

1 DIMENZOVÁNÍ ASYNCHRONNÍHO MOTORU PRO NAPÁJENÍ Z FREKVENČNÍHO MĚNIČE

1.1 Úvod

Pro asynchronní motor platí:

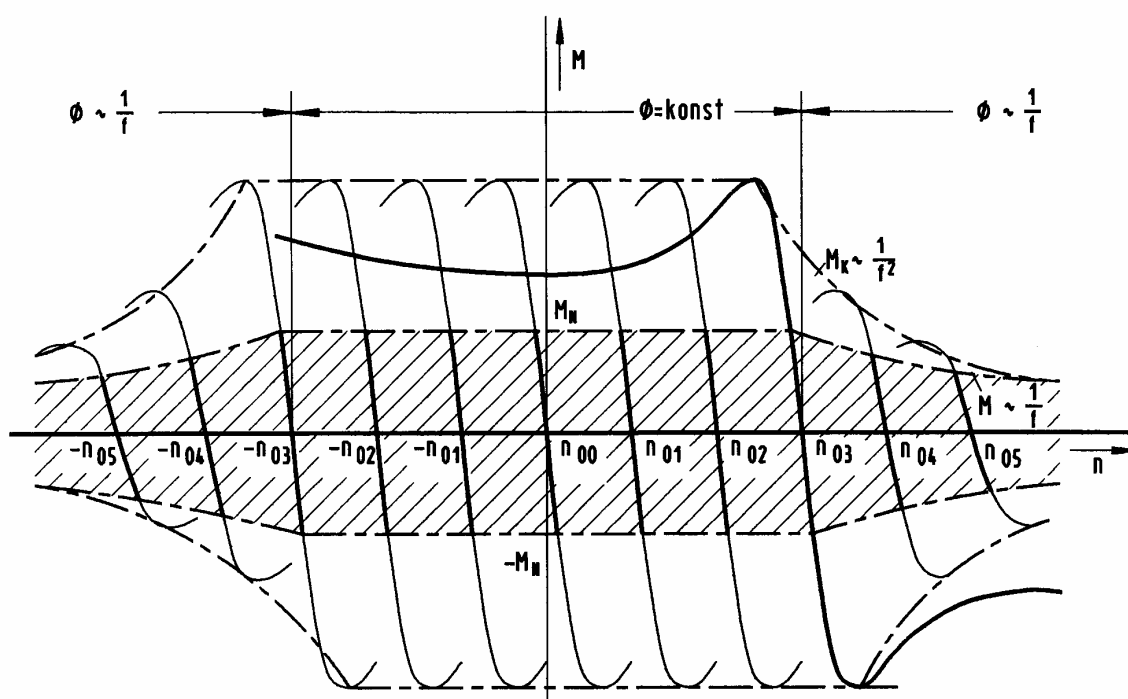
$$M \approx \Phi \approx \frac{U}{f}$$

$$M_{MAX} \approx \Phi^2 \approx \left(\frac{U}{f}\right)^2$$

Z uvedených výrazů vyplývá, že frekvenční měnič řídíme tak, aby poměr výstupního napětí ke kmitočtu byl konstantní. To je však technicky možné pouze do tzv. bodu odbuzení, kdy je dosaženo jmenovité výstupní napětí rovné napětí sítě. Při dalším zvyšování kmitočtu již zůstává výstupní napětí konstantní. Proto dochází k odbuzování motoru. Bod odbuzení lze u většiny frekvenčních měničů podle potřeby měnit. Tato funkce se však příliš nevyužívá, protože vyžaduje speciálně navržený motor se jmenovitým pracovním bodem např. 400 V / 56 Hz. Za bodem odbuzení platí:

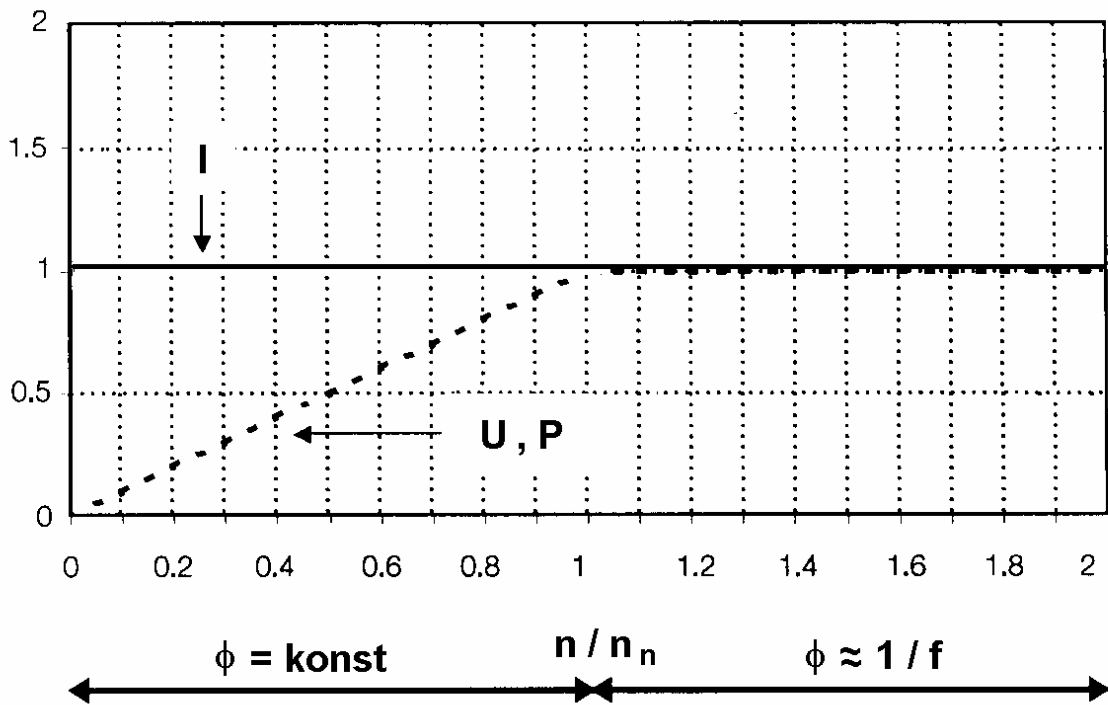
$$M \approx \Phi \approx \frac{f_N}{f} \approx \frac{1}{f}$$

$$M_{MAX} \approx \Phi^2 \approx \left(\frac{f_N}{f}\right)^2 \approx \left(\frac{1}{f}\right)^2$$

