimo ar automatinio valdymo įtaiso) gali ir nebūti, tačiau visose yra variklis ir darbo mašina (pavyzdžiui, elektros variklis, sukantis ventiliatoriaus sparnelius).

13.1.2. Elektros pavarų tipai. Elektros pavaras galima skirstyti į įvairius tipus pagal atliekamas funkcijas arba atskirų grandžių ypatumus.

Atsižvelgiant į elektros pavaros paskirtį darbo mašinoje, ji gali būti vadinama pagrindine ar pagalbine. **Pagrindinė pavara valdo svarbiausią darbo įtaiso judesį, įgalina atlikti pagrindinę gamybos proceso operaciją. Pagalbinė pavara valdo pagalbinius darbo įtaiso judesius, įgalina atlikti pagalbines operacijas.** Pavyzdžiui, metalo pjovimo staklėse pagrindinė pavara priverčia judėti ruošinį ir pjovimo įrankį. Pagalbinės pavaros naudojami prispausti ruošiniui, siurbti aušinimo skysčiui ir pan.

Priklausomai nuo variklių skaičiaus ir jų ryšio su darbo mašina gali būti grupinė, individualioji arba daugvariklė elektros pavara. **Grupinė** (13.2 pav.) yra tokia elektros pavara, kuri valdo keletą vienos mašinos darbo įtaisų arba kelių mašinų darbo įtaisus. Tokia pavara yra neekonomiška, ją sunku automatizuoti, jos mechaninis perdavimo įtaisas yra sudėtingas. Dėl to grupinės pavaros gamyboje šiuo metu



13.2 pav. Grupinė pavara (a) ir apkrovos diagramos (b): M – variklio; 1, 2, 3 – darbo mašinų

retai benaudojamos, juo labiau, kad elektros varikliai yra gana pigūs palyginti su darbo mašina. Tačiau grupinių pavarų visiškai dar neatsisakyta. Pavyzdžiui, vidutinės klasės buitiniuose magnetofonuose yra vienas variklis. Magnetofonui grojant, jis traukia juostą ir suka veleną tos ritės, ant kurios juosta suvyniojama. Tas pats variklis juostą pervynioja didesniu greičiu. Aukštos klasės magnetofonuose šias funkcijas atlieka trys atskiri varikliai.

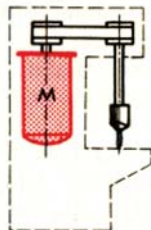
Individualioji elektros pvara yra tokia, kuri suteikia judesį tik vienam mašinos darbo įtaisui. Tokios, pavyzdžiui, yra nesudėtingų metalo apdirbimo staklių (13.3 pav.), siurblių, kompresorių, ventiliatorių, elektrinių skryščių, telferių, audimo staklių elektrinių šaudyklių, centrifugų pavaros. Individualiosiose pavarose vis dažniau variklis ir darbo mašina sudaro vientisą konstrukciją. Pavyzdžiui, elektrinis oblius gaminamas kaip specialus asinchroninis variklis su išoriniu rotoriumi, prie kurio tvirtinami obliavimo peiliai. Individualiosios pavaros šiuo metu yra naudojamos plačiausiai, nes jos palyginti su grupinėmis turi gana nesudėtingus mechaninius perdavimo įtaisus, gali dirbti nepriklausomai.

Susietoji elektros pvara turi du arba daugiau variklių, kurie susieti mechaniskai arba elektriskai. Visų variklių greitis arba apkrova gali būti palaikomi pastovūs, o gali būti palaikomas tam tikras jų greičių arba apkrovų santykis. Pavyzdžiui, ilgą konvejerio juostą vienodu greičiu paprastai traukia ne vienas, o keli varikliai (13.4 pav.). Dėl to esti mažesnė konvejerio juostos įtempimai, tolygesnė variklių apkrova. Susietosios pavaros yra naudojamos kai kuriose metalo plovimo staklėse, popieriaus gamybos, tekstilės mašinose, valcavimo staklynuose ir daugelyje kitų šiuolaikinių gamybinių mechanizmų.

Daugvariklė pvara yra tokia susietoji pvara, kurios keli varikliai suka bendrą veleną. Jos pavyzdžiu galime laikyti galingo ekskavatoriaus sukiojamosios platformos mechanizmo pavarą. Joje varikliai sujungti pagal specialią elektrinę schemą, ir jiems sudaromi tokie darbo režimai, kad viso mechanizmo statinės ir dinaminės apkrovos būtų kuo tolygesnės. Daugvariklė yra galingo sraigtinio preso pvara, kurios keturi arba šeši varikliai suka preso krumpliaratį (13.5 pav.).

Elektros pavaros dar gali būti skirstomos į tipus pagal tai, koks panaudotas variklis (nuolatinės srovės, asinchroninė, sinchroninė pvara), keitiklis (tiristorinė, tranzistorinė pvara), automatinio valdymo įtaisas (automatizuota, programinio valdymo pvara), perdavimo įtaisas (reduktorinė, nereduktorinė, elektros hidraulinė pvara).

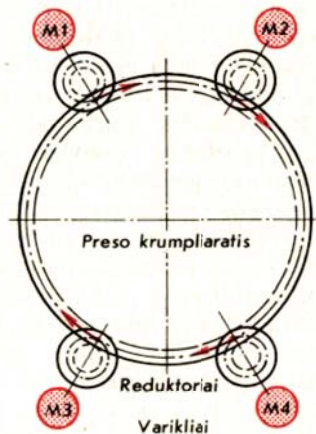
Kitais atvejais elektros pavaros pavadinimas nusako jos darbo režimo ypatumus. Pavyzdžiui, impulsinė elektros pa-



13.3 pav. Gręžimo staklių individualioji pvara



13.4 pav. Konvejerio susietoji pvara (M – varikliai su reduktoriais)



13.5 pav. Sraigtinio preso daugvariklė pvara

vara – tokia, kurios greitis reguliuojamas periodiškai prijungiant ir atjungiant energijos šaltinį.

Toliau šiame skyriuje panagrinėsime elektros pavaros energetinės dalies darbo ypatumus, taip pat ir automatinio pavarų valdymo principus bei paprasčiausius jų praktinio naudojimo atvejus.

13.2

Elektros pavarų momentai ir dinamika

Elektros pavaros energetinės dalies svarbiausios grandys yra variklis ir darbo mašina. Kiekvienas iš jų apibūdinamas mechanine charakteristika. Kad elektros pvara normaliai veiktų, variklis turi būti parinktas taip, kad jo ir darbo mašinos mechaninės charakteristikos būtų suderintos. Tuo tikslu peržvelgsime įvairių tipų variklių bei darbo mašinų mechaninių charakteristikų ypatumus.

13.2.1. Variklių mechaninės charakteristikos; jų kietumas. Kaip žinome, variklio mechaninė charakteristika, yra jo sūkių dažnio priklausomybė nuo sukimo momento – $n=f(M)$. Vienas iš svarbesnių variklio mechaninės charakteristikos rodiklių yra jos kietumas

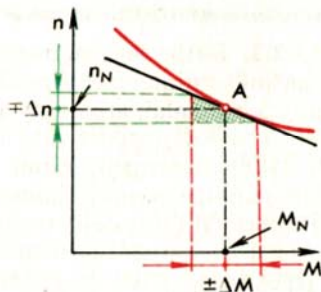
$$\beta = dM/dn. \quad (13.1)$$

Tai dydis, rodantis sūkių dažnio stabilumą kintant apkrovos momentui. Jeigu darbo metu momentas pakito dydžiu $\pm \Delta M$ (13.6 pav.), tai dėl to pakinta variklio sūkių dažnis dydžiu $\mp \Delta n$ (padidėjus momentui sūkių dažnis paprastai sumažėja). Patogiau momento ir sūkių dažnio pokyčius išreikšti santykiniais dydžiais, padalijus juos iš bazinių (dažniausiai vardinųjų) dydžių: momento M_N ir sūkių dažnio n_N . Mechaninės charakteristikos santykinis kietumas:

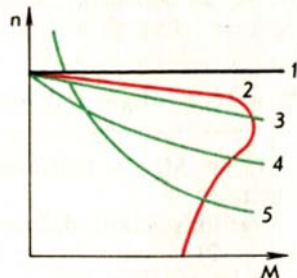
$$\beta_* = \frac{\Delta M/M_N}{\Delta n/n_N}. \quad (13.2)$$

Kuo kietumas β_* didesnis, tuo mažiau priklauso variklio sūkių dažnis nuo apkrovos ir atvirkščiai. Kai mechaninė charakteristika yra tiesė, $\beta_* = \text{const}$. Kai $n=f(M)$ yra mažėjanti funkcija, $\beta_* < 0$; kai didėjanti, $-\beta_* > 0$.

Pažvelkime į elektros variklių mechanines charakteristikas (13.7 pav.) ir įvertinkime jų kietumą. Synchroninio variklio charakteristika yra absoliučiai kieta: $\beta_* = \infty$. Nuolatinės srovės nepriklausomo žadinimo ir asinchroninio variklio natūraliosios charakteristikos, kai $n \leq n_N$,



13.6 pav. Mechaninės charakteristikos kietumo taške A nustatymas



13.7 pav. Elektros variklių mechaninės charakteristikos: synchroninio (1), asinchroninio (2), nuolatinės srovės nepriklausomo (3), mišraus (4) ir nuoseklus (5) žadinimo

yra artimos tiesėms. Jos yra laikomos kietomis: $|\beta_*| = 10-100$. Iki vardinės apkrovos jų kietumą galime apskaičiuoti laikydami, kad $\Delta M = M_N$, o $\Delta n = n_N - n_0$. Gauname: $\beta_* = (M_N/M_0)/[(n_N - n_0)/n_N] = 1/[(n_N - n_0)/n_N]$. Asinchroninio variklio

$$\beta_* = -(1/s_N); \quad (13.3)$$

čia s_N – vardinis slydimas.

Nuolatinės srovės mišraus ir ypač nuoseklaus žadinimo variklių natūraliosios charakteristikos laikomos minkštomis: $|\beta_*| < 10$.

13.2.2. Darbo mašinų mechaninės charakteristikos. Darbo mašinų statiniai mechaniniai momentai gali būti reaktyvieji ir potenciniai, arba aktyvieji. **Reaktyvieji momentai yra visada priešingi variklio sukimo momentui ir pavaros judėjimui trukdo.** Jiems priskiriami, pavyzdžiui, trinties, pjovimo ir kiti panašūs pasipriešinimo momentai.

Potenciniai (aktyvieji) momentai atsiranda pasikeitus pavaros judančių grandžių potencinei energijai. Juos sudaro svorio jėgos ir jėgos, atsirandančios dėl to, kad tamprūs kūnai yra tempiami, gniuždomi arba sukami. **Potenciniai momentai gali priešintis pavaros judėjimui arba jį skatinti.** Pavyzdžiui, keliamas krovinyv trukdo kėlimo mašinos darbo įtaiso judėjimą, o nuleidžiamas – skatina.

Darbo mašinos mechanine charakteristika vadinsime jos darbo įtaiso statinio momento priklausomybę nuo sūkių dažnio – $M_s = f(n)$. Analiziškai ją taip ir užrašysime. Antra vertus, kad būtų patogiau nagrinėti elektros pavarą, ir variklio, ir darbo mašinos mechanines charakteristikas išreikšime kaip $n = f(M)$ ir braižysime vienoje koordinatinių sistemoje.

Įvairių darbo mašinų mechanines charakteristikas apytiksliai galima užrašyti šitokia lygtimi:

$$M_s = M_0 + (M_{sN} - M_0) (n/n_N)^x; \quad (13.4)$$

čia M_0 ir M_{sN} – tuščiosios eigos ir vardinis statiniai momentai;

n_N – vardinis sūkių dažnis;

$x = (-1 \div 2)$ – laipsnio rodiklis, kurio vertė priklauso nuo darbo mašinos tipo.

Panagrinėsime įvairių darbo mašinų mechanines charakteristikas. Nepamirškime, kad tos pačios darbo mašinos $M_0 = \text{const}$, $M_{sN} = \text{const}$ ir $n_N = \text{const}$; tuomet (13.4) mechaninės charakteristikos lygtis tampa šitokia: $M_s = a + b (n/c)^x$, čia a , b ir c – pastovūs tai pačiai mašinai koeficientai.

1. Kai $x=0$, $M_s = M_{sN} = \text{const}$, t. y. **pasipriešinimo momentas nuo sūkių dažnio nepriklauso** (13.8 pav.). Tokią charakteristiką turi daugelis konvejerių bei kėlimo mašinų, stūmokliniai mechanizmai.

2. Kai $x = -1$, $M_s = M_0 + (M_{sN} - M_0)(n_N/n) = a + bc/n$, turime **hiperbolės lygtį**. Tai būdinga **vyntuovo** (popjiriau, audinio, skardos, vielos, siūlų ir kt.) **charakteristika**. Paprastai medžiaga vyniojama pastoviu linijiniu greičiu $v = \text{const}$, todėl, didėjant būgno ar ritės skersmeniui, vyntuovo sūkių dažnis n turi būti mažinamas, o pasipriešinimo momentas didėja.

3. Kai $x = 1$, $M_s = M_0 + (M_{sN} - M_0)(n/n_N) = a + (b/c)n$ – tai **tiesės lygtis**: **statinis pasipriešinimo momentas yra proporcingas sūkių dažniui**. Mechaninių įrenginių, turinčių tokią savybę, yra mažai. Jiems gali būti priskirti kai kurie išcentriniai siurbliai, kurių mažas Reinoldso skaičius, nuolatinės srovės generatoriai.

4. Kai $x = 2$, $M_s = M_0 + (M_{sN} - M_0)(n/n_N)^2 = a + (b/c^2)n^2$ – tai **parabolės lygtis**: **statinis pasipriešinimo momentas yra proporcingas sūkių dažnio kvadratui**. Tokia charakteristika paprastai vadinama **ventiliatorine**, nes tokios savybės būdingos daugumai išcentrinų siurblių ir ventiliatoriams.

Suprantama, praktiškai x rodiklis gali būti ne tik sveikasis skaičius. Jis priklauso nuo konkrečios darbo mašinos savybių. Pavyzdžiui, kai siurblyje skystis juda laminariai, $x = 1,5$; turbulentiškai, $-x = 1,8$; labai dideliu greičiu (arba dujų greitis artimas garso greičiui), $-x \geq 2$.

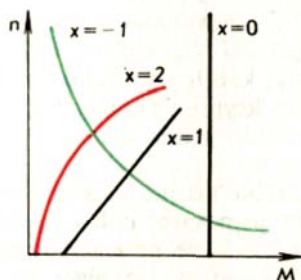
Darbo mašinų statiniai pasipriešinimo momentai gali priklausyti arba nepriklausyti nuo sukimo krypties (13.9 pav.). Darbo mašinos charakteristikos santykinis kietumas β_{s*} apskaičiuojamas iš (13.2) lygties. Gali būti $\beta_{s*} = 0$ ($x=0$), $\beta_{s*} < 0$ ($x = -1$) ir $\beta_{s*} > 0$ ($x = 1$; $x = 2$).

Patogu taikyti (13.4) lygtį, projektuojant naujas elektros pavaras bei skaičiuojant jas jau žinomoms darbo mašinoms. Kadangi laipsnio rodiklis priklauso nuo mašinos tipo, tai kitus dydžius (M_0 ir M_{sN}) galima apskaičiuoti taikant mašinų ir mechanizmų teoriją arba nustatyti eksperimentiškai. Tuomet nesunku sudaryti elektros pavaros matematinį modelį ir jį tirti naudojantis ESM.

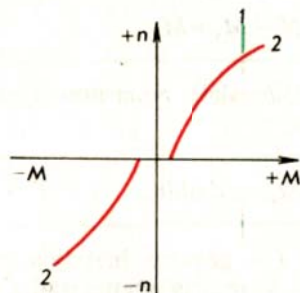
13.2.3. Pavaros judėjimo lygtis; dinaminis momentas. Pritaikius elektros pavarai d'Alamberto principą, galima užrašyti jos judėjimo lygtį:

$$\pm M \mp M_s = M_d; \quad (13.5)$$

čia M ir M_s – variklio ir darbo mašinos statiniai momentai, M_d – pavaros dinaminis momentas.



13.8 pav. Tipinės darbo mašinų mechaninės charakteristikos



13.9 pav. Darbo mašinų mechaninės charakteristikos, kai: pasipriešinimo momentas ir jo kryptis nepriklauso (1) ir priklauso (2) nuo sukimo krypties

Visi mechaniniai momentai, kurie pavaros judesį skatina, laikomi teigiamais. Variklio momentą laikysime teigiamu, kai jis yra tokios pat krypties kaip rotoriaus judėjimo kryptis. Tuomet variklis dirba variklio režimu. Kai variklis veikia kaip stabdys, jo momentas laikomas neigiamu.

Darbo mašinos statinis momentas laikomas neigiamu, kai jis pavaros judėjimą stabdo. Tokie yra visi reaktyvieji ir kai kurie potenciniai momentai, pavyzdžiui, keliamo krovinio svorio jėgos momentas, suspaudžiamos spyruoklės momentas ir pan. Kai potencinis momentas pavaros judėjimą skatina, jis laikomas teigiamu.

Praktiškai dažniausiai variklis varo darbo mašiną, kurios pasipriešinimo momentas yra reaktyvusis: $M > 0$, $M_s < 0$. Tuomet pavaros judėjimo lygtis užrašoma šitaip:

$$M - M_s = M_d. \quad (13.6)$$

Dinaminis momentas (niutonmetrais) apskaičiuojamas šitaip:

$$M_d = J d\omega/dt; \quad (13.7)$$

čia J – pavaros inercijos momentas $\text{kg} \cdot \text{m}^2$,

ω – kampinis greitis rad/s .

Iš (13.6) ir (13.7) lygčių matome, kad gali būti trys pavaros judėjimo atvejai.

1. Kai variklio sukimo momentas lygus darbo mašinos pasipriešinimo momentui: $M - M_s = 0$ arba $M = M_s$. Dinaminis momentas $M_d = 0$ ir pavaros greitis yra pastovus: $d\omega/dt = 0$, $\omega = \text{const}$.

2. Kai sukimo momentas didesnis už pasipriešinimo momentą, pavara greitėja:

$$\begin{aligned} M > M_s &\rightarrow M - M_s > 0 \rightarrow M_d = \\ &= J d\omega/dt > 0 \rightarrow d\omega/dt > 0 \rightarrow \omega \uparrow. \end{aligned}$$

3. Kai sukimo momentas mažesnis už pasipriešinimo, pavara lėtėja:

$$\begin{aligned} M < M_s &\rightarrow M - M_s < 0 \rightarrow M_d = \\ &= J d\omega/dt < 0 \rightarrow d\omega/dt < 0 \rightarrow \omega \downarrow. \end{aligned}$$

Kaip matome, dinaminio momento nėra, kai $\omega = \text{const}$. Jis atsiranda tik pereinamojo režimo metu.

Norint apskaičiuoti dinaminį momentą, reikia žinoti inercijos momentą. Variklio rotoriaus, mašinų darbo įtaisų bei kai kurių judančių kūnų inercijos momentai pateikti kataloguose ir žinynuose.

Kai žinyne inercijos momento nėra, jį galima apskaičiuoti pagal žinomą mechanikos formulę:

$$J = mr^2; \quad (13.8)$$

čia m – besisukančio kūno masė kg, r – inercijos spindulys m.

Inercijos spindulys – tai atstumas nuo sukimosi ašies iki taško, kuriame sukonzentruota viso kūno masė sudarytų tokį pat inercijos momentą kaip visas nagrinėjamas kūnas.

Galima laikyti, kad nagrinėjamas besisukantis kūnas pakeičiamas smagračiu, ir inercijos momentą skaičiuoti šitaip:

$$J = GD^2/(4g); \quad (13.9)$$

čia G – smagračio svorio jėga N, D – skaičiuojamas smagračio skersmuo m, g – Žemės traukos pagreitis m/s^2 .

Sandauga GD^2 vadinama smagratiniu momentu, ir jos vertės ($N \cdot m^2$) įvairiems besisukantiems kūnams galima rasti žinynuose. (Kai senesniuose žinynuose smagratinis momentas pateiktas ne SI sistemos vienetais $kg \cdot m^2$, inercijos momentas apskaičiuojamas padalijus GD^2 iš keturių.)

Prisiminę, kad $\omega = 2\pi n$, dinaminį momentą galime apskaičiuoti šitaip:

– kai sūkių dažnis išreiškiamas sūkais per sekundę,

$$M_d = 2\pi Jdn/dt; \quad (13.10)$$

– kai sūkių dažnis išreiškiamas sūkais per minutę,

$$M_d = \frac{J}{9,55} \frac{dn}{dt}. \quad (13.11)$$

13.2.4. Momentų ir jėgų redukavimas variklio velenui. Dažniausiai variklių vardinis sūkių dažnis yra gana didelis: 750–3000 r/min, tuo tarpu daugumos darbo mašinų jis daug mažesnis: 100–300 r/min. Dėl to retai pavyksta išvengti mechaninių perdavimo įtaisų, pakeičiančių variklio sūkių dažnį į tinkamą darbo mašinai. Tenka apskaičiuoti redukuotuosius statinį M'_s ir dinaminį M'_d momentus, kuriuos sudaro varikliui darbo mašina kartu su perdavimo įtaisu.

Iš mechanikos žinome, kad **redukuotasis statinis momentas** (13.10 pav.) esti šitoks:

a) **kai energija perduodama iš variklio į darbo mašiną,**

$$M'_s = M_s / (i\eta), \quad (13.12)$$

b) **kai energija grąžinama iš darbo mašinos į variklį,**

$$M'_s = M_s \eta / i; \quad (13.13)$$

čia $i = n_{mec} / n$ – perdavimo skaičius, n_{mec} ir n – darbo įtaiso ir variklio velenų sūkių dažniai, η – perdavimo įtaiso naudingumo koeficientas.

Redukuotasis dinaminis momentas skaičiuojamas pagal (13.7) lygtį, į kurią reikia įrašyti **redukuotojo inercijos momento** J'_Σ reikšmę:

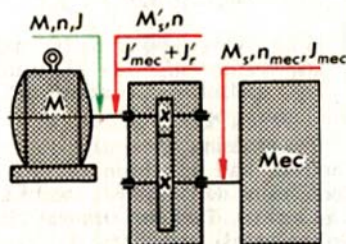
$$J'_\Sigma = J + J'_r + J'_{mec}; \quad (13.14)$$

čia J – variklio rotorius inercijos momentas;

J'_r ir J'_{mec} – perdavimo įtaiso (reduktoriaus) ir darbo mašinos redukuotieji inercijos momentai. Kai darbo mašina tiesiogiai sujungta su variklio velenu, jos inercijos momento redukuoti nereikia.

Redukuotasis darbo mašinos inercijos momentas

$$J'_{mec} = J_{mec} / i^2; \quad (3.15)$$



13.10 pav. Darbo mašinos statinio momento M_s ir inercijos momento J_{mec} redukavimas variklio velenui

čia J_{mec} – darbo mašinos (judančio įtaiso) inercijos momentas.

Kai **masė slenka** (13.11 pav.), redukuotąjį statinį momentą (pavyzdžiui, keliame krovinio, lifto, šlifavimo staklių stalo) apskaičiuosime iš galios lygties: $M'_s \omega = F_{mec} v_{mec} / \eta$; čia F_{mec} – darbo įtaiso pasipriešinimo jėga, v_{mec} – masės judėjimo greitis. **Redukuotasis statinis momentas**

$$M'_s = F_{mec} v_{mec} / (\omega \eta) = F_{mec} v_{mec} / (2\pi n \eta). \quad (13.16)$$

Slenkančios masės inercijos momentas redukuojamas variklio velenui, taikant žinomą iš mechanikos lygtį: $m v^2 / 2 = J \omega^2 / 2$. Iš čia:

$$J'_{mec} = m_{mec} v_{mec}^2 / \omega^2 = m_{mec} v_{mec}^2 / (2\pi n)^2. \quad (13.17)$$

Toliau kalbėdami apie darbo mašinos statinį momentą M_s bei pavaros inercijos momentą J_Σ , turėsime galvoje jų redukuotąsias vertes.

13.2.5. Pavaros mechaniniai pereinamieji režimai. Iš pavaros judėjimo lygties (13.6) matyti, kad **visais atvejais**, kai $M - M_s \neq 0$, pavara veikia pereinamuoju režimu – jos greitis arba didėja, arba mažėja (13.12 pav.). **Pereinamojo režimo $n = f(t)$ kitimio dėsninumą galima nustatyti, išsprendus pirmosios eilės diferencialinę (13.6) lygtį kiekvienu konkrečiu atveju.** Kadangi visi lygtyje surašyti momentai priklauso nuo pavaros sūkių dažnio, tai lygties analizinis sprendimas yra sudėtingas ir ją patogiausia spręsti naudojantis ESM.

Paprastas, nors ir ne toks tikslus, yra **grafinis analizinis sprendimo būdas**. (13.11) lygtyje pakeičė dn ir dt pokyčiais Δn ir Δt , galime užrašyti:

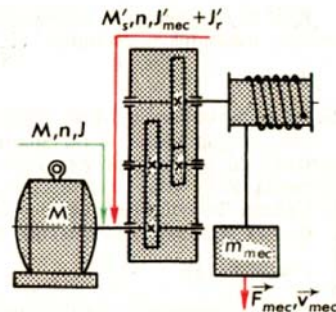
$$\Delta t = J \Delta n / (9,55 M_d). \quad (13.18)$$

Nubraižę variklio ir darbo mašinos mechanines charakteristikas, atskaitysime $M_d = M - M_s$ įvairioms Δn vertėms ir, pagal (13.18) lygtį apskaičiavę jas atitinkančias Δt vertes, galėsime sudaryti priklausomybę $n = f(t)$.

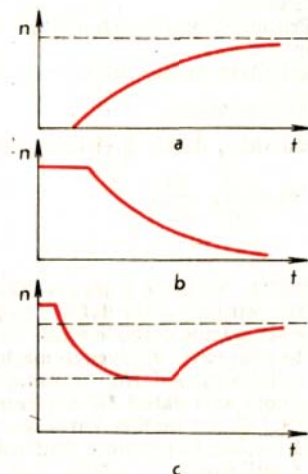
Išnagrinėsime pavyzdį: sudarysime pavaros įsisukimo grafiką. Tarkime, kad asinchroninis variklis suka ventilatoriaus sparnelius. Variklio ir darbo įtaiso mechaninės charakteristikos yra žinomos (13.13 pav.). Taip pat žinomas elektros pavaros inercijos momentas. Ordinačių ašį padalijame į lygias atkarpas Δn . Esant bet kuriam sūkių dažniui, statinių momentų skirtumas $M - M_s$ yra lygus dinamiam momentui M_d . Pagal (13.18) lygtį apskaičiuojame bet kuriam Δn_t intervalui laiko trukmę Δt_t . Atlikę skaičiavimus visiems Δn intervalams, apskaičiuojame laiko trukmę Δt ir sudarome pavaros įsisukimo grafiką $n = f(t)$.

Nagrinėdami elektros pavaros dinamiką ir mechaninius pereinamuosius režimus, laikėme, kad mechaninė grandis neturi laisvumo ir yra sudaryta iš absoliučiai kietų nesideformuojančių elementų. Praktiškai taip dažniausiai ir esti, nes paprastai mechaninės grandys parenkamos tokios, kad variklio perduodamas judesys būtų kuo mažiau iškraipomas.

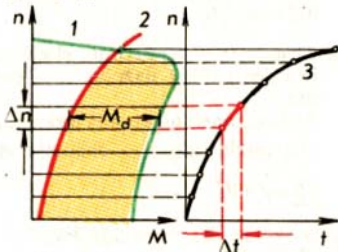
Kai kuriais atvejais dėl **mechaninių grandžių laisvumo, tamprumo arba deformacijų elektros pavaros judesys gali būti iškraipomas**. Tai būdinga tokiems įrengimams, kuriuose variklį su didelės inercijos masėmis jungia tamprieji elementai (ilgas velenas, kėlimo mašinų lynas, ilga konvejerio juosta ar grandinė). Tokių įrengimų elektros pavaros dinamika yra kitokia, mechaninių pereinamųjų režimų metu gali atsirasti švytavimai.



13.11 pav. Slenkamojo judesio jėgos F_{mec} ir slenkancio kūno masės m_{mec} momentų redukovimas variklio velenui



13.12 pav. Pavaros sūkių dažnis pereinamųjų režimų metu: paldžiant (a), stabdant (b) ir keičiant greitį (c)



13.13 pav. Variklio (1) ir darbo mašinos (2) mechaninės charakteristikos ir pavaros įsisukimo kreivė (3), sudaryta grafiniu analizinio metodu

13.2.6. Pavaros darbo stabilumas. Kai pavaros greitis yra pastovus, dinaminis momentas $M_d = 0$. Iš pavaros judėjimo (13.6) lygties matome, kad taip esti, kai $M = M_s$. Tuomet pavaros sukčių dažnis $n = \text{const}$. Tokia variklio ir darbo mašinos statinių momentų lygybė, esant vienodam sukčių dažniui, gali būti grafiškai pavaizduota jų mechaninių charakteristikų sankirta (tašku *A*) (13.14 pav.).

