

ELEKTRISKĀ PIEDZIŅA

Elektriskā piedziņa ir mācība par
elektrisko motoru racionālu
izmantošanu tautsaimniecībā

SATURS

IEVADS. ELEKTRISKĀS PIEDZIŅAS JĒDZIENS

ELEKTRISKĀS PIEDZIŅAS ATTĪSTĪBAS VĒSTURE

ELEKTRISKĀS PIEDZIŅAS MEHĀNIKA

ELEKTRISKĀS PIEDZIŅAS MEHĀNISKĀS RAKSTURLĪKNES UN DARBA REŽĪMI

ELEKTRISKĀS PIEDZIŅAS GRIEŠANĀS FREKVENCES REGULĒŠANA

ELEKTRISKĀS PIEDZIŅAS PĀREJAS PROCESI

ELEKTRISKĀS PIEDZIŅAS ENERĢĒTIKA

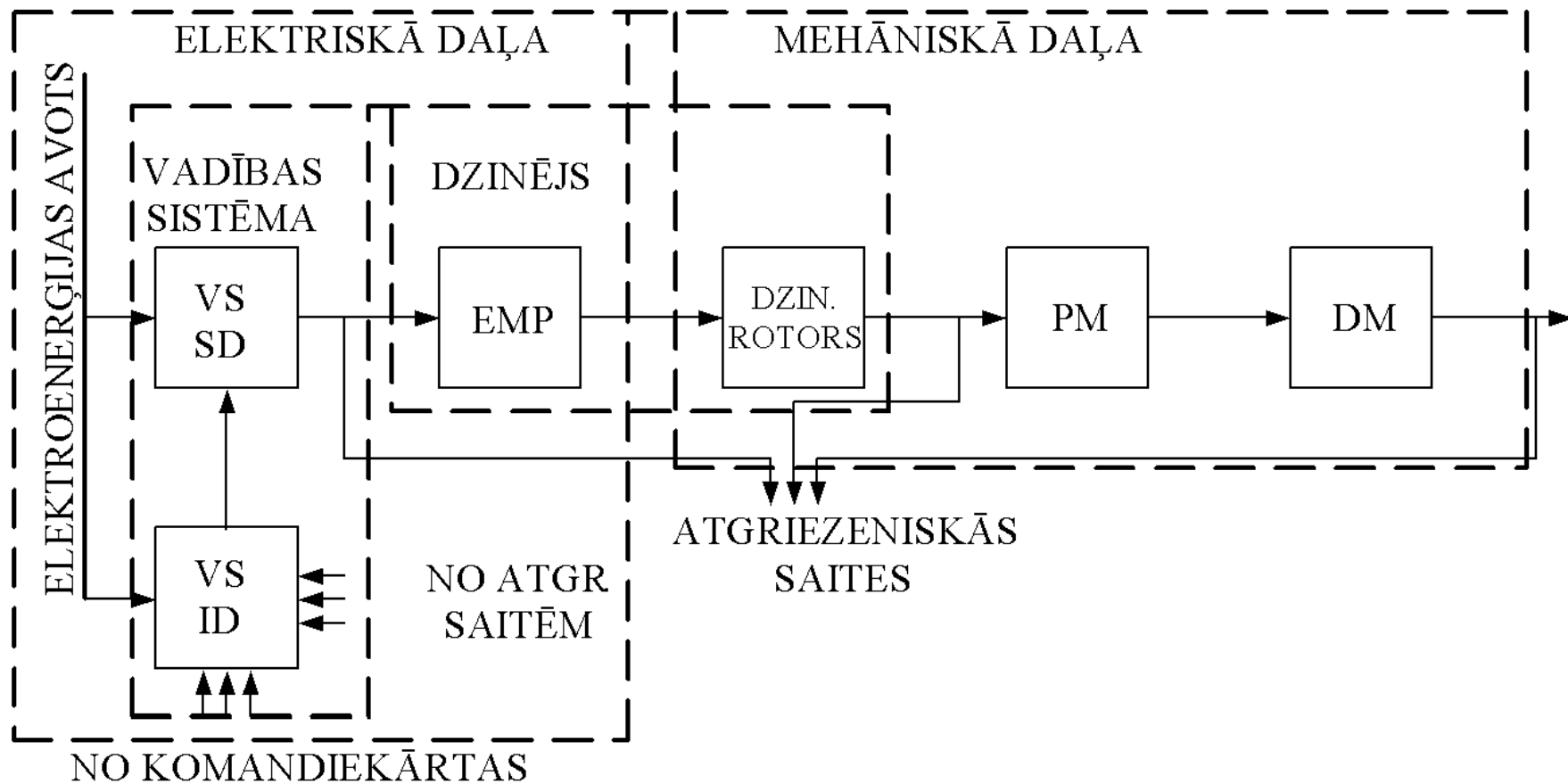
ELEKTRISKĀS PIEDZIŅAS DZINĒJU IZVĒLE

IZMANTOJAMĀ LITERATŪRA

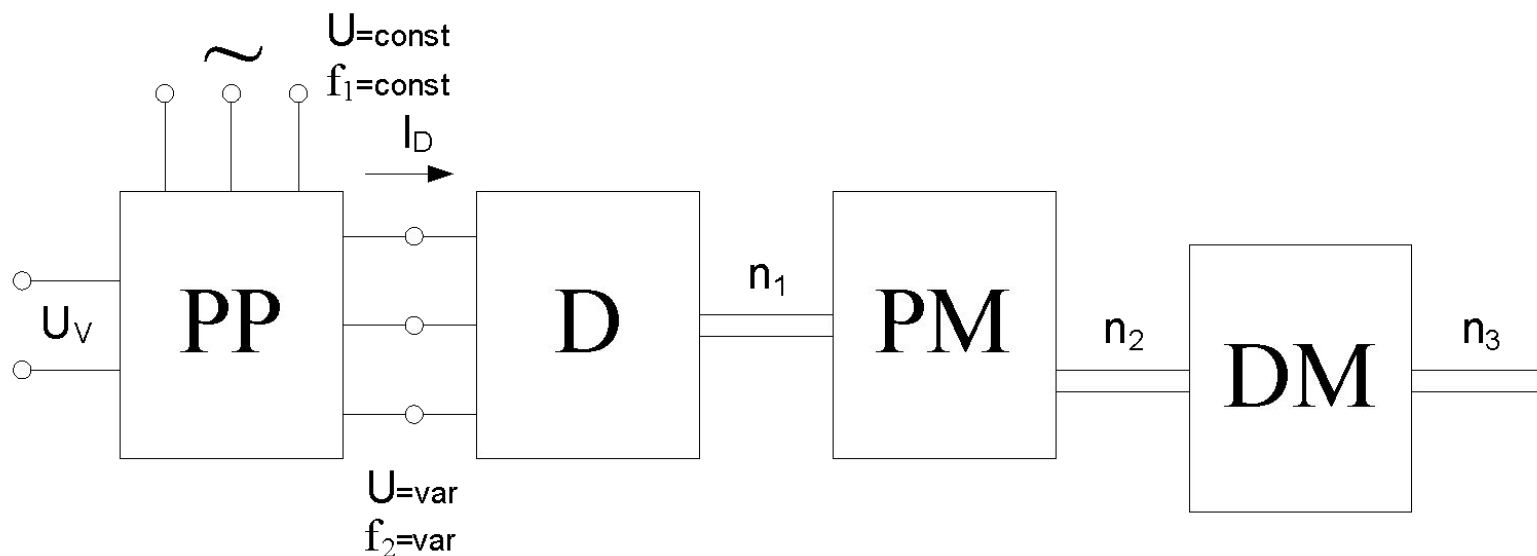
- Ribickis L., Valeinis J. Elektriskā piedziņa mehatronikas sistēmās. – Rīga: RTU, 2008. – 286 lpp.
- Ribickis L. Elektriskās mašīnas un elektriskā piedziņa XIX gadsimtā. – Rīga: RTU, 2008. – 199 lpp.
- Ribickis L., Stankevičs I. Automātiskā elektriskā piedziņa. – Rīga: RPI, 1988. – 87 lpp.
- Ribickis L. Automātiskā elektriskā piedziņa. Pārejas procesi. Dzinēju izvēle. 2.d. – Rīga: RPI, 1984. – 69 lpp.
- Ribickis L., Raņķis I. Electrical Drives. – Rīga: RTU, 1996. – 108 p.
- Cūbergs I. Regulējama automātiskā elektriskā piedziņa. – Rīga: Junda, 1998. – 70 lpp.
- Baumanis V. Elektriskās piedziņas teorija. 1.d. – Rīga: RPI, 1975. – 213 lpp.
- Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. – М. : Энергоиздат, 1971. -576 с.