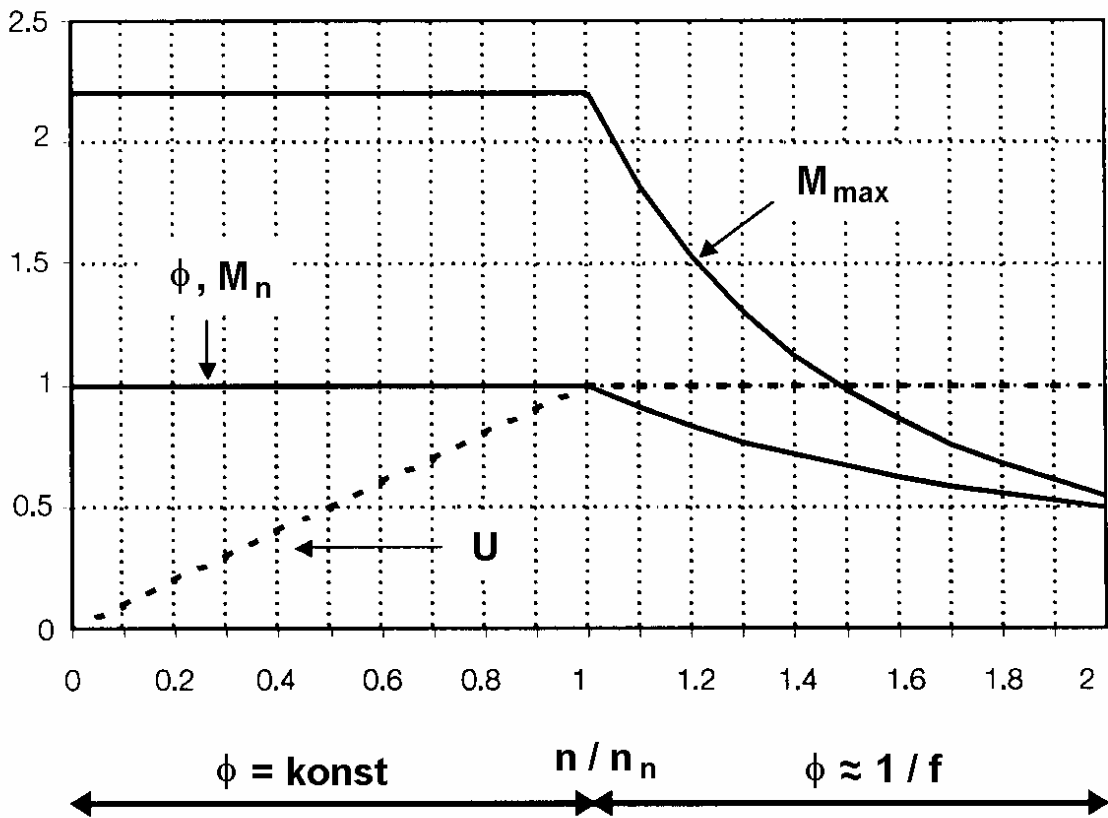


Obr. 1 Momentové křivky asynchronního motoru při napájení z frekvenčního měniče

Pro názornost porovnejme průběhy charakteristických veličin frekvenčního měniče a motoru. Výstupní proud frekvenčního měniče je omezen pouze jmenovitou hodnotou proudu použité polovodičové součástky. V Obr. 2. je znázorněna pouze jeho maximální dovolená trvalá hodnota. Jeho skutečná velikost závisí na velikosti odebraného výkonu a výstupního napětí při daném kmitočtu.



Obr. 2 Průběhy charakteristických veličin frekvenčního měniče



Obr. 3 Průběhy charakteristických veličin asynchronního motoru

1.2 Zatížitelnost motoru při proměnných otáčkách

Při návrhu regulovaného pohonu se musí vždy respektovat tepelná kapacita motoru.

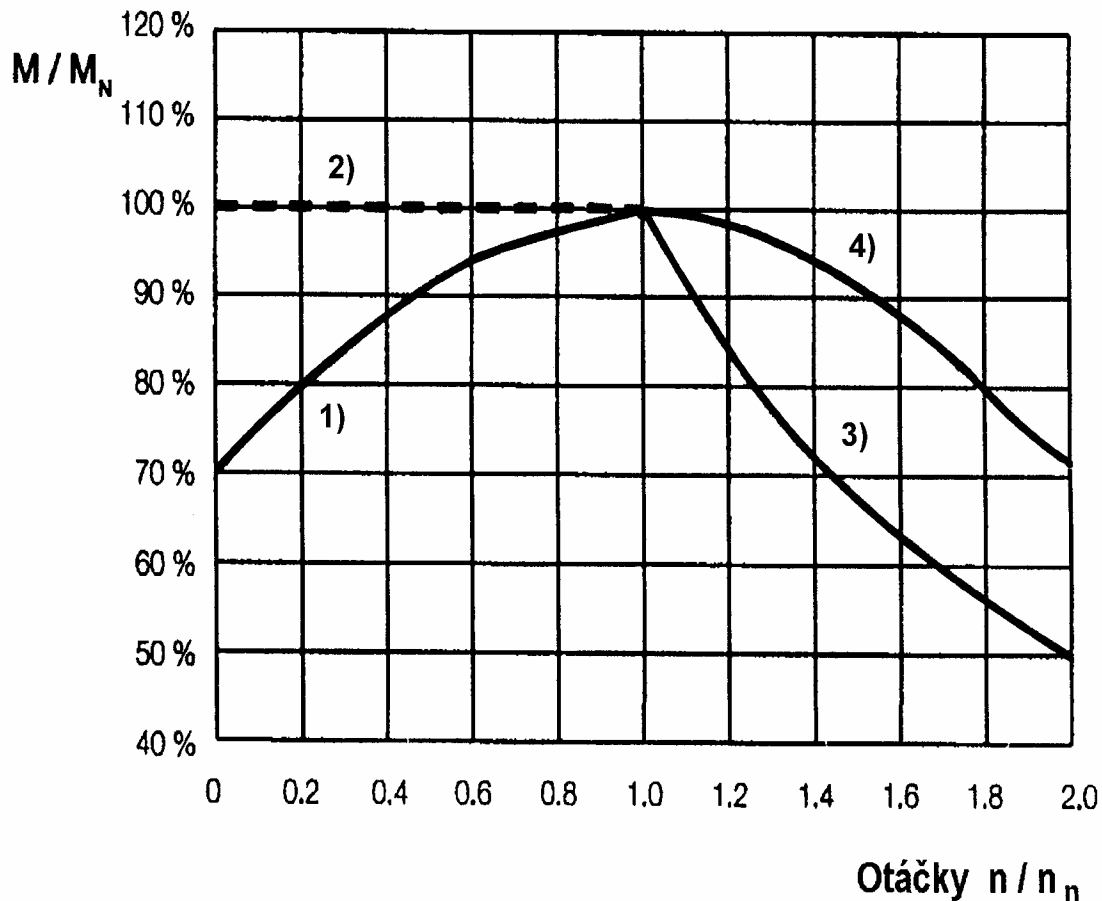
Standardní asynchronní motor má „*vlastní chlazení*“ pomocí ventilátoru umístěného na hřídeli motoru. S klesajícími otáčkami klesá přímo úměrně množství chladicího vzduchu, motor se méně (hůř) chladí a v důsledku toho se v celém regulačním rozsahu $0 - f_N$ mění jeho momentová zatížitelnost.

