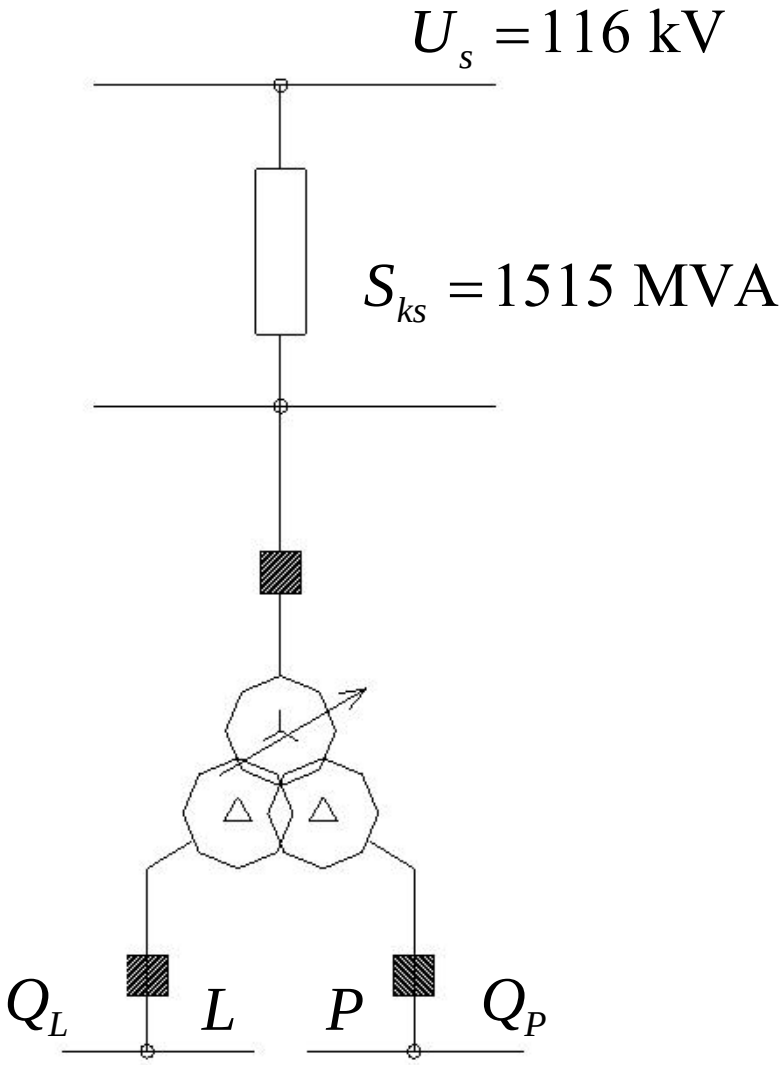
Elektrárny
A1M15ENY

přednáška č. 3

Pohony vlastní spotřeby
Rozběhy, oteplení, chránění

Ing. Jan Špetlík, Ph.D.
ČVUT FEL Katedra elektroenergetiky
E-mail: **spetlij@fel.cvut.cz**

Volba vhodné odbočky u trojvinuťového trf.:



$S_{nT} = 63/31,5/31,5$ MVA

$110 \pm 8x2\% / 6,3 / 6,3$ kV

$u_{k12} = 9\%,\ u_{k13} = 9\%,\ u_{k23} = 18\%$

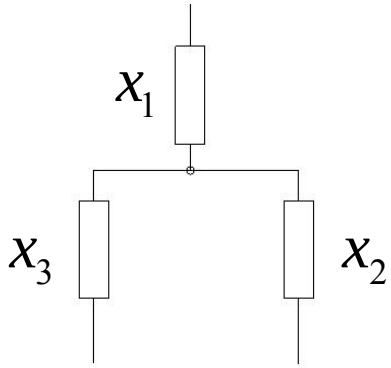
Jako vztažný volíme jmenovitý výkon trf.

$S_V = 63$ MVA

Vztažné napětí = žádané napětí VS:

$U_V = 6,3$ kV

Náhradní impedance trf:



$$x_1 = \frac{u_{k12} + u_{k13} - u_{k23}}{2} \cdot \frac{S_V}{S_{nT}} \cdot \left(\frac{U_{nT}}{U_V}\right)^2 =$$

$$= \frac{0,09 + 0,09 - 0,18}{2} \cdot \frac{63}{63} \cdot \left(\frac{6,3}{6,3}\right)^2 = 0$$

$$x_2 = x_3 = \frac{0,18}{2} \cdot \frac{63}{63} \cdot \left(\frac{6,3}{6,3}\right)^2 = 0,09$$

a) Jalová složka proudu celkový / levá sekce / pravá sekce:

$$i_j = \frac{Q_L + Q_P}{u_P.S_V} = \frac{23+23}{1.63} = 0,73$$

$$i_{jL} = \frac{Q_L}{u_P.S_V} = \frac{23}{1.63} = 0,365 \qquad i_{jP} = \frac{Q_P}{u_P.S_V} = \frac{23}{1.63} = 0,365$$

$$u_P = u_L = \frac{6,3}{6,3} = 1$$

Kvadratická rovnice pro neznámý převod:

$$0 = \left(x_1.i_j + x_2.i_{jP} + u_P\right).p^2 - p.\frac{U_S}{U_V} + \frac{S_V}{S_{ks}}.\left(\frac{U_S}{U_V}\right)^2.i_j$$

$$0 = \left(0.0,73 + 0,09.0,365 + 1\right).p^2 - p.\frac{116}{6,3} + \frac{63}{1515}.\left(\frac{116}{6,3}\right)^2.0,73$$

$$0 = 1,03285.p^2 - 18,413.p + 10,292$$

$$p_1 = 0,577 \quad p_2 = 17,249$$

Vyhovuje tedy druhý kořen

$$p_2 = 17,249 \qquad 108,6/6,3\ \mathrm{kV}$$

Volíme odbočku – 1x2,2kV, převod je tedy

$$107,8/6,3\ \mathrm{kV}$$

b) Rovnice pro druhý případ

$$0 = \left(x_1.i_j + x_2.i_{jP} + u_P\right).p^2 - p.\frac{U_S}{U_V} + \frac{S_V}{S_{ks}}.\left(\frac{U_S}{U_V}\right)^2.i_j$$

$$0 = \left(0.0 + 0,09.0 + 1\right).p^2 - p.\frac{116}{6,3} + \frac{63}{1515}.\left(\frac{116}{6,3}\right)^2.0$$

$$p = \frac{116}{6,3}$$

Volíme odbočku + 3x2,2kV, převod je tedy

$$116,6/6,3\ \mathrm{kV}$$

Charakteristiky pohonů VS

Mezi nejdůležitější vlastnosti každého spotřebiče z hlediska dimenzování napájení patří

- Příkon (+ jmen. účiník)
- Rozběhový (záběrný) proud
- Doba rozběhu

Charakteristiky pohonů VS

Podle technologie:

Zauhlování

- Pásové dopravníky (z místa těžby, ze skládky, z místa vykládky (je-li doprava po železnici), do provozních zásobníků paliva), vyhrnovací růžice, ventilátory odsávání prachu

Kotelna

- Napáječky, vzduchové ventilátory, kouřové ventilátory, mechanické / elektrostatické odlučovače, kompresory pro výr. tlakového vzduchu k dopravě popílku, podavače paliva (doprava paliva z provozních zásobníků), tlukadlové / ventilátorové mlýny, vynašeč + drtič strusky, bagrovací čerpadlo, čerpání topných olejů pro najíždění + pohony armatur

Strojovna

- Pohony olejových čerpadel, natáčecí zařízení, chladící čerpadla, vývěva, kondenzátní čerpadla, čerpání surové vody, čerpání demineralizované vody + pohony armatur

Charakteristiky pohonů VS

Odsíření

- Šnekové dopravníky vápence, kompresory odvětrání zásobníků, + pohony míchadel v absorbéru, odtahová čerpadla sádrovcové suspenze, ventilátor spalin, pohon ohřívače odsířených spalin (GGH – gas-gas heater) čerpadla vápencové suspenze (jde-li o mokrou vypírku)

Elektroprovoz a MaR + ostatní

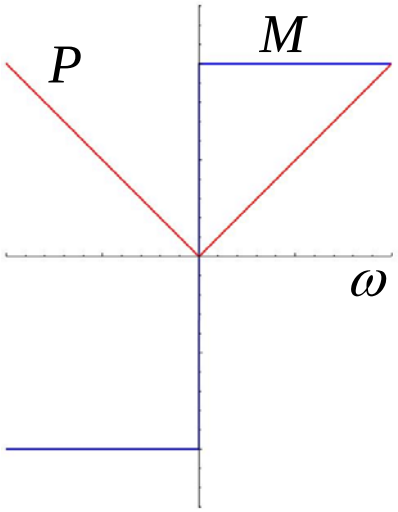
- Pohony a temperování přístrojů (odpojovačů, vypínačů), napájení ochran a ŘS, CHÚV, MBČOV, osvětlení

u JE:

- chybí pohony související se zpracováním paliva a zpracování spalin, ale navíc hlavní oběhové čerpadlo / turbokompresor (u JE s plynným chladivem), elektroohřívač kompenzátoru objemu, ochrany a doprava paliva