- Mohan N. Electric Drives. An Integrative Approach. – Minneapolis: MNPERE, 2000. – 500 p.
- Leonhard W. Control of Electrical Drives. – Berlin: Springer, 2001, 460 p.

Definīcija:

Elektriskā piedziņa pārveido elektrisko enerģiju mehāniskajā un nodrošina ražošanas iekārtas vadību ar elektrību.



Elektriskās piedziņas struktūrshēma.



Regulējamas maiņstrāvas piedziņas struktūrshēma:

PP – vadāms spēka elektronikas pārveidotājs,

D – dzinējs jeb elektromehāniskais pārveidotājs,

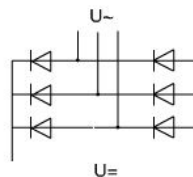
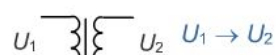
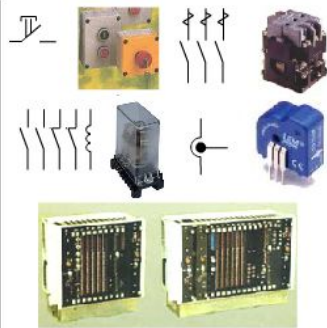
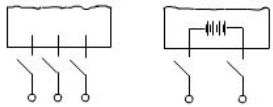
PM - pārvades mehānisms vai reduktors un DM – darba mašīna.

U_v – vadības spriegums, U_1 un U_2 – ieejas un izejas spriegumi,

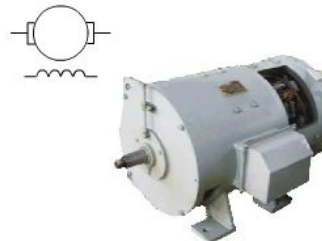
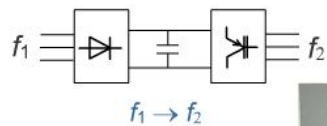
f_1 un f_2 – ieejas un izejas frekvences,

I_D – dzinēju strāva, n_1 – dzinēja griešanās frekvence, n_2 – reduktora izejas griešanās frekvence, n_3 – darba mašīnas izejas griešanās frekvence.

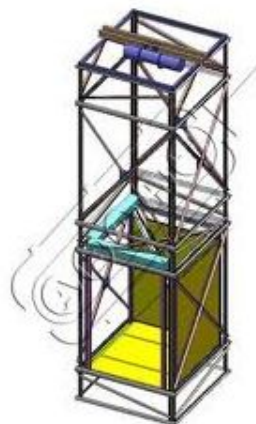
Elektriskās piedziņas sastāvs



$U_{-} \rightarrow U_{=}$ (var)



Elektriskās piedziņas sastāvs



Elektriskās piedziņas darbības varianti

Elektroenerģija \rightarrow mehāniskā (motors = dzinējs)

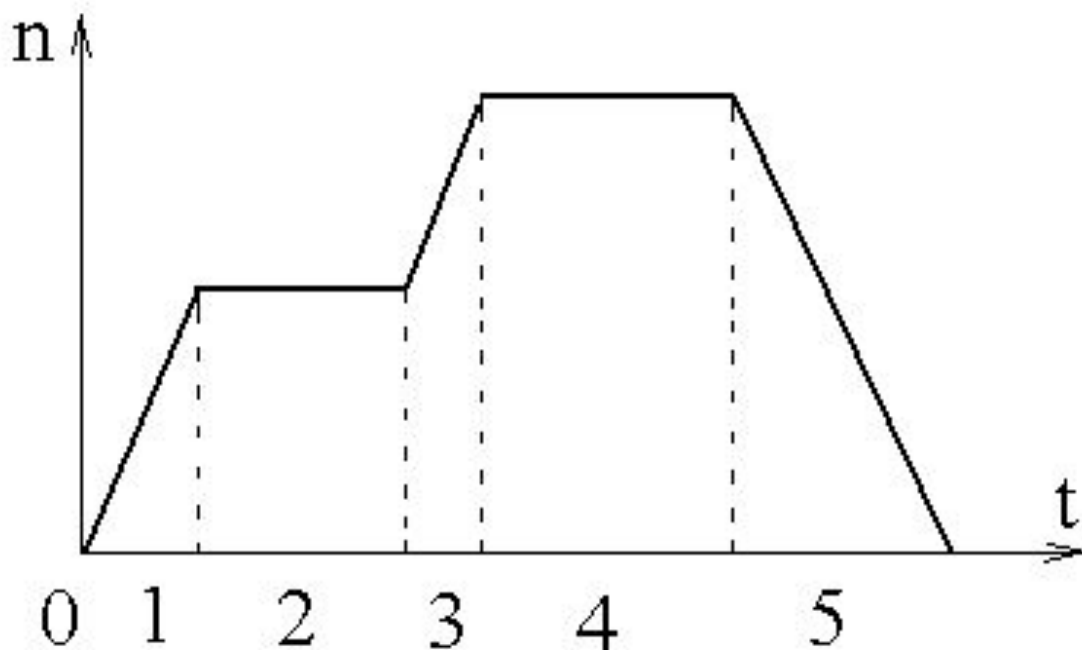
Mehāniskā \rightarrow elektriskā (motors = ģenerators)