Pavaros darbo stabilumas priklauso nuo variklio ir darbo mašinos mechaninių charakteristikų pobūdžio. Jei dėl kokių nors priežasčių pakistų apkrovos momentas, sukčių dažnis arba variklio momentas, galimi du pereinamojo režimo atvejai.

1. Tarkime, kad pavaros, kurios mechaninės charakteristikos pavaizduotos 13.14 pav., *a*, sukčių dažnis dėl kokių nors priežasčių sumažėja ($\Delta n < 0$). Tuomet variklio momentas pasidaro didesnis už pasipriešinimo momentą, ir atsiranda teigiamas dinaminis momentas: $M - M_s = M_d = J d\omega / dt > 0$. Pavara greitėja ($dn/dt > 0$) tol, kol atsistato $M = M_s$, ir $M_d = 0$, kitaip tariant, grįžta dirbti buvusiu darbo režimu (taškas *A*).

Jei tos pačios pavaros sukčių dažnis padidėja ($\Delta n > 0$), tai atsiranda neigiamas dinaminis momentas: $M - M_s = M_d = J d\omega / dt < 0$ (žr. 13.14 pav., *b*). Pavara lėtėja, kol $M = M_s$ ir $M_d = 0$. Kaip matome, vėl atsistato buvęs pavaros režimas (taškas *A*).

2. Tarkime, kad pavaros mechaninės charakteristikos yra tokios, kaip parodyta 13.14 pav., *c*. Sukčių dažniui sumažėjus ($\Delta n < 0$), susidaro $M_d = M - M_s < 0$, todėl $dn/dt < 0$ ir pavara lėtėja, kol visai sustoja. Jei sukčių dažnis padidėja, susidaro $M - M_s = M_d > 0$ (žr. 13.14 pav., *d*), todėl $dn/dt > 0$. Pavaros greitis gali neleistinai padidėti.

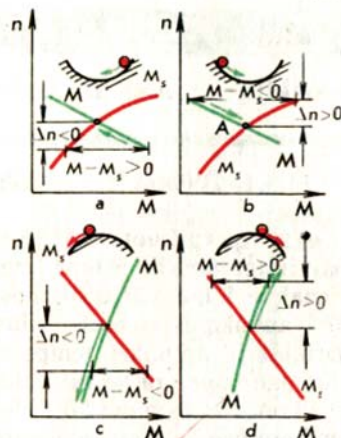
Kaip matome, tam, kad pavara dirbtų stabiliai, reikia, kad atsiradęs dinaminis momentas būtų priešingo ženklo, negu sukčių dažnio pokytis:

$$M_d / \Delta n = (M - M_s) / \Delta n < 0. \quad (13.19)$$

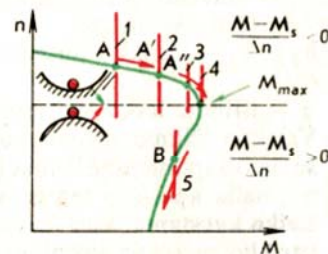
Variklio ir darbo mašinos charakteristikų sankirta, kurios srityje ši (13.19) sąlyga patenkinama, yra vadinama pavaros stabilaus darbo tašku.

Pateiksime vieną kitą konkretesnį pavyzdį. Grandininio konvejerio su asinchroniniu varikliu stabilaus darbo taškas yra *A* (13.15 pav.). Didinant konvejerio krovinių masę, pasipriešinimo momentas didėja (2, 3, 4 vertikalios tiesės). Pavaros darbo taškas slenka variklio charakteristika. Tol, kol $M_s \leq M_{\max}$, stabilaus darbo sąlyga (13.19) yra patenkinama. Variklį perkrovos momentu $M_s > M_{\max}$, ši sąlyga jau netenkinama. Ir nors, varikliui pradėjus staiga lėtėti, apkrovos momentą sumažintume (5 tiesė), taške *B* stabilaus darbo sąlyga yra nepatenkinama, todėl variklis vis tiek sustos.

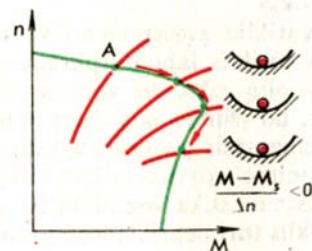
Tarkime, kad toks pat asinchroninis variklis yra panaudotas reguliuojamo debito siurblyje, kurio mechaninių charakteristikų šeima parodyta 13.16 pav. Ši pavara dirba stabiliai, nes visų sankirtų taškuose tenkinama stabilaus darbo sąlyga. Kaip matome, specialiai parinkus darbo mašinos mechaninės charakteristikos pobūdį, galima pasiekti, kad asinchroninis variklis stabiliai dirbtų, esant slydimui netgi didesniai už krizinį.



13.14 pav. Pavaros darbo stabilumo nustatymas iš mechaninių charakteristikų: darbas stabilus (*a*, *b*) darbas nestabilus (*c*, *d*)



13.15 pav. Grandininio konvejerio pavaros stabilaus darbo srities nustatymas



13.16 pav. Siurblio pavaros stabilaus darbo srities nustatymas

Variklių įšilimas ir darbo režimai

13.3.1. Įšilimas ir ataušimas. Veikiančiame variklyje susidaro energijos nuostoliai, kurie virsta šiluma ir šildo variklį. Apskaičiuoti variklio įšilimą nėra paprasta. Apytikliai tiriant variklių įšilimą, yra laikoma, kad: 1) variklis yra vienalytis kūnas; 2) jo šilumos laidumas yra be galo didelis; 3) į aplinką išskiriamos šilumos kiekis yra proporcingas variklio ir aplinkos temperatūrų skirtumui; 4) aplinkos šiluminė talpa yra be galo didelė ir temperatūra nesikeičia; 5) šilumos atidavimo koeficientas nepriklauso nuo variklio temperatūros. Toks supaprastintas variklio šiluminis režimas aprašomas pirmosios eilės diferencialine lygtimi, kurią išsprendę gauname:

$$\vartheta = \vartheta_q - (\vartheta_q - \vartheta_i) e^{-t/\tau}; \quad (13.20)$$

čia ϑ – variklio virštemperatūrė, t. y. variklio ir aplinkos temperatūrų skirtumas;

ϑ_q ir ϑ_i – variklio nusistovėjusi ir pradinė virštemperatūrė;

τ – įšilimo laiko konstanta.

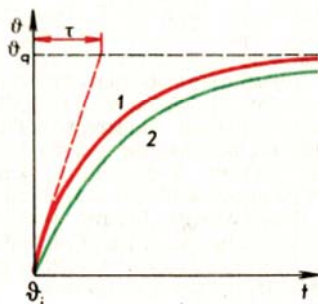
Variklio įšilimo pereinamojo proceso lygtimi yra užrašoma eksponentinė funkcija (13.17 pav.). Standartinė normalia aplinkos temperatūra laikoma 40°C .

Laiko konstanta, kuri lemia įšilimo spartą, priklauso nuo variklio masės ir aušinimo sąlygų. Dažniausiai ji nustatoma iš eksperimentinės variklio įšilimo kreivės. Kadangi skaičiuojamoji įšilimo kreivė gaunama, padarius daug prielaidų, tikroji variklio įšilimo kreivė yra šiek tiek kitokia.

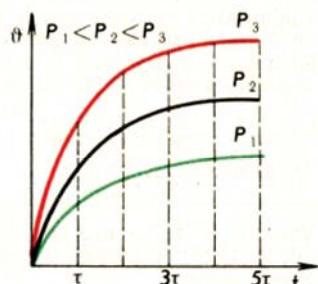
Variklio nusistovėjusi virštemperatūrė yra tuo didesnė, kuo variklis labiau apkrautas, nes tuomet yra didesnė jo nuostolių galia. Jei variklio aušinimo sąlygos lieka tos pačios, tai įšilimo laiko konstanta lieka tokia pat, ir įšilimo pereinamasis procesas vyksta ta pačia sparta (13.18 pav.). Aušinimo sąlygas galima laikyti pastoviomis, kai variklio, kuris pats suka ventiliatorių, greitis yra pastovus, arba kai variklis turi nepriklausomą nuo jo greičio pastovią ventiliaciją.

Atjungtas nuo tinklo variklis ataušta. Jo ataušimo pereinamasis procesas aprašomas (13.20) lygtimi, laikant, kad $\vartheta_q = 0$ (13.19 pav.). Laiko konstanta lieka ta pati, jei variklio aušinimo sąlygos lieka tokios pat, kaip jam dirbant.

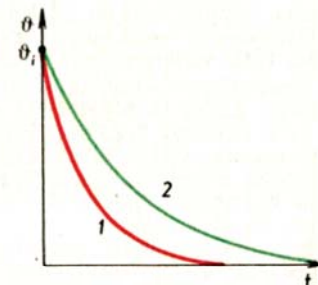
Dauguma variklių yra besiaušinantieji, t. y. patys suka



13.17 pav. Variklio įšilimo eksperimentinė (1) ir apskaičiuotoji (2) kreivė bei laiko konstantos τ nustatymas subtangentės metodu



13.18 pav. Variklio įšilimo priklausomybė nuo jo apkrovos P



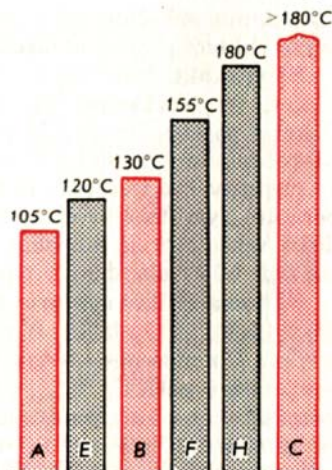
13.19 pav. Atjungto nuo elektros tinklo aušinamo (1) ir neaušinamo (2) variklio ataušimo kreivės

juos aušinančius ventiliatorius. Toks variklis atjungtas tuoj pat sustoja, todėl ataušta lėčiau, negu kurį laiką paliktas sukintis tuščiaja eiga, o tik po to atjungiamas. Tokių variklių įšilimo laiko konstanta yra nuo 1 h (atviri mažos galios varikliai) iki 3–4 h (uždari galingi varikliai). Juos atjungus nuo tinklo, ataušimo laiko konstanta padidėja kelis kartus.

13.3.2. Izoliacijos klasės. Išskiriamas pernelyg didelis šilumos kiekis kenkia variklio izoliacijai. Jei temperatūra yra aukštesnė už leistinąją, medžiagų izoliacinės savybės blogėja. Dėl to atsiranda nuotėkio srovės. Gaunami papildomi energijos nuostoliai, dėl kurių lokaliai dar intensyviau šyla ir taip pablogėjusi izoliacija. **Variklio eksploatacijos trukmė – resursas – sutrumpėja.** Izoliacijos savybės gali taip pablogėti, kad variklis pasidaro netinkamas vartoti. Kur kas mažiau pavojinga aukšta temperatūra variklio metalinėms dalims: magnetolaidžiui, apvijų laidams bei įvairiems konstrukcijos elementams. Dėl to **variklių leistinoji temperatūra priklauso nuo panaudotų izoliacinių medžiagų.**

Elektros mašinų izoliacinės medžiagos skirstomos į klases priklausomai nuo to, kokia yra jų leistinoji darbo temperatūra (13.20 pav.). Pavyzdžiui, A klasės izoliacinės medžiagos gali būti ilgą laiką vartojamos, jei jų temperatūra ne didesnė kaip 105 °C. Tai daugiausia organinės kilmės medžiagos: izoliaciniais lakais įmirkyti medvilnė, šilkas, celiuliozė ir pan. B klasės izoliacinės medžiagos: bitumu ar epoksidinėmis dervomis įmirkyti asbestas, stiklo pluoštas, stiklo audinys. H klasės – tai B klasės medžiagos, įmirkytos silicio organinėmis dervomis ir kt.

Kuo aukštesnės klasės izoliacija, tuo tos pačios galios varikliai yra mažesni, nes tuo didesnė leistinoji nuostolių galia variklio tūrio vienetui. Be to, tokius variklius galima eksploatuoti karštoje aplinkoje. Pavyzdžiui, giluminių siurblių variklių izoliacija yra C klasės, nes jų darbo aplinkos temperatūra žemės gelmėse yra aukšta. Antra vertus, jei variklis parinktas taip, kad jo temperatūra yra daug mažesnė už leistinąją, tai jis blogai išnaudojamas, yra apkrautas nepakankamai. Tokį variklį galima ir reikia pakeisti pigesniu mažesnės galios varikliu



13.20 pav. Izoliacijos klasės ir leistinosios temperatūros

13.3.3. Variklio darbo režimai. Priklausomai nuo darbo mašinų savybių bei technologinių procesų ypatumų variklių apkrova kinta labai įvairiai. Standartuose yra numatyti aštuoni vardiniai variklių darbo režimai S1 – S8. Išskyrus darbo režimą S1, visiems yra būdinga tai, kad darbo metu variklio šiluminis pereinamasis procesas nenusistovi. Apkro-

va pakinta anksčiau nei variklis pasiekia šiluminę pusiausvyrą išildamas arba ataušdamas.

S1 yra toks ilgalaikės apkrovos režimas, kai apkrova yra pastovi ir pakankamai ilgalaikė, kad nusistovėtų variklio šiluminė pusiausvyra (13.21 pav.). Laikoma, kad dirbdamas S1 režimu variklis laiką N yra apkrautas vardine apkrova. Jo nusistovėjusi temperatūra lygi leistinajai, t. y. jo virštemperatūrė lygi leistinajai virštemperatūrei ϑ_{\max} . S1 režimu dirba ventilatoriai, siurbliai, kompresoriai. Jų darbo trukmė gali būti valandos ar paros.

S2 trumpalaikės apkrovos režimui būdinga pastovi vardinė apkrova, bet darbo laikas N yra per trumpas, kad nusistovėtų variklio šiluminė pusiausvyra (13.22 pav.). Kai variklio virštemperatūrė pasiekia ϑ_{\max} , jis atjungiamas pakankamai ilgam laikui, per kurį ataušta iki aplinkos temperatūros. Leisti varikliui dirbti ilgiau arba įjungti iš naujo dar jam neataušus negalima. Standartinės trumpalaikio darbo trukmės yra 10, 30, 60 ir 90 min. S2 yra būdingas pakeliamųjų tiltų, šliužų sklendžių, kai kurių buitinių įtaisų (kavos malūnėlių, mikserių, elektrinių skustuvų) variklių režimas.

S3 trumpalaikės kartotinės apkrovos režimas yra vienodų ciklų seka (13.23 pav.). Kiekvieną ciklą sudaro vardinės apkrovos režimas, kuris trunka laiką N , ir pauzė, kuri trunka laiką R ir kurios metu variklis yra atjungtas ir nejuda. Periodų N ir R trukmė yra nepakankama, kad vieno ciklo metu nusistovėtų variklio šiluminė pusiausvyra, o paleidimo srovė įšilimui lemiamos įtakos neturi. S3 režimas apibūdinamas santykinę įjungimo trukme, kuri išreiškiama procentais ir apskaičiuojama šitaip:

$$\epsilon = \frac{N}{N+R} \cdot 100. \quad (13.21)$$

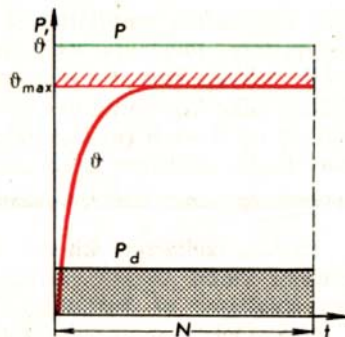
Standartinės santykinės įjungimo trukmės yra 15, 25, 40, 60%. (Kataloguose jos žymimos rusiško alfabeto raidėmis ΠB .) Jei nėra kitokių nuorodų, ciklo trukmė laikoma lygia 10 min.

S4 yra toks režimas, kai variklis dirba trumpalaikės kartotinės apkrovos režimu, bet jo paleidimas turi įtakos jo įšilimui (13.24 pav.). Vieno ciklo metu variklis nepasiekia šiluminės pusiausvyros. Santykinė įjungimo trukmė (procentais):

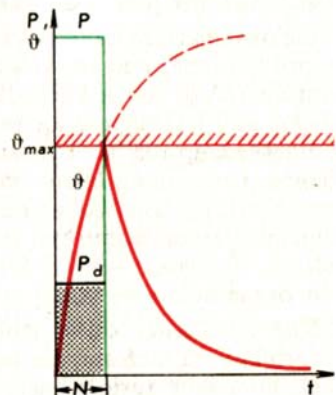
$$\epsilon = \frac{D+N}{D+N+R} \cdot 100; \quad (13.22)$$

čia D – paleidimo trukmė.

Šiuo atveju svarbu žinoti ne tik santykinę įjungimo trukmę, kurios standartinės vertės yra tokios pat (15, 25, 40, 60%),



13.21 pav. S1 režimu dirbančio variklio apkrovos diagrama, virštemperatūrės ir nuostolių galios kitimo kreivės



13.22 pav. S2 režimu dirbančio variklio apkrovos diagrama, virštemperatūrės ir nuostolių galios kitimo kreivės

bet ir variklio įjungimų skaičių per laiko vienetą bei dažnai paleidžiamos pavaros inertiškumo ypatumus. Standartinis įjungimų skaičius yra 30, 60, 120 ir 240 įjungimų per valandą. Inertiškumas įvertinamas **inercijos koeficientu**

$$F_i = J'_\Sigma / J; \quad (13.23)$$

čia J'_Σ – visos pavaros inercijos momentas, redukuotas variklio velenui (žr. (13.14) lygtį);

J – variklio rotoriaus inercijos momentas.

Standartinės inercijos koeficiento vertės yra 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 4,0; 6,3; 10,0.

S5 yra trumpalaikės kartotinės apkrovos režimas, panašus į **S4**. Jo ciklą sudaro variklio paleidimas, darbas su vardine apkrova, greitas elektrinis stabdymas ir pauzė, kurios metu variklis yra atjungtas ir nesisuka. **S5** režimo standartiniai rodikliai yra tokie pat kaip **S4** (skaičiuojant ϵ įvertinama stabdymo trukmė), bet inercijos koeficiento didžiausia vertė yra 4,0.

S6 yra panašus į **S4** režimą, tik pauzės metu variklis sukasi neapkrautas.

S7 yra ištisinio darbo režimas su cikliškais reversavimais ir stabdymais. Šis režimas apibūdinamas standartiniu jungimų skaičiumi per valandą ir inercijos koeficientu.

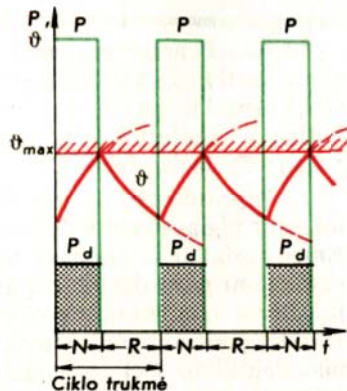
S8 režimu dirba varikliai, kai jų sūkių dažnis yra periodiškai keičiamas. **S8** režimas apibūdinamas įjungimo trukmės, įjungimų skaičiaus per valandą bei inercijos koeficiento standartinėmis vertėmis kiekvienam keičiamam sūkių dažniui (jos tokios pat kaip režimo **S5**).

Elektros variklio vardinį darbo režimą nurodo jį pagaminusi gamykla. Pavyzdžiui, 1) **S1**; 2) **S2** – 60 min; 3) **S3** – 25 %; 4) **S4** – 25 %, 60 h⁻¹, F_i – 2,5; 5) **S6** – 40 %; 6) **S7** – 240 h⁻¹, F_i – 4,0 ir panašiai.

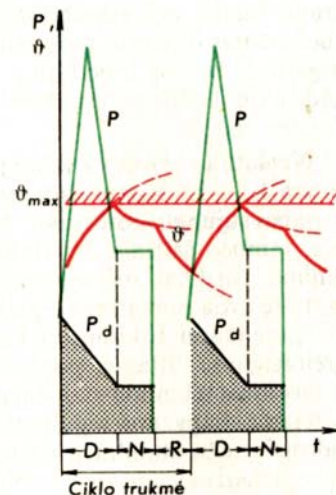
13.4

Pavaros variklio parinkimas

Tinkamai parinktas variklis patikimai, ilgai (vidutiniškai 12–15 metų) ir našiai dirba. Nuo to, ar tinkamai parinktas variklis, priklauso viso įrenginio techniniai ir energetiniai rodikliai. Preliminariai parinkus iš katalogo variklį, patikrinami jo išlimo, paleidimo, perkrovos rodikliai. Parinkti pernelyg galingą variklį neekonomiška. Jei parinkto variklio galia yra per maža, variklis perkaista, todėl jo eksploatacijos trukmė (resursas) sutrumpėja; be to, tokiam varikliui gali būti pavojingos net trumpos trukmės perkrovos.



13.23 pav. **S3** režimu dirbančio variklio apkrovos diagrama, virštemperatūros ir nuostolių galios kitimo kreivės



13.24 pav. **S4** režimu dirbančio variklio apkrovos diagrama, virštemperatūros ir nuostolių galios kitimo kreivės

13.4.1. Bendros rekomendacijos. Parenkant elektros pavaros variklį, reikia atsižvelgti į tokius jo svarbiausius parametrus : 1) tipą; 2) vardinę įtampą; 3) sūkių dažnį ir ar būtina jį reguliuoti arba stabilizuoti; 4) konstrukcijos variantą; 5) darbo režimą.

1. Paprasčiausi, patikimiausi, mažiausios santykinės masės ir pigiausi yra vidutinės galios (iki 100 kW) **asinchroniniai varikliai su trumpai sujungtu rotoriumi**. Jie gali būti naudojami pavarose, kurių greičio reguliuoti nereikia arba jį galima reguliuoti pakopomis. Pastaruoju metu tokių variklių greičiui reguliuoti vis plačiau taikomi puslaidininkiniai keitikliai. Dėl to asinchroniniai varikliai su trumpai sujungtu rotoriumi pradėti naudoti tokiose pavarose, kur anksčiau buvo naudojami nuolatinės srovės varikliai.

Asinchroniniai varikliai su faziniu rotoriumi parenkami tada, kai reikia variklį paleisti mažinant paleidimo srovę ar sklandžiai keisti greitį, tačiau nėra griežtų reikalavimų reguliavimo tikslumui. Jie naudojami pavarose, kurios dažnai paleidžiamos ir stabdomos, keičiama sukimosi kryptis.

Didelės galios pavarose, kurių greičio reguliuoti nereikia, kurios retai paleidžiamos ir dirba ilgą laiką (kompresoriai, siurbliai ir pan.), naudojami **sinchroniniai** varikliai. Jų mechaninė charakteristika absoliučiai kieta, juos galima perkrauti labiau nei asinchroninius variklius, jų naudingumo koeficientas didesnis, juos galima naudoti galios koeficientui pagerinti. Mažos ir vidutinės galios pavarose, jei nereikia, kad sūkių dažnis būtų pastovus, sinchroniniai varikliai naudojami rečiau.

Nuolatinės srovės varikliai yra brangesni, jų santykinė masė yra 1,5–2,0 kartus didesnė nei asinchroninių variklių su trumpai sujungtu rotoriumi. Be to, jiems reikalingas nuolatinės įtampos šaltinis. Nuolatinės srovės nepriklausomo žadinimo varikliai prijungiami prie tiristorinių valdomų lygintuvų arba nuolatinės reguliuojamos įtampos generatorių. Jie parenkami tokioms pavaroms (valcavimo staklynams, greitaeigiams liftams, popieriaus gamybos mašinoms, specialiosioms tekinimo staklėms), kur reikia sklandžiai ir labai plačiame diapazone reguliuoti greitį; kai reikia, kad pvara suktųsi mažu stabiliu greičiu; kai reikia labai tolygiai pavarą paleisti ar sustabdyti. Nuoseklus ir mišrus žadinimo varikliai yra naudojami elektrinio transporto ir kėlimo mašinose.

2. Pramonės įmonėse yra **trifaziai tinklai, prie kurių linijinės įtampos gali būti jungiami 220, 380, 660 V žemos įtampos** arba 3, 6, 10 kV aukštos įtampos **varikliai**. Paprastai mažos ir vidutinės galios varikliai gaminami žemos, o vidutinės ir didelės galios – aukštos įtampos. **Nuolatinės sro-**

vės variklių vardinė įtampa paprastai yra 110, 220 ir 440 V, o didelės galios – 660 V ir daugiau. Kad būtų saugiau dirbti, rankinių elektrinių įrankių varikliai gaminami ir pažemintai (24, 36 arba 60) įtampai.

3. Vardinis variklio **sūkių dažnis** parenkamas atsižvelgiant į darbo mašinos įtaiso judėjimo greitį bei reduktoriaus perdavimo skaičių. Pažymėtina, kad dažniausiai variklių sūkių dažnis esti didesnis negu reikia darbo mašinai. Nors greitaigiai varikliai yra ekonomiškiesni (išskyrus kai kuriuos atvejus, jų santykinė masė mažesnė ir jie pigesni), reikia dar atsižvelgti į reduktoriaus kainą ir nuostolius jame. Naujai projektuojamai pavarai reikia techniškai ir ekonomiškai palyginti kelis variantus.

4. Parenkamo variklio **konstrukciniai ypatumai** priklauso nuo darbo mašinos savybių. Dauguma variklių gaminama su horizontaliu velenu, dalis – su vertikaliu. Kai kuriais atvejais variklis yra neatsiejama darbo mašinos dalis. Šie duomenys apie elektros variklius yra pateikiami kataloguose.

Variklių **normaliomis eksploatacijos sąlygomis yra laikoma aplinkos temperatūra $+30 \pm 10$ °C, santykinė oro drėgmė 35–80% ir atmosferos slėgis 84–106 kPa**. Kuo daugiau skiriasi aplinkos sąlygos nuo normalių, tuo daugiau skiriasi variklio konstrukcija nuo įprastinės. Priklausomai nuo aplinkos sąlygų ir darbo apsaugos reikalavimų varikliai gali būti: atvirieji, apsaugotieji ir uždarieji.

Atvirieji varikliai tinka naudoti tik sausose patalpose, kuriose yra normali temperatūra, nėra purvo, dulkių ar chemiškai agresyvių dujų. Jų judamos ir srovei laidžios dalys yra atviros, į vidų gali patekti pašaliniai daiktai. **Apsaugotieji** varikliai turi įvairias grotelės, tinklelius ar kitokius dangčius, apsaugančius nuo lašų, purlų, čiurkšlių ir pan. Aplinkos oras laisvai patenka į variklio vidų.

Dauguma gaminamų variklių yra uždarieji. Oro apykaita vyksta ne pro specialias angas, o tik pro gaubto, veleno ir guolių detalių nesandarumo plyšius. **Hermetiškųjų** variklių sandarumas esti toks, kad jie gali dirbti net po vandeniui. **Sprogimo atžvilgiu saugių** variklių gaubtai turi atlaikyti variklio viduje įvykusį dujų sprogamą, o liepsna neturi išsiveržti išorėn. Gaminami specialūs varikliai darbui tropinėmis sąlygomis (aukšta temperatūra, drėgmė), darbui atvirame ore – drėgmei ir šalčiui atsparūs varikliai, chemiškai atsparūs varikliai darbui chemiškai agresyvioje aplinkoje.

Pagal aušinimą varikliai gali būti: natūralaus aušinimo (be specialių aušinimo įtaisų), besiaušinantieji (su savu ventiliatoriumi) ir nepriklausomo aušinimo. Dauguma variklių turi savą ventiliatorių, o didelės galios arba labai svarbios pavaros variklio apviją kartais tenka aušinti specialiu atskiru ventiliatoriumi arba kompresoriumi. Dėl to variklio santykinė masė yra mažesnė, o jo aušinimo sąlygos nepri-

klaušo nuo greičio (kaip pirmųjų dviejų aušinimo būdų varikliuose).

Parentant variklį pagal aplinkos sąlygas, labai svarbu nepiktnaudžiauti jo specialia apsauga. Nepagrįstai parinkus, pavyzdžiui, uždarą ar hermetišką variklį, pavara be reikalo pabrangsta.