Naopak motor s „*cizím chlazením*“ pomocí externího ventilátoru lze zatěžovat v celém regulačním rozsahu $0 - f_N$ **konstantním momentem**.

Nad bodem odbuzení není již zatížitelnost motoru omezena chlazením motoru, ale poklesem momentu v důsledku odbuzování. Typický průběh zatěžovacího diagramu viz. Obr. 4.

Je třeba si uvědomit, že při odbuzování klesá moment zvratu s druhou mocninou $(1/f)^2$, kdežto jmenovitý moment s první $(1/f)$. Logicky proto při překročení mezní frekvence musí dojít k větší redukci zatížení, tak aby byl zachován dostatečný odstup mezi jmenovitým momentem a momentem zvratu.

Obvykle se požaduje odstup 40 % pro stacionární stavy a 20 % dynamické.



1) vlastní ventilace

2) cizí ventilace

3) $\phi \approx 1/f$

4) $\phi = \text{konst.}$

Obr. 4 Zatěžovací diagram asynchronního motoru při napájení z frekvenčního měniče

1.2.1 Posunutí bodu odbuzení

Výjimku tvoří asynchronní motory které mají při standardním síťovém provozu vinutí spojené do hvězdy (Y). Přepojením vinutí do trojúhelníka, při zachovaném napětí sítě, se zvětší fázové napětí o odmocninu ze tří. Při zachování požadavku na konstantní magnetický tok, je důsledkem zvětšení

oblasti chodu s konstantním magnetickým tokem stejným způsobem, tj. do $\sqrt{3} \cdot 50 = 87 \text{ Hz}$. Přestože s růstem frekvence dojde ke zvětšení ztrát v železe, jehož důsledkem je dílčí redukce výkonu, činí zvýšení výkonu při 87 Hz proti výkonu při 50 Hz ca. 60 %. Zkušenosti ukazují, že při chodu s frekvencí nad 50 Hz nemá na tepelnou kapacitu motoru významný vliv, zda má motor vlastní nebo cizí ventilaci. Poznamenejme, že tento způsob přepojení vinutí nelze v praxi příliš často využít, protože naprostá většina motorů má pro síťový provoz vinutí spojené do trojúhelníka vzhledem k požadavku na možnost omezení záběrného proudu při rozběhu přepínáním vinutí hvězda - trojúhelník.