$0 < n < n_{\max} \rightarrow$ nereversīvā piedziņa

$-n_{\max} < n < n_{\max} \rightarrow$ reversīvā piedziņa

Elektriskās piedziņas darbības varianti

Nereversīvā piedziņa



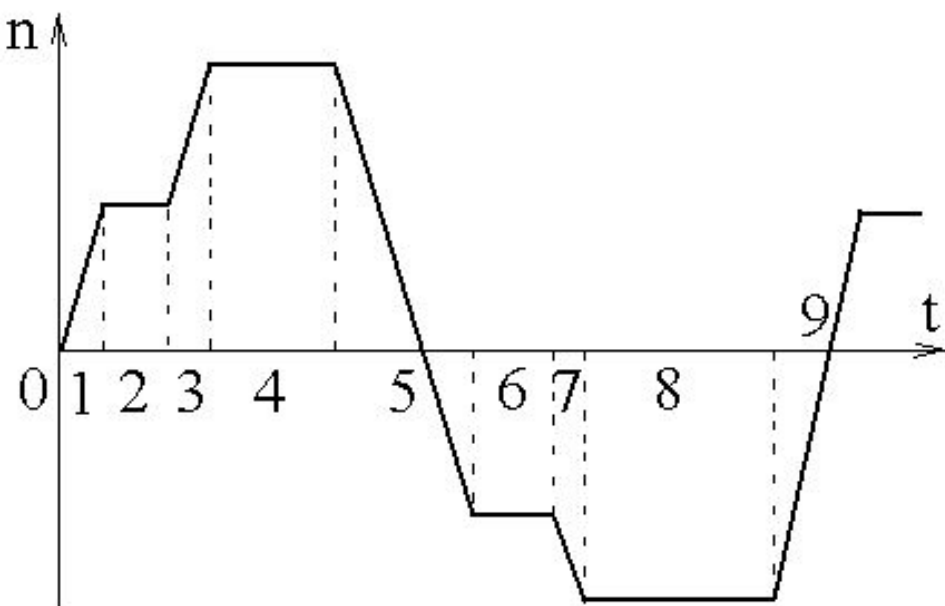
1 $\frac{dn}{dt} > 0$ paātrināšana
3

2 $\frac{dn}{dt} = 0$ stacionārā
4 darbība

5 $\frac{dn}{dt} < 0$ bremzēšana

Elektriskās piedziņas darbības varianti

Reversīvā piedziņa



1,3, $\frac{dn}{dt} > 0$ paātrināšana
7

2,4, $\frac{dn}{dt} = 0$ stacionārā
6,8 darbība

5,9 $\frac{dn}{dt} < 0$ reversēšana =
bremzēšana
+
palaišana pretējā
virzienā

Nominālie lielumi

Nominālā jauda uz vārpstas P_N W; kW

Nominālais rotācijas ātrums n_N 1/min

Nominālais moments M_N Nm

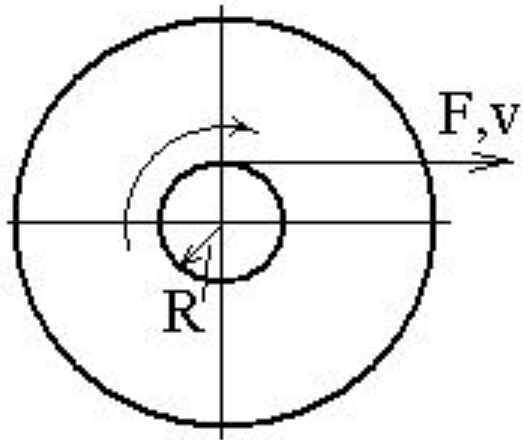
Nominālā strāva I_N A

Nominālais lietderības koeficients η_N

no tīkla patērētā jauda P_1 W; kW

zudumi motorā $\Delta P_N = P_N \left(\frac{1 - \eta_N}{\eta_N} \right)$
W; kW

Elektriskās piedziņas mehānika



$$M_{dz} = F * R \quad [\text{Nm}]$$

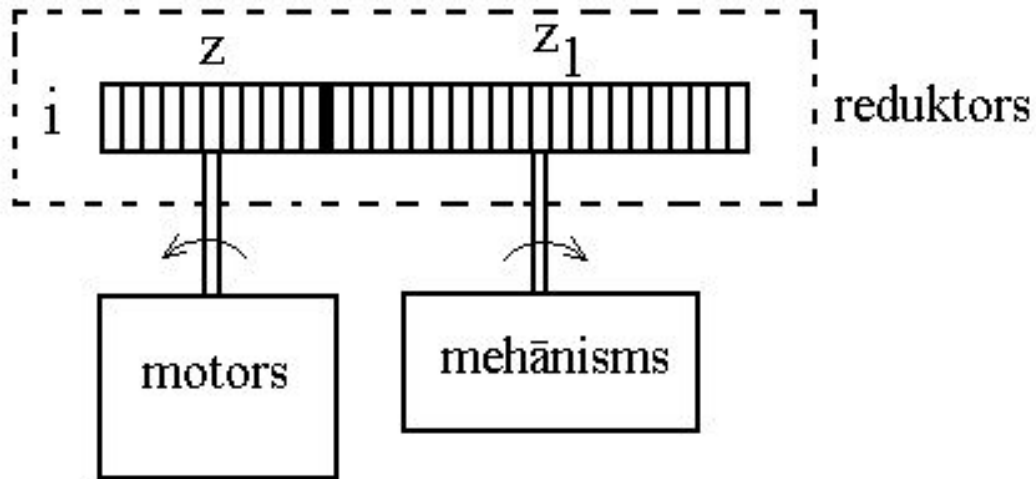
$$\omega = \frac{2\pi * n}{60} \quad [\text{rad/s}]$$