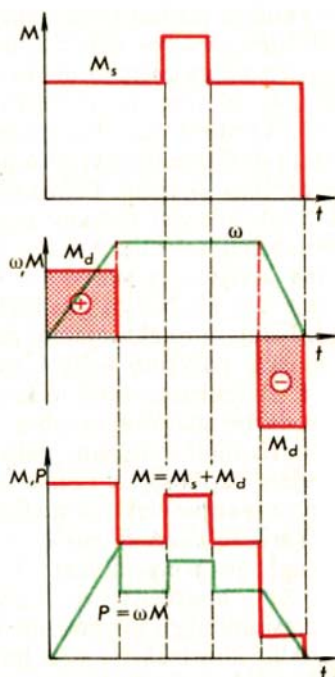
5. Kokių režimu dirba variklis, galima spręsti iš pavaros apkrovos diagramos. Pavaros apkrovos diagrama gali būti sudaroma kaip variklio momento $M(t)$, srovės $I(t)$ arba galios $P(t)$ priklausomybė nuo laiko.

Projektuojant pavara paprastai yra žinoma darbo mašinos apkrovos diagrama – jos statinio momento priklausomybė nuo laiko $M_s(t)$ – ir kampinio greičio kitimo pobūdis $\omega(t)$. Pavaros apkrovos diagramą $M(t)$ galima sudaryti iš (13.6) pavaros judėjimo lygties: $M = M_s + M_d = M_s + J_\Sigma d\omega/dt$, čia J_Σ – pavaros inercijos momentas. Pavaros apkrovos diagrama $P(t)$ sudaroma iš $M(t)$ ir $\omega(t)$, prisiminus, kad $P = \omega M$ (13.25 pav.).

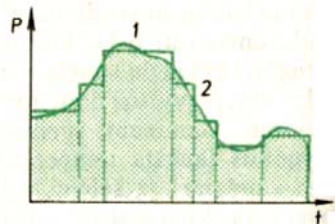
Sudaryti tikrąją apkrovos diagramą galima tik parinkus variklį ir žinant jo inercijos momentą. Antra vertus, parentant variklį reikia žinoti, kokių režimu jis dirba, ir apskaičiuoti jo galią. Kai pavara dirba praktiškai pastoviu greičiu ($\omega \approx \text{const}$), variklį preliminariai galima parinkti pagal jo statinės apkrovos diagramą $P(t) = \omega M_s$. Jos pobūdis yra toks pat kaip darbo mašinos statinio pasipriešinimo momento $M_s(t)$. Kai pavaros greitis nėra pastovus, sudaroma variklio apkrovos diagrama $P(t)$, įvertinant ir darbo mašinos dinaminis momentus. Apkrovos diagrama paprastai pakeičiama laiptuotu grafiku (13.26 pav.).

Pradžioje variklis parenkamas iš katalogo pagal apytikslių skaičiavimų rezultatus – preliminariai. Po to patikrinamas jo išilimas, perkrova ir, jei reikia, paleidimo sąlygos. Yra tokių pavarų, kuriose keliami specialūs reikalavimai jų įsisukimo trukmei. Tokiu atveju sudaromas pavaros greičio priklausomybės nuo laiko grafikas (žr. 13.2.5). Jei parinktasis variklis netenkina paleidimo sąlygų reikalavimų, reikia ieškoti kito varianto.

Dauguma elektros pavarų apkrovos diagramų yra kiek kitokios negu standartinių S1–S8 režimų. Tam, kad būtų galima parinkti vieno ar kito režimo variklį, tenka tikrąją apkrovos diagramą perskaičiuoti ir pakeisti ją ekvivalentiška standartinio režimo diagrama. Antra vertus, **pramonė gamina daugiausia variklių, kurie yra skirti dirbti S1, S2 arba S3 režimu. Šie režimai yra laikomi pagrindiniais, ir dažniausiai parenkamas variklis, skirtas dirbti vienu iš šių trijų režimų.**



13.25 pav. Pavaros apkrovos diagramos sudarymas



13.26 pav. Tikroji (1) ir laiptuota kreivė pakeičioji (2) apkrovos diagrama

13.4.2. Ilgalaikė pastovi apkrova. Yra nemažai darbo mašinų, kurios retai ir lengvai paleidžiamos, gana ilgą laiką dirba pastoviu greičiu, sudarydamos varikliui praktiškai pastovią apkrovą $P = \text{const}$. Tai, pavyzdžiui, siurbliai, ventiliatoriai, kompresoriai ir kiti panašūs įrenginiai. **Jiems parenkamas S1 režimo variklis.**

Kai ilgalaikė apkrova svyruoja, laikoma, kad ji praktiškai pastovi (13.27 pav.), jei pokyčiai ΔP yra ne didesni kaip 25% jos vidutinės vertės \bar{P} . Kadangi apkrova paprastai svyruoja dėsningai, tai vidutinė vertė skaičiuojama tokiam laikotarpiui $N = t_1 + t_2 + \dots + t_n$, po kurio apkrovos kitimo pobūdis vėl yra toks pat. Apkrovos diagramą galima pakeisti horizontalia tiese ir laikyti, kad variklis dirba pastoviai skaičiuojamąja apkrova $P = \bar{P}$.

Apkrovos vidutinė vertė

$$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n P_i t_i. \quad (13.24)$$

Abiem atvejais iš katalogo parenkamas variklis, kurio vardinė galia yra lygi arba šiek tiek didesnė už skaičiuojamąją apkrovos galią:

$$P \leq P_N. \quad (13.25)$$

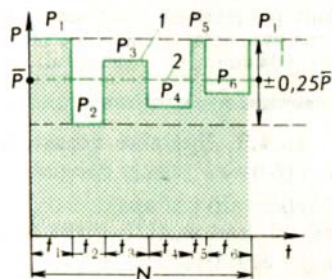
Kai aplinkos temperatūra yra ne didesnė kaip 40° C, tikrinti variklį įšilimui ar perkrovai nėra prasmės, nes $P \approx \text{const}$. Jei paleidimo sąlygos gali būti sunkios, pavyzdžiui, didelis darbo mašinos pradinis pasipriešinimo momentas $M_{s,t}$, reikia patikrinti, ar pakankamas variklio paleidimo momentas: $M_k \geq M_{s,t}$.

13.1 pavyzdys. Parinkime asinchroninį variklį išcentriniam vandens siurbliui, kurio našumas $V = 100 \text{ m}^3/\text{h}$, skaičiuojamasis vandens pakėlimo aukštis (įvertinant įsiurbimo aukštį, pakėlimo aukštį ir visus nuostolius) $H = 20 \text{ m}$, naudingumo koeficientas $\eta = 0,5$, sūkių dažnis $n = 2900 \text{ r/min}$.

Sprendimas. Variklio apkrovos galia (kW) apskaičiuojama pagal tokią, žinomą iš hidraulikos, lygybę: $P = \gamma V H \cdot 10^{-3} / \eta$; čia γ – siurbiamo skysčio lyginamasis svoris N/m^3 ; V – siurblio našumas m^3/s ; H – skaičiuojamasis pakėlimo aukštis m ; η – siurblio naudingumo koeficientas. Vandens $\gamma = 1000 \cdot 9,81 \text{ N/m}^3$; siurblio $V = 100/3600 \text{ m}^3/\text{s}$. Įrašę skaičius, turime: $P = 1000 \cdot 9,81 \cdot 100 \cdot 20 \cdot 10^{-3} / (3600 \cdot 0,5) = 10,9 \text{ kW}$.

Iš katalogo parenkame 4A serijos asinchroninį variklį su trumpai sujungtu rotoriumi: $P_N = 11,0 \text{ kW}$; $n_N = 2900 \text{ r/min}$; $I_N = 21,2 \text{ A}$; $U_N = 380 \text{ V}$; $\eta_N = 0,88$; $\cos \varphi_N = 0,90$; $I_k / I_N = 7,5$; $M_k / M_N = 1,7$; $\lambda = 2,8$; $J = 2,29 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$.

Išcentrinio siurblio mechaninė charakteristika yra tokia, kad pra-



13.27 pav. Tikroji (1) ir perskaičiuota standartiniam S1 režimui (2) variklio ilgalaikės apkrovos diagrama

dinis pasipriešinimo momentas $M_{s1} < M_N$, o didžiausias pasipriešinimo momentas $M_{s,max} = M_N$ (žr. 13.2.2). Dėl to variklio netikrinsime nei paleidimui, nei perkrovai.

13.4.3. Ilgalaikė nepastovi apkrova. Kai ilgalaikė variklio apkrova svyruoja daugiau kaip 25% (13.28 pav.), iš (13.24) lygybės taip pat apskaičiuojama vidutinė apkrova \bar{P} . Galima laikyti, kad variklis dirba S1 režimu su pastovia skaičiuojamąja apkrova

$$P = k\bar{P}; \quad (13.26)$$

čia $k = 1,1 - 1,2$ – atsargos koeficientas, kurio vertė turi būti tuo didesnė, kuo labiau svyruoja apkrova.

Preliminariai galima parinkti variklį iš katalogo, remiantis (13.25) sąlyga. Po to reikia patikrinti taip parinkto variklio išlirimą. Tam gali būti taikomas vienas iš keturių metodų: vidutinių nuostolių, ekvivalentinės srovės, ekvivalentinio momento arba ekvivalentinės galios. Pirmasis iš jų universalus ir tiksliausias, bet skaičiavimas gana sudėtingas. Likusius galima taikyti tik su tam tikromis išlygomis, bet jie paprastesni.

Taikant **vidutinių nuostolių** metodą, laikoma, kad variklio temperatūra nebus didesnė už leistinąją, jei aplinkos temperatūra yra 40°C ir tenkinama šitokia sąlyga:

$$\bar{P}_d \leq P_{dN}; \quad (13.27)$$

čia P_d ir P_{dN} – vidutinė ir vardinė variklio nuostolių galia. Vidutinė nuostolių galia (žr. 13.28 pav.) apskaičiuojama šitaip:

$$\bar{P}_d = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n P_{di} t_i; \quad (13.28)$$

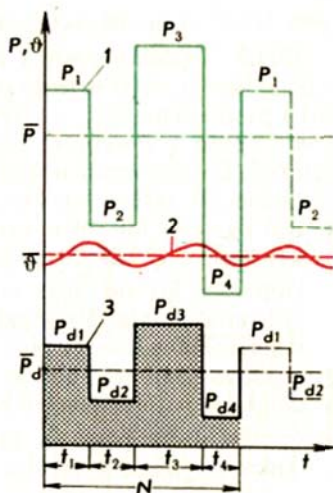
čia $\bar{P}_{di} = P_i(1/\eta_i - 1)$ – variklio nuostolių galia kiekvienu jo darbo laikotarpiu t_i , kai apkrova yra P_i , o naudingumo koeficientas lygus η_i .

Vardinė variklio nuostolių galia

$$P_{dN} = P_N(1/\eta_N - 1); \quad (13.29)$$

čia P_N ir η_N – vardinė variklio galia ir naudingumo koeficientas.

Ekvivalentinės srovės metodas variklio išlirimui patikrinti yra pagrįstas tuo, kad variklio energijos nuostolius sudaro pastovieji ir kintamieji nuostoliai (žr. 11.5.2). Pastovieji nuostoliai nuo apkrovos nepriklauso, todėl jie yra tokie pat, kai



13.28 pav. Variklio ilgalaikės apkrovos diagrama (1), virštemperatūrė (2) ir nuostolių galia (3) priklausomai nuo laiko

apkrova yra lygi kokiai nors vertei P_i arba kai ji yra vardinė – P_N . **Kintamieji nuostoliai priklauso nuo apkrovos.** Atsižvelgdami į tai, kas pasakyta, sąlygą variklio išilimui patikrinti (13.27) galime užrašyti šitaip:

$$P_{dc} + \bar{P}_{dv} \leq P_{dc} + P_{dvN}; \quad (13.30)$$

čia P_{dc} – pastoviųjų nuostolių galia,

\bar{P}_{dv} ir P_{dvN} – vidutinė ir vardinė kintamųjų nuostolių galia.

Iš (13.30) nelygybės matome, kad variklio išilimui patikrinti pakanka palyginti vidutinę ir vardinę kintamųjų nuostolių galia. Antra vertus, kintamųjų nuostolių galia yra proporcinga pagrindinės variklio grandinės srovės kvadratui.

Žinant preliminarai parinkto variklio tipą ir įtampą, iš apkrovos diagramos $P(t)$ sudaroma variklio srovės diagrama $I(t)$ (13.29 pav.). Iš šios diagramos apskaičiuojama vidutinė kvadratinė srovės vertė I_e , kuri šiluminiu poveikiu yra ekvivalentiška tikrajai variklio srovei $I(t)$, todėl vadinama ekvivalentine.

Ekvivalentinė srovė apskaičiuojama šitaip:

$$I_e = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n I_i^2 t_i}. \quad (13.31)$$

Variklio temperatūra nebus didesnė už leistinąją, jei ekvivalentinė srovė ne didesnė už vardinę variklio srovę:

$$I_e \leq I_N. \quad (13.32)$$

Ekvivalentinės srovės metodą galima taikyti, kai varikliui dirbant nekinta jo pagrindinių grandinių varžos. Šis metodas netinka, kai reguliuojamas variklio greitis ir dėl to kinta pastovieji nuostoliai.

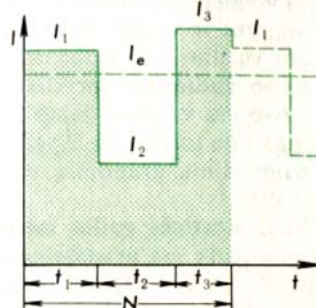
Ekvivalentinio momento metodas taikomas, kai variklio magnetinis srautas $\Phi \approx \text{const}$. Tuo atveju galime laikyti, kad variklio sukimo momentas yra proporcingas srovei.

Iš darbo mašinos apkrovos diagramos $M_s(t)$ (13.30 pav.) apskaičiuojamas ekvivalentinis momentas

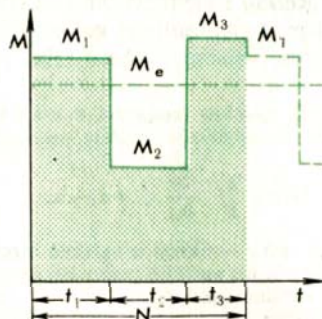
$$M_e = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n M_i^2 t_i}. \quad (13.33)$$

Variklis neperkais, jei tenkinama šitokia sąlyga:

$$M_e \leq M_N. \quad (13.34)$$



13.29 pav. Variklio srovės diagrama ir ekvivalentinė srovė

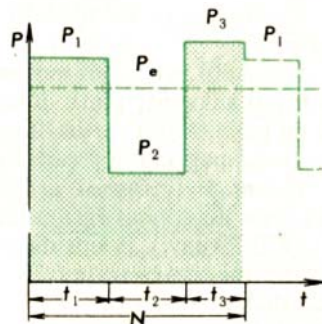


13.30 pav. Variklio momento diagrama ir ekvivalentinis momentas

Ekvivalentinio momento metodą galima taikyti asinchroniniams ir sinchroniniams varikliams, kai tinklo įtampa yra vardinė. Jis gerai tinka nuolatinės srovės nepriklausomo žadinimo varikliams patikrinti, kai jų žadinimo srovė yra vardinė. Kaip ir ekvivalentinės srovės metodą, jį galima taikyti su išlyga, kad nebūtų keičiamos variklio pagrindinių grandinių varžos ir nekistų pastovieji nuostoliai.

Ekvivalentinės galios metodas taikomas tuo atveju, kai variklio galia yra proporcinga jo sukimo momentui. Kadangi $P = \omega M$, tai $P \sim M$, kai $\omega \approx \omega_N \approx \text{const}$. Šią sąlygą galime laikyti patenkinama, kai variklio mechaninė charakteristika yra kieta. Ekvivalentinės galios metodą galima taikyti asinchroniniams, sinchroniniams ir nuolatinės srovės nepriklausomo žadinimo varikliams, kai yra patenkintos visos aukščiau išnagrinėtų metodų išlygos.

Ekvivalentinė galia iš variklio apkrovos diagramos $P(t)$ (13.31 pav.) apskaičiuojama šitaip:



13.31 pav. Variklio galios diagrama ir ekvivalentinė galia

$$P_e = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n P_i^2 t_i} \quad (13.35)$$

Parinktas variklis neperkais, jei

$$P_e \leq P_N \quad (13.36)$$

Ekvivalentinės srovės, momento ir galios metodai iš esmės yra metodai variklio įšilimui patikrinti. Jie yra paprasti, tik nereikia pamiršti kiekvieno iš jų ribotumo. Kadangi praktiškai varikliai parenkami su tam tikra nors ir nedidele atsarga, dažniausiai šių metodų tikslumo praktiniams tikslams visiškai pakanka.

Reikia pažymėti, kad ekvivalentinio momento (13.33–34) ir ekvivalentinės galios (13.35–36) formules galima panaudoti, norint preliminariai parinkti variklį.

Jei aplinkos temperatūra yra kitokia nei 40°C , parinkto variklio galią P_N apytiksliai galima perskaičiuoti šitaip:

$$P = P_N \sqrt{\frac{\vartheta}{\vartheta_N} (1 + \alpha) - \alpha}; \quad (13.37)$$

čia ϑ ir ϑ_N – tikroji ir vardinė virštemperatūrė, α – koeficientas, kuris yra lygus variklio pastoviųjų nuostolių galios ir kintamųjų nuostolių vardinės galios santykiui. Jis esti nuo 0,3–1,1 (asinchroniniams varikliams dažniausiai $\alpha = 0,3–0,5$).

Virštemperatūrė apskaičiuojama kaip leistinos tam tikrai izoliacijos klasei temperatūros ir aplinkos temperatūros skirtumas. Pavyzdžiui, B klasės izoliacijos variklio, dirbančio 50°C aplinkos tempera-

tūroje: $\theta = 130 - 50 = 80^\circ \text{C}$; $\theta_N = 130 - 40 = 90^\circ \text{C}$. Matome, kad karštesiose patalpose varikliai turi būti apkraunami mažiau. Pavyzdžiui, 30 kW galios A klasės izoliacijos variklis ($\alpha = 0,5$), kai aplinkos temperatūra yra 50°C , gali būti apkrautas $P \leq 26,3 \text{ kW}$. Kai temperatūra mažesnė kaip 40°C , perkrauti variklį nerekomenduojama, nes jam gali pakenkti dideli temperatūrų skirtumai tarp nevienodai išilusių jo apvijų dalių.

Parinktą variklį dar reikia patikrinti perkrovai: didžiausias variklio veleno apkrovos momentas turi būti ne didesnis už variklio didžiausią sukimo momentą:

$$M_{s \max} \leq M_{\max}. \quad (13.38)$$

$M_{\max} = \lambda M_N$; čia λ – variklio perkrovos koeficientas, nurodytas asinchroninių ir sinchroninių variklių kataloguose.

Asinchroninio variklio momentas yra proporcingas tinklo įtampos kvadratui. **Laikant, kad tinklo įtampa gali sumažėti iki 0,9 vardinės vertės, asinchroninis variklis perkrovai yra tikrinamas šitaip:**

$$M_{s \max} \leq 0,8 \lambda M_N. \quad (13.39)$$

Nuolatinės srovės variklio perkrovą riboja komutacijos sąlygos, todėl kataloge nurodoma didžiausia leistina inkaro srovė.

Paleidimui varikliai tikrinami, laikant, kad turi būti

$$M_{st} \leq M_k; \quad (13.40)$$

čia M_{st} ir $M_k = k_k M_N$ – darbo mašinos pradinis pasipriešinimo ir variklio paleidimo momentas, k_k – koeficientas.

Asinchroninių variklių koeficientas k_k nurodytas kataloge. Nuolatinės srovės mašinų paleidimo momentas priklauso nuo paleidimo reostato varžos ir magnetinio srauto. Praktiškai jų $k_k \approx 2 - 2,5$. Sinchroninių variklių $k_k \approx 1,0$.

Kai variklio apkrova ilgalaikė, bet jo darbo ciklą sudaro dažni paleidimai ir elektriniai stabdymai, tikslinga parinkti S7 vardinio režimo variklį. Pagal anksčiau išdėstytą metodiką variklio darbo su apkrova periodui N apskaičiuojama apkrovos galia P , variklis preliminariai parenkamas iš katalogo ir patikrinamas. Reikia parinkti tokį variklį, kurio vardinis įjungimų skaičius per valandą ir vardinis inercijos koeficientas būtų ne mažesni už tikrąsias šių dydžių vertes. Kadangi su tokia apkrova dirbančiai pavarai yra būdingi nemaži dinaminiai momentai, tikslinga sudaryti visos pavaros apkrovos diagramą.

13.2 pavyzdys. Metalų apdirbimo staklėms parinkime asinchroninį variklį su trumpai sujungtu rotoriumi. Pavaros kampinis greitis $\omega \approx \text{const}$. Žinomas ilgalaikės statinės apkrovos kitimo pobūdis (13.1 lentelė) ir pradinis statinis pasipriešinimo momentas paleidimo metu $M_{st} = 60 \text{ N} \cdot \text{m}$.

Sprendimas. Pavaizduojame variklio apkrovos diagramą grafiškai (13.32 pav.). Variklio vieno darbo ciklo trukmė $N = \sum t_i = 2 + 1 + 3 + 1 + 1 + 4 + 3 + 4 + 2 = 21$ min. Iš (13.24) lygties $\bar{P} = (8 \cdot 2 + 15 \cdot 1 + 6 \cdot 3 + 17 \cdot 1 + 5 \cdot 1 + 8 \cdot 4 + 5 \cdot 3 + 2 \cdot 4 + 1 \cdot 2) / 21 = 6,1$ kW. Iš (13.26) lygties $P = 1,2 \cdot 6,1 = 7,3$ kW. Parenkame iš katalogo artimiausios didesnės vardinės galios $P_N = 7,5$ kW 4A serijos S1 režimo asinchroninį variklį su trumpai sujungtu rotoriumi.

Patikriname variklį įšilimui ekvivalentinės galios (žr. (13.35) ir (13.36)) lygtis metodu:

$$P_e = \sqrt{(8^2 \cdot 2 + 15^2 \cdot 1 + 6^2 \cdot 3 + 17^2 \cdot 1 + 5^2 \cdot 1 + 8^2 \cdot 4 + 5^2 \cdot 3 + 2^2 \cdot 4 + 1^2 \cdot 2) / 21} = 7,3 \text{ kW.}$$

Variklis neperkais, nes $P_e < P_N$.

Prinkto variklio katalogo duomenys: 4A serija; $P_N = 7,5$ kW; $n_N = 1445$ r/min; $U_N = 380$ V; $I_N = 11,1$ A; $\eta_N = 0,875$; $\cos \varphi_N = 0,86$; $I_k / I_N = 7,5$; $M_k / M_N = 2,2$; $\lambda = 3,0$; $J = 2,80 \cdot 10^{-2}$ kg · m².

Vardinis kampinis greitis $\omega_N = 2\pi n_N / 60 = 2\pi \cdot 1445 / 60 = 151,3$ rad/s. Vardinis sukimo momentas $M_N = P_N / \omega_N = 7,5 \cdot 10^3 / 151,3 = 49,6$ N · m. Paleidimo momentas $M_k = 2,2 M_N = 2,2 \cdot 49,6 = 109$ N · m, didžiausias momentas $M_{\max} = 3,0 M_N = 3,0 \cdot 49,6 = 148,7$ N · m. Kadangi variklio natūralioji mechaninė charakteristika yra kieta ($\omega \approx \omega_N$), apskaičiuoti didžiausią statinį apkrovos momentą galime šitaip: $M_{s,\max} = P_{\max} / \omega_N = 17 \cdot 10^3 / 151,3 = 112,4$ N · m. Gavome, kad pasirinktoji variklio mechaniniai momentai tenkina didžiausios apkrovos ir paleidimo (13.39–40) sąlygas: $M_{s,\max} = 112,4 < 0,8 \cdot 3 \cdot 49,6 = 119$ N · m; $M_{s,1} = 60 < M_k = 109$ N · m.

13.4.4. Trumpalaikė ir trumpalaikė kartotinė apkrova.

Trumpalaikiam S2 darbo režimui skirti varikliai yra mažesnės masės ir pigesni (vienam galios vienetui). Jų leistinoji santykinė apkrova yra didesnė, nes variklis atjungiamas anksčiau ir nesužėja įšilti iki temperatūros, kuri nūsistovėtų su tokia pat ilgalaikė apkrova. Be to, jie dažniausiai neturi savo ventiliatorių.

Kataloguose pateikiama vardinė variklio galia P_N ir darbo trukmė N_N . **Parenkant S2 režimo variklį, reikia, kad variklio apkrovos galia P ir darbo trukmė N būtų artimos, bet ne didesnės už standartines:**

$$P \leq P_N; \quad N \leq N_N. \quad (13.41)$$

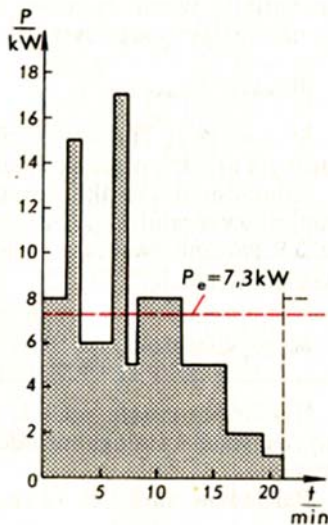
Kai trumpalaikė apkrova kinta, apskaičiuojama ekvivalentinė srovė, momentas arba galia darbo laikotarpiui N kaip ir S1 režimo atveju. Po to pagal (13.41) nelygibes iš katalogo parenkamas variklis. Jis patikrinamas perkrovai ir paleidimui.

Trumpalaikiam S2 režimui naudojant S1 režimo variklius, juos galima perkrauti, nes priešingu atveju jie nepakankamai išnaudojami. Tuo tikslu jų galia ir darbo laikas perskaičiuojami, įvertinant terminės ir mechaninės perkrovos koeficientus. Šie skaičiavimai yra sudėtingesni: juos galima rasti specialiojoje literatūroje.

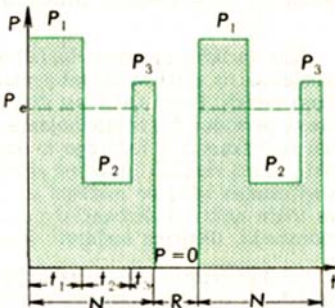
S3 režimo variklis yra parenkamas, kai apkrova yra trumpalaikė kartotinė: **ciklo trukmė turėtų būti ne ilgesnė kaip**

13.1 lentelė.

P kW	8	15	6	17	5	8	5	2	1
t min	2	1	3	1	1	4	3	4	2



13.32 pav. 13.2 pavyzdžio staklių variklio apkrovos diagrama



13.33 pav. Trumpalaikės kartotinės apkrovos diagrama

10 minučių, o pauzės metu variklis atjungiamas. Kai darbo metu apkrova yra nepastovi (13.33 pav.), variklio apkrovos diagramą reikia perskaičiuoti ir pakeisti standartinio S3 režimo diagrama. Tam iš (13.35) formulės apskaičiuojama ekvivalentinė apkrovos galia P_e , kurią laikysime lygia skaičiuojamajai S3 režimo apkrovos galiai: $P_e = P$. Iš (13.21) lygybės apskaičiuojama tikroji variklio įjungimo trukmė ϵ . Kai ji yra lygi vardinei (standartinei) vertei ϵ_N , galima iš katalogo parinkti variklį pagal šitokią sąlygą:

$$\epsilon = \epsilon_N; \quad P \leq P_N. \quad (13.42)$$

Kai tikroji $\epsilon \neq \epsilon_N$, variklio apkrovos diagramą galime dar perskaičiuoti, padidindami arba sumažindami skaičiuojamosios apkrovos P galią:

$$P = P_e \sqrt{\epsilon / \epsilon_N}. \quad (13.43)$$

Panašiai variklį galima parinkti pagal apkrovos $M = f(t)$ diagramą, taikant ekvivalentinio momento (13.33) formulę ir perskaičiuojant jo vertę:

$$M = M_e \sqrt{\epsilon / \epsilon_N}. \quad (13.44)$$

Variklio skaičiuojamoji apkrovos galia $P = \omega M$.

Reikia patikrinti parinkto variklio paleidimo ir perkrovos sąlygas.

Kai variklio įjungimo trukmė $\epsilon \approx 100\%$ arba kai ciklo trukmė yra ilgesnė kaip 10 minučių, reikia parinkti S1 režimo variklį. Kai $\epsilon < 15\%$, reikia parinkti S2 režimo variklį.

S3 režimo variklį galima parinkti ir tuo atveju, kai apkrovos diagramos yra tokios kaip S4, S5 ir S6 režimų. Tam apskaičiuojama darbo laikotarpio N ekvivalentinė (skaičiuojamoji) apkrovos galia ir, jei reikia, ją perskaičius (žr. (13.43) lygybę), pagal (13.42) sąlygą parenkamas S3 režimo variklis. Kadangi dirbančių S4, S5 ir S6 režimais variklių nuostoliai yra didesni, parinktą S3 režimo variklį būtinai reikia patikrinti išilimui. Reikia apskaičiuoti vidutinę nuostolių galią viso ciklo metu ir patikrinti, ar ji nebus didesnė už vardinę. Taip pat reikia patikrinti variklio paleidimo ir perkrovos sąlygas.