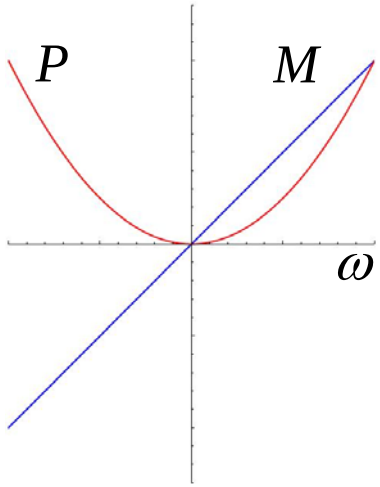
Momentové charakteristiky

hoblovková



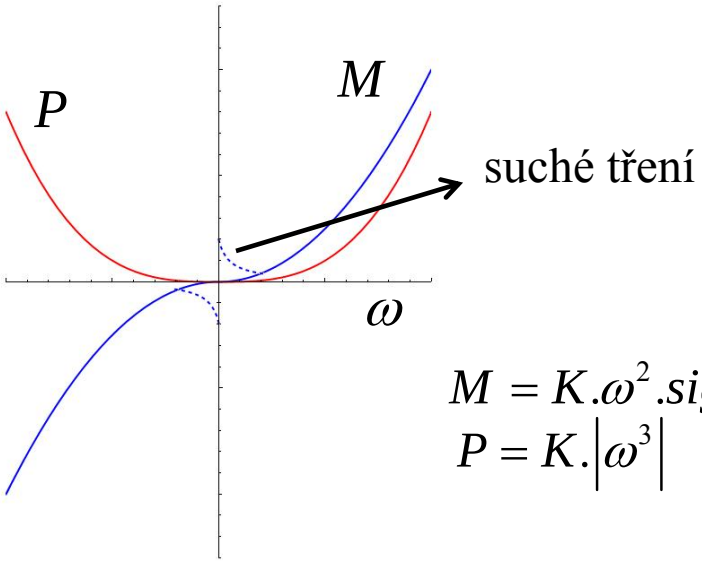
$$M = K.sign(\omega)$$
$$P = K.|\omega|$$

kalandrová



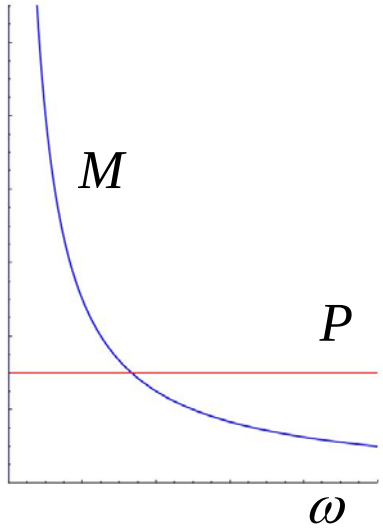
$$M = K.\omega$$
$$P = K.\omega^2$$

ventilátorová



$$M = K.\omega^2.sign(\omega)$$
$$P = K.|\omega^3|$$

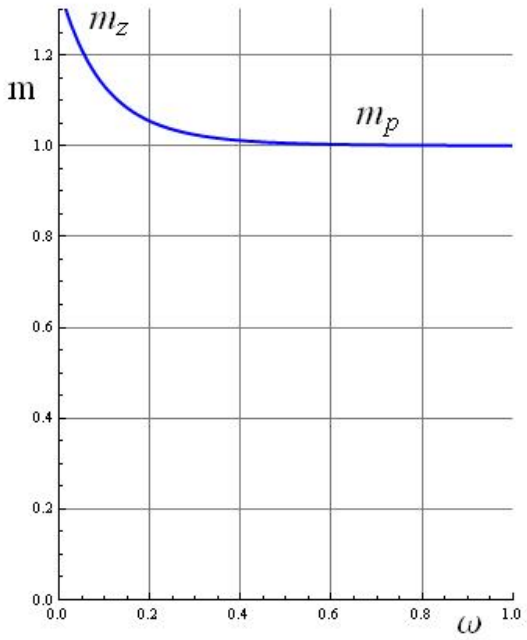
navíječková



$$M = \frac{K}{\omega}$$
$$P = K$$

Momentové charakteristiky

Charakteristika pohonů se stálým momentem (hoblovková ch.)



Pohony o malých rychlostech, kde odpor vzduchu je zanedbatelný a uvažuje se pouze mechanické tření

Platí pro:

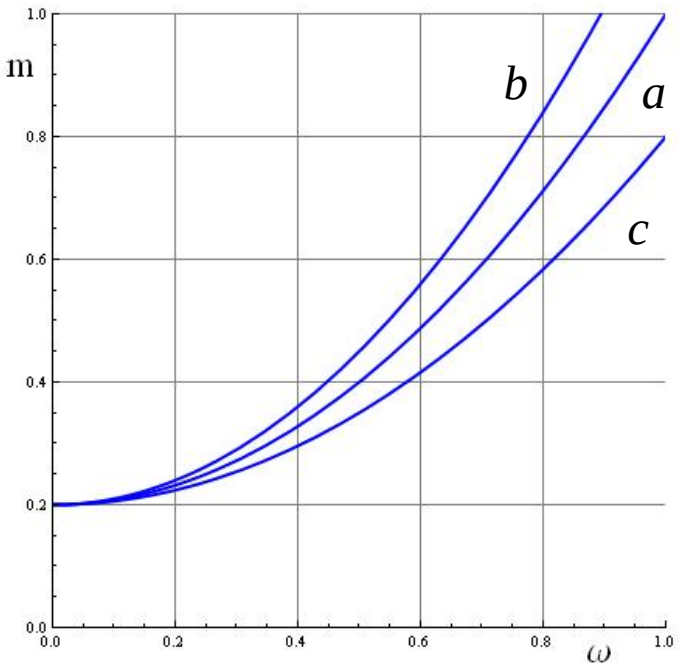
- vodorovné dopravníky
- podavače
- rošty
- zubová a pístová čerpadla
- kompresory

m_z záběrný moment $\square\ 1,3.m_p$

m_p jmenovitý moment zařízení

Momentové charakteristiky

Charakteristika pohonů s proměnným momentem (ventilátorová ch.)