$$v = \omega * R \quad [\text{m/s}]$$

$$P_{dz} = M_{dz} * \omega \quad [\text{rot.W}]$$

$$P = F * v \quad [\text{lin.W}]$$

Pārveidošana mehāniskā kustībā



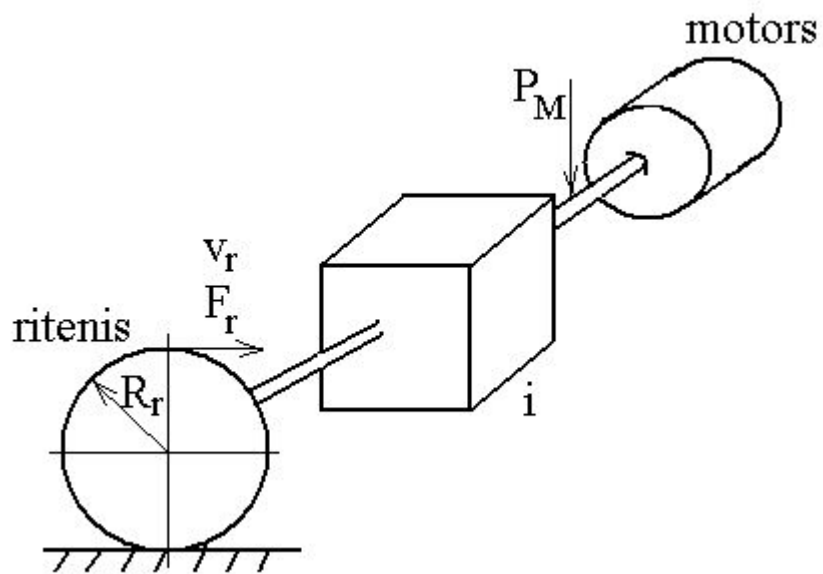
$$i = \frac{n_{dz}}{n_{meh}} = \frac{z_1}{z}$$

$$\eta_{red} < 1$$

$$P_{meh} = P_{dz} * \eta$$

$$M_{meh} = \eta M_{dz} * i$$

Pārveidošana mehāniskā kustībā



$$P_r = \eta_{red} P_{dz}$$

$$F_r = \frac{M_{red}}{R_r} = \frac{\eta_{red} M_{dz} i}{R_r}$$

$$v_r = \omega * R_r = \frac{2\pi n_{meh}}{60} R_r$$

$$n_{meh} = \frac{n_{dz}}{i}$$

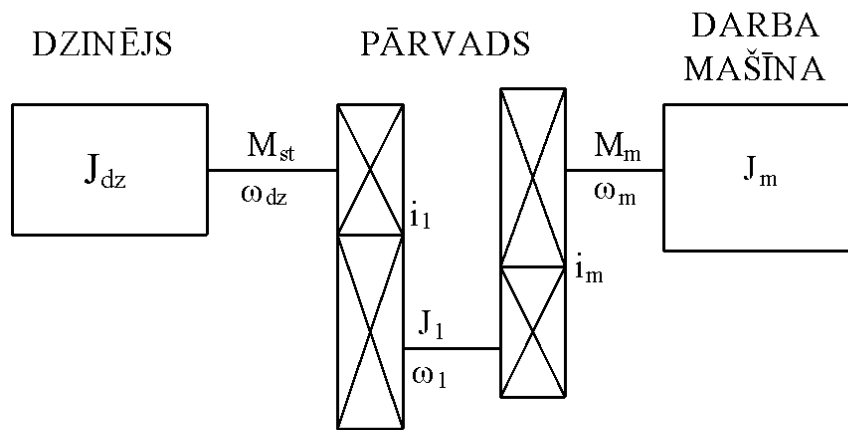
$$P_{dz} = \frac{F_r v_r}{\eta_{red}}$$

$$n_{dz} \leq n_{max} (4000 \text{ min}^{-1})$$

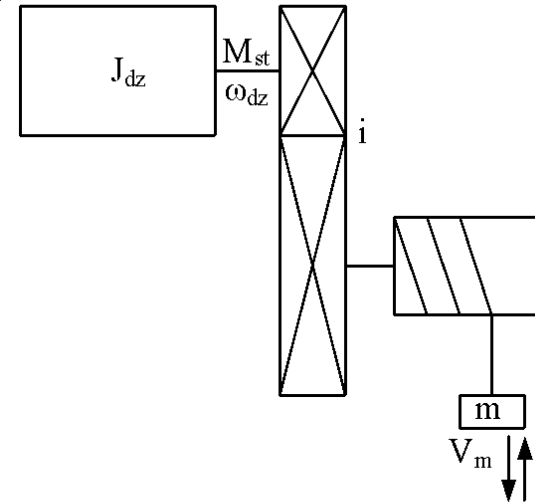
MOMENTU REDUCĒŠANA

Reducētai un reālai sistēmai jābūt ar vienām un tām pašām kinemātiskām un dinamiskām īpašībām.

a)



b)



Piedziņas kinemātiskās shēmas momentu reducēšanai:

a – griezes kustībai; b – virzes kustībai

Momentu reducēšana griezes kustības gadījumā pamatojas uz reālās un reducētās jaudas vienādību:

$$M_{st} \omega_{dz} \eta = M_m \omega_m,$$

kur M_{st} - darba mašīnas statiskais moments, kas reducēts uz dzinēja vārpstas;

M_m - darba mašīnas statiskais moments uz savas vārpstas;

ω_{dz} , ω_m - attiecīgi dzinēja un darba mašīnas vārpstu leņķiskie ātrumi;

η - pārvada lietderības koeficients.

$$M_{st} = M_m \frac{\omega_m}{\omega_{dz} \eta} = M_m \frac{1}{i \eta},$$

kur $i = \omega_{dz} / \omega_m$ - pārvada pārnesuma skaitlis.

Reducēšanas izteiksme vairāku pārvada elementu gadījumā ir

$$M_{st} = M_m \frac{1}{i_1 \cdot i_2 \dots i_m \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \dots \eta_m}.$$

Inerces momentu reducēšana uz dzinēja vārpstas pamatojas uz to, ka reducētās un reālās sistēmas kinētiskajām enerģijām ir jābūt vienādām:

$$\frac{J_{red} \omega_{dz}^2}{2} = \frac{J_{dz} \omega_{dz}^2}{2} + \frac{J_1 \omega_1^2}{2} + \dots + \frac{J_m \omega_m^2}{2},$$