1.3 Proud asynchronního motoru

Proud asynchronního motoru má dvě složky činnou (I_{1Q}) a jalovou (I_{1D}). Jalová složka vytváří magnetický tok, činná točivý moment. Platí:

$$I_1 = \sqrt{I_{1D}^2 + I_{1Q}^2}$$

1.3.1 Oblast s konstantním magnetickým tokem (0 – f_N)

Pro výpočet jednotlivých složek statorového proudu lze používat následující přibližné výrazy:

$$I_{1D} = I_N \cdot \left(\sin \varphi_N + \cos \varphi_N \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{M_{MAX}}{M_N} \right)^2 - 1} - \sqrt{\left(\frac{M_{MAX}}{M_N} \right)^2 - \left(\frac{M_{ZAT}}{M_N} \right)^2} \right] \right)$$

$$I_{1Q} = I_N \cdot \left(\frac{M_{ZAT}}{M_N} \right) \cdot \cos \varphi_N$$

Ve většině případů není třeba používat takto složité výrazy. Pro oblast zatížení definovanou hranicemi:

$$0,8 M_N \leq M_{ZAT} \leq 0,7 \cdot M_{MAX}$$

lze s velmi dobrou shodou použít výraz:

$$I_1 = \frac{M_{ZAT}}{M_N} \cdot I_N$$

Pozn.: Tento výraz lze použít i pro přepočítání proudu motorů napájených přímo ze sítě v závislosti na zatížení. Z omezujících podmínek je současně zřejmé, v jakém rozmezí zatížení lze tento přepočítání použít.

1.3.2 Oblast nad bodem odbuzení ($f_N - f_{MAX}$)

Pro výpočet jednotlivých složek statorového proudu platí následující přibližné výrazy:

$$I_{1D} = I_N \cdot \left(\frac{n_N}{n} \cdot \left(\sin\varphi_N + \cos\varphi_N \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{M_{MAX}}{M_N} \right)^2 - 1} \right] \right) - \cos\varphi_N \cdot \sqrt{\left(\frac{M_{MAX}}{M_N} \cdot \frac{n_N}{n} \right)^2 - \left(\frac{M_{ZAT}}{M_N} \cdot \frac{n}{n_N} \right)^2} \right)$$
$$I_{1Q} = I_N \cdot \left(\frac{M_{ZAT}}{M_N} \cdot \frac{n}{n_N} \right) \cdot \cos\varphi_N = I_N \cdot \left(\frac{P_{ZAT}}{P_N} \right) \cdot \cos\varphi_N$$

Ve většině případů není třeba používat takto složité výrazy. Pro oblast zatížení definovanou hranicemi:

$$0,8 \cdot \frac{n_N}{n} \cdot M_N \leq M_{ZAT} \leq 0,7 \cdot \left(\frac{n_N}{n} \right)^2 \cdot M_{MAX}$$

nebo

$$0,8 \cdot P_N \leq P_{ZAT} \leq 0,7 \cdot \frac{n_N}{n} \cdot P_{MAX}$$

Ize s velmi dobrou shodou použít výraz:

$$I_1 = \frac{M_{ZAT}}{M_N} \cdot \frac{n_N}{n} \cdot I_N = \frac{P_{ZAT}}{P_N} \cdot I_N$$

1.4 Postup při výběru asynchronního motoru pro regulovaný pohon

Výchozí údaje:

- napětí napájecí sítě
- průběh protimomentu resp. výkonu požadovaného na hřídeli motoru v závislosti na otáčkách
- regulační rozsah $n_{\text{MIN}} \div n_{\text{MAX}}$,

tím je definovaný moment M_{MAX} a výkon P_{MAX} při maximálních otáčkách n_{MAX} .

Postup:

1. Volba počtu pólů motoru.

Pohony s kvadratickým průběhem protomomentu.

Pokud je bod n_{MAX} výrazně vzdálený od synchronních otáček, je z hlediska dimenzování frekvenčního měniče ekonomičtější, aby byl bod n_{MAX} v oblasti za bodem odbuzení. Motor odebírá menší proud, frekvenční měnič je menší.

Pohony s konstantním průběhem protomomentu.

Doporučuje se, aby pokud možno jmenovité otáčky motoru n_N při 50 Hz ležely ve středu regulačního rozsahu.