Pohony s vyššími otáčkami

Platí pro:

- čerpadla
- ventilátory
- turbokompresory

Aproximace charakteristiky:

$$m = m_0 + \left(m_p - m_0\right).\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{\alpha}$$

a normální zatížení pohonu

b přivřené armatury, axiální čerpadlo nebo ventilátor

c přivřené armatury, radiální čerpadlo nebo ventilátor

m_0 záběrný moment $\square\ 0{,}1 - 0{,}2.m_p$

m_p jmenovitý moment zařízení

α součinitel závislý na charakteru zařízení, otevření armatrur

Volba elektromotorů pro pohony VS

Specifické požadavky související s provozem, spolehlivostí, hospodárností a údržbou:

- Zajištění dostatečného výkonu při jmenovitém i přechodných stavech
- Momentová charakteristika umožňující plynulý rozběh
- Schopnost provádět i tři déletrvající těžké rozběhy při studeném stavu (40°C)
- Schopnost provádět dva rozběhy zahřátého motoru (120°C) /pozn. ŘS např. blokuje druhý start 1 min., třetí start 1 hod./
- Obecně vysoká spolehlivost při častých rozbězích (300-400x ročně)
- Monitoring životnosti a stavu zařízení
- Pokud lze, záběrový proud do 5,5xIn
- Schopnost pracovat při sníženém napětí (~0,7 Un)
- Maximální moment motoru více jak 2xMn
- Hlučnost do 85 dB /pozn. závisí na okolnostech tj. blízkost průmyslové zóny a zástavby, „synergie" hluku elny a okolních komunikací apod. – hlukové studie, měření hluku…/

=> Asynchronní motory s kotvou nakrátko

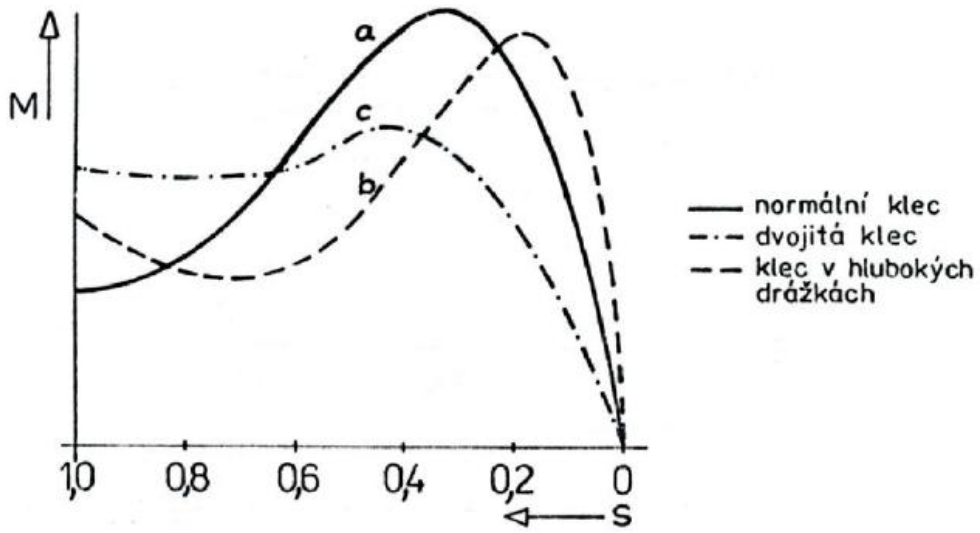
Volba elektromotorů pro pohony VS

Volba napětí elektromotoru:

- Pro pohony do 250 kW se používá napětí 400V (výjimečně do 350 kW napětí 500V), pro vyšší výkon se volí vn (typické 6,3 kV, ale dnes i hladiny jako 1,5 a 3 kV). Kromě provozních ztrát ještě hledisko vysokého přepětí při vypínání malých induktivních proudů na hladině vn

Výkon elektromotoru:

- Volí se 1,1 – 1,15 x příkon poháněného zařízení + zohlednění výše uvedených požadavků (doba a plynulost rozběhu). Max. výkon ASM je cca 10 MW, což postačí i jako napaječka u 500 MW bloku



Rozběh elektromotoru

Pro rozběh zařízení je podstatný tzv. dynamický moment:

$$\Delta M = M_e - M_p$$

Pro plynulý rozběh by mělo být splněno:

$$\Delta M \geq 0,2.M_n$$

To musí být splněno ale i při sníženém napájecím napětí:

$$u_z = \frac{U_z}{U_n}$$

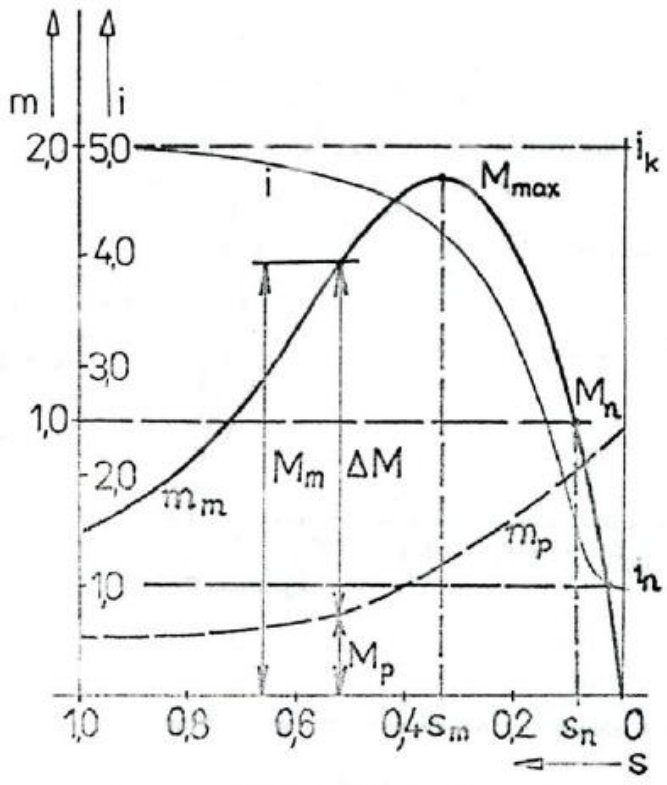
Tedy podmínka pro start:

$$M_z u_z^2 - M_{p0} \geq 0,2.M_n$$

To lze dosáhnout:

a) Správnou volbou mz (ekonomičtější)

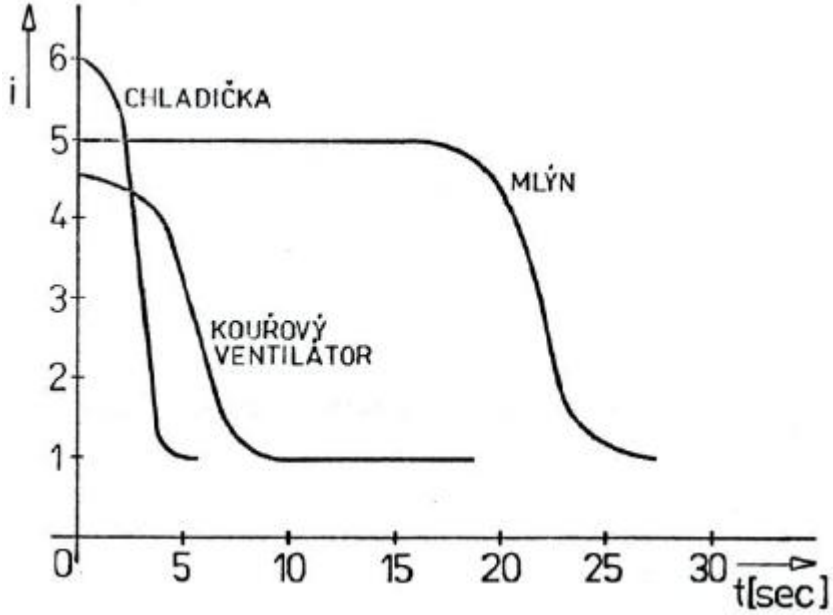
b) Větším jmenovitým výkonem



Rozběh elektromotoru

Typické doby rozběhů:

Mlýny paliva	30 až 35 sec.
Kouřové ventilátory	7 až 10 sec.
Napáječky	6 až 8 sec.
Vzduchové ventilátory	3 až 4 sec.
Další menší pohony	2 až 3 sec.



Rozběh elektromotoru

Pro dynamiku rozběhu platí: $$\Delta M = J.\frac{d\Omega_M}{dt}$$

V poměrných jednotkách:

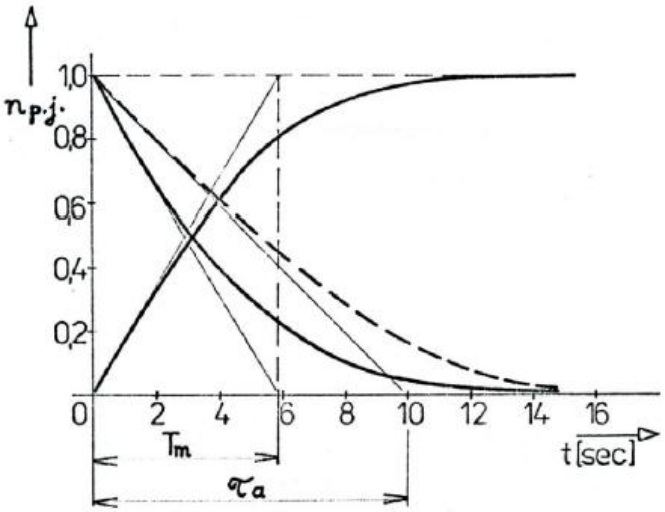
$$\omega_M = \frac{\Omega_M}{\Omega_{SM}} \qquad m = \frac{M}{M_n} \qquad \Delta m = \frac{J.\Omega_{SM}}{M_n}.\frac{d\omega_M}{dt}$$