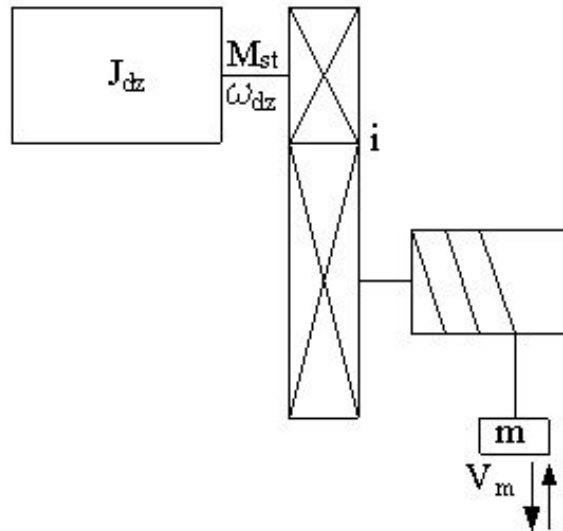
kur J_{red} - uz dzinēja vārpstas reducētais sistēmas kopējais inerces moments;
 J_{dz} , J_1 , J_m - attiecīgo piedziņas elementu inerces momenti.

$$J_{red} = J_{dz} + J_1 \left(\frac{\omega_1}{\omega_{dz}} \right)^2 + \dots + J_m \left(\frac{\omega_m}{\omega_{dz}} \right)^2,$$

vai

$$J_{red} = J_{dz} + J_1 \frac{1}{i_1^2} + \dots + J_m \frac{1}{i_m^2}.$$

Virzes kustības spēka reducēšana uz dzinēja vārpstas, ja piedziņas darba mašīna veic darbu virzes kustībā vai paceļ un nolaiž kravu.



$$M_{st} \omega_{dz} \eta = F_m v_m$$

$$M_{st} = \frac{F_m v_m}{\omega_{dz} \eta} = \frac{mgR}{\eta}$$

Inerces momentu reducēšanu no virzes kustībā esošas masas uz dzinēja vārpstu veic pēc izteiksmes:

$$J_{red} = J + \frac{mv_m^2}{\omega_{dz}^2}$$

Kustības vienādojums

$$M_{dz} - M_{st} = M_{din} = J \frac{d\omega}{dt}$$

M_{dz} – motora moments, Nm

M_{st} – statiskais pretestības moments, Nm

M_{din} – dinamiskais moments, Nm

J – inerces moments, $\text{kg}\cdot\text{m}^2$

$d\omega/dt$ – leņķiskais paātrinājums, $1/\text{s}^2$

$$J = m_{rot} * R_{rot}^2$$

M_{rot} – rotora masa, kg; R_{rot} – rotora radius, m

Aprēķinos bieži inerces momenta vietā lieto spara momentu

$$GD^2 = 4gJ, [Nm^2],$$

kur g - brīvās krišanas paātrinājums.

Tad griezes kustības vienādojumu var uzrakstīt šādi:

$$M_{dz} - M_{st} = M_{din} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt},$$

kur n - griešanās frekvence, apgr./min.

Kustības vienādojuma analīze rāda, ka iespējami trīs gadījumi:

a) $M_{dz} > M_{st}$ - dzinējs paātrinās,

b) $M_{dz} = M_{st}$ - vienmērīga kustība,

c) $M_{dz} < M_{st}$ - dzinējs palēninās.

Ja moments jeb spēks veicina kustību pieņemtajā pozitīvajā virzienā, tad šādu momentu jeb spēku pieņem par pozitīvu, ja pretojas, tad par negatīvu.

Elektriskās piedziņas kursā izmanto šādu sakarību starp momentu un jaudu:

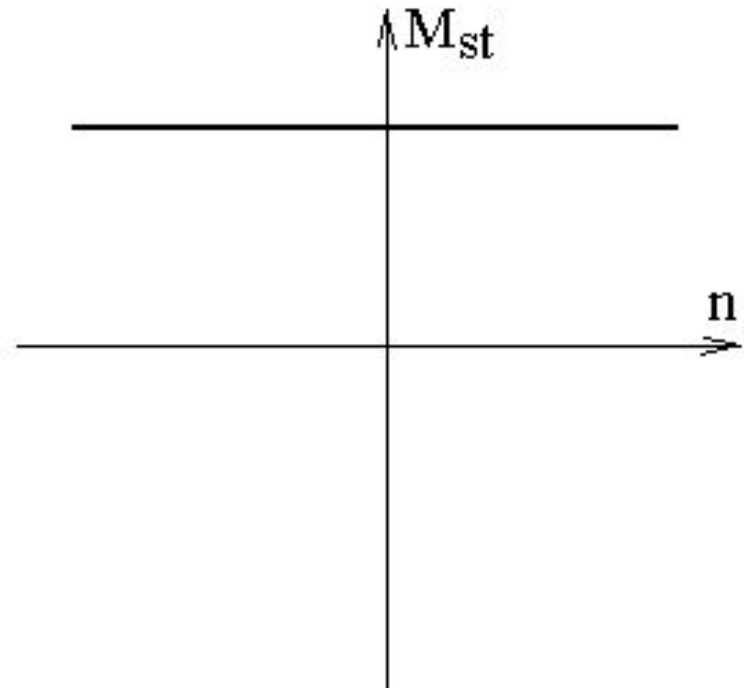
$$M = 9550 \frac{P}{n},$$

kur P - dzinēja jauda, kW.

Pretestības moments

1 – aktīvais

- ceļamās ietaises



Pretestības moments

2 – reaktīvais

$$M_{st}^* = M_0^* + (M_b^* - M_0^*) \left(\frac{n}{n_N} \right)^a$$

$$M_0^* = M_0^* / M_N$$

- statistiskā momenta daļa, kas nav atkarīga no griešanās frekvences;

$$M_b^* = M_b / M_N$$

- statistiskā momenta daļa, kas atkarīga no griešanās frekvences;

$$M_N$$

- nominālais darba mašīnas statistiskais moments;

$$n$$

- darba mašīnas griešanās frekvence;