13.5

Elektrinis stabdymas ir reversavimas

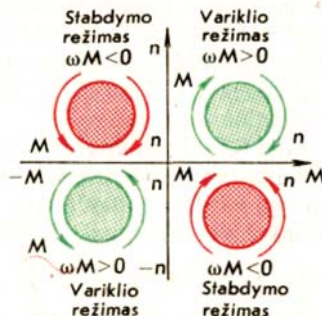
Elektros mašina dirba stabdymo režimu, kai jos elektromagnetinio momento kryptis yra priešinga rotoriaus sukimosi

krypčiai. Reversavimas yra variklio sukimosi krypties pakeitimas priešinga.

Tai, kad elektros mašinos gali dirbti stabdymo režimu, yra didelis elektros pavarų privalumas. Elektriškai stabdomą pavarą galima reikiamu tikslumu valdyti ir automatizuoti. Kai kuriais atvejais galima atsisakyti mechaninių stabdžių.

Iki šiol variklių mechanines charakteristikas $n=f(M)$ braižėme, laikydami, kad $n>0$ ir $M>0$ (13.34 pav.). Jei variklis sukasi priešinga kryptimi ir jo $n<0$, tai $M<0$, bet $P=\omega M>0$. Toks yra reversuoto variklio režimas. Variklio charakteristikos braižomos trečiajame koordinačių sistemos kvadrante.

Kai elektros mašina dirba stabdymo režimu, vienas iš dauginamųjų (ω arba M) yra neigiamas, todėl $P<0$. Šiuo atveju mechaninė energija, gaunama iš darbo mašinos, elektros mašinoje yra paverčiama elektros energija. Stabdymo energija gali būti grąžinama į tinklą arba elektros mašinos pagrindinėse grandinėse paverčiama šiluma ir išskiriama į aplinką. Stabdymo režimu dirbančios elektros mašinos mechaninės charakteristikos $n=f(M)$ yra braižomos antrajame arba ketvirtajame koordinačių sistemos kvadrante.



13.34 pav. Elektros mašinos mechaninių charakteristikų vieta M , n koordinačių sistemoje

13.5.1. Elektrinio stabdymo būdai. Elektros mašinų stabdymo būdai yra trys. Visais trimis atvejais elektros mašinos rotorius sukasi arba dėl to, kad pavaroje yra sukaupta kinetinė energija (dėl inertiškų pavaros masių), arba dėl to, kad jį veikia pavaros potencinės jėgos (darbo mašinos statinis momentas yra aktyvusis), pavyzdžiui, nuleidžiamo krovinio svorio jėga. Rotoriaus elektromagnetinis momentas pavaros judesį stabdo.

1. Stabdant **priešinio jungimo** būdu, elektros mašina prijungta prie šaltinio. Praktiškai gali būti du tokio stabdymo atvejai.

1.1. Pavaros potencinės jėgos sudaro pasipriešinimo momentą, kuris yra didesnis už elektros mašinos sukimo momentą. **Darbo mašina suka rotorius kryptimi, priešinga elektros mašinos elektromagnetinio momento kryptiai. Elektros mašina išlieka prijungta prie šaltinio taip pat kaip dirbdama variklio režimu, o jos elektromagnetinis momentas pavaros judėjimą stabdo.** Taip gali būti stabdomos kėlimo, transporto įrenginių – keltuvų, kranų, liftų – pavaros.

Praktiškai šiuo priešinio jungimo būdu stabdyti pavarą galima, sumažinus elektros variklio sukimo momentą.

1.2. **Variklio režimu veikiančios mašinos pagrindinė grandinė yra perjungiamą taip, kad dėl to pasikeistų srovės ir elektromagnetinio momento kryptis.**

Po perjungimo pavara dar juda ankstesne kryptimi, bet mašinos elektromagnetinis momentas yra priešingos krypties, todėl pavaros judėjimą stabdo. Pavagai sustojus, elektros mašiną nuo šaltinio reikia atjungti, nes ji pradės varyti darbo mašiną priešinga kryptimi.

Apskritai priešinio jungimo stabdymo būdas yra labai efektyvus. Stabdymo momentas nuo pavaros greičio beveik nepriklauso ir yra gana didelis, pavagai judant net ir mažu greičiu. Jo trūkumas yra tas, kad stabdymo metu vartojama šaltinio elektros energija. Ji paverčiama šiluma rezistoriuose bei elektros mašinos apvijose, ir jos gerokai išyla. Šis stabdymo būdas taikomas reversinėse elektros pavarose ir kėlimo transporto mašinose.

2. Dinaminio stabdymo atveju elektros mašinos pagrindinės grandinės atjungiamos nuo šaltinio, ir rotorius juda nuolatiniame magnetiniame lauke. Magnetiniam laukui sudaryti nuolatinės srovės mašinos nepriklausomo žadinimo apvija paliekama prijungta, o asinchroninės mašinos statoriaus apvija prijungiama prie nuolatinės įtampos šaltinio. Inkaru (rotoriaus) apvijų grandinė sujungiama su papildomais rezistoriais. **Elektros mašina dirba generatoriaus režimu,** todėl jos elektromagnetinis momentas stabdo rotorius judėjimą. **Visa inkaro (rotoriaus) apvijoje pagaminta elektros energija paverčiama šiluma toje apvijoje ir rezistoriuose.**

Dinaminio stabdymo momentas labai sumažėja, mažėjant pavaros greičiui (mažėja indukuota EVJ, srovė ir elektromagnetinis generatoriaus momentas). Dėl to šis būdas yra mažiau efektyvus, bet jį patogiau taikyti tokiais atvejais, kai darbo įtaisą reikia sustabdyti iš lėto ir tiksliai.

3. Generatorinio (rekuperacinio) stabdymo atveju elektros mašinos rotorius sukamas greičiu, didesniu už tuščiosios eigos. Elektros mašina dirba generatoriaus režimu ir atiduoda energiją šaltiniui, prie kurio ji prijungta. Šis būdas ekonomiškas, bet juo pavara galima tik pristabdyti. Generatorinio stabdymo režimu gali dirbti kėlimo mechanizmai, nuleisdami krovinį.

13.5.2. Nuolatinės srovės pavara. Kad būtų paprasčiau nagrinėti, pasirinksimė pavara su nepriklausomu žadinimo varikliu, kurio magnetinis srautas $\Phi = \text{const}$. Nubraižysime variklio elektrines schemas ir mechanines charakteristikas, kai pavara yra stabdoma priešinio jungimo, dinaminio ir generatorinio stabdymo būdu.

Nepriklausomo žadinimo variklio natūralioji mechaninė charakteristika $n = f(M)$ yra kieta, ir ją galime užrašyti tiesės lygtimi (žr. (10.17) lygtį) šitaip: $n = U_1 / (C_E \Phi) - R_a M / (C_E C_M \Phi^2)$.

1.1. Norėdami stabdyti pavarą priešiniu jungimu, sumažinkime variklio sukimo momentą, **įjungdami papildomą rezistorių R_{ra} į jo inkaro grandinę** (13.35 pav., a). Variklio dirbtinė mechaninė charakteristika užrašoma lygtimi: $n = U / (C_E \Phi) - (R_a + R_{ra}) M / (C_E C_M \Phi^2)$.

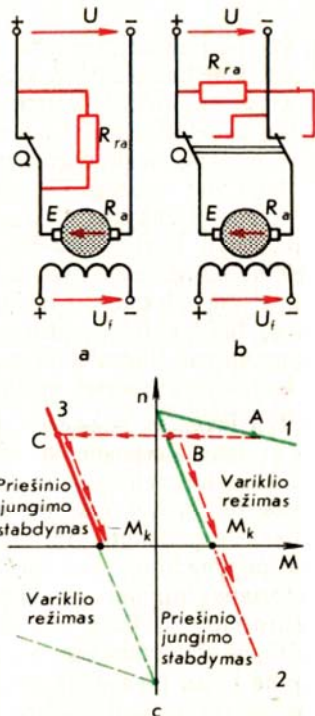
Parinkus pakankamą R_{ra} vertę, galima pasiekti, kad variklio charakteristika būtų minkšta (13.35 pav., c, 2 tiesė), o variklio paleidimo momentas M_k – mažesnis už apkrovos pasipriešinimo momentą M_s . Iki perjungimo pavaros darbo režimą apibūdino taškas A. Tuoj pat po perjungimo pavaros sūkių dažnis išlieka tas pats, o variklio momentas pasikeičia. Pavaros darbo režimą nusako taškas B. Kadangi $M < M_s$, sūkių dažnis mažėja, kol variklis sustoja, o po to darbo mašina pradeda sukuti pavarą priešinga kryptimi. Variklio sukimo momento kryptis išlieka tokia kaip buvo, nes inkaro srovės ir magnetinio srauto kryptys liko tokios pačios.

Tokių priešinio jungimo stabdymo režimu dirbančios mašinos mechaninė charakteristika yra 2 tiesės tęsinys koordinatinių sistemos IV kvadrante ($M > 0$; $n < 0$).

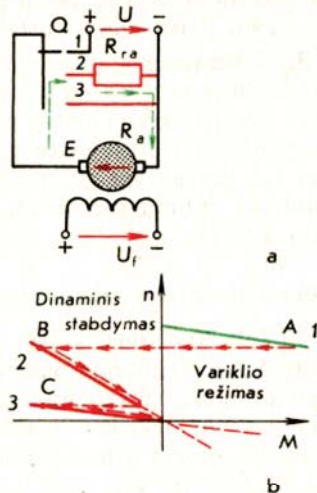
1.2. Kai priešinio jungimo stabdymo metu yra pakeičiamas inkaro apvijų įtampas poliarumas, EVJ kryptis išlieka ta pati, nes mašinos inkaras toliau sukasi ta pačia kryptimi. Inkaro apvijų srovė (žr. (10.11) lygtį): $I_a = (-U - E) / R_a$. Matome, kad srovės kryptis pasikeičia priešinga, todėl **elektromagnetinio momento kryptis taip pat pasikeičia** ir jis stabdo besisukantį inkarą. Po perjungimo inkaro apvijų įtampa padidėja beveik dvigubai ($U \approx E$). Kadangi inkaro apvijų varža yra nedidelė, srovei apriboti nuosekliai su inkaro apvija yra įjungiamas rezistorius R_{ra} (13.35 pav., b).

Po perjungimo variklio mechaninę charakteristiką galima pavaizduoti 3 tiesė, kuri yra simetriška koordinatinių ašių susikirtimo taško atžvilgiu 2 tiesei (žr. 13.35 pav., c). Jei prieš perjungimą variklio darbo režimą nusako taškas A, tai po perjungimo elektros mašinos darbą nusako taškas C. Pavaros sūkių dažnis mažėja, ir, kai ji sustoja, elektros mašiną reikia atjungti nuo tinklo. Paprastai tai atlieka automatinio valdymo įtaisais.

2. Dinaminiam stabdymui variklio inkaro apvija atjungiamą nuo tinklo ir prijungiamą prie rezistoriaus R_{ra} (13.36 pav.). Variklis toliau sukasi ta pačia kryptimi, o jo inkaro grandinė indukuotos EVJ dėka teka srovė $I_a = (0 - E) / (R_a + R_{ra})$, kurios kryptis yra priešinga buvusiai, todėl variklio momentas pasidaro priešingas sukimosi kryptiai. Sūkių dažniui mažėjant, mažėja $E = C_E \Phi n$, todėl mažėja srovė I_a ir stabdymo momentas $M = C_M \Phi I_a$. Kad stabdymo momentas labai nesumažėtų, varža R_{ra} mažinama arba net visai sujungiamą trumpai ($R_{ra} = 0$). Pavara sustojus, žadini-



13.35 pav. Nepriklausomo žadini-
mo variklio stabdymo priešiniu
jungimu elektrinės schemos (a, b)
ir mechaninės charakteristikos (c)



13.36 pav. Nepriklausomo žadini-
mo variklio dinaminio stabdymo
elektrinė schema (a) ir mechaninės
charakteristikos (b)

mo apviją atjungiamo.

Mechaninė charakteristika užrašoma šitaip: $n = 0 - (R_a + R_{ra})M / (C_E C_M \Phi^2)$. Tai lygtis tiesės, einančios per koordinatinių ašių susikirtimo tašką. Jos kampą su abscisų ašimi galima keisti, keičiant R_{ra} . Jei prieš stabdymą variklio darbo režimą nusako taškas A (žr. 13.36 pav., b , 1 tiesė), tai perjungus jungiklį į 2 padėtį, – taškas B (2 tiesė), o perjungus jungiklį į 3 padėtį, – taškas C (3 tiesė).

3. Generatorinis stabdymas (13.37 pav.) vyksta, kai darbo mašina įsuka variklio inkarą sūkių dažniu, didesniu nei tuščiosios eigos: $n > n_0$ (pavyzdžiui, trolibusui su įjungtu varikliu riedant nuokalne). Inkarą apvijoje indukuojama $E = C_E \Phi n > U$, srovė teka EVJ kryptimi. Mašina tampa generatoriumi, tiekiančiu elektros energiją šaltiniui, ir sudaro stabdymo momentą jį sukančiam darbo mašinai. Kai tik pavaros sūkių dažnis sumažėja ir $n \leq n_0$, stabdymo momentas išnyksta, mašina vėl dirba variklio režimu.

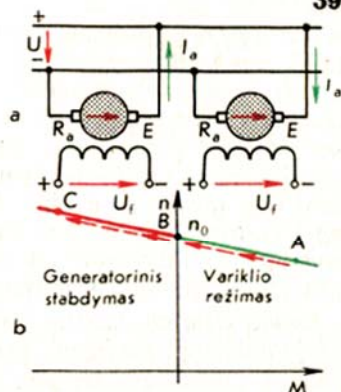
13.5.3. Asinchroninė pavara. Jai stabdyti taip pat gali būti taikomi minėti trys būdai.

1. Priešiniu jungimu stabdant asinchroninį variklį su trumpai sujungtu rotoriumi, dažniausiai pakeičiama statoriaus apvijų srovių fazių seka (13.38 pav.). Pasikeičia statoriaus magnetinio lauko sukimosi kryptis. Kadangi pavara iš inercijos toliau sukasi ta pačia kryptimi, susidaro labai didelis magnetinio tauko ir rotoriaus greičių skirtumas. Slydimas $s = (-n_0 - n) / (-n_0) > 1$. Nesunku įsitikinti (žr. 11.2.1), kad variklio elektromagnetinis momentas yra priešingas jo sukimosi krypties. Dėl didelio slydimo labai padidėja rotoriaus apvijų EVJ ir srovė, kuri dažniausiai esti netgi didesnė už paleidimo srovę. Jei iki perjungimo pavaros darbo režimą apibūdino taškas A , tai tuoj po perjungimo – taškas C . Toliau pavara stabdoma (13.38 pav., b , 2 kreivė). Kai ji sustoja, variklį reikia nuo tinklo atjungti, kad jis nepradėtų sukintis priešinga kryptimi.

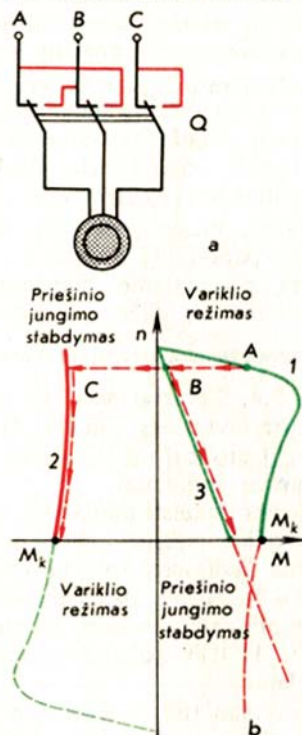
Stabdant šiuo priešiniu jungimo būdu asinchroninį variklį su faziniu rotoriumi, jo apvijų srovės yra mažesnės, nes paprastai į rotoriaus grandinę įjungiami rezistoriai. Jų varžos stabdymo pabaigoje sumažinamos.

Asinchroninį variklį su faziniu rotoriumi galima pervesti į stabdymo režimą, nepakeičiant magnetinio lauko sukimosi krypties, bet įjungiant didelės varžos rezistorius į rotoriaus grandinę. Jo mechaninė charakteristika tampa minkšta (žr. 13.38 pav., b , 3 kreivė), sukimo momentas sumažėja. Kai $M < M_s$, darbo mašina suka pavara priešinga kryptimi, o variklis jos judėjimą stabdo.

2. Dinaminio stabdymo atveju asinchroninio variklio sta-



13.37 pav. Nepriklausomo žadinimo mašinos, dirbančios generatorinio stabdymo bei variklio režimais, elektrinės schemas (a) ir mechaninės charakteristikos (b)



13.38 pav. Asinchroninio variklio stabdymo priešiniu jungimu elektrinė schema (a) ir mechaninės charakteristikos (b)

toriaus apvija prijungiama prie nuolatinės įtampos šaltinio (13.39 pav.). Statoriuje sudaromas nuolatinis magnetinis laukas. Besisukančio rotoriaus apvijoje indukuojama EVJ, teka srovė. Srovės sąveikoje su nuolatinio magnetinio lauku atsiranda elektromagnetinės jėgos, stabdančios rotorius. Pavarai baigiant sustoti, stabdymo momentas labai sumažėja. Statoriaus apvija prie nuolatinės įtampos gali būti prijungta pagal įvairias schemas priklausomai nuo įtampos, statoriaus apvijos aktyviosios varžos bei leistinos srovės ir, žinoma, nuo reikiamo stabdymo momento.

Kondensatorinis variklio stabdymas yra daug kuo panašus į dinaminį. Atjungus variklio statoriaus apviją nuo tinklo ir prijungus prie jos kondensatorius (13.40 pav.), mašina tampa susižadinančiu asinchroniniu generatoriumi ir sudaro besisukančiam rotoriumi stabdymo momentą. Kondensatorinis stabdymas taip pat mažai efektyvus, kai sūkių dažnis sumažėja.

Asinchroninio variklio su faziniu rotoriumi dinaminio stabdymo režimą galima valdyti, keičiant rotoriaus grandinės papildomo rezistoriaus varžą R_{r2} .

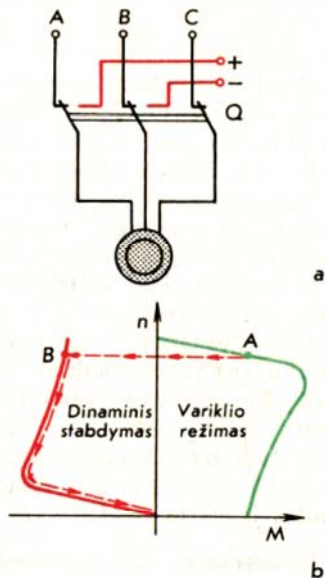
3. Generatorinio (rekuperacinio) stabdymo atveju mašina suka variklio rotorius sūkių dažniu $n > n_0$. Rotoriaus magnetinis laukas indukuoja statoriuje EVJ didesnę nei tinklo įtampą: $E_1 > U_1$. Tai asinchroninio generatoriaus režimas. Šaltiniui tiekama elektros energija. Sumažėjus sūkių dažniui iki $n < n_0$, mašina vėl dirba variklio režimu (13.41 pav.). Įjungus papildomą rezistorių į fazinio rotoriaus grandinę, galima platesniame diapazone reguliuoti pristabdomas mašinos sūkių dažnį (2' kreivė).

13.5.4. Reversavimas. Daugelis pramonės elektros pavaru yra reversinės. Tai įvairūs telferiai, kranai bei kitos kėlimo ir transporto mašinos, kai kurios staklės bei kiti technologiniai įrenginiai.

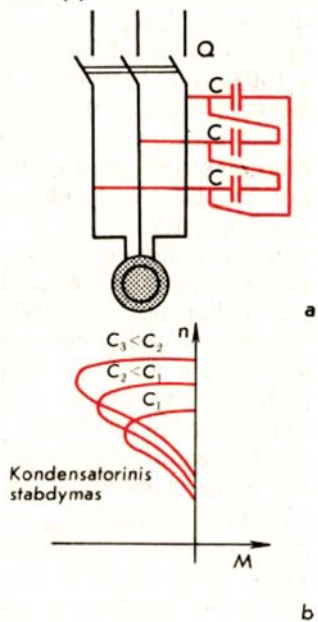
Norint pakeisti nuolatinės srovės variklio sukimosi kryptį, reikia pakeisti srovės kryptį arba inkarų grandinėje, arba žadinimo apvijoje (magnetinio lauko kryptį) (žr. 10.4.1). Norint pakeisti asinchroninio variklio sukimosi kryptį, reikia pakeisti magnetinio lauko sukimosi kryptį (žr. 11.1.1), pakeičiant statoriaus apvijos srovių fazių seką.

Reversuojami varikliai pradžioje yra stabdomi priešiniu jungimu, o po to įsisuka priešinga kryptimi: darbo taškas slenka charakteristika iš II kvadranto į III (žr. 13.35, 13.38 pav.).

Nuolatinės srovės variklį perjungus reversavimui, jo inkarų grandinė imtų tekėti neleistinai didelė srovė. Jai apri-



13.39 pav. Asinchroninio variklio su trumpai sujungtu rotoriumi dinaminio stabdymo elektrinė schema (a) ir mechaninės charakteristikos (b)



13.40 pav. Asinchroninio variklio kondensatorinio stabdymo elektrinė schema (a) ir mechaninės charakteristikos (b)

boti įjungiamas reostatas, kurio varža reversavimo metu mažinama (kaip ir variklio paleidimo metu). Tuo būdu keičiama variklio mechaninė charakteristika.

Asinchroninio variklio trumpai sujungto rotoriaus apvija reversavimo pradžioje teka srovė, šiek tiek didesnė už paleidimo srovę. Dažniausiai varikliui tai nėra pavojinga. Reversuojant asinchroninį variklį su faziniu rotoriumi, į jo rotoriaus grandinę paprastai įjungiamas papildomas reostatas. Jo varža yra keičiama: taip reguliuojamos variklio statoriaus bei rotoriaus apvijų srovės ir sukimo momentas.

13.6

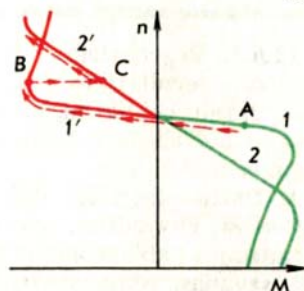
Elektros pavaros greičio reguliavimas

Yra technologinių procesų, kai reikia keisti darbo įtaisų judėjimo greitį. Reguluojant pavaros greitį, galima palaikyti optimalų pavaros darbo režimą ar kokį nors kitą reikiamą technologinio proceso rodiklį, padidinti darbo našumą, lengviau įgyvendinti lanksčios gamybos sistemas. Pavyzdžiui, vyniojant audeklą, popierių, siūlus, skardą, vielą ar kitą medžiagą, turi būti palaikoma vienoda įtempimo jėga. Dėl to, didėjant užvyniojamo būgno skersmeniui, reikia keisti jo sūkių dažnį. Variklio sūkių dažnį kartais reikia keisti metalo apdirbimo bei kitose staklėse.

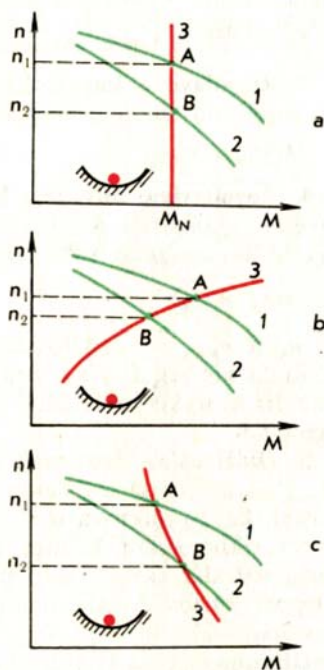
Nuo seno yra žinomi mechaniniai greičio keitimo įtaisai (perdavimo mechanizmų dėžės, variatoriai ir kt.), kurie dažniausiai nebetenkina šiuolaikinių reikalavimų, juos nepatogu valdyti automatiškai. Patogiausią greitį reguliuoti ne mechaniškai, bet elektriškai, tam išnaudojant variklių savybes ir elektrotechnikos bei elektronikos galimybes.

Greičio reguliavimu vadinamas fikslingas elektros pavaros greičio keitimas, specialiai nekeičiant apkrovos momento. Apkrovos momentas gali likti pastovus arba kisti kokiu nors dėsniu.

Kaip žinome, variklio ir darbo mašinos mechaninių charakteristikų sankirta nusako pavaros darbo režimą. Priklausomai nuo darbo mašinos mechaninės charakteristikos pobūdžio pavaros greitis gali būti pakeistas skirtingu dydžiu, nors variklio mechaninės charakteristikos pakeičiamos vienodai (13.42 pav.). Kad būtų paprasčiau nagrinėti, toliau laikysime, kad darbo mašinos mechaninė charakteristika yra vertikali tiesė (13.42 pav., a), t. y. jos pasipriešinimo momentas nepriklauso nuo greičio ir yra lygus vardiniam: $M_s = M_N$. Reguliavimo tikslas – pakeisti variklio mechaninę charakteristiką taip, kad pasikeistų pavaros greitis.



13.41 pav. Asinchroninės mašinos mechaninės charakteristikos: variklio natūralioji (1) ir dirbtinoji (2); natūralioji (1') ir dirbtinoji (2'), stabdant generatoriniu būdu



13.42 pav. Elektros pavaros darbo taškai A ir B, kai dviejų greičių variklis dirba su trijų tipų $x=0$ (a), $x=2$ (b) ir $x=-1$ (c) – mašinomis. Mechaninės charakteristikos: 1, 2 – variklio iki ir po greičio pakeitimo; 3 – darbo mašinos.

13.6.1. Reguliavimo rodikliai. Reguliavimo ypatumai įvertinami reguliavimo rodikliais: didžiausiu bei mažiausiu sūkių dažniu bei dažnių diapazonu; reguliavimo tolygumu; variklio didžiausiu momentu, pakitus sūkių dažniui; ekonominiais rodikliais.

1. Didžiausias sūkių dažnis n_{max} yra ribotas dėl įvairių priežasčių. Pavyzdžiui, nuolatinės srovės varikliams – dėl komutacijos pablogėjimo ir kibirkščiavimo. Guolių kokybė, balansavimas, vibracijos bei kiti variklių mechaniniai ypatumai taip pat riboja didžiausią sūkių dažnį.

2. Mažiausią sūkių dažnį n_{min} riboja sąlyga išlaikyti parinktą darbo įtaiso judėjimo greitį reikiamu tikslumu, jeigu atsitiktinai dydžiu $\pm \Delta M$, pakistų darbo mašinos pasipriešinimo momentas M_s . Jis priklauso nuo pakeistos variklio mechaninės charakteristikos kietumo: kuo didesnis jos kietumas β , tuo mažiau pakinta sūkių dažnis dėl atsitiktinio momento pokyčio. **Mažiausias sūkių dažnis apskaičiuojamas šitaip:** $n_{min} = M / |(\Delta M / \Delta n)|$ arba

$$n_{min} = M / |\beta|. \quad (13.43)$$

3. Reguliavimo diapazonas D yra didžiausio ir mažiausio nusistovėjusių sūkių dažnių santykis:

$$D = n_{max} : n_{min}. \quad (13.44)$$

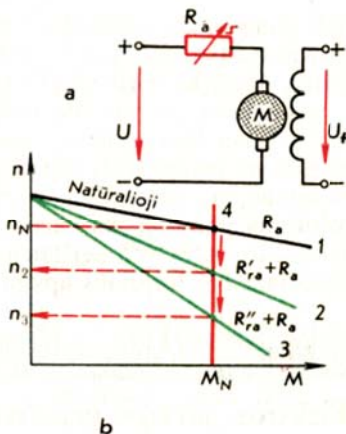
4. Reguliavimo tolygumo koeficientu φ įvertinama, kaip tolygiai, sklandžiai keičiamas sūkių dažnis. Tai gretimų reguliavimo pakopų sūkių dažnių santykis:

$$\varphi = n_k : n_{k-1}; \quad (13.45)$$

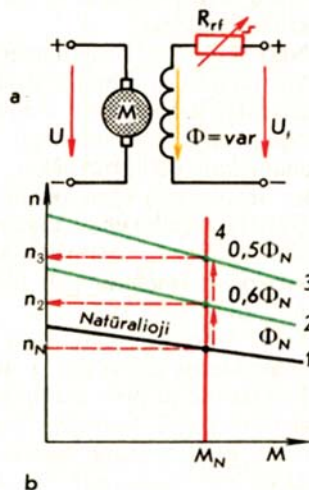
čia n_k ir n_{k-1} – variklio sūkių dažnis k -ajai ir $k-1$ -ajai sūkių dažnio reguliavimo pakopai (laikoma, kad $n_k > n_{k-1}$). Kuo šis santykis artimesnis vienetui, tuo reguliavimas tolygesnis.