Doba rozběhu:

a) Je-li známo GD2:

$$t_R = \frac{J.\Omega_{SM}}{M_n}.\int_0^{\omega_n}\frac{d\omega_M}{\Delta m} = \frac{J.\Omega_{SM}^2}{P_n}.\int_0^{\omega_n}\frac{d\omega_M}{\Delta m} = T_M.\int_0^{\omega_n}\frac{d\omega_M}{\Delta m} \qquad J = \frac{GD^2}{4}$$

b) Je-li známa doběhová charakteristika:



$$T_M.\int_1^0\frac{d\omega_M}{-1} = T_M$$

Přepočet, pokud zařízení nepracovalo při Mn:

$$\tau_A = \frac{M_P}{M_n}.T_M = \frac{P_P}{P_n}.T_M.\eta$$

Konstrukce momentové charakteristiky

a) Je-li známo: M_{MAX}, s_n

Klossův vztah:

$$m = \frac{2.m_{MAX}}{\frac{s_{MAX}}{s} + \frac{s}{s_{MAX}}}$$

Dosadíme v bodě jmenovitých otáček/skluzu/momentu:

$$1 = \frac{2.m_{MAX}}{\frac{s_{MAX}}{s} + \frac{s}{s_{MAX}}} \qquad s_{MAX} = s_n\left(m_{MAX} + \sqrt{m_{MAX}^2 - 1}\right)$$

b) Je-li známo: U_k, I_k, P_k, R_s

$$X_s \cong X_r' = \frac{1}{2}.\frac{\sqrt{3.U_k^2.I_k^2 - P_k^2}}{3.I_k^2} \qquad R_r' = \frac{P_k}{3.I_k^2} - R_s$$

$$M = \frac{R_r'}{s.\Omega_{SM}}.\frac{U^2}{\left(X_s + X_r'\right)^2 + \left(R_s + \frac{R_r'}{s}\right)^2}$$

kde: $\Omega_{SM} = \frac{\Omega_S}{p}$

el. synchronní otáčky

poč. pólpárů

Oteplení při rozběhu

Kontrola se provádí u soustrojí s dlouhým rozběhem

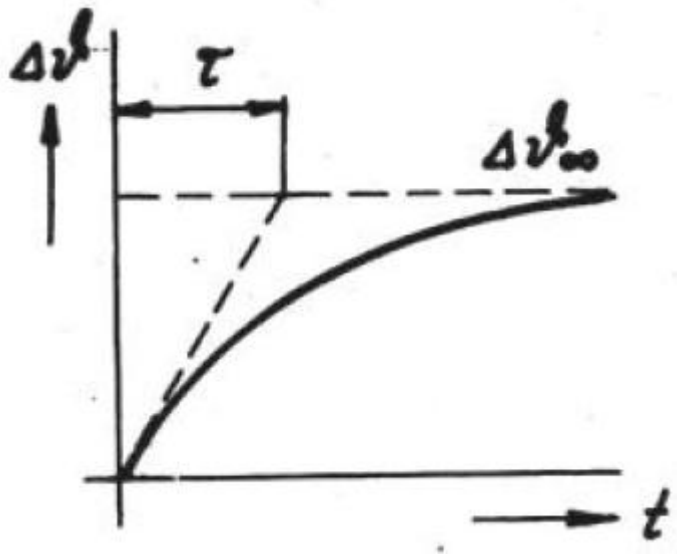
teplota vodiče, teplota okolí

$$R.I^2.dt = m.c.d\vartheta + \mu.S.(\vartheta - \vartheta_0).dt$$

hmotnost vinutí, tepelná kapacita vinutí, ochlazovací konstanta, ochlazovací plocha

Řešení je ve tvaru:

$$\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_\infty.\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$



kde:

$$\Delta\vartheta_\infty = \frac{R.I^2}{\mu.S} \quad \text{a} \quad \tau = \frac{\mu.S}{m.c}$$

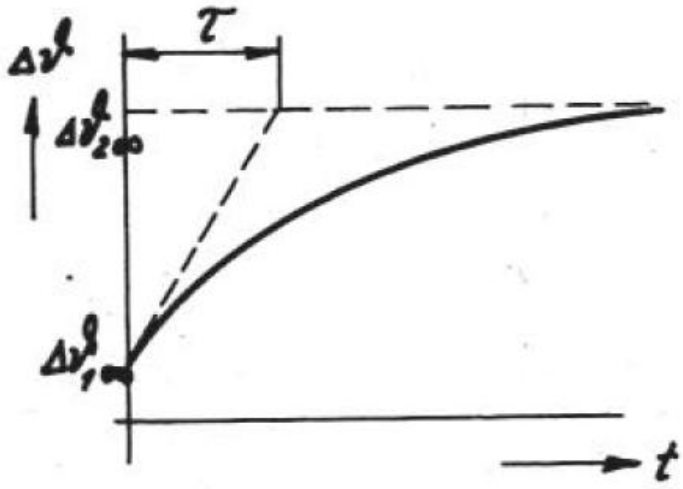
Zavedeme-li pro jmenovitý proud jmenovité oteplení: $\Delta\vartheta_{\infty n} = \dfrac{R.I_n^2}{\mu.S}$

pak $$\frac{\Delta\vartheta}{\Delta\vartheta_n} = \frac{\Delta\vartheta_\infty}{\Delta\vartheta_{\infty n}}.\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) = \frac{I^2}{I_n^2}.\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) = i^2.\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

Oteplení při rozběhu

Pro výpočet oteplení při náhlých změnách platí:

$$\frac{\Delta\vartheta}{\Delta\vartheta_n} = i_1^2 + \left(i_2^2 - i_1^2\right).\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$



Pomocí těchto vztahů můžeme řešit problematiku oteplování:

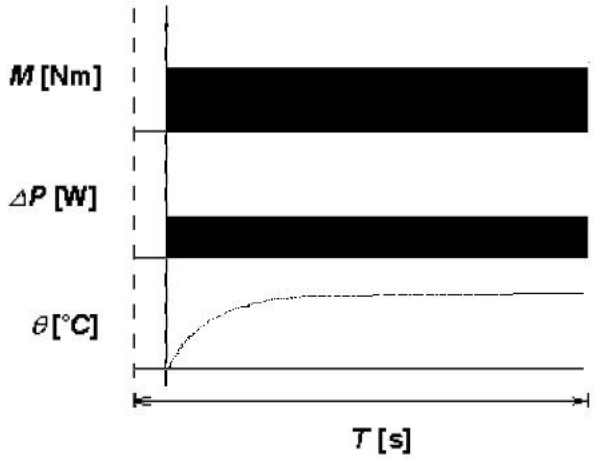
- Při dlouhých rozbězích (záběrný proud, jmenovitý proud)
- Při krátkodobých nebo přerušovaných chodech (oteplení/zchladnutí)

Druhy zatížení

V mnoha aplikacích je ve VS druh provozu odlišný od trvalého zatížení (rozběhy, brzdění, reverzace apod.). To má vliv i na oteplení motoru.

Dle ČSN EN 60034-1 jsou definovány jednotlivé druhy zatížení S1-S10 např:

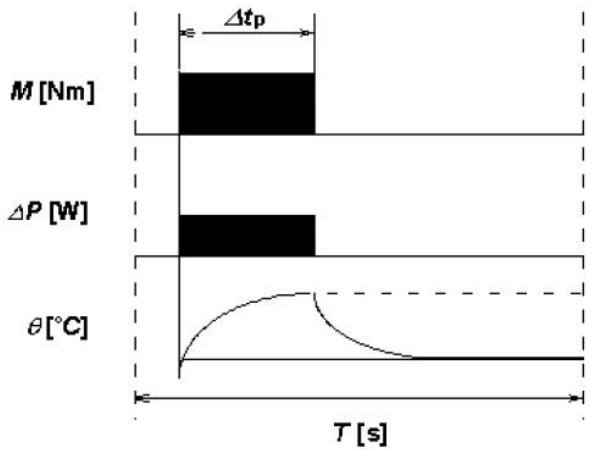
S1: Trvalé zatížení



Označení:

S1

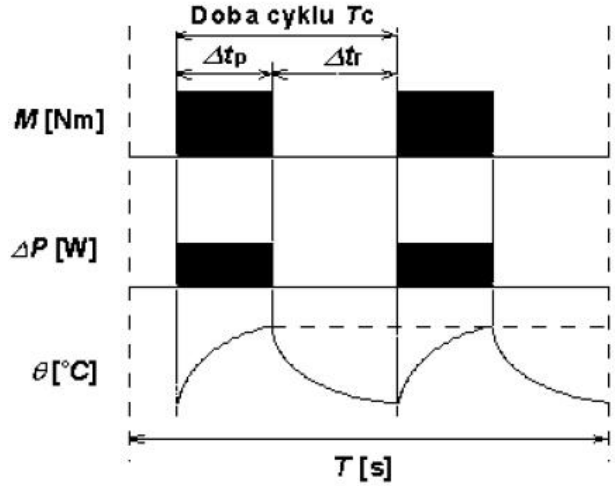
S2: Krátkodobý chod



Označení:

S2, Δt_p

S3: Přerušovaný chod



Označení:

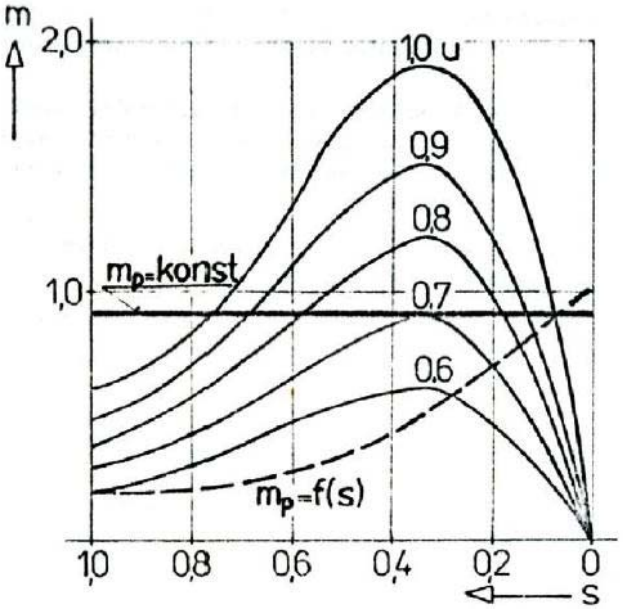
S3, T_c, Δt_p (nebo %)