$$n_N$$

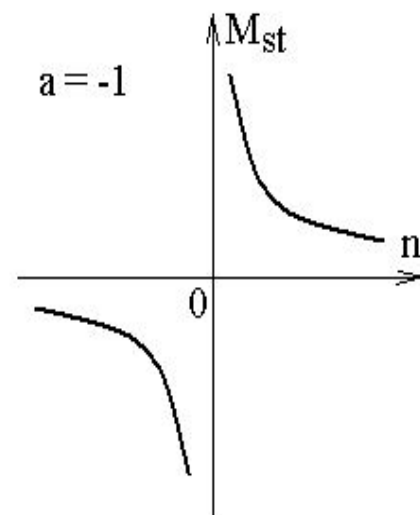
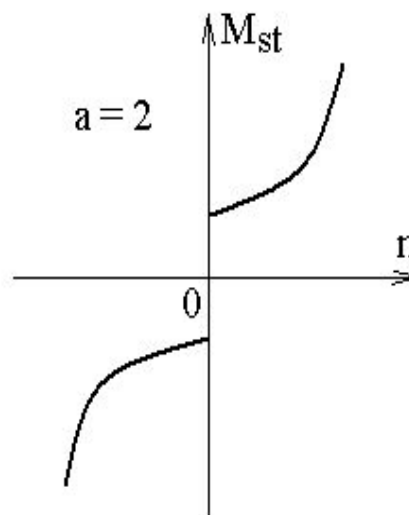
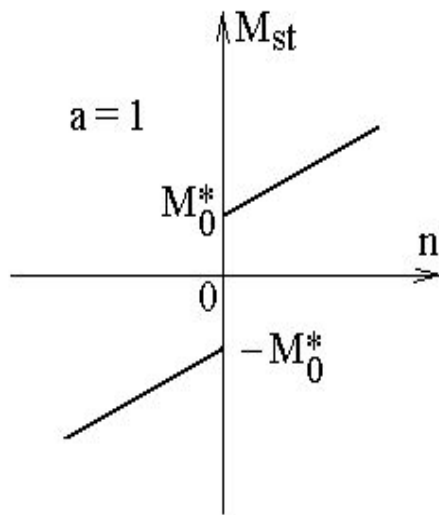
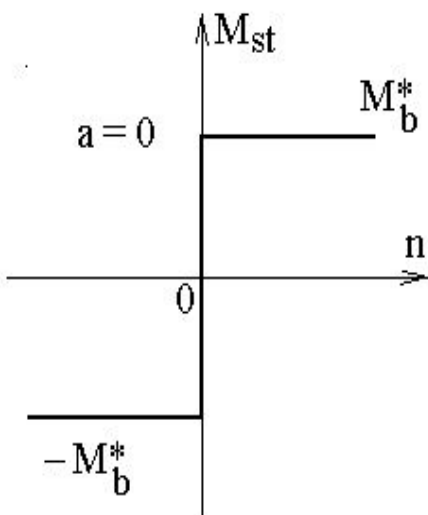
- nominālā griešanās frekvence;