5. Didžiausias leistinasis variklio apkrovos momentas $M_{max}(n)$ priklauso nuo sūkių dažnio. Varikliai apskaičiuoti darbui, kai jų apkrova ir sūkių dažnis yra vardiniai. Kintant variklio sūkių dažniui, kinta variklio nuostoliai, dėl kurių variklis kaista. Taip pat keičiasi variklio aušinimo sąlygos, kurios dažniausiai priklauso nuo sūkių dažnio. Nustatant leistiną $M_{max}(n)$, išskiriamos dvi sūkių dažnio reguliavimo sritys: 1) didesnių už vardinis sūkių dažnių – $n > n_N$; 2) mažesnių už vardinis – $n < n_N$.

6. Vidutiniai naudingumo ir galios koeficientai $\bar{\eta}$, $\cos \varphi$ yra pavaros energetiniai rodikliai. Kadangi naudingumo ir galios koeficientai priklauso nuo sūkių dažnio ir nuo apkrovos, tai reguliuojant sūkių dažnį svarbu, kiek laiko ir kokia apkrova dirba variklis.



13.43 pav. Pavaros greičio reguliavimo, keičiant nepriklausomo žadinimo variklio inkaro grandinės varžą, elektrinė schema (a) ir variklio (1, 2, 3) bei darbo mašinos (4) mechaninės charakteristikos (b)



13.44 pav. Pavaros greičio reguliavimo, keičiant nepriklausomo žadinimo variklio magnetinį srautą, elektrinė schema (a) ir variklio (1, 2, 3) bei darbo mašinos (4) mechaninės charakteristikos (b)

7. **Ekonominiai rodikliai įvertina kapitalines sąnaudas ir eksploatacines išlaidas (ar santaupas).** Suprantama, reguliuojamo sūkių dažnio pavarų pradinės sąnaudos yra didesnės nei nereguliuojamų. Skaičiuoti jų atsipirkimą, vertinant vien tik pavaros energetinius eksploatacinius rodiklius, būtų neteisinga. Būtina ekonomiškai vertinti technologinio proceso bei produkcijos kiekybinius ir kokybinius pokyčius. Kai kuriais atvejais realizuoti technologinį procesą, kai elektrinė pavarą nereguliuojama, yra neįmanoma.

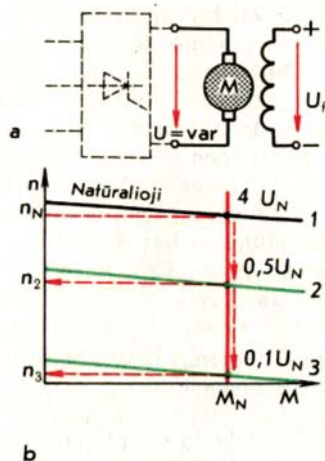
13.6.2. Nuolatinės srovės pavarą. Nepriklausomo žadinimo variklio mechaninė charakteristika (žr. (10.17)) yra užrašoma šitaip: $n = U / (C_E \Phi) - (R_a + R_{ra}) M / (C_E C_M \Phi^2)$; čia R_{ra} – papildoma inkraro grandinės varža, skirta greičiui reguliuoti.

Iš mechaninės charakteristikos išraiškos matome, kad sūkių dažniui n reguliuoti galima keisti R_{ra} , Φ ir U . Kiekvienu atveju gauname mechaninių charakteristikų šeimą. Išnagrinėsime visų trijų reguliavimo būdų ypatumus.

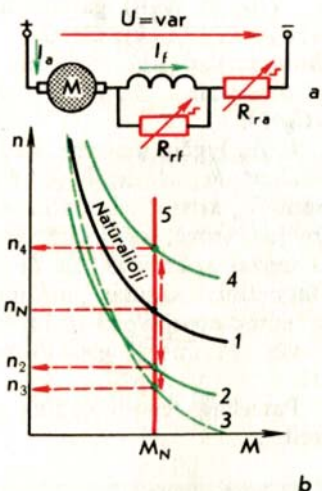
1. Keičiant inkraro grandinės varžą R_{ra} ($\Phi = \text{const}$, $U = \text{const}$) (13.43 pav.), gaunamos variklio mechaninės charakteristikos, kurių nuolydis yra didesnis nei natūraliosios mechaninės charakteristikos. Paprastai varžą R_{ra} keičiama, trumpai sujungiant rezistoriaus dalis.

Šis reguliavimo būdas yra paprastas, įranga pigi ir nesudėtinga, tačiau yra ir trūkumų. Pirma, reguliavimo varžą teka didelė srovė, lygi inkraro srovei. Jei reguliuojama ilgą laiką, rezistoriuje R_{ra} išsiskiria šiluma, gaunami dideli energijos nuostoliai. Šis būdas gali būti pateisinamas ekonomiškai, jei variklis dirba sumažintu greičiu trumpą laiką, palyginus su visu jo darbo laiku. Antra, kai mechaninės charakteristikos nuolydis yra didelis, sūkių dažnis nestabilus: atsitiktinis apkrovos momento pokytis pastebimai jį pakeičia. Trečia, šiuo būdu variklio sūkių dažnį galima tik sumažinti. Sūkių dažnio reguliavimo diapazonas, kai $M_1 = \text{const}$, $D = (2,0 - 2,5):1$.

2. Keičiant žadinimo srautą Φ_f , t. y. keičiant žadinimo grandinės varžą R_{rf} (13.44 pav.), gaunama kita mechaninių charakteristikų šeima. Kadangi didinant varžą R_{rf} žadinimo srautą galima tik sumažinti (didinti netikslinga – žr. 10.5.3), tai mechaninės charakteristikos lygties abu nariai padidėja: padidėja tuščiosios eigos sūkių dažnis n_0 ir charakteristikos nuolydis. Šiuo būdu galima variklio sūkių dažnį padidinti. Kadangi žadinimo grandinės srovė yra apie 50 kartų mažesnė už inkraro srovę, tai energijos nuostoliai reguliavimo rezistoriuje R_{rf} nedideli. Reguliavimui skirta elektrinė grandinė turi būti tokia, kad nebūtų pavojaus visai



13.45 pav. Pavaros greičio reguliavimo, keičiant nepriklausomo žadinimo variklio inkraro įtampą, elektrinė schema (a) ir variklio (1, 2, 3) bei darbo mašinos (4) mechaninės charakteristikos (b)



13.46 pav. Nuoseklus žadinimo variklio greičio reguliavimo elektrinė schema (a) ir mechaninės charakteristikos (b): variklio (1 – natūralioji; 2 – padidinus R_{ra} ; 3 – sumažinus įtampą U ; 4 – sumažinus žadinimo srovę I_f) ir darbo mašinos (5)

nutraukti žadinimo grandinę. Tai būtų labai pavojingas varikliui avarinis režimas (žr. 10.5.1).

Didžiausias leistinas variklio sūkių dažnis nurodytas kataloguose. Praktiškai dažniausiai šiuo būdu gaunamas sūkių dažnio reguliavimo diapazonas $D = (1,3 - 1,5) : 1$. Gaminami specialūs reguliuojami varikliai, kuriems $D = (2 - 5) : 1$ ir gali siekti net $(8 - 10) : 1$.

3. Keičiant inkaro apvijų įtampą U (13.45 pav.), keičiasi mechaninės charakteristikos lygties pirmasis narys – tuščiosios eigos sūkių dažnis, tačiau charakteristikos nuolydis lieka tas pats. Net sumažinus įtampą 10 kartų lyginant su vardine verte, variklio sūkių dažnis yra pakankamai stabilus. Tai vienas iš svarbiausių šios sistemos privalumų. Tolygiai keičiant įtampą, taip pat tolygiai ir tiksliai galima reguliuoti n : diapazonas $D = (7 - 15) : 1$.

Šis greičio reguliavimo būdas yra vienas iš geriausių, tačiau tam reikia atskiro reguliuojamos įtampos šaltinio. Jo vidinė varža turi būti maža, nes į variklio inkaro grandinę įjungti rezistoriai padidina mechaninės charakteristikos nuolydį ir tuo pačiu sumažina sūkių dažnio stabilumą. Kaip nuolatines reguliuojamos įtampos šaltiniai yra naudojami trifaziai valdomieji lygintuvai (žr. 7.2.3), kurie tampa vis pigesni ir patikimesni.

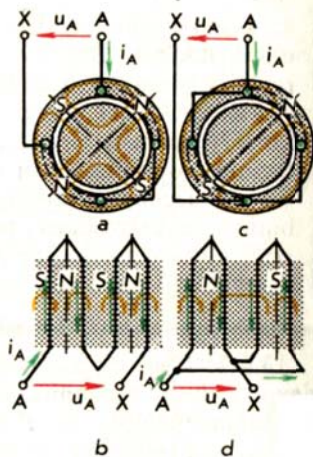
Nuosekliaus žadinimo variklio mechaninę charakteristiką (žr. (10.18) lygtį) galime užrašyti šitaip: $n = CU / \sqrt{M - (R_a + R_{ra}) / (C_E k)}$; čia $C = \text{const}$ tai pačiai mašinai. Be to, žinome, kad sūkių dažnis yra atvirkščiai proporcingas magnetiniam srautui (žr. (10.15)): $n = [U - (R_a + R_{ra}) I_a] / (C_E \Phi)$.

Iš šių lygčių matome, kad sūkių dažnį galima reguliuoti, keičiant R_{ra} , U ir Φ (13.46 pav.). Pažymėtina, kad keičiant R_{ra} arba U , kinta inkaro grandinės, taigi ir žadinimo apvijų, srovė, todėl kinta ir magnetinis srautas. Kai variklis mažai apkrautas, šie abu būdai yra mažiau efektyvūs. Magnetinis srautas mažinamas, prijungus lygiagrečiai žadinimo apvijai rezistorių, kuriuo teka dalis inkaro apvijos srovės. Paprastai greičio reguliavimo diapazonas siekia 2:1.

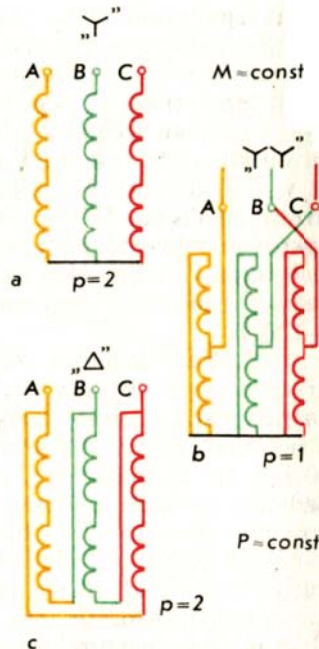
Panašiai reguliuojamas ir mišraus žadinimo variklių greitis.

13.6.3. Asinchroninė pavara. Asinchroninių variklių rotorius sūkių dažnis (žr. (11.8) ir (11.50)): $n = n_0 (1 - s) = f(1 - s) / p$.

Iš šios lygties matome, kad asinchroninio variklio sūkių dažnį galima reguliuoti trim būdais; keičiant: 1) polių porų skaičių p ; 2) šaltinio įtampos dažnį f ; 3) rotorius grandinės



13.47 pav. Asinchroninio variklio statoriaus magnetinis laukas (pjuvyje ir išklotinėje), kai statoriaus apvijų vienos fazės ritės sujungtos nuosekliai (a, b) ir lygiagrečiai (c, d)



varžą, dėl ko kinta variklio krizinis slydimas s_c . Asinchroniam varikliui su trumpai sujungtu rotoriumi taikomi pirmieji du reguliavimo būdai, o varikliui su faziniu rotoriumi – du paskutiniai. Be to, abiejų tipų varikliams dar galima šiek tiek reguliuoti greitį ir ketvirtuoju būdu – keičiant statoriaus apvijų įtampą.

1. Keisti polių porų skaičių p galima diskrečiai ($p=1, 2, 3, \dots$), todėl variklio greitis taip pat gali būti keičiamas tik šuoliais. Kaip žinome, asinchroninio variklio polių porų skaičius priklauso nuo statoriaus apvijų ričių skaičiaus ir jų sujungimo būdo.

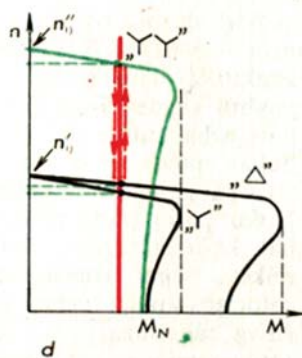
Išnagrinėsime statoriaus vienos apvijų fazės perjungimo schemas skirtingam polių porų skaičiui sudaryti. Dviejų dalių apvija (tarkime, ji sudaryta iš 4 laidininkų) išdėstoma statoriuje vienodais tarpais (13.47 pav.). Sujungus šiuos laidininkus nuosekliai ir prijungus prie tinklo, jais teka ta pati srovė ir apie kiekvieną iš jų susidaro magnetinis laukas. Kiekvienam laidininkui pritaikę dešiniojo sraigto taisyklę, pažymime magnetinio lauko linijų kryptis. Tose vietose, kur magnetinės linijos išeina iš statoriaus, gaunamas šiaurinis polius N ; tose, kur įeina – pietinis polius S . Ir iš statoriaus pjūvio vaizdo, ir iš jo išsklotinės matyti, kad šiuo atveju susidaro dvi magnetinio lauko polių poros: $p=2$.

Sujungę apvijų dalis lygiagrečiai ir pakartoję tuos pačius veiksmus, pažymime magnetinių linijų kryptis ir magnetinius polius. Gauname vieną magnetinių polių porą: $p=1$ (žr. 13.47 pav., c, d).

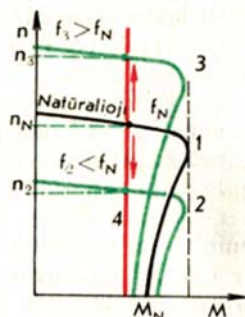
Apvijas galima perjungti pagal įvairias schemas. Plačiausiai naudojamos „žvaigždė“ (Υ) – „dviguba žvaigždė“ ($\Upsilon\Upsilon$) ir „trikampis“ (Δ) – „dviguba žvaigždė“ ($\Upsilon\Upsilon$) (13.48 pav.). Perjungiant $\Upsilon \rightarrow \Upsilon\Upsilon$, nuosekliai sujungtos ričių pusės perjungiamos lygiagrečiai. Polių porų skaičius sumažėja du kartus, o magnetinio lauko greitis du kartus padidėja. (Tam, kad variklis po perjungimo sukūsi ta pačia kryptimi, reikia dar sukeisti du statoriaus apvijų išvadus.) Po perjungimo variklio galia padidėja dvigubai: $P_{\Upsilon\Upsilon} \approx 2P_{\Upsilon}$. Kadangi $P = \omega M$, tai du kartus padidėjus galiai ir greičiui, variklio momentas $M = \text{const}$. Variklio mechaninė charakteristika pasikeičia, bet mechaniniai momentai M_N, M_{\max}, M_k lieka tie patys.

Perjungiant $\Delta \rightarrow \Upsilon\Upsilon$, magnetinio lauko greitis padidėja taip pat du kartus, bet variklio galia $P \approx \text{const}$. Dėl to mechaninis momentas sumažėja beveik pusiau.

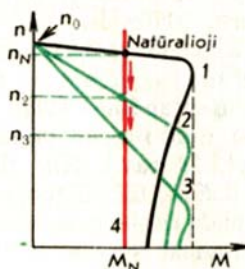
Gaminami dviejų greičių varikliai, kurių apvijas perjungiant magnetinio lauko sūkių dažnis n_0 gali būti 1500/3000, 750/1500, 500/1000 r/min. Kai variklio statoriuje yra dvi nepriklausomos trifazės apvijų, perjungiant tik vieną, gaunami trys magnetinio lauko sūkių dažniai, o perjungiant abi – keturi. Pavyzdžiui, gaminami tokių magnetinio lau-



13.48 pav. Asinchroninio variklio statoriaus apvijų jungimo Υ (a), $\Upsilon\Upsilon$ (b) bei Δ (c) schemas ir pavaros mechaninės charakteristikos (d)



13.49 pav. Elektros pavaros mechaninės charakteristikos, kai asinchroninio variklio $f = \text{var}$ ir $U_1/f = \text{const}$: 1, 2, 3 – variklio; 4 – darbo mašinos



13.50 pav. Elektros pavaros mechaninės charakteristikos (1, 2, 3 – variklio; 4 – darbo mašinos), kai keičiama asinchroninio variklio rotoriaus grandinės varža

ko sūkių dažnių varikliai: trijų – 750/1000/1500 r/min, keturių – 500/750/1000/1500 r/min.

Praktiškai daugiagreičių variklių apvijų galai išvedami į gnybtų skydelį ir perjungiami daugiapoliais perjungikliais arba automatiškai – relėmis ir kontaktoriais. Šis būdas naudojamas tik asinchroniniams varikliams su trumpai sujungtu rotoriumi, nes jų rotoriaus magnetinio lauko polių porų skaičius automatiškai susidaro toks pat kaip statoriaus. Varikliams su faziniu rotoriumi reikėtų pagal panašią schemą perjunginėti ir dvigubą rotoriaus apviją, tačiau praktiškai tai realizuoti yra pernelyg sudėtinga.

Daugiagreičiai varikliai sėkmingai taikomi be mechaninių greičio keitimo įtaisų, o kartu su jais gali sudaryti didelį greičių keitimo diapazoną. Pavyzdžiui, tekinimo staklėse įrengus keturių greičių asinchroninį variklį ir trijų laipsnių mechaninį perdavimo įtaisą, gaunama 12 špindelio greičių.

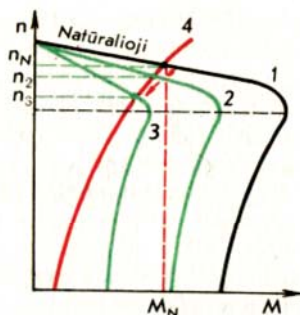
2. Keičiant šaltinio įtampos dažnį f , kinta statoriaus magnetinio lauko sūkių dažnis n_0 . Kadangi statoriaus apvijos $E_1 \sim \Phi f$ (žr. (11.9) lygtį) ir $E_1 \sim U_1$, tai sandauga $\Phi f \sim U_1$. Jei norime, kad nesikeistų variklio momentas (M_N , M_{max} , M_k), reikia, kad būtų magnetinis srautas $\Phi = \text{const}$. Matome, kad reikia keisti ne tik dažnį f , bet ir statoriaus apvijos įtampą U_1 , palaikant jų santykį $U_1 / f = \text{const}$ (13.49 pav.).

Reguliuojant greitį šiuo būdu, reikalingas keičiamo dažnio ir įtampos šaltinis. Vis dažniau tam yra naudojami elektroniniai dažnio keitikliai, kuriuose nėra judamų dalių ir kurie daromi vis pigesni ir patikimesni.

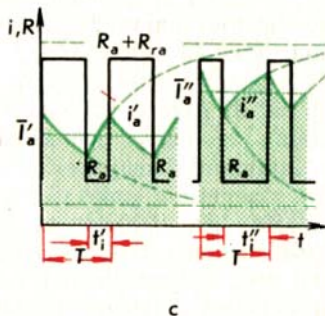
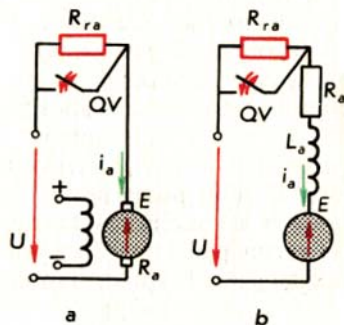
Svarbiausias dažninio būdo privalumas yra tas, kad greitį galima reguliuoti sklandžiai ir plačiame diapazone (jis priklauso nuo keitiklio galimybių), o variklio mechaninės charakteristikos išlieka kietos, gaunamas mažas n_{min} (žr. (13.43)). Regulavimo diapazonas priklauso nuo apkrovos pobūdžio. Paprastai D lygus 3:1, bet gali būti 20:1, o specialiose pavarose su grįžtamaisiais ryšiais – net šimtus kartų platesnis.

3. Keičiant rotoriaus grandinės varžą, reguliuoti greitį galima tik varikliams su faziniu rotoriumi. Kuo didesnė rotoriaus grandinės varža, tuo didesnis krizinis slydimas s_c , tuo nuožulnesnė mechaninės charakteristikos darbinė dalis (13.50 pav.). Kuo didesnė varža R_{r2} , tuo mažesnis sūkių dažnis, tačiau tuo mažesnis ir jo stabilumas.

Šis būdą tikslinga naudoti, kai variklis sumažintu greičiu dirba trumpai lyginant su viso ciklo laiku. Priešingu atveju rotoriaus grandinėje yra gaunami nemaži elektros energijos nuostoliai, ir šis būdas tampa neekonomiškas. Tokios greičio reguliavimo sistemos naudojamos tiltiniuose kranuose bei kitokiose kėlimo transporto mašinose, kur taikomas ir priešinio jungimo stabdymas. Regulavimo



13.51 pav. Elektros pavaros mechaninės charakteristikos (1, 2, 3 – variklio; 4 – darbo mašinos), kai keičiama asinchroninio variklio statoriaus apvijos įtampa



diapazonas $D=(1,5-2):1$.

4. Keičiant statoriaus apvijos įtampą, kinta variklio mechaninė charakteristika (13.51 pav.). Magnetinio lauko sūkių dažnis n_0 išlieka toks pat, o variklio **mechaniniai momentai** M_N , M_{max} , M_k **sumažėja proporcingai įtampos kvadratui**. Dėl to šis būdas naudojamas rečiau.

13.6.4. Samprata apie specialius greičio reguliavimo būdus. Pavarų automatizavimo ir greičio reguliavimo srityje atsivėrė daug naujų galimybių, pradėjus taikyti galingus elektronikos įtaisus: valdomuosius lygintuvus, inverterius bei dažnio keitiklius.

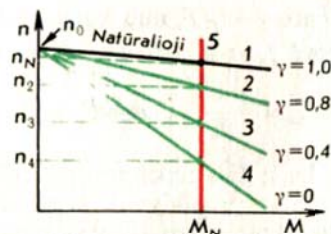
Didžioji dalis pavarų su galingais elektroniniais įtaisais veikia panašiai, todėl išnagrinėsime tik keletą svarbesnių reguliavimo principų. Išskirsime du pagrindinius reguliavimo būdus: impulsinį ir kaskadinį.

Impulsinis reguliavimo būdas pagrįstas tuo, kad **kuris nors grandinės parametras arba šaltinio įtampa keičiama šuoliais** – aukšto dažnio impulsais. Variklis visą laiką dirba pereinamoju režimu. Jo elektrinė grandinė yra **pereinamoji elektroniniais jungikliais** (žr. 7.8.2). Kai komutuojamos srovės yra mažesnės nei 20 A, kaip elektroniniai jungikliai naudojami tranzistoriai. Stipresnėms srovėms (100–150 A) komutuoti naudojami valdomi tiristoriai, todėl tokios pavaros dažnai vadinamos tiristorinėmis pavaromis.

Vienas iš paprasčiausių reguliavimo būdų – šuoliais keisti nepriklausomo žadinimo variklio **inkaro grandinės varžą** (13.52 pav.). Lygiagrečiai rezistoriui R_{ra} įjungiamas elektroninis jungiklis QV (žr. 7.8.2). Kai jungiklis QV sujungtas (laidus), inkaro grandinės varža yra lygi R_a . Kai jungiklis QV atjungtas (nelaidus), inkaro grandinės varža yra $R = R_a + R_{ra}$.

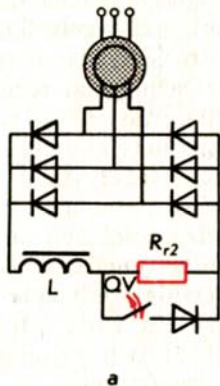
Elektriniamis pereinamiesiems procesams nagrinėti variklio inkaro grandinės schemą pakeičiame atstojamąja. Dėl inkaro apvijos induktyvumo L_a grandinėje vyksta pereinamasis procesas. **Sujungus jungiklį (sumažinus varžą), srovė grandinėje didėja eksponentiškai**. Šio proceso laiko konstanta $\tau_1 = L_a/R_a$. **Atjungus jungiklį (padidinus varžą), srovė grandinėje mažėja taip pat eksponentiškai**, bet šiuo atveju laiko konstanta $\tau_2 = L_a/(R_a + R_{ra})$. Inkaro grandinėje **nusistovi vidutinė srovė I_a** . Komutacijos periodas T parenkamas žymiai trumpesnis už grandinės laiko konstantas: $T \ll \tau_1$, $T \ll \tau_2$.

Norint pakeisti srovės vidutinę vertę, reikia pakeisti **valdymo impulso trukmę – jo plotį**. (Dėl to šis būdas dar yra vadinamas reguliavimu impulso pločiumi.) Impulso santykinis plotis yra apibūdinamas impulso užpildymo koefi-

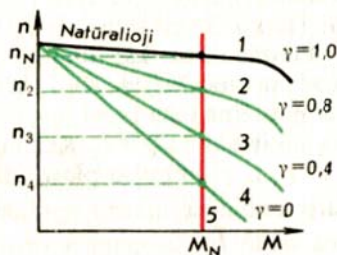


d

13.52 pav. Impulsinio pavaros greičio reguliavimo, keičiant nepriklausomo žadinimo variklio inkaro grandinės varžą, schema (a), inkaro grandinės atstojamoji schema (b), srovės bei varžos kitimas (c) ir pavaros mechaninės charakteristikos (d) (1, 2, 3, 4 – variklio; 5 – darbo mašinos)



a



b

13.53 pav. Impulsinio pavaros greičio reguliavimo, keičiant asinchroninio variklio rotoriaus grandinės varžą, schema (a) ir pavaros mechaninės charakteristikos (b) (1, 2, 3, 4 – variklio; 5 – darbo mašinos)

cientu $\gamma = t_i/T$, nuo kurio priklauso inkaro apvijų vidutinė srovė \bar{I}_a ir inkaro grandinės vidutinė varža \bar{R} :

$$\bar{I}_a = \frac{U-E}{\bar{R}}; \quad \bar{R} = R_a + (1-\gamma)R_{ra}. \quad (13.46)$$

Įrašę šias reikšmes į (10.17) lygtį gauname, kad, keičiant impulso užpildymo koeficientą γ , variklio mechaninės charakteristikos kinta taip pat, kaip ir paprastais jungikliais keičiant inkaro grandinės varžą (žr. 13.43 pav., b).

Nors gautos charakteristikos yra tokios pat, tačiau impulsinio valdymo grandinės techniniai rodikliai yra geresni. Viena, inkaro grandinėje nereikalingi galingi mechaniniai jungikliai ar kontaktai rezistoriams perjunginėti. Antra, inkaro grandinėje reikalingas tik vienas rezistorius. Trečia, jungiklis QV yra elektroninis įtaisas, kuriam valdyti pakanka mažos galios impulsų. Jų užpildymo koeficientas keičiamas plačiose ribose. Dėl to reguliuojama žymiai tolygiau, valdymą nesunku automatizuoti.

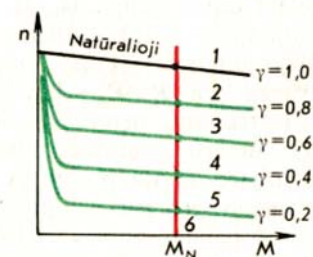
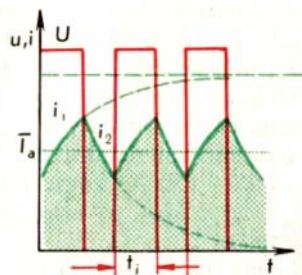
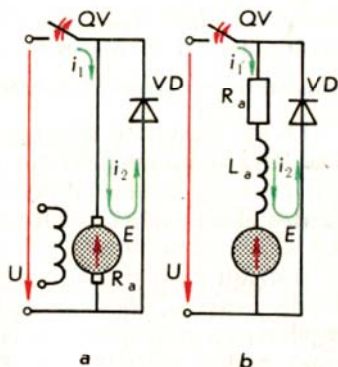
Analogiškai galima valdyti asinchroninį variklį su faziniu rotoriumi, kai į rotoriaus grandinę įjungiamas papildomas rezistorius. Šiuo atveju valdymo schemas šiek tiek sudėtingesnės. Dažniausiai rezistorius R_{r2} įjungiamas per trifazį tiltelinį lygintuvą (13.53 pav.). Jam lygiagrečiai prijungiamas tiristorinis jungiklis QV . Komutuojamos nuolatinės srovės grandinės induktyvumui padidinti įjungiamas droselis L .