2. Ze zatěžovacího diagramu se pro zvolený počet pólů odečte dovolená zatížitelnost z pro n_{MAX} .
3. Provede se přepočítání momentu resp. výkonu na jmenovité otáčky n_N při 50 Hz.

$$P_N = \frac{P_{\text{MAX}}}{z} \quad \text{nebo} \quad M_N = \frac{M_{\text{MAX}}}{z} \Rightarrow P_N = \frac{M_N \cdot n_N}{9550}$$

4. Z typové řady se vybere motor o typovém výkonu nejbližším vyšším.
5. U zátěží s konstantním průběhem protimomentu se provede kontrola záběrného a urychlovacího momentu. Musí platit:

$$M_{ZÁB} \lll M_N$$

$$M_{ZAT} + M_{DYN} \lll M_N \quad \text{kde je} \quad M_{DYN} = \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{n_{\text{MAX}}}{t_R} \cdot J$$

Případně se řešením pohybové rovnice zkontroluje dynamika pohonu tj. požadované zrychlování a zpomalování pohonu.

6. Provede se výpočet proudu motoru v horním mezním pracovním bodě regulačního rozsahu n_{MAX} , P_{MAX} . Podle tohoto proudu se následně zvolí frekvenční měnič.

V oblasti 10 ÷ 50 Hz použijeme výraz:

$$I_1 = \frac{M_{ZAT}}{M_N} \cdot I_N$$

V oblasti nad bodem odbuzení použijeme výraz:

$$I_1 = \frac{M_{ZAT}}{M_N} \cdot \frac{n_N}{n} \cdot I_N = \frac{P_{ZAT}}{P_N} \cdot I_N$$

1.5 Zátěž s kvadratickým průběhem protimomentu

Návrh regulovaného pohonu odstředivého čerpadla

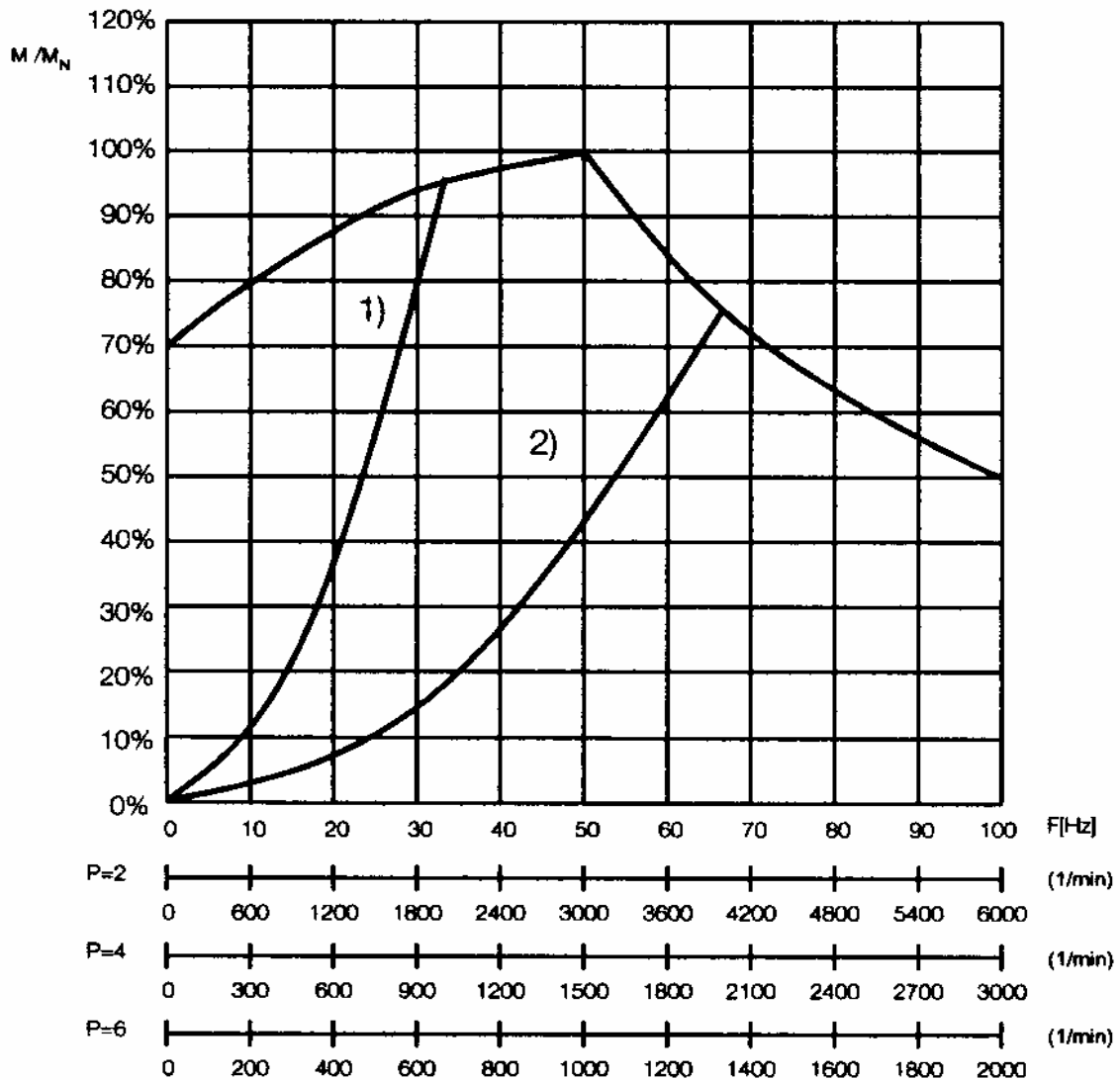
Zadání: výkon $P_{MAX} = 150 \text{ kW}$ při $n_{MAX} = 2000 \text{ ot/min}$
 rozsah regulace 200 – 2000 ot/min
 napětí 400 V