$$a$$

- pakāpes rādītājs

Pretestības moments

2 – reaktīvais



$a = 0, M_{st} = \text{const}$

- transportieri ar nemainīgu kravu
- daži metālapstrādes darbagaldi

$a = 1, M_{st} \equiv n$

- ģenerators, kas baro patērētāju ar nemainīgu pretestību
- transporta mašīnas

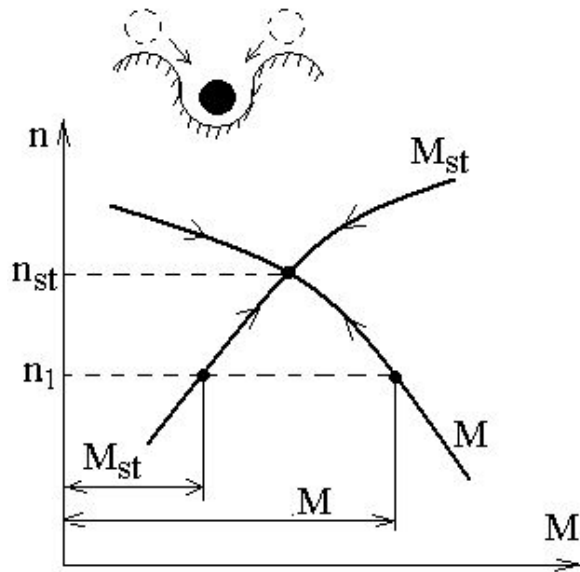
$a = 2, M_{st} \equiv n^2$

- ventilatori
- kompresori
- sūkņi

$a = -1, M_{st} \equiv 1/n$

- metālapstrādes darba mašīnas

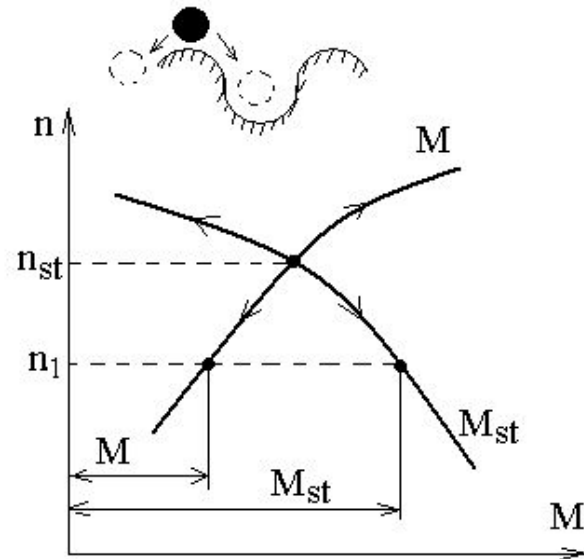
Piedziņas darbības stabilitāte



$$n < n_{st}$$

$$M - M_{st} = J \frac{d\omega}{dt} > 0$$

Stabila piedziņas darbība

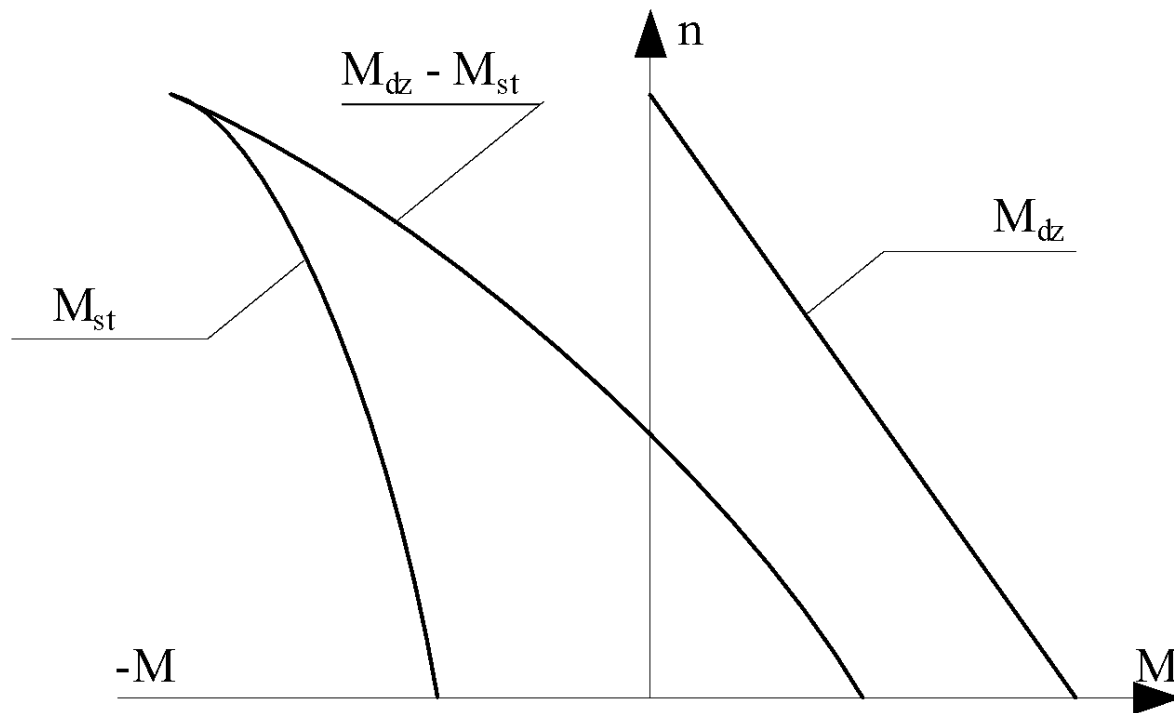


$$n < n_{st}$$

$$M - M_{st} = J \frac{d\omega}{dt} < 0$$

Nestabila piedziņas darbība

Elektriskās piedziņas nostabilizējušos režīmu raksturo līdzsvars starp darba mašīnas pretestības momentu un dzinēja griezes momentu pie noteiktas griešanās frekvences $M_{dz} - M_{st} = 0$.

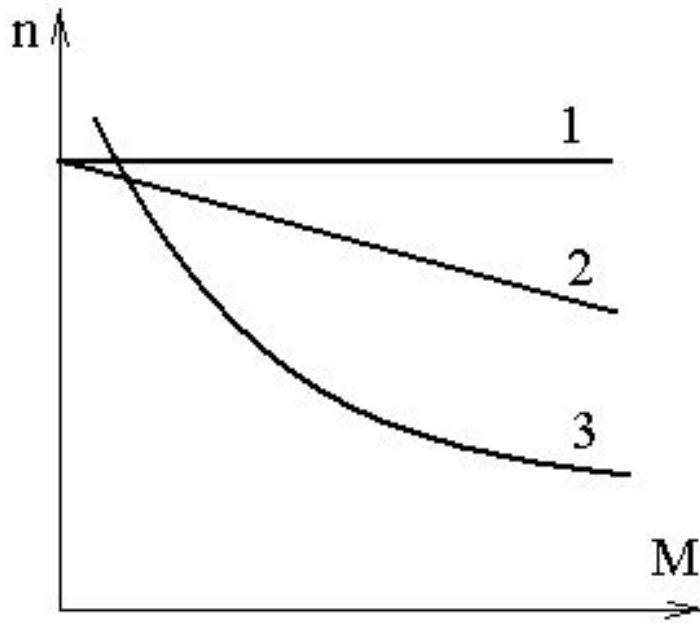


Piedziņas dzinēja, darba mašīnas un dinamiskā momenta raksturlīkne

Elektriskiem dzinējiem izšķir dabisko un mākslīgo mehānisko raksturlīkni.

Par dabisko dzinēja mehānisko raksturlīkni sauc $n = f(M)$ vai $\omega = f(M)$ grafisko attēlu, kas ir dzinējam ar normālu slēguma shēmu un nomināliem barošanas avota parametriem.

Dzinēju mehāniskās raksturlīknes



1 – absolūti cieta

2 – cieta

3 - mīksta

Vēl elektrisko dzinēju raksturlīknes raksturo pēc kritērija, ko sauc par cietību jeb stingumu:

$$tg \beta = \left| \frac{dM}{dn} \right|.$$

Raksturlīknes cietība nosaka dzinēja griešanās frekvences izmaiņu atkarībā no slodzes maiņas.

Jo mazāk izmainās griešanās frekvence, mainoties slodzes momentam, jo stabilāks piedziņas darbs un lielāka cietība.

Visu elektrisko dzinēju mehāniskās raksturlīknes iedala trijās grupās:

1. **Raksturlīkne ir absolūti cieta, ja griešanās frekvence $n = \text{const}$.** Tāda mehāniskā raksturlīkne ir sinhronam dzinējam stabilā darba režīmā.
2. **Raksturlīkne ir cieta, ja griešanās frekvence samērā maz izmainās, mainot slodzi.** Tādas mehāniskās raksturlīknes ir neatkarīgās ierosmes līdzstrāvas dzinējam un asinhronajam dzinējam nominālās slodzes robežās.
3. **Raksturlīkne ir mīksta, ja griešanās frekvence strauji mainās atkarībā no slodzes.** Tāda raksturlīkne ir līdzstrāvas virknes ierosmes dzinējam.

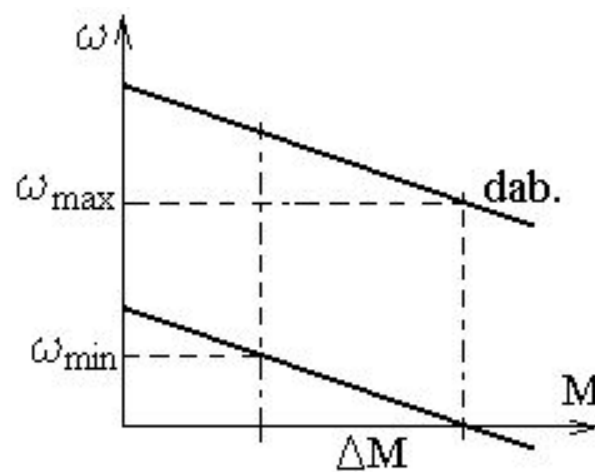
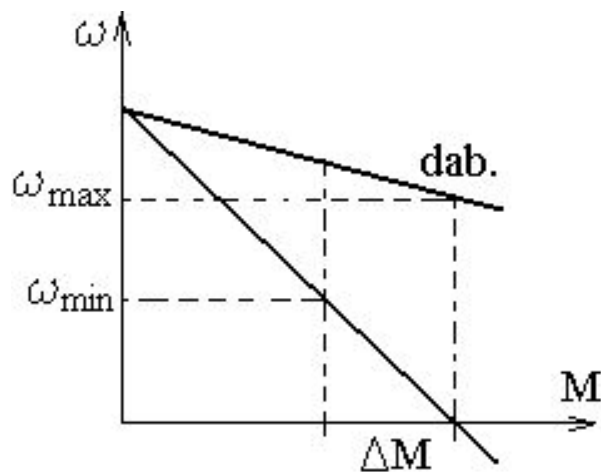
Griešanās frekvences regulēšanu raksturo rādītāji:

1. Regulēšanas diapazons
2. Regulēšanas vienmērīgums
3. Regulēšanas ekonomiskums
4. Griešanās frekvences stabilitāte
5. Regulēšanas virziens
6. Pieļaujamā dzinēja slodze

1. Regulēšanas diapazons ir maksimālās un minimālās griešanās frekvences vai leņķiskā ātruma attiecība pie noteiktas regulēšanas precizitātes:

$$D = n_{max} : n_{min} = \omega_{max} : \omega_{min}$$

Piemēram, 2:1, 10:1, 100:1 utt.