Impulsiniu įtampos reguliavimo pavyzdžiu gali būti lygiagrečias žadinimo variklio valdymo schema (13.54 pav.). Elektroninis jungiklis QV variklio inkaro apvijai tam tikrais intervalais prijungia nuolatinę įtampą U . Kai jungiklis QV sujungtas, srovė i_1 teka iš šaltinio į variklį. Diodu srovė neteka, nes jam prijungta atgalinė įtampa. Dėl variklio inkaro induktyvumo L_a grandinėje vyksta pereinamasis procesas, kurio metu inkaro srovė $i_a = i_1$ didėja eksponentiškai (laiko konstanta $\tau = L_a/R_a$).

Pauzės metu, kai jungiklis QV atjungtas, dėl inkaro apvijų savitindukcijos EVJ uždara inkaro apvijų – diodo VD grandine teka srovė $i_2 = i_F$, kurios kryptis inkaro apvijoje yra tokia pat kaip ir i_1 . Keičiant jungiklio „sujungimo trukmę“ t_i , t. y. impulso plotį, kinta užpildymo koeficientas γ . Taip keičiama inkaro apvijų vidutinė įtampa \bar{U} ir vidutinė srovė \bar{I}_a . Kadangi pavaros mechaninė inercija didelė, o $T \ll \tau$, greitis per laiko intervalą $T - t_i$ nespėja pakisti.

Mechaninės charakteristikos priklausomai nuo impulso užpildymo koeficiento γ gaunamos panašios, kaip ir keičiant įtampą (žr. 13.45 pav., b). Praktiniuose įrenginiuose komutacijos dažnis $f = 800 - 1200$ Hz.

Sudarant stiprius neigiamus srovės, sūkių dažnio bei specialius stabilizuojančius grįžtamuosius ryšius, pasiekia-



13.54 pav. Impulsinio pavaros greičio reguliavimo, keičiant nepriklausomo žadinimo variklio įtampą, schema (a), inkaro grandinės atstojamoji schema (b), įtampos bei srovės kitimas (c) ir pavaros mechaninės charakteristikos (d) (1, 2, 3, 4, 5 – variklio; 6 – darbo mašinos)

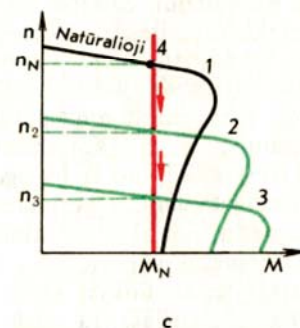
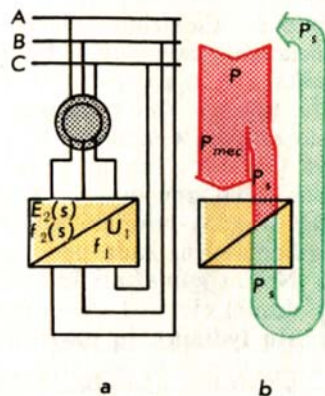
mas impulsinio reguliavimo diapazonas $D \geq (1000:1)$.

Kaskadinis greičio reguliavimo būdas yra naudojamas asinchroniniams varikliams su faziniu rotoriumi. Plačiame diapazone reguliuojant tokio variklio sūkių dažnį, jo rotorius slydimas taip pat kinta plačiose ribose. Kuo didesnis slydimas, tuo stipresnė srovė teka rotorius apvija. Rotoriaus grandinėje gaunami didesni elektros energijos nuostoliai (žr. (11.34)), kurie reguliavimo rezistoriuose ir apvijoje virsta šiluma, išskiriama į aplinką. Kai kuriais atvejais šią rotoriaus elektros energiją, kuri vadinama slydimo energija, galima panaudoti.

Ankstyvosiose schemose asinchroninis variklis specialiu būdu būdavo sujungiamas su kitomis elektros mašinomis. Kitaip tariant, buvo sudaroma elektros mašinų kaskada, todėl tokios schemos buvo pavadintos kaskadinėmis. Šis pavadinimas išliko, ir dabar kaskadinėmis vadinamos pavaros, kuriose išnaudojama asinchroninio variklio slydimo energija, nors kitų besisukančių mašinų gali ir nebūti.

Kadangi rotorius apvijos indukuotoji EVJ ir jos dažnis yra nepastovūs ir priklauso nuo slydimo, šią energiją tiesiogiai panaudoti yra sunku. Rotoriaus grandinėje įjungiamas keitiklis, kuris slydimo energiją grąžina šaltiniui (13.55 pav.) arba perduoda pagalbiniam varikliui. Tuo būdu didžioji slydimo energijos dalis yra sunaudojama naudingai.

Kaskadinio reguliavimo atveju asinchroninių variklių su faziniu rotoriumi mechaninės charakteristikos yra kietos plačiame reguliavimo diapazone. Dėl šių teigiamų savybių ir gerų energetinių rodiklių kaskadinis reguliavimo būdas yra naudojamas vis plačiau.



13.55 pav. Elektrinės kaskados principinė schema (a), energetinė diagrama (b), kurioje neatsižvelgta į nuostolius, ir variklio mechaninės charakteristikos (c)

13.7

Valdymo aparatai

Rankiniam ir automatiniam pavarų valdymui ir apsaugai dažniausiai yra naudojami komutaciniai elektriniai aparatai. Jie sujungia ir atjungia elektrines grandines mechaniniais kontaktais (kontaktiniai aparatai) arba elektroniniais jungikliais (bekontaktiniai aparatai). Kol kas dauguma pavarų, ypač paprastesnių, yra valdomos kontaktiniais aparatais.

13.7.1. Elektrinis kontaktas. Nuo to, kaip patikimai sujungiami ir atjungiami komutacinio aparato kontaktai, priklauso visos valdymo grandinės ir pavaros darbo patiki-

mumas. Elektrinis kontaktas sudaromas, suspaudus du metalinius paviršius. Iš tiesų susiliečia tik tų paviršių atskiri taškai (13.56 pav., a), o likusioji kontakto paviršiaus dalis yra nelaidi. Kuo mažesnis susiliečiančių paviršių plotas, tuo didesnė kontakto varža ir didesnis srovės tankis sąlyčio taškuose. Tekant srovei kontaktui, jame išsiskiria šilumos kiekis, proporcingas srovei kvadratu ir kontakto varžai.

Dėl šilumos poveikio kontaktai oksiduojasi, jų varža dar padidėja. Kai kada perkrauti kontaktai gali ir susivirinti.

Norint sumažinti kontaktų varžą, jie gaminami iš laidesnių elektros srovei metalų (sidabro, vario ar kai kurių lydinių), jų paviršiai turi būti švarūs.

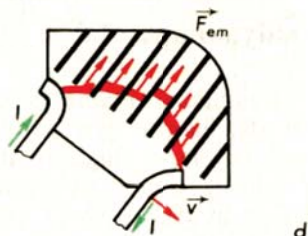
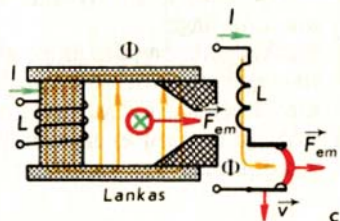
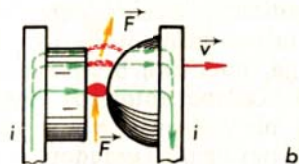
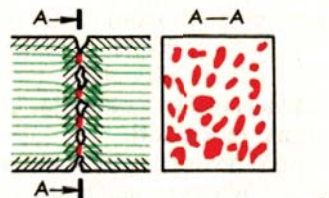
Elektrinių aparatų kontaktai junginėja elektrines grandines, kuriose yra elementų, turinčių nemažą induktyvumą, pavyzdžiui, elektros variklių, transformatorių apvijas, kontaktorių rites ir pan. Nutraukiant tokias grandines, jose vyksta pereinamieji procesai (žr. 4.3), todėl tarp kontaktų atsiranda jiems kenksmingas lankinis išlydis, kurį reikia kiek galint greičiau užgesinti. Kuo didesnes sroves ir įtampas reikia komutuoti, tuo sunkiau yra užgesinti elektrinį lanką, tuo sudėtingesnes priemones tenka naudoti. Dažniausiai lankas gesinamas naudojant magnetinį lauką (magnetinis lanko išpūtimas), aušinant plazmą, lanką ištempiant ar suskaidant į daug trumpų elektrinių lankų. Kartais tenka taikyti kelias priemones kartu.

Paprasciausias yra natūralus lanko išpūtimas įkaitusiu nuo paties lanko oro srove. Kartu su įkaitusiu oru lankui kylant aukštyn tarp specialiai išlenktų kontaktų, didėja atstumas tarp elektrodų ir oro tarpo varža (žr. 13.56 pav., b).

Magnetinis lanko išpūtimas pagrįstas lanko kaip laidininko, kuriuo teka srovė, ir magnetinio lauko sąveika. Pritaikę kairiosios rankos taisyklę (žr. 13.56 pav., c), matome, kad atsiradusi elektromagnetinė jėga stumia lanką, didėja jo ilgis ir varža. Magnetiniam laukui sudaryti dažniausiai naudojama papildoma ritė L , kuri įjunginama nuosekliai į komutuojamą grandinę. Kuo stipresnė komutuojamoji srovė, tuo stipresnis magnetinis laukas, ir tuo didesne jėga išpučiamas lankas.

Kartu naudojamos įvairios lanko gesinimo kameros. Jose lankas, susilietęs su kameros sienelėmis, aušinamas, ir jo laidumas sumažėja. Kai kuriose kamerose yra pertvaros (žr. 13.56 pav., d). Jos lanką suskaido į daug trumpesnių lankų, kurių bendra elektrinė varža yra didesnė. Pertvaros yra metalinės, todėl lankas gerai aušinamas.

Kontaktų metalas dėl didelių temperatūrų ir elektros išlydžio garuoja, todėl yra ribojamas elektrinių aparatų



13.56 pav. Elektrinio aparato kontaktų paviršius (a), lankinis išlydis ir jo gesinimas specialia kontaktų forma (b), magnetiniu lauku (c) bei lanko gesinimo kameroje (d)

jungimų skaičius bei dažnis.

Kaip bekontaktiniai komutacijos aparatai dažniausiai yra naudojami tiristoriai, rečiau tranzistoriai (žr. 7.8.2).

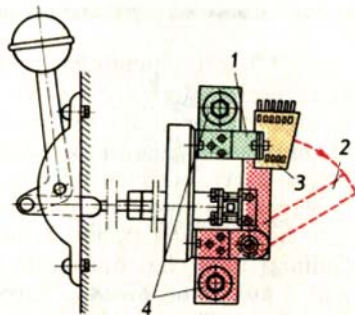
13.7.2. Rankiniai komutacijos aparatai. Tai įvairūs kirtikliai, paketiniai jungikliai, mygtukai, mikrojungikliai ir pan. Juos pasuka ar paspaudžia žmogus.

Kirtikliai yra vieni iš paprasčiausių rankinio valdymo aparatų (13.57 pav.). Ant izoliacinės plokštės yra sumontuoti nejudamieji kontaktai bei prijungimo gnybtai. Grandinė komutuojama judamaisiais kontaktiniais peiliais, pasukant izoliuotą rankeną. Peilių kontaktų plotas yra gana didelis, todėl kirtikliais galima komutuoti dideles – iki 350 A (o sujungus kelias poras peilių – ir didesnes) – sroves ir įtampas iki 500 V. Gali būti ne tik vienpoliai, bet **dvipoliai ir tripoliai kirtikliai, kurių peiliai izoliuoti elektriškai, bet sujungti mechaniškai.** Kirtikliais prijungiami prie elektrinio tinklo ar nuo jo atjungiami atskiri imtuvai arba jų grupės. Jie yra cechų įvadinėse spintose bei pavienių galingesnių imtuvų įvaduose.

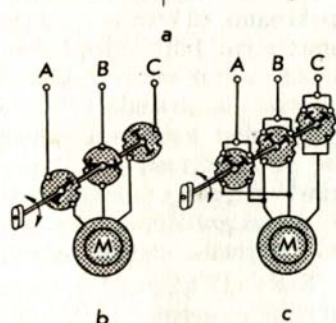
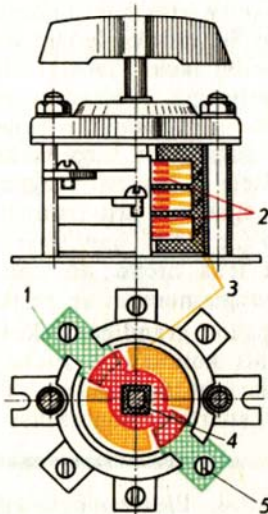
Paketiniai jungikliai turi pasukamas plokšteles, kurios valdomos pasukant jų bendrą veleną (13.58 pav., a). Įkaitusi nuo lanko fibra garuoja ir jos garuose lankas greičiau užgęsta. **Keli plokštelių komplektai sudaro paketą, kurį galima sudėti, surenkant įvairias sujungiamų kontaktų kombinacijas.** Pavyzdžiui, vienu paketiniu jungikliu galima variklį prijungti prie tinklo arba nuo jo atjungti, o kitaip išdėsčius plokšteles dar ir reversuoti (žr. 13.58 pav., b ir c). Paketiniai jungikliai gaminami 220 V, 10–400 A srovėms ir 380 V, 6–250 A srovėms.

Kontrolieriai (13.59 pav.) yra rankiniai aparatai, kuriais kontaktai sujungiami pagal tam tikrą iš anksto sudarytą programą. Sukant kumštelinio kontrolierio veleną, prie jo pritvirtinti įvairios formos kumšteliai sujungia ir atjungia įvairias grandines. Panašiai būgniniuose kontrolieriuose judamieji kontaktiniai segmentai susijungia su nejudamaisiais kontaktais. **Kontrolieriais galima ne tik sujungti ar atjungti grandines, bet ir iš anksto užprogramuoti kiekvieno sujungimo trukmę ir jų seką.**

Mygtukai naudojami trumpam sujungti arba atjungti mažos galios grandines. Jais perduodamos žmogaus komandos automatinio valdymo grandinėms. Dažniausiai naudojami mygtukai, kurie paveikia paspausti. **Atleidus spyruoklės juos vėl grąžina į buvusią padėtį.** Kai mygtuko kontaktai iki paspaudimo yra atviri, jie vadinami sujungiamaisiais, kai uždari – atjungiamaisiais. Paprastai mygtukai turi abiejų tipų kontaktus (13.60 pav.).



13.57 pav. Kirtiklis: 1 – nejudamasis ir 2 – judamasis kontaktas; 3 – lanko gesinimo kamera; 4 – gnybtai komutuojamajai grandinei prijungti



13.58 pav. Paketinis jungiklis: 1 – nejudamieji ir 2 – judamieji kontaktai; 3 – fibros plokštelės; 4 – izoliuotas velenas; 5 – gnybtas

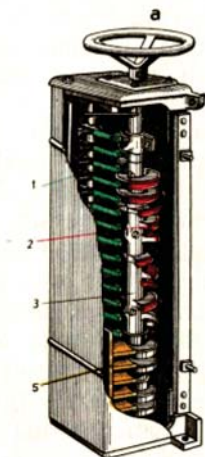
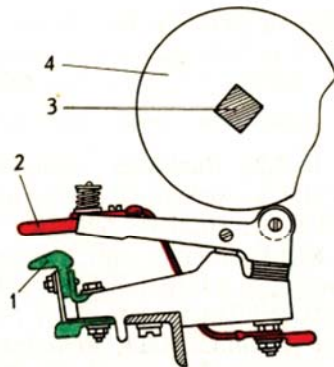
13.7.3. Eigos jungikliai; herkonai. Tai jungikliai (galiniai ar tarpiniai), kurie yra skirti darbo mašinų judančių įtaisų eigai apriboti. Jie perduoda į valdymo grandinę signalą kokiame nors pakeitimui. Juos sujungia, atjungia ar perjungia darbo mašinos judamosios dalys.

Paprastai eigos jungikliai yra mechaniniai įtaisai. Jie gali būti sujungiamieji arba atjungiamieji (13.61 pav.). Galiniai jungikliai dažniausiai turi spyruoklę, kuri gražina juos į ankstesnę būseną. Tarpiniai jungikliai paprastai lieka toje padėtyje, į kurią juos pastumia judamoji darbo mašinos dalis, tol, kol pastaroji jų negražina į buvusią padėtį.

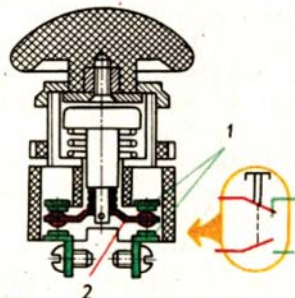
Eigos jungikliai gali būti ir herkonai. Tai plokštūs spyrukliniai feromagnetiniai kontaktai, įtaisyti stikliniame inde su inertinėmis dujomis. Tokioje aplinkoje jie išlieka švarūs ir nesioksiduoja. Kai herkonas patenka į magnetinį lauką, juos veikia elektromagnetinės jėgos, todėl jie susijungia. Nesant magnetinio lauko, kontaktai vėl atsitiesia ir atsijungia. Magnetinio lauko įtaką galima pašalinti, patalpinus tarp herkonas ir magneto feromagnetinę plokštelę – ekraną. Magnetinį lauką gali sudaryti nuolatinis magnetas, pritvirtintas prie darbo mašinos judančio įtaiso (žr. 13.61 pav., b ir c), arba paties herkonas apvija, kuria teka srovė. Herkonai gali turėti sujungiamuosius ir atjungiamuosius ar perjungiamuosius kontaktus. Didės galios grandinėms komutuoti gaminami herkonai su skystais kontaktais. Juose skystas metalas M , veikiamas kapiliarinių jėgų, laikosi prie elektrodų. Elektromagnetinės jėgos suartina kontaktus, pastumdamos stūmokliuką S .

13.7.4. Elektromagnetiniai komutacijos aparatai. Jiems priskiriami elektromagnetinės relės ir kontaktoriai, kurių sandara gali būti įvairi, bet veikimo principas yra vienodas. Tekant srovei relės ar kontaktoriaus rite, elektromagnetas pritraukia ar įtraukia į ritės vidų inkarėlį. Prie jo pritvirtinti judamieji kontaktai sujungiami su nejudamaisiais arba nuo jų atjungiami (13.62 pav.). Kadangi elektromagneto grandinės galia yra maža, o kontaktai gali komutuoti didesnės galios grandines, tai elektromagnetiniai aparatai iš tiesų yra diskretaus signalo stiprintuvai.

Relės (13.63 pav.) – tai mažos galios aparatai valdymo grandinėms junginėti. Jų kontaktų paviršius nedidelis, lankas tarp jų užgęsta savaime. Paprastai relės turi daug porų kontaktų. Dalis jų yra sujungiamieji (atviri, kai rite srovė neteka), dalis – atjungiamieji. Gali būti perjungiamieji kontaktai.



13.59 pav. Kumštelinis (a) ir būginis (b) kontroleris. 1 – nejudamieji ir 2 – judamieji kontaktai; 3 – izoliuotas velenas; 4 – kumštelis; 5 – lanko gesinimo kameros



13.60 pav. Mygtukas ir jo sutartinis ženklas. 1 – nejudamieji ir 2 – judamieji kontaktai

Kontaktorai (žr. 13.63 pav., b) – tai aparatai, junginėjantys didelės galios – vadinamąsias jėgos – grandines. Jų pagrindiniai – jėgos kontaktai (13.64 pav.) yra didelio ploto, turi įvairias lanko gesinimo priemones. Be jėgos kontaktų, kontaktoriai turi papildomus mažos galios kontaktus. Jie paprastai vadinami valdymo arba blokavimo kontaktais ir jungiami į valdymo grandines kaip ir relijų kontaktai.

Kad kontaktai mažiau užsiterštų, relės ir kontaktoriai dažnai uždengiami sandariais gaubtais. Ilgai ir labai patikimai dirba herkoninės relės, kurių kontaktai yra vakuume arba inertinėse dujose.

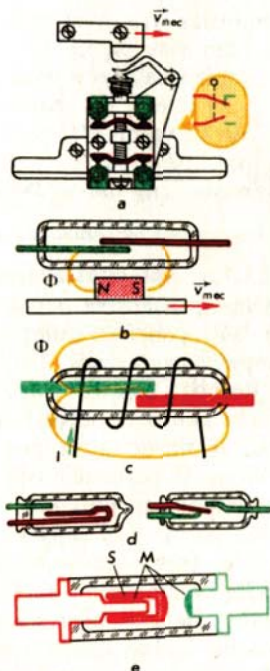
Elektromagnetinių aparatų magnetinės grandinės esti įvairios konfigūracijos (žr. 13.64 pav., c). Visoms būdinga tai, kad yra oro tarpas ir kuo didesnė inkarėlio spyruoklės atoveikio jėga, tuo didesne jėga ji turi traukti elektromagnetas (žr. (5.22)). Pritrauktam inkarėliui prilaikyti užtenka mažesnės jėgos. Išjungus elektromagneto srovę, magnetinės grandinės liktinė magnetinė indukcija gali būti pakankama, kad išlaikytų inkarėlį. Kad to nebūtų, prie inkarėlio pritvirtinamas nemagnetinės medžiagos sluoksnelis (pavyzdžiui, bronzos plokštelė), kuris padidina magnetinės grandinės varžą.

Relių ir kontaktorių ritės gali būti skirtos nuolatinei arba kintamajai srovei (gali būti ir universalios). Kintamosios srovės aparatų magnetinės grandinės turi tam tikrų ypatumų. Kintamoji elektros srovė sukuria kintamąjį magnetinį lauką. Inkarėlio traukos jėga kinta, ir inkarėlis vibruoja. Jo vibracija ne tik mechanškai kenkia kontaktams, bet dėl jos kontaktai gali labiau kibirkščiuoti. Dėl to kontaktai greičiau oksiduojasi ir susidėvi.

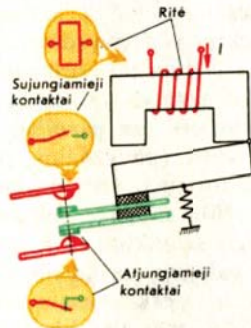
Inkarėlio vibracijai panaikinti ant magnetolaidžio galūnės dalies uždedama **trumpai sujungta vija** (žr. 13.63 pav., b). Dėl indukuotos EVJ joje teka srovė, ir susidaro papildomas magnetinis srautas, kuris skiriasi faze nuo pagrindinio magnetinio srauto. Tuo būdu oro tarpe yra du nevienodos fazės magnetiniai srautai, todėl atstojamasis magnetinis srautas nesumažėja iki nulio.

Elektromagnetinio aparato inkarėliui pritraukti reikia didesnės MVJ F_{m1} , negu grįžimo MVJ F_{m2} , kuriai esant inkarėlis atšoka. Grįžimo MVJ santykis su poveikio MVJ yra vadinamas **grįžimo koeficientu** $K = F_{m2}/F_{m1}$; $K < 1$.

Svarbiausi elektromagnetinių aparatų parametrai yra šie: vardinė (nuolatinė arba kintamoji) elektromagneto ritės įtampa, vardinė srovė arba galia, grįžimo koeficientas. Komutuojamosios grandinės – vardinė srovė, vardinė įtampa, $\cos \varphi$, srovės dažnis bei kiti, kartais specifiniai, parametrai. Iš eksploatacinių rodiklių svar-



13.61 pav. Mechaninis (a), herkoninis (b) eigos jungiklis ir įvairios sandaros herkonai (c, d, e)



13.62 pav. Elektromagnetinio komutacijos aparato sandara

biausias yra leistinasis jungimų skaičius bei aplinkos leistinosios sąlygos.

Gaminama daug įvairių parametrų elektromagnetinių relių. Jų ritės galia paprastai esti 2–8 W, vardinė įtampa 4–380 V, vardinė srovė 0,05–200 A. Kontaktorių: ritės įtampa 110–660 V, jungiamosios srovės – iki 1500 A, leistinasis jungimų skaičius – $(1,5–15) \cdot 10^6$.

13.7.5. Apsaugos aparatai. Jie naudojami apsaugoti elektrinėms grandinėms nuo avarinių režimų. Avariniai režimai gali būti įvairūs: **trumpieji jungimai, perkrovos, neleistini įtampos sumažėjimai.** Išnykus ar neleistinai sumažėjus tinklo įtampai, elektros variklis gali sustoti. Įtampai atsiradus variklis gali pats pradėti sukstis, o tai neleistina ir technologijos, ir darbo apsaugos požiūriu.

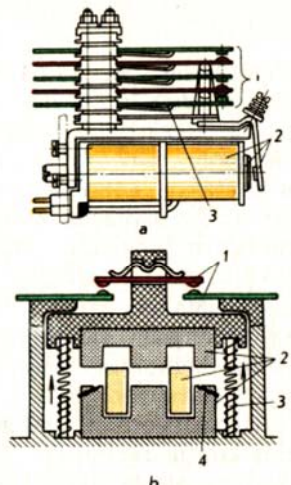
Viena iš paprasčiausių ir pigiausių grandinių apsaugos nuo trumpųjų jungimų priemonių yra **lydieji saugikliai** (13.65 pav.). Kai saugikliu teka per didelė srovė, įdėklas išsilydo (net išgaruoja) ir nutraukia elektros grandinę. Įdėklai gaminami iš vario, cinko, aliuminio, švino ar kitų metalų. Jie gali būti atviri arba užpilti smulkiu smėliu, kuriame lankas gęsta sparčiau.

Pramonėje dažniau yra naudojami **vamzdiniai saugikliai**. Jų įdėklai gali būti specialios formos štampuotos cinko plokštelės. Tokios formos įdėklas mažiau kaista, kai juo teka vardinė srovė, nes jo varža mažesnė negu siauros juostelės įdėklo, ir plačiosios dalys jį geriau aušina. Avarinio režimo metu įdėklas išsilydo siauriausiose vietose, todėl elektros lankas išskaidomas į kelis ir greičiau užgęsta.

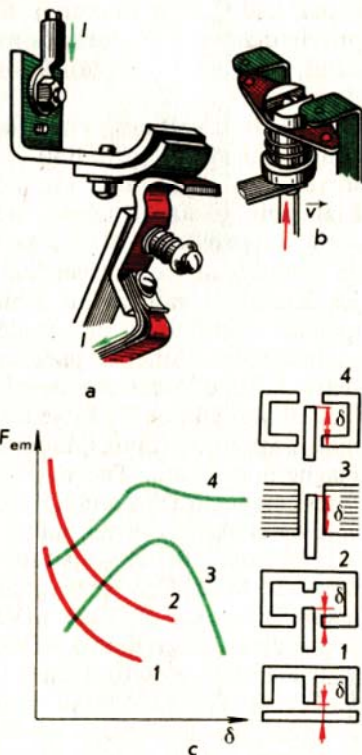
Saugikliai apibūdinami jų **poveikio trukme** $t = f(I_*)$ (13.66 pav.). Jeigu saugiklio įdėklu tekanti srovė lygi jo vardinei srovei, įdėklas niekada neturi įšilti tiek, kad išsilydytų. Kuo srovė stipresnė, tuo įdėklas greičiau išsilydo, bet dėl šiluminės inercijos jis nereaguoja į trumpą laiką veikiančias perkrovas (pavyzdžiui, paleidžiant asinchroninius variklius su trumpai sujungtu rotoriumi). Dėl to **lydieji saugikliai netinka apsaugoti nuo trumpųjų jungimų prietaisams, kuriems yra pavojinga stipri, bet labai trumpą laiką tekanti srovė** (pavyzdžiui, puslaidininkiniams lygintuvams bei inverteriams, kai yra pavojinga srovė, tekanti šimtąsias ar tūkstantąsias sekundės dalis).

Lydieji saugikliai taip pat **netinka grandinėms apsaugoti nuo palyginti nedidelių ilgą laiką trunkančių perkrovų.** Pavyzdžiui, perkrovos asinchroninį variklį 1,3 karto, ilgą laiką dirbdamas jis įšils iki neleistinos temperatūros, nes lydusis saugiklis grandinės neatjungs.

Lydieji saugikliai be smėlio užpildo gaminami 380 V vardinei įtampai ir 100–1000 A vardinėms srovėms;



13.63 pav. Elektromagnetinė relė (a) ir kontaktorius (b): 1 – kontaktai; 2 – elektromagnetas; 3 – spyruoklė; 4 – trumpai sujungta viją



13.64 pav. Elektromagnetinių aparatų jėgos (a), valdymo (b) kontaktai, įvairios magnetinės grandinės ir jų inkarėlio traukos jėga F_{em} (c)

su smėliu – 500 V, 100–600 A.