Kritické napětí při samonajíždění

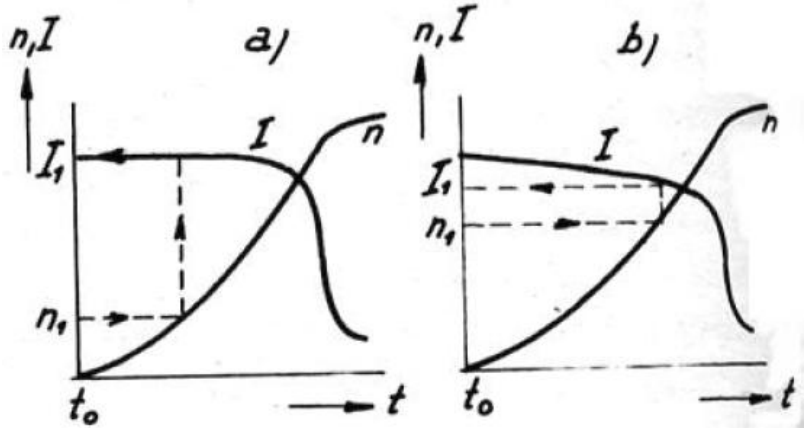
Při poklesu napětí na elektromotoru dochází ke snižování otáček a nárůstu proudu. Od jisté úrovně poklesu napětí se bude momentová křivka elektromotoru celá nacházet pod momentovou charakteristikou zátěže. Pak dojde k brzdění a zastavení pohonu. Tuto úroveň napětí nazýváme kritické napětí a nastane když:

$$M_n = \left(\frac{U_{krit}}{U_n}\right)^2 .M_{MAX}$$

nebo v p.u. $$\frac{1}{m_{MAX}} = u_{krit}^2$$



Pozor! I po obnovení napájení je proud podobný jako záběrný.



Typické hodnoty

Odpovídají parametrům bloku 200 MW

Pohon	Jmenovité provozní hodnoty				Hodnoty při rozběhu				
	P_N [kW]	U_N [kV]	I_N [A]	n_N [ot./min]	U [kV]	I [A]	t [sec]	I_{ZN} [A]	k []
Kouřový ventilátor	1000	6	116	494	5.8	585	6.3	605	5.21
Vzduchový ventilátor	1000	6	123	741	5.8	530	5.5	548	4.45
Mlýn	700	6	83.2	1480	5.85	330	41.5	338	4.06
Chladící čerp.	2000	6	245	423	5.7	1018	1.5	1070	4.37
Elektronapaječka	4250	6	490	2980	5.6	2500	3.1	2680	5.47

Vysokým nárazovým proudům při rozběhu elektromotoru se předchází:

- Spouštění pomocí přepínání hvězda-trojúhelník
- Softstartéry (regulují napětí na svorkách, tak aby snížily proudový ráz)
- Frekvenční měniče (regulují frekvenci a tím i synchronní otáčky a momentovou charakteristiku)

=> Rozběh je plynulejší, ale i pomalejší

Chránění elektromotorů

Menší motory na nn:

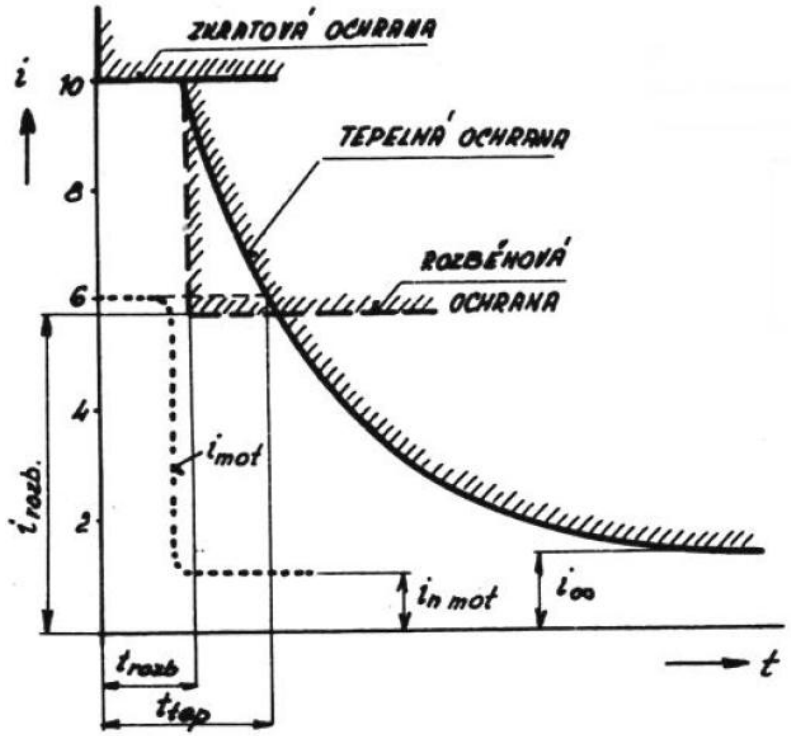
Jistič nebo stykač s bimetal. relé

u motorů s dlouhým rozběhem nutno nadproudovou ochranu kombinovat s tepelnou ochranou (teplotní čidlo nebo tepelný model)

Motory větších výkonů:

Digitální multifunkční ochrany vybavené řadou dalších funkcí jako

- Nesymetrie
- Podpětí/Přepětí
- Zpětná wattová
- Sled fází



Glosa k 3. přednášce

Spočítejte konstanty momentové charakteristiky elektronapaječky

Pn [kW]	**1600**
Un [kV]	**6**
In [A]	**185**
cos fi n [-]	**0,87**

Synchronní otáčky
3000

	Naprázdno	Nakrátko
Napětí [V]	6000	1529
Proud [A]	39,7	185
Příkon [kW]	27	127,5

Ohmický odpor statoru při 20°C [Ohm]
0,1437
Provozní teplota [°C]
80

Materiál vinutí: Cu