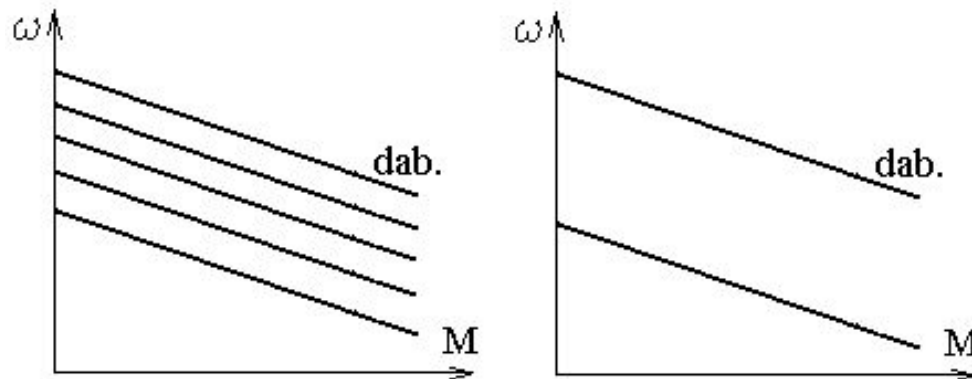
2. **Regulēšanas vienmērīgumu** raksturo griešanās frekvences lēciens no esošā ātruma uz nākošo tuvāko.

To var novērtēt ar plūstamības koeficientu:

$$\varphi_{pl} = \frac{n_i}{n_{i-1}}$$

kur n_i un n_{i-1} – griešanās frekvences attiecīgi uz i -tās un $(i-1)$ – tās pakāpes.

Pie plūstošas regulēšanas $\varphi_{pl} \rightarrow 1$.



3. Regulēšanas ekonomiskumu raksturo regulējamās piedziņas uzstādīšanas un ekspluatācijas izdevumi.

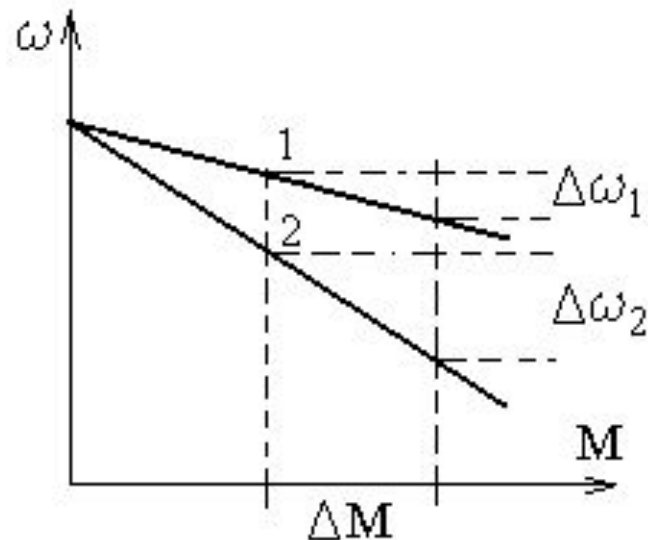
Regulējamās piedziņas jaudas koeficients $\cos\varphi$ ir nozīmīgs ekonomisks rādītājs.

Tas norāda uz iekārtas reaktīvās enerģijas patēriņu. Vairumam dzinēju $\cos\varphi_{\text{NOM}} = 0,8 - 0,9$.

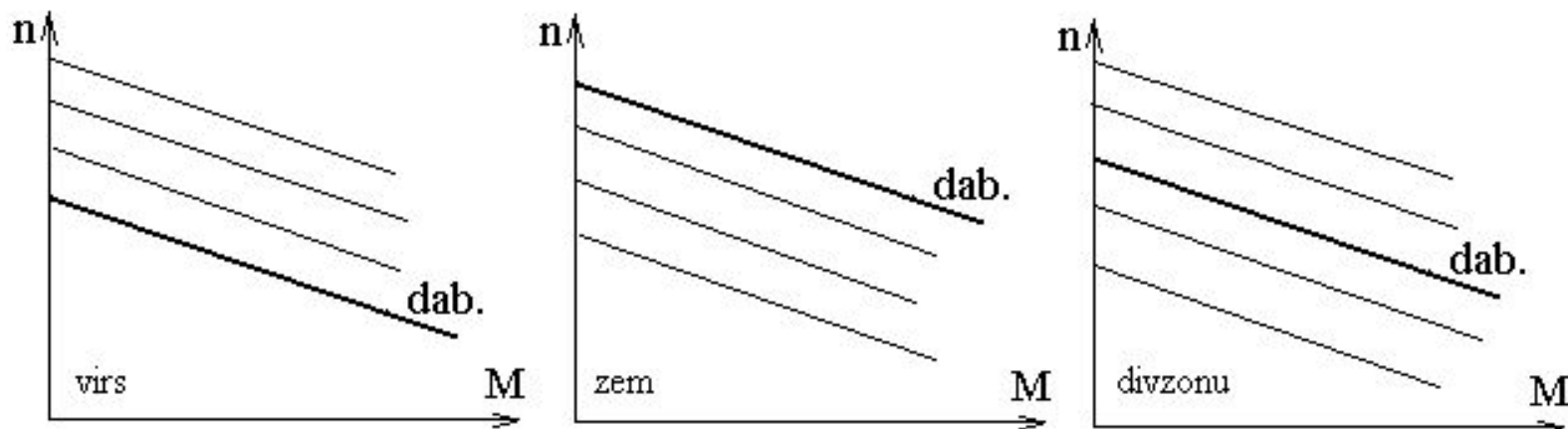
4. **Griešanās frekvences stabilitāti** raksturo tās izmaiņa noteiktās slodzes momenta robežās.

Skaitliski šo raksturojumu var noteikt, izvēloties dažādām raksturlīknēm vienu un to pašu momenta pieaugumu ΔM un atrodot tam atbilstošu Δn .

Kurai raksturlīknei $\Delta M/\Delta n$ lielāks skaitlis, tā ir ar augstāku griešanās frekvences stabilitāti.



5. **Regulēšanas virziens** nosaka kā var mainīt piedziņas griešanās frekvenci, virs vai zem nominālās.



6. **Pieļaujamo dzinēja slodzi** raksturo maksimālais dzinēja attīstītais moments.