Apsaugai nuo trumpojo jungimo, kai grandinės srovė, nors ir trumpą laiką, neturi būti didesnė už tam tikrą didžiausią vertę, naudojami **maksimaliosios srovės relės**. Tai dažniausiai elektromagnetinė relė (13.67 pav.), kurios rite teka apsaugomosios grandinės srovė. Kai srovė neleistinai sustiprėja, relė per kontaktorių ją atjungia. Kuo stipresnė srovė, tuo relės poveikio trukmė trumpesnė.

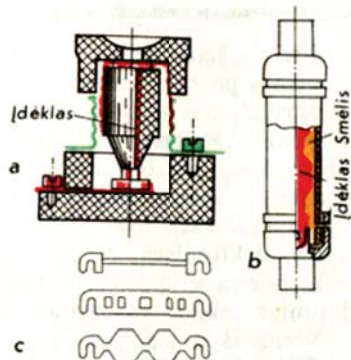
Apsaugai nuo perkrovos yra naudojamos **šiluminės relės** (13.68 pav.). Kai relės bimetalė juostelė, tekant apsaugomosios grandinės srovei šildymo elementu, neleistinai įkaista, ji išsiriečia iki kritinės kinematinės padėties. Spyruoklė permeta ją į kitą kraštinę padėtį, o relės atjungiamieji kontaktai nutraukia grandinės srovę. **Nors bimetalė juostelė ataušta, kontaktai vis tiek lieka atjungti. Vėl sujungti kontaktus galima tik paspaudus mygtuką.** Yra ir tokios relės, kurios savaime grįžta į pradinę būseną.

Šiluminės relės paveikia, kai perkrovos srovė $I = (1,2 - 1,3) I_N$ ir trunka ilgiau nei 20 min. Kad būtų galima geriau pritaikyti reles konkretaus variklio apsaugai, jų poveikio srovę galima reguliuoti $\pm 25\%$ ribose.

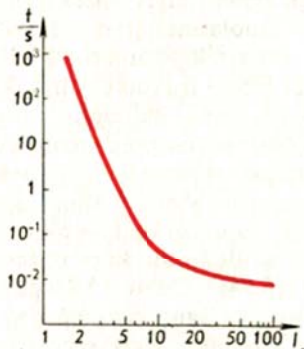
Apsaugai nuo perkrovos galima naudoti termorezistorius (žr. 6.1.2). Jie įmontuojami variklio viduje. Jų parametrai parenkami taip, kad varža labai pakistų, kai variklio izoliacija išyla iki temperatūros, bent šiek tiek aukštesnės už leistinąją. Tas varžos pokytis yra signalas valdymo grandinei atjungti variklį nuo tinklo.

Universalus apsaugos aparatas yra **automatinis jungiklis** (13.69 pav.). Jis skirtas sujungti ir atjungti elektrinę grandinę, apsaugoti ją nuo trumpųjų jungimų ir perkrovų, atjungti grandinę, sumažėjus įtampai ar srovei arba pasikeitus joje srovės kryptčiai. Norint įjungti automatinį jungiklį, reikia jo izoliuotą rankeną nuleisti ir po to ją pakelti. Rankeną nuleidžiant, figūrinė detalė 4 pasukama ir spyruoklė 5 įtempama. Pakėlus rankeną, spragtukas 6 užfiksuoja tokią spyruoklės ir figūrinės detalės padėtį.

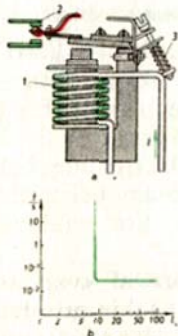
Kontaktai 1 ir 2 atsijungia, kai spragtukas 6 nusileidžia ir atpalaiduoja figūrinę detalę 4. Tai atsitinka, jei suveikia perkrovos ar maksimaliosios srovės apsauga. Pirmuoju atveju bimetalė juostelė nulinksta žemyn. Antruoju atveju didelio skerspjūvio strypeliu (šyna), kurį apkabina magnetolaidis, teka per didelė srovė, todėl relė 8 pritraukia inkarėlį. Automatinį jungiklį galima atjungti, nuleidžiant jo rankeną. Šiluminės relės elementų gali ir nebūti; tuomet automatinis jungiklis apsaugo grandinę tik nuo trumpųjų jungimų. Automatiniai jungikliai gaminami 0,63–7500 A vardinių srovių; 220–660 V vardinių įtampų.



13.65 pav. Vamzdinis (a) ir kamštinis (b) saugiklis bei įvairios formos įdeklai (c)



13.66 pav. Lydziojo saugiklio poveikio trukmės priklausomybė nuo santykinės perkrovos srovės $I_* = I/I_N$



13.67 pav. Maksimaliosios srovės relės sandara (a) ir poveikio trukmės priklausomybė nuo santykinės perkrovos (b): 1 – ritė; 2 – kontaktai; 3 – spyruoklė

13.7.6. Laiko relės. Jos sujungia arba atjungia valdymo grandines po tam tikro laiko. Jų yra labai daug ir įvairių konstrukcijų, o veikimo principas priklauso nuo tų priemonių, kuriomis gaunama poveikio delsa. Poveikio delsa – tai laikas, kuris praėina nuo to laiko momento, kai relė gauna signalą, iki momento, kai jos kontaktai yra sujungiami arba atjungiami. Gali būti elektromagnetinės, laikrodinės, šiluminės, elektroninės, motorinės, pneumatinės ir kitokios laiko relės. Vienų relių poveikio delsa esti sekundės dalys, kitų – dešimtys sekundžių, minutės ar valandos.

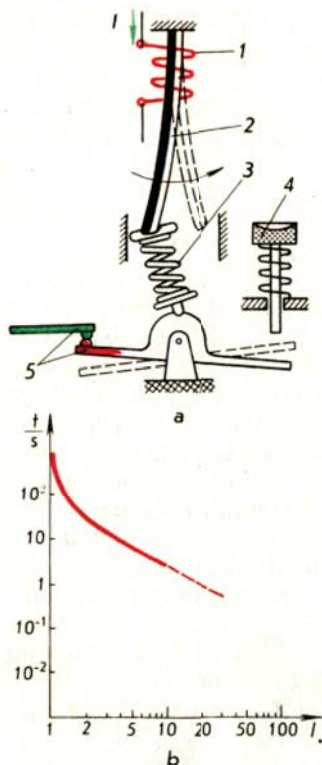
Viena iš paprasčiausių yra **elektromagnetinė laiko relė** (13.70 pav.). Ant jos magnetolaidžio yra uždėta trumpai sujungta apvija (kartais ji turi tik vieną viją arba tą viją atstoja metalinis cilindras), kurios aktyvioji varža yra maža. Elektromagneto ritės induktyvumas yra didelis. Prijungus ritę prie nuolatinės įtampos šaltinio, relės magnetinis srautas nusistovi tik po tam tikro laiko t_1 . Taip esti dėl to, kad didėti ritės srovei trukdo saviindukcijos EVJ ir dar atsiranda priešinis trumpai sujungtos vijos magnetinis srautas.

Nutraukus ritės srovę, dėl saviindukcijos ir dėl to, kad trumpai sujungtoje vijoje atsiranda tokios pat krypties magnetinis srautas, suminis relės srautas išnyksta uždelstai. Relės ritės induktyvumas, taigi EVJ ir relės poveikio delsa, tuo didesnis, kuo mažesnė magnetinės grandinės varža (žr. (5.24)). Dėl to 13.70 pav. pavaizduotos relės atjungimo delsa yra daug didesnė negu įjungimo.

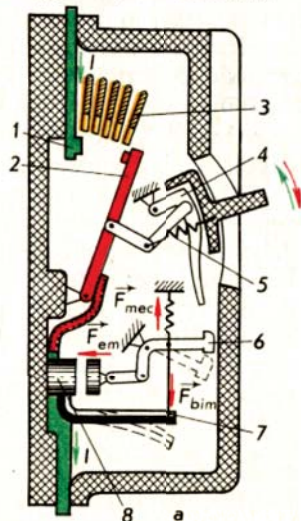
Gali būti laiko relės, kurių poveikio delsa gaunama prijungiant jų rites prie šaltinio. Paprastai elektromagnetinių relių poveikio delsa esti nedidelė: nuo keleto iki kelių dešimčių sekundžių.

13.7.7. Bekontaktčiai valdymo aparatai. Jų veikimo principas pagrįstas tuo, kad šuoliu keičiama jų elektrinė varža nuo labai mažos (laikoma lygia nuliui) iki labai didelės (laikoma be galo didele). Jėgos grandinėms komutuoti iš visų elektroninių bekontaktčių valdymo įtaisų plačiausiai naudojami tiristoriniai kontaktoriai, kurių svarbiausias elementas yra valdomasis tiristorius – tristorius (žr. 13.8.7).

Tiristoriniai kontaktoriai, lyginant su elektromagnetiniais, turi tokių **privalumų**: nėra judamų dalių; atjungimo momentu nėra elektrinio lanko; nėra susidėvinčių kontaktų; labai trumpa poveikio trukmė; galima jungti iki 10^6 kartų per valandą; nebijo vibracijų; patikimai dirba gaisrui ir sprogimui pavojingoje aplinkoje; galima lanksčiai reguliuoti jėgos grandinės srovę, ir tai atliekama labai patikimai ir bet koku imtuvui reikalingu režimu; valdomi la-



13.68 pav. Šiluminės relės sandara (a) ir poveikio trukmės priklausomybė nuo santykinės perkrovos (b). 1 – šildymo elementas; 2 – bimetalė juostelė; 3 – spyruoklė; 4 – mygtukas; 5 – kontaktai



bai silpnais signalais.

Greta minėtų privalumų tiristoriniai kontaktoriai turi tokius **trūkumus**: komutacijos gylis (santykis atjungtos grandinės varžos su sujungtos grandinės varža) yra nedidelis – iki 10^7 , kai kontaktinių aparatų šis dydis yra nuo 10^7 iki 10^{14} ; vizualiai nematyti, ar grandinė atjungta; dideli energijos nuostoliai tiristoriuose, kai jėgos grandine teka stipri srovė (tiristoriuje yra apie 1 V įtampos kritimas); elementai yra jautrūs viršįtampiams, kurie susidaro komutuojant grandines. Tiristoriai yra jautrūs srovės perkrovoms: 0,01 s jais gali tekėti srovė 20–30 kartų didesnė už vardinę, kai kontaktiniais aparatais – 700 kartų. Galimi neteisingi sujungimai ir atjungimai dėl pašalinių trukdžių. Kol kas tiristorinių kontaktorių kaina ir matmenys yra kelis kartus didesni už analogiškų kontaktinių aparatų.

Kai kurie minėti bekontaktių aparatų trūkumai, sparčiai vystantis elektronikai, yra sėkmingai šalinami. Reikia tikėtis, kad bekontaktiniai aparatai bus taikomi vis plačiau, bet šiuo metu jais dar neįmanoma pakeisti visų taip plačiai naudojamų kontaktinių elektrinių aparatų.

či

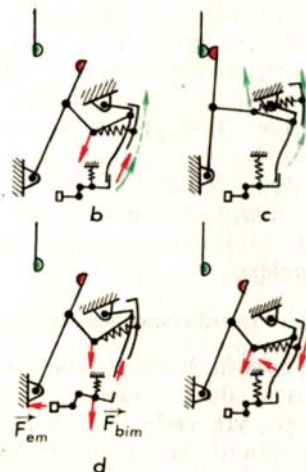
13.8

Paprasčiausios valdymo įtaisų schemos

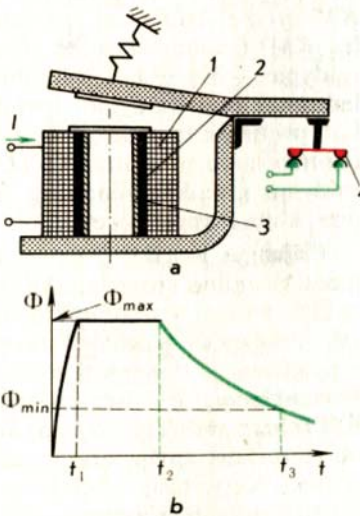
13.8.1. Bendrieji valdymo principai. Iš pavaros struktūrinės schemos (žr. 13.1 pav.) matome, kad pavarą gali būti valdoma ir rankiniu būdu, ir automatiškai. Pavarų valdymo įtaisai gali būti skirti įvairioms, pavyzdžiui, tokioms funkcijoms atlikti: **1)** prijungti pavaros variklius prie šaltinio bei atjungti nuo jo; **2)** reversuoti ir elektriškai stabdyti pavarą; **3)** suderinti kelių variklių bei technologinių įrenginių darbo režimus; **4)** kontroliuoti pavaros paleidimą, stabdymą, reversavimą pagal reikiamą parametą; **5)** reguliuoti ir stabilizuoti pavaros greitį; **6)** valdyti pavarą pagal specialią programą.

Net vienai kuriai nors iš šių funkcijų įvykdyti gali būti sudaromos įvairios valdymo įtaisų schemos, todėl neįmanoma išnagrinėti visų. Antra vertus, dauguma iš jų panašios, jose yra tokioms schemoms būdingų elementų. Juos žinant nesunku suprasti konkrečių pavarų valdymo įtaisų veikimo principą bei atskirų elementų paskirtį. To pakanka, kad būtų galima ir savarankiškai sudaryti paprastesnes pavarų valdymo įtaisų schemas.

Pirmosios keturios išvardytos elektros pavarų valdymo funkcijos paprasčiausios. Joms realizuoti dažniausiai pakan-



13.69 pav. Automatinio jungiklio pjūvio schema (a) ir kinematinė būklė: prieš įjungiant (b); kai jungiklis – įjungtas (c); – atsijungia automatiškai (d); – atjungiamas rankena (e). 1 – nejudamasis ir 2 – judamasis kontaktas; 3 – lanko gesinimo kamera; 4 – figūrinė detalė; 5 – spyruoklė; 6 – spragtukas; 7 – bimetalė juostelė; 8 – maksimaliosios srovės relė



13.70 pav. Elektromagnetinė laiko relė (a) ir jos magnetinio srauto priklausomybė nuo laiko (b): 1 – ritė; 2 – izoliacija; 3 – laidininko cilindras; 4 – kontaktai

ka kontaktorinio valdymo aparatų. Paprastai tokiose pavarose nėra grįžtamųjų ryšių, kurie reikalingi stabilizuojant ar reguliuojant greitį. Sudėtingesnėse automatizuotose pavarose taikomi grįžtamieji ryšiai, naudojami programinio valdymo ir elektroniniai loginiai įtaisai. Vis daugiau pramonės įmonėse naudojama elektros pavarų su skaitmeninio valdymo įtaisais ir ESM.

Panagrinėšime kai kurių elektros pavarų valdymo schemų pavyzdžius. Sutartiniai jų elementų ženklai – 13.2 lentelėje.

13.8.2. Asinchroninio variklio paleidimo įtaisai. Valdymo įtaisai, skirtas varikliui prijungti prie šaltinio ir nuo jo atjungti, yra vadinamas paleidikliu. Kai variklio grandinėms komutuoti naudojamas elektromagnetinis kontaktorius, turime magnetinį paleidiklį; kai valdomasis tiristorius, – tiristorinį paleidiklį.

Paprasčiausias yra **magnetinis paleidiklis**, kuriuo asinchroninį variklį su trumpai sujungtu rotoriumi galima prijungti prie tinklo ir nuo jo atjungti. Schemoje (13.71 pav., a) pavaizduotos dvi grandinės. **Jėgos grandinė** – tripolis jungiklis Q , lydieji saugikliai F , kontaktoriaus sujungiamieji jėgos kontaktai KM ir variklio statoriaus apvija. **Valdymo grandinė** – atjungiamasis stabdymo mygtukas $S1$ ir sujungiamasis paleidimo mygtukas $S2$, kontaktoriaus KM ritė bei kontaktoriaus sujungiamasis valdymo kontaktas KM . (Paprastai jėgos grandinė braižoma storesnėmis, valdymo – plonesnėmis linijomis). Valdymo grandinė priklausomai nuo valdymo aparatūros vardinės įtampos gali būti prijungta tarp dviejų linijinių laidų ($U_N = U_l$) arba tarp linijinio laido ir neutraliojo ($U_N = U_f$). Kai kuriais atvejais valdymo grandinė jungiama prie nuolatinės įtampos arba prie kintamosios pažemintos įtampos.

Prijungus jungiklį Q prie trifazio tinklo, nei valdymo, nei jėgos grandine srovė neteka, todėl **jokio elementų būsenos pakitimo nėra**: visi kontaktoriaus KM kontaktai yra atjungti. **Paspaudus paleidimo mygtuką $S2$** , valdymo grandinė sujungiama, ja ima tekėti srovė. Dėl to kontaktoriaus inkaras pritraukiamas ir visi schemoje pavaizduoti jo kontaktai KM sujungiami. Trys jo jėgos kontaktai KM prijungia variklio statoriaus apviją prie trifazio tinklo, todėl variklis ima sukintis. Ketvirtasis – **valdymo kontaktas KM** – trumpai sujungia paleidimo mygtuką $S2$. Pastarąjį atleidus spyruoklė grąžina mygtuko kontaktus į pradinę – atjungtąją padėtį. **Valdymo grandinėje srovė nenutrūksta**, nes sujungtas valdymo kontaktas KM . Jis bus sujungtas tol, kol kontaktoriaus rite tekės srovė.

13.2 lentelė. Kontaktinių valdymo schemų sutartiniai ženklai

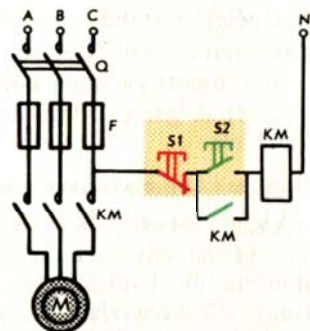
Ženklas	Reikšmė
	Lydisis saugiklis
	Tripolis jungiklis su mechanine jungtimi
	Tripolis automatinis jungiklis su mechanine jungtimi
	Sujungiamasis mygtukas
	Atjungiamasis mygtukas
	Mechaniškai sujungti mygtukai
	Kontaktoriaus arba relės ritė
	Šiluminės relės šildymo elementas
	Relės arba kontaktoriaus sujungiamieji valdymo kontaktai
	Relės arba kontaktoriaus atjungiamieji valdymo kontaktai
	Sujungiamieji jėgos kontaktai
	Atjungiamieji jėgos kontaktai
	Sujungiamieji kontaktai su sujungimo delsa
	Sujungiamieji kontaktai su atjungimo delsa
	Atjungiamieji kontaktai, grąžinami į pradinę būseną ranka

Norint atjungti variklį nuo tinklo, reikia paspausti stabdymo mygtuką $S1$. Jis nutraukia srovę valdymo grandinėje, kontaktoriaus inkaras atšoka, atjungdamas visus KM kontaktus. Jėgos grandinės kontaktai KM atjungia variklio statoriaus apviją nuo tinklo, todėl variklis, šiek tiek iš inercijos pasisukęs, sustoja. Valdymo kontaktas KM valdymo grandinėje taip pat atsijungia. Atleidus stabdymo mygtuką $S1$, valdymo grandinė srovę tekėti negali, nors pastarasis vėl grįžta į savo pradinę padėtį. Grandinės būseną yra tokia pat kaip prieš paleidimą: srovė neteka ir netekės tol, kol nebus paspaustas paleidimo mygtukas $S2$.

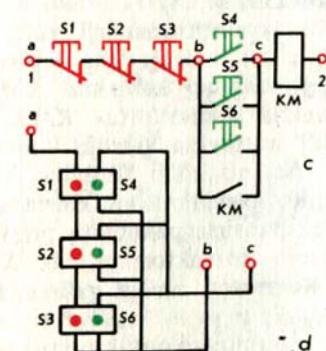
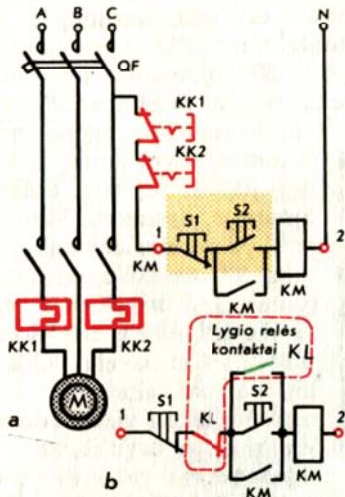
Paprastai realiose magnetinio paleidiklio grandinėse yra numatyta ne tik trumpųjų jungimų, bet ir šiluminė apsauga (13.72 pav., a). Tam į jėgos grandinę įjungiami ne tik lydieji saugikliai F arba automatiniai jungikliai QF , bet ir dviejų šiluminių relių šildymo elementai $KK1$ ir $KK2$. Perkrovus variklį ar dėl kokių nors priežasčių atsijungus vienai tinklo fazei, variklis gali sukintis toliau, bet jo statoriaus apvija teka per stipri srovė. Jei ta nors ir nedaugdidesnė už vardinę srovę teka neleistinai ilgą laiką, šiluminė relė $KK1$ arba $KK2$ atjungia savo kontaktus valdymo grandinėje. Dėl to valdymo grandinė nutraukiama, ir toliau viskas vyksta taip, kaip paspaudus stabdymo mygtuką. Šiluminės relės kontaktai patys sugrįžti į pradinę padėtį negali, todėl grandinė darbei nebus parengta tol, kol jie nebus sujungti ranka. Net ir juos sugražinus valdymo įtaisais vėl atjungs variklį, kol nebus pašalintos gedimo priežastys.

Šią pagrindinę magnetinio paleidiklio valdymo grandinę galima papildyti įvairiais kitais elementais. Tarkime, kad norime pritaikyti asinchroninį variklį su magnetiniu paleidikliu siurbliui, pripildančiam vandens rezervuarą. Pakeiskime valdymo grandinės dalį, kuri yra tarp taškų 1–2, grandinė, pavaizduota 13.72 pav., b. Tam, kad siurblys dirbtų automatiškai, paprastai naudojama vandens lygio relė KL , kurios kontaktus valdo plūdė. Kai rezervuare vandens per mažai, plūdė sujungia relės sujungiamuosius kontaktus KL , kurie įjungti lygiagrečiai mygtukui $S2$. Siurblys dirba tol, kol pripildo rezervuarą iki reikiamo lygio. Tada plūdė pakyla ir atjungia relės atjungiamuosius kontaktus KL , kurie nutraukia kontaktoriaus ritės grandinę. Siurblys nustoja dirbti. Siurblių galima valdyti ir mygtukais $S1$ bei $S2$, bet, kai rezervuaras pilnas, paspaudus paleidimo mygtuką $S2$, siurblys neveiks, nes relės atjungiamieji kontaktai KL bus atjungti.

Magnetinis paleidiklis patogus tuo, kad variklį galima valdyti per atstumą. Vieną variklį galima paleisti ir atjungti nuo tinklo iš kelių vietų. Pavyzdžiui, norint valdyti variklį iš trijų vietų, trys paleidimo mygtukai sujungiami



13.71 pav. Asinchroninio variklio ir paprasčiausio magnetinio paleidiklio schema



13.72 pav. Asinchroninio variklio ir magnetinio paleidiklio su apsauga nuo perkrovos schema (a), įvairūs valdymo grandinės variantai (b, c) bei mygtukų montажinė schema (d)

lygiagrečiai, o stabdymo – nuosekliai (13.72 pav., c). Paprastai vienas paleidimo ir vienas stabdymo mygtukas esti sumontuoti viename korpuse (13.72 pav., d). Stabdymo mygtuko galvutė daroma raudona, kad jį būtų lengva atskirti.

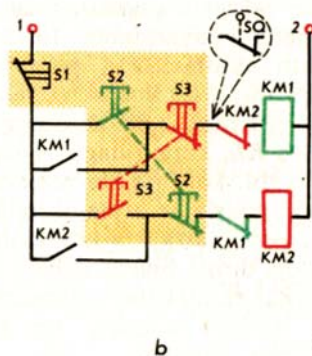
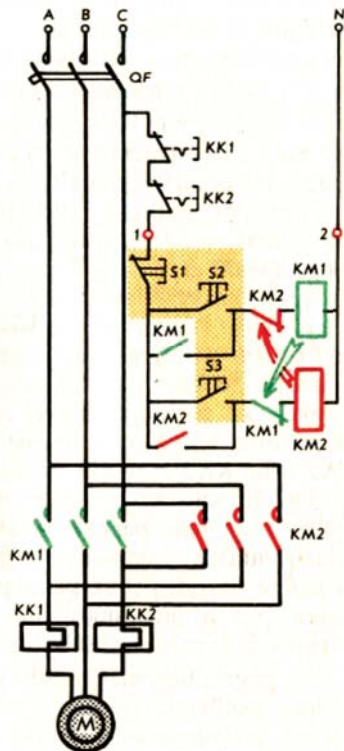
13.8.3. Asinchroninio variklio reversavimo įtaisais. Norint, kad variklis sukėtųsi viena arba kita kryptimi, reikia panaudoti du kontaktorius $KM1$ ir $KM2$ (13.73 pav.). **Pirmasis kontaktorius $KM1$ prijungia variklį prie trifazio tinklo**, pavyzdžiui, taip, kad statoriaus apvijų srovių tazių seka būtų $A \rightarrow B \rightarrow C$. **Antrasis turi pakeisti statoriaus apvijų srovių fazių seką.** Pavyzdžiui, 13.73 pav., a parodyta, kad, susijungus antrojo kontaktoriaus jėgos kontaktams $KM2$, yra sukeičiamos dviejų apvijų fazių (A ir B) prijungimas prie tinklo. Statoriaus apvijų fazių seka tampa priešinga: $B \rightarrow A \rightarrow C$. Magnetinis laukas, o dėl to ir rotorius, sukasi priešinga kryptimi.

Iš esmės tai yra sujungti į vieną visiškai vienodi du valdymo įtaisai, turintys bendrą stabdymo mygtuką $S1$ ir apsaugos elementus. Viena kryptimi variklis paleidžiamas, paspaudus mygtuką $S2$. Kita – paspaudus mygtuką $S3$. Atidžiau pasižiūrėję į jėgos grandinę pamatysime, kad **negalima leisti, jog vienu metu būtų sujungti visi šeši abiejų kontaktorių jėgos kontaktai $KM1$ ir $KM2$** . Tokiu atveju tinklo fazės A ir B būtų sujungtos trumpai. Kad taip neatsitiktų, reikia, kad srovė negalėtų tekėti vieno kontaktoriaus grandine, kai veikia kitas, ir atvirkščiai.

Apsaugai nuo tokio dviejų tinklo fazių trumpojo jungimo nuosekliai su kontaktoriaus $KM1$ rite įjungiami antrojo kontaktoriaus atjungiamieji valdymo kontaktai $KM2$, o nuosekliai su antrojo rite – pirmojo kontaktoriaus atjungiamieji valdymo kontaktai $KM1$. Paspaudus mygtuką $S2$, paverkia kontaktorius $KM1$. Jo atjungiamieji kontaktai $KM1$ nutraukia antrojo kontaktoriaus $KM2$ ritės grandinę. Atjungiamieji valdymo kontaktai $KM1$ bus atjungti tol, kol pirmojo kontaktoriaus $KM1$ rite tekės srovė. Nors ir paspausime paleidimo priešinga kryptimi mygtuką $S3$, antrojo kontaktoriaus rite $KM2$ srovė tekėti negalės.

Reversuoti variklį galima, tik paspaudus stabdymo mygtuką $S1$ ir po to – $S3$. Kai variklis sukasi priešinga kryptimi, pirmojo kontaktoriaus $KM1$ įjungti negalėsime, nes jo ritės grandinę nutraukia atjungiamieji kontaktai $KM2$.

Kai reikia **variklį reversuoti vienu mygtuko paspaudimu, valdymo grandinėje naudojami mechanškai sublokuoti sujungiamieji ir atjungiamieji mygtukai** (žr. 13.73 pav., b).



13.73 pav. Asinchroninio variklio reversinio valdymo įtaiso schema (a) ir kitas valdymo grandinės variantas (b)

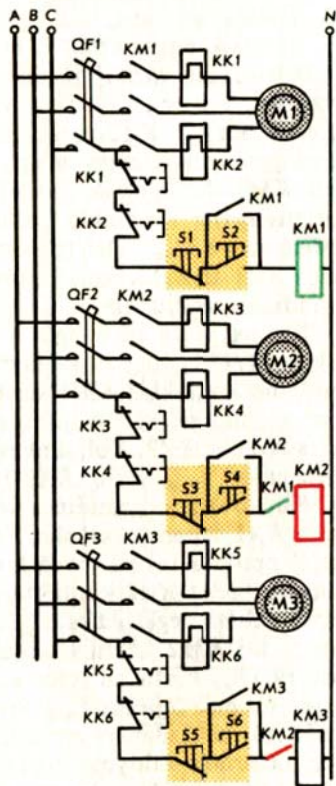
Pavyzdžiui, spaudžiant mygtuką $S2$, sujungiamas $KM1$ (pirmojo) ir nutraukiama $KM2$ (antrojo) kontaktoriaus grandinė. Spaudžiant mygtuką $S3$, nutraukiama $KM1$ grandinė ir sujungiamas $KM2$. Kaip ir ankstesnėje schemoje, atjungiamieji kontaktai $KM1$ ir $KM2$ reikalingi tam, kad vienu metu negalėtų veikti abu kontaktoriai. **Specialiai yra gaminami reversiniai kontaktoriai, turintys bendrą mechaninę jungtį ir dvi rites, kurios veikia pakaitomis.**

Kai reikia darbo įtaiso judėjimą apriboti kuria nors kryptimi, į valdymo grandinę nuosekliai su kontaktoriaus rite įjungiamas galinis eigos jungiklis (žr. 13.73 pav., b – jungiklis SQ). Pavyzdžiui, kai keltuviu keliamas krovinys pasiekia ribinį leistiną aukštį, mechanizmas automatiškai paspaudžia galinį atjungiamąjį jungiklį SQ . Nutraukiama valdymo grandinė, variklis atjungiamas nuo tinklo ir sustoja. Paspaudus tos pačios judėjimo krypties (aukštyn) mygtuką $S2$, variklis nesisuks, nes mechanizmas laiko galinį jungiklį atvirą. Variklį galėsime paleisti tik priešinga kryptimi, paspaudę mygtuką $S3$, t.y. nuleisti keltuvių žemyn. Atleistas galinis jungiklis vėl grįžta į pradinę – sujungtąją – padėtį.

13.8.4. Asinchroninių variklių nuosekliojo paleidimo įtasis. Tarkime, kad turime konvejerį, kurio tris atskiras juostas traukia trys varikliai $M1$, $M2$ ir $M3$ (13.74 pav.). Gaminiai juda kryptimi $M3 \rightarrow M1$. Paleidžiant konvejerį reikia, kad pirma pradėtų judėti paskutinė konvejerio juosta ($M1$), po to – vidurinė ($M2$). Vėliausiai turi pajudėti pirmoji konvejerio juosta ($M3$). **Visų trijų variklių valdymo schemas yra vienodos, išskyrus tai, kad į antrojo kontaktoriaus $KM2$ ritės grandinę nuosekliai įjungti pirmojo kontaktoriaus $KM1$ sujungiamieji valdymo kontaktai, o į trečiojo $KM3$ ritės – antrojo sujungiamieji valdymo kontaktai $KM2$.**

Paleidžiant konvejerį, iš pradžių prie tinklo prijungiami automatiniai jungikliai $QF1$, $QF2$ ir $QF3$. Nei valdymo, nei jėgos grandinėmis srovė neteka. Paspaudus mygtuką $S2$, paveikia kontaktorius $KM1$, variklis $M1$ pradeda sukis, traukdamas paskutinę konvejerio juostą. Susijungęs kontaktoriaus $KM1$ kontaktas antrojo variklio valdymo grandinėje parengia ją darbui. Paspaudus mygtuką $S4$, paveikia kontaktorius $KM2$, variklis $M2$ pradeda traukti vidurinę juostą. Paspaudus $S6$, paveikia kontaktorius $KM3$, variklis $M3$ pradeda sukis. Juda visas konvejeris.

Jei darbo metu atsijungtų automatinis jungiklis $QF3$ arba šiluminė relė $KK5$ ar $KK6$ dėl perkrovos atjungtų konvejerio pradžios variklio $M3$ valdymo grandinę, nutrūktų srovė, tekanti kontaktoriaus $KM3$ rite. Konvejerio pra-



13.74 pav. Trijų nuoseklių konvejerio juostų variklių valdymo įtasis schema

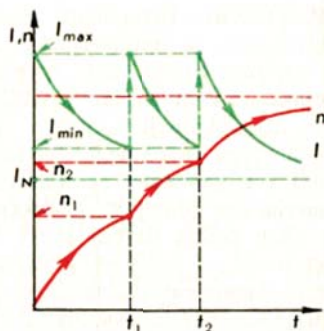
džios variklis sustotų, bet tolimesni – $M2$ ir $M1$ – dirbtų toliau. Jei apsauga atjungtų paskutinį konvejerio variklį $M1$, atsijungus kontaktoriaus $KM1$ ritės grandinei, atsijungtų jo kontaktai $KM1$. Jie nutrauktų antrojo kontaktoriaus $KM2$ ritės grandinę, o atsijungę pastarojo valdymo kontaktai $KM2$ atjungtų kontaktoriaus $KM3$ ritę. Visas konvejeris sustotų tam, kad sustojusi jo paskutinė juosta nebūtų užversta gaminiais.

13.8.5. Asinchroninio variklio su faziniu rotoriumi paleidimo įtaisais. Paleidžiant tokį variklį, šuoliškai mažinamos papildomų rotoriaus grandinės rezistorių varžos, todėl rotoriaus (ir statoriaus) apvijos srovė bei variklio sūkių dažnis dėsningai kinta. Paprastai rezistorių varžų pokyčiai apskaičiuojami taip, kad rotoriaus grandinės srovė kistų nuo tam tikros didžiausios I_{max} iki mažiausios vertės I_{min} (13.75 pav.). Priklausomai nuo to, koks variklio parametras yra kontroliuojamas, variklį galima paleisti pagal: a) srovę, b) sūkių dažnį arba c) laiką.

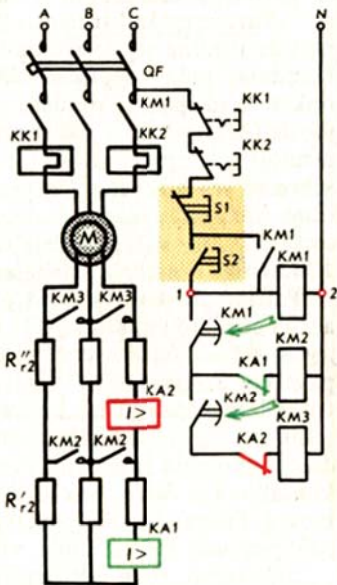
Paleidžiant variklį pagal srovę galima panaudoti, pavyzdžiui, schemą (13.76 pav.) su maksimaliosios srovės relėmis $KA1$ ir $KA2$ rotoriaus grandinėje. Norint paleisti variklį paspaudžiamas mygtukas $S2$, paveikia kontaktoriaus $KM1$. Jo jėgos kontaktai $KM1$ prijungia variklio statoriaus apviją prie tinklo. Rotoriaus grandine pradeda tekėti didelė srovė I_{max} . Dėl to paveikia maksimaliosios srovės relės $KA1$ ir $KA2$, kurių kontaktai $KA1$ ir $KA2$ valdymo grandinėje atsijungia.

Tuo pat metu susijungia ir kontaktoriaus valdymo kontaktas $KM1$, įjungtas lygiagrečiai mygtukui $S2$. Antrasis valdymo kontaktas $KM1$ susijungia tik su tam tikra delsa, kuri reikalinga, kad suspėtų paveikti ir atjungti kontaktus relės $KA1$ ir $KA2$. Toliau, kol rotoriaus grandine teka srovė, didesnė už I_{min} , relių $KA1$ ir $KA2$ kontaktai atjungti.

Kai rotoriaus grandinės srovė sumažėja iki vertės I_{min} , relės $KA1$ inkarėlis atšoka. Jos kontaktai $KA1$ susijungia, todėl pradeda tekėti srovė kontaktoriaus $KM2$ rite. (Susijungia ir relės $KA2$ kontaktai, bet kontaktoriaus $KM3$ rite srovė tekėti negali, nes atviri kontaktai $KM2$.) Jo jėgos kontaktai $KM2$ trumpai sujungia rotoriaus grandinės rezistorių R'_{2} kartu su relės $KA1$ rite. Rotoriaus grandinės srovė vėl padidėja iki I_{max} . Srovės relė vėl atjungia kontaktus $KA2$, neleidama paveikti kontaktoriui $KM3$. Antrojo kontaktoriaus valdymo kontaktai $KM2$ su delsa susijungia tik po to, kai relė $KA2$ savo kontaktus atjungia. Kai srovė rotoriaus grandinėje sumažėja iki vertės I_{min} , relės $KA2$ inkarėlis atšoka. Jos atjungiamieji kontaktai $KA2$ sujungia kontaktoriaus $KM3$ grandinę, kurio rite ima tekėti srovė.



13.75 pav. Asinchroninio variklio su faziniu rotoriumi rotoriaus grandinės srovė bei sūkių dažnis paleidimo metu



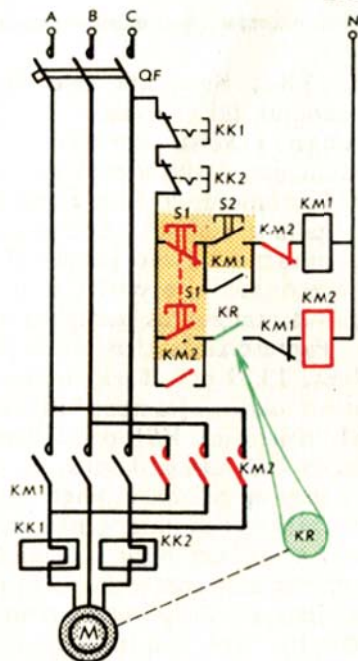
13.76 pav. Asinchroninio variklio paleidimo, valdant rotoriaus srovę, įtaiso schema

KM3 jėgos kontaktai trumpai sujungia visus rotoriaus grandinės rezistorius kartu su reliju **KA1** ir **KA2** ritėmis.

Paspaudus mygtuką **S1** arba paveikus apsaugai, nutraukiama visa valdymo grandinė, todėl visų kontaktorių ritėmis srovė nebeteka. Kontaktoriaus **KM1** jėgos kontaktai atjungia variklio statoriaus apviją nuo tinklo. Visa grandinė vėl sugrįžta į pradinę būseną.

Kai paleidimo metu kontroliuojamas sūkių dažnis, įtaso grandinė sudaroma su relėmis, reaguojančiomis į jo vertes n_1 ir n_2 .

Analogiškai kontroliuojant paleidimo srovę, sūkių dažnį arba laiką paleidžiami nuolatinės srovės varikliai.

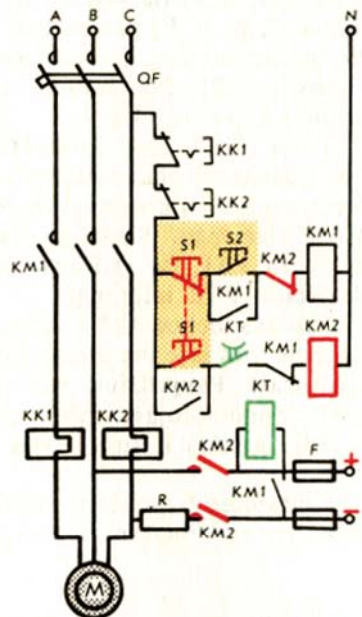


13.77 pav. Asinchroninio variklio paleidimo ir stabdymo priešiniu jungimu įtaso schema

13.8.6. Asinchroninio variklio stabdymo įtaisai. Norint stabdyti variklį, pavyzdžiui, priešiniu jungimu, galima pritaikyti įtaisą, kurio schema labai panaši į reversinio valdymo įtaso schemą (13.77 pav.). Čia panaudoti du kontaktoriai: **KM1**, veikiantis, kai variklis normaliai dirba, ir **KM2**, skirtas stabdymui, kuris prijungia variklio statoriaus apviją prie tinklo, sukeisdamas fazes (pavyzdžiui, **A** su **B**). Prie variklio veleno yra pritvirtinama greičio kontrolės relė **KR**, kurios kontaktai **KR** atsijungia, kai variklio velenas nebesisuka.

Variklis paleidžiamas įprastai, paspaudžiant paleidimo mygtuką **S2**. Stabdymui paspaudžiamas dvigubas mygtukas **S1**, kuriuo nutraukiama pirmojo **KM1** ir sujungiama antrojo **KM2** kontaktoriaus grandinė. Variklis stabdomas priešiniu jungimu tol, kol jo velenas nustoja sukstis ir atsijungia relės **KR** kontaktai, nutraukdami kontaktoriaus **KM2** grandinę.

Dinaminiam stabdymui asinchroninio variklio statoriaus apviją paprastai yra prijungiama prie nuolatinės įtampos šaltinio (13.78 pav.). Paspaudus paleidimo mygtuką **S2**, kontaktorius **KM1** prijungia variklį prie trifazio tinklo ir laiko relę **KT** prie nuolatinės įtampos šaltinio. Jos kontaktai **KT** susijungia. Paspaudus stabdymo mygtuką **S1**, nutraukiama kontaktoriaus **KM1** grandinė. Variklio statoriaus apvija atjungiamą nuo trifazio tinklo. Pirmojo kontaktoriaus atjungiamieji valdymo kontaktai **KM1** susijungia. Kadangi mygtukas **S1** yra dar nuspauštas, antrojo kontaktoriaus **KM2** rite pradeda tekėti srovė. Jo jėgos kontaktai **KM2** prijungia variklio statoriaus apviją dvi fazes kartu su papildomu rezistoriumi **R** prie nuolatinės įtampos. Pirmojo kontaktoriaus valdymo kontaktai **KM1** atjungia nuo šaltinio laiko relės **KT** ritę. Jos kontaktai **KT** atjungia kontaktoriaus **KM2** ritei srovę tik po tam tikro laiko. Tas laikas parenkamas toks, kad variklis sustotų.



13.78 pav. Asinchroninio variklio paleidimo ir dinaminio stabdymo įtaso schema

13.8.7. Samprata apie bekontaktį valdymą įtaisais. Bekontaktiai valdymo įtaisai kai kuriais atvejais gali sėkmingai pakeisti kontaktinius. Valdymo grandinėse yra naudojami **elektroniniai loginiai elementai** (žr. 7.9).

Panaudojus loginių elementų integrines mikroschemas, galima sudaryti kompaktiškus bekontaktius elektros pavarų valdymo įtaisus. Prijungus juos prie mikroprocesoriaus – operatyviai ir optimaliai valdyti lanksčios automatizuotos gamybos sistemas.

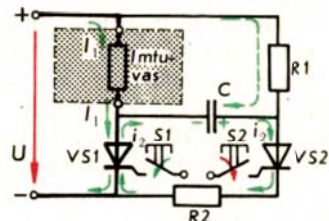
Paprasčiausia **tiristorinio kontaktoriaus** schema pavaizduota 13.79 pav. Tarkime, kad norime prijungti ir atjungti nuo nuolatinės įtamos šaltinio imtuvą. Paspaudus mygtuką $S1$, tiristoriui $VS1$ paduodamas valdymo signalas. Tiristorius $VS1$ tampa laidus, juo ir imtuvu teka srovė I_1 .

Imtuvą galima atjungti nuo tinklo tik tuo atveju, kai tiristorius $VS1$ tampa nelaidus. Tam reikia, kad jo srovė nors trumpam būtų sumažinta iki nulio. Tuo tikslu yra įjungtas kondensatorius C , kuris per rezistorių R_1 išsikrauna iki įtamos U (laidaus tiristoriaus $VS1$ varžos galime nepaisyti). Tam, kad tiristorius $VS1$ taptų nelaidus, reikia paspausti mygtuką $S2$. Tuomet tiristoriui $VS2$ paduodamas valdymo signalas, jis tampa laidus. Kondensatorius C išsikrauna per $VS2$, R_2 ir $VS1$. Teką išsikrovimo srovė $i_2(t)$, kuri yra priešingos srovei I_1 krypties. Tinkamai parinkus C , R_1 ir R_2 parametrus, galima pasiekti, kad reikiamu momentu būtų $i_2 = I_1$. Tuomet bendra srovė, tekanti per tiristorių $VS1$, lygi nuliui, ir tiristorius tampa nelaidus. Imtuvu srovė neteka.

Tokio tiristorinio kontaktoriaus schemą galima papildyti įvairiomis bekontaktėmis apsaugos priemonėmis (nuo perkrovų, trumpųjų jungimų ir kt.), sudarytomis iš elektronikos elementų. Kadangi visais atvejais reikia uždaryti tiristorių $VS1$, tai visi apsaugos elementai turi valdyti tiristoriaus $VS2$ laidumą.

Realus bekontaktis kontaktoriaus schema yra sudėtingesnė, nes joje yra elementai, susiję su kiekvieno imtuvo ypatumais. Pavyzdžiui, nuolatinės srovės variklio inkaro apvijoje indukuojama EVJ, kurios didumas priklauso nuo variklio greičio ir turi įtakos tiristoriaus $VS1$ darbo režimui.

Kintamosios srovės tiristoriniai paleidikliai bei kontaktoriai yra sudėtingesni, tačiau jų veikimo principas panašus.



13.79 pav. Tiristorinio paleidiklio elektrinė schema

Kontroliniai klausimai ir užduotys

- 13.1. Paaiškinkite, kas tai yra:
- elektros pavara;
 - elektros energijos keitiklis;
 - perdavimo, valdymo įtaisas;
 - darbo mašina;
 - pagrindinė, pagalbinė pavara;
 - grupinė, individualioji pavara;
 - susietoji, daugvariklė pavara;
 - nuolatinės srovės, asinchroninė, sinchroninė pavara;
 - izoliacijos klasė;
 - elektrinis stabdymas;
 - greičio reguliavimas;
 - impulsinė, tiristorinė, kaskadinė pavara;
 - elektrinis kontaktas;
 - komutacijos, apsaugos aparatas;
 - bekontaktis aparatas;
 - magnetinis paleidiklis.
- 13.2. Kokia bendra elektros pavaros struktūra? Kokia pavaros kiekvienos grandies paskirtis? Kas sudaro pavaros jėgos ir valdymo dalį?
- 13.3. Kas yra mechaninės charakteristikos kietumas ir santykinis kietumas? Paaiškinkite fizikinę prasmę.
- 13.4. Nubraižykite elektros variklių mechanines charakteristikas. Apibūdinkite jų kietumą.
- 13.5. Kokie yra darbo mašinų statiniai momentai? Paaiškinkite, kaip jie atsiranda, ir pateikite pavyzdžių.
- 13.6. Nubraižykite tipiškas darbo mašinų mechanines charakteristikas. Kokioms darbo mašinų grupėms jos būdingos? Pateikite pavyzdžių.
- 13.7. Užrašykite pavaros judėjimo lygtį. Kokie statiniai momentai laikomi teigiamais, o kokie – neigiamais?
- 13.8. Kada atsiranda dinaminis momentas? Kaip jis apskaičiuojamas? Kokioms sąlygoms esant pavara greitėja ir kokioms – lėtėja?
- 13.9. Kas yra redukuotasis momentas? Kodėl atliekant skaičiavimus darbo mašinos momentus reikia redukuoti?
- 13.10. Kaip galima nustatyti, kiek laiko trunka pavaros pereinamasis režimas? Kaip grafiškai sudaroma $n=f(t)$ kreivė?
- 13.11. Kokia pavaros savybė vadinama darbo stabilumu? Nubraižykite variklio ir darbo mašinos mechanines charakteristikas. Paaiškinkite, kaip pakitus sūkių dažniui kinta mechaniniai momentai, kai pavara dirba: a – stabiliai; b – nestabiliai. Užrašykite stabilaus darbo sąlygą.
- 13.12. Kodėl veikiantis variklis šyla? Kokia matematinė funkcija užrašoma variklio temperatūros kitimo kreivė? Nuo ko priklauso jo įšilimo sparta?
- 13.13. Kaip greičiau ataušta besiaušinantis variklis: atjungtas nuo tinklo ar paliktas kurį laiką sukty tuščiai? Kodėl?
- 13.14. Kodėl negalima leisti, kad variklis perkaistų? Nuo ko priklauso leistinai variklio temperatūra?
- 13.15. Kaip skirstomos izoliacinės medžiagos į klases? Kuo geresnis variklis, kurio izoliacinės medžiagos aukštesnės klasės?
- 13.16. Apibūdinkite variklio S1 darbo režimą. Kuo jis skiriasi nuo visų kitų režimų?
- 13.17. Apibūdinkite variklio S2 darbo režimą. Kokiam laikui variklis atjungiamas? Koks standartinis parametras nurodomas S2 režimo variklio pase kartu su vardine galia?

13.18. Apibūdinkite variklio S3 darbo režimą. Koks standartinis parametras nurodomas S3 režimo variklio pase kartu su vardine galia? Kuo skiriasi režimas S3 nuo S2?

13.19. Apibūdinkite variklio S4 darbo režimą. Kokie standartiniai parametrai nurodomi S4 režimo variklio pase kartu su vardine galia? Kaip jie apskaičiuojami?

13.20. Apibūdinkite variklio S5 darbo režimą. Kuo jis skiriasi nuo S4?

13.21. Apibūdinkite variklio S6 darbo režimą. Kuo jis skiriasi nuo S3?

13.22. Apibūdinkite variklio S7 darbo režimą. Kuo jis skiriasi nuo S5?

13.23. Apibūdinkite variklio S8 darbo režimą.

13.24. Paašškinkite variklio paso šitokius įrašus: $a - S4-40 \%$, 120 h^{-1} , FI 1,2; $b - S2-30 \text{ min}$; $c - S7-30 \text{ h}^{-1}$, FI 2,5; $d - S6-15 \%$.

13.25. Kiek metų turėtų tarnauti teisingai parinktas ir gerai eksploatuojamas variklis? Kodėl nedera naudoti nei per daug, nei per mažai galingą variklį?

13.26. Į kokius parametrus reikia atsižvelgti parenkant elektros pavaros variklį? Kaip ir kodėl?

13.27. Kokių atveju tikslinga naudoti šiuos variklius: $a -$ asinchroninį su trumpai sujungtu rotoriumi; $b -$ asinchroninį su faziniu rotoriumi; $c -$ sinchroninį; $d -$ nuolatinės srovės?

13.28. Kaip sudaroma variklio apkrovos diagrama $P=f(t)$? Ar galima sudaryti tikslią apkrovos diagramą variklio neparinkus? Kodėl? Kokia išeitis?

13.29. Kaip galima preliminariai parinkti S1 režimo variklį, kai apkrova: $a -$ ilgalaikė pastovi; $b -$ ilgalaikė nepastovi? Kuriuo atveju būtina tikrinti variklio įšilimą?

13.30. Kaip tikrinamas variklio įšilimas vidutinių nuostolių metodu? Kokia šio metodo esmė? Kokie jo privalumai ir trūkumai?

13.31. Kaip tikrinamas variklio įšilimas šiais metodais: $a -$ ekvivalentės srovės; $b -$ ekvivalentinio momento; $c -$ ekvivalentinės galios? Kokia kiekvieno iš jų esmė? Su kokiomis išlygomis galima naudotis kiekvienu iš šių metodų?

13.32. Ką reikia daryti, jei apskaičiuota ekvivalentinė srovė (momentas, galia) mažesnė, negu iš anksto parinkto variklio vardinė srovė (momentas, galia)?

13.33. Pagal kuriuos iš išvardytų ekvivalentinių dydžių galima variklį parinkti nerenkant jo preliminariai pagal vidutinę galią?

13.34. Kaip tikrinami varikliai perkrovai ir paleidimui?

13.35. Kaip parinkti trumpalaikio S2 režimo variklį?

13.36. Kaip parinkti trumpalaikio kartotinio S3 režimo variklį? Kaip perskaičiuoti variklio ekvivalentinę galią, kai tikroji įjungimo trukmė kitokia nei standartinė?

13.37. Kaip iš variklio elektromagnetinio momento ir rotoriaus sukimosi krypties galima spręsti, kad pavara stabdoma? Kokie atvejai gali būti ir kaip koordinacių (M ; n) sistemoje braižomos variklio charakteristikos?

13.38. Kokie reiškiniai vyksta, kai pavara stabdoma šiais būdais: $a -$ priešinio jungimo; $b -$ dinaminio; $c -$ generatorinio? Kuo geras ir kuo blogas kiekvienas iš šių būdų?

13.39. Kaip stabdoma nuolatinės srovės pavara: $a -$ įjungus papildomą rezistorių į inkaro grandinę; $b -$ pakeitus inkaro apvijos įtampos poliarumą; $c -$ prijungus inkaro apviją prie rezistoriaus; $d -$ sukant inkarą greičiu, didesniu kaip tuščiosios eigos? Nubraižykite variklio elektrines schemas bei mechanines charakteristikas ir paašškinkite.

13.40. Kaip stabdoma asinchroninė pavara: $a -$ pakeitus statoriaus apvijos fazių seką; $b -$ padidinus rotoriaus grandinės varžą;

c – prijungus statoriaus apviją prie nuolatinės įtampos arba *d* – kondensatorių? Nubraižykite variklio elektrines schemas bei mechanines charakteristikas ir paaiškinkite.

13.41. Kaip reversuojama: *a* – nuolatinės srovės pavara; *b* – asinchroninė pavara?

13.42. Kas vadinama pavaros greičio reguliavimu? Kada reikia greitį reguliuoti?

13.43. Kokie svarbiausi greičio reguliavimo rodikliai?

13.44. Kaip reguliuojamas nuolatinės srovės pavaros greitis keičiant variklio: *a* – inkaro grandinės varžą; *b* – žadinimo srautą; *c* – inkaro apvijos įtampą? Nubraižykite elektrines schemas bei pavaros mechanines charakteristikas ir paaiškinkite.

13.45. Kaip reguliuojamas asinchroninės pavaros greitis keičiant: *a* – variklio polių porų skaičių; *b* – šaltinio įtampos dažnį; *c* – variklio rotoriaus grandinės varžą? Nubraižykite elektrines schemas bei pavaros mechanines charakteristikas ir paaiškinkite.

13.46. Kaip reguliuojamas impulsinės nuolatinės srovės pavaros greitis, keičiant variklio inkaro: *a* – grandinės varžą; *b* – apvijos įtampą? Nubraižykite elektrinę schemą bei pavaros mechanines charakteristikas ir paaiškinkite.

13.47. Kaip reguliuojamas impulsinės asinchroninės pavaros greitis? Nubraižykite elektrinę schemą bei pavaros mechanines charakteristikas ir paaiškinkite.

13.48. Kaip reguliuojamas kaskadinės asinchroninės pavaros greitis? Nubraižykite elektrinę schemą bei pavaros mechanines charakteristikas ir paaiškinkite.

13.49. Kodėl šyla elektrinių aparatų kontaktai, kai jais teka srovė? Ar jiems tai kenkia? Kodėl? Kaip mažinama kontaktų varža?

13.50. Kodėl kibirkščiuoja elektrinių aparatų kontaktai? Ar jiems tai kenkia? Kaip gesinamas elektros lankas?

13.51. Kokie yra rankiniai komutacijos aparatai? Kas jiems bendra ir kuo jie skiriasi?

13.52. Kas yra herkonas ir kokia gali būti jo sandara?

13.53. Kaip veikia elektromagnetiniai komutacijos aparatai? Kuo panašūs ir kuo skirtingi relė ir kontaktorius?

13.54. Kam reikalingi apsaugos aparatai? Kaip ir nuo kokio pavojingo režimo apsaugo: *a* – lydysis saugiklis; *b* – maksimaliosios srovės relė; *c* – šiluminė relė; *d* – automatinis jungiklis?

13.55. Iš ko sudarytas, kokias funkcijas atlieka ir kaip veikia magnetinis paleidiklis? Kuri grandinė vadinama jėgos, o kuri – valdymo? Kodėl pakanka dviejų šiluminių relijų?

13.56. Kaip reikia sujungti paleidimo ir stabdymo mygtukus, jei norime variklį valdyti iš keleto vietų? Kurie jungiami lygiagrečiai, o kurie – nuosekliai? Kodėl?

13.57. Kaip veikia asinchroninio variklio reversavimo įtaisas? Kodėl negalima, kad abu kontaktoriai veiktų vienu metu? Kokie elementai apsaugo grandinę nuo tokio pavojingo režimo ir kaip?

13.58. Kaip veikia trijų asinchroninių variklių nuosekliojo paleidimo įtaisas? Kokių elementų dėka ir kaip varikliai paleidžiami ir atjungiami reikiama seka?

13.59. Kaip kinta asinchroninio variklio paleidimo srovė keičiant rotoriaus grandinės varžą?

13.60. Kokie elementai ir kaip paleidimo metu kontroliuoja asinchroninio variklio rotoriaus grandinės srovę? Kaip jėgos grandinėje mažinama rotoriaus grandinės varža?

13.61. Kaip veikia asinchroninio variklio dinaminio stabdymo įtaisas? Kokie elementai leidžia prijungti variklį prie nuolatinės įtampos tik po to, kai jis atjungiamas nuo trifazio tinklo? Kas atjungia variklį nuo nuolatinės srovės šaltinio, kai jis sustoja?