Výpočet:

$$M_{MAX} = \frac{9550 \cdot P_{MAX}}{n_{MAX}} = \frac{9550 \cdot 150}{2000} = 716 \text{ Nm}$$

Dimenzování motoru:

Alternativně lze použít 2-pólový nebo 4-pólový motor pracující za bodem odbuzení. Do zatěžovacího diagramu vyneseme průběh protimomentu pro obě alternativy a odečteme zatěžovatel z .



2-pólový motor
 $z = 0.95$

4-pólový motor
 $z = 0.75$

2-pólový motor

$$z = 0.95$$

Minimální moment při jmenovitých otáčkách motoru

$$M_N \geq \frac{M_{MAX}}{z} = \frac{716}{0.95} = 754 Nm$$

Minimální výkon při jmenovitých otáčkách motoru

$$P_N \geq \frac{M_N \cdot n_s}{9550} = \frac{754 \cdot 3000}{9550} = 237 kW$$

Volba motoru 400 V, 50 Hz:

250 kW, 431 A, 2975 ot/min

Velikosti:

315MD – 160 kW

315L B – 200 kW

355MB – 250 kW

Jmenovitý moment zvoleného motoru:

$$M_N = \frac{P_N \cdot 9550}{n_N} = \frac{250 \cdot 9550}{2975} = 803 Nm$$

Proud 2- pólového motoru při n_{MAX} :

$$I_1 = \frac{M_{MAX}}{M_N} \cdot I_{1N} = \frac{716}{803} \cdot 431 = 384 A$$

Proud 4- pólového motoru n_{MAX} :

$$I_1 = \frac{P_{MAX}}{P_N} \cdot I_{1N} = \frac{150}{160} \cdot 305 = 286 A !!!!$$

Volba frekvenčního měniče 400 V:

pro 2p = 2 $I_{n FM} = 395 A \Leftrightarrow 225 kW$

pro 2p = 4 $I_{n FM} = 300 A \Leftrightarrow 170 kW$

⇒ varianta s dvupólovým motorem - dražší motor i FM !!!!

4-pólový motor

$$z = 0.75$$

$$M_N \geq \frac{716}{0.75} = 955 Nm$$

$$P_N \geq \frac{955 \cdot 1500}{9550} = 150 kW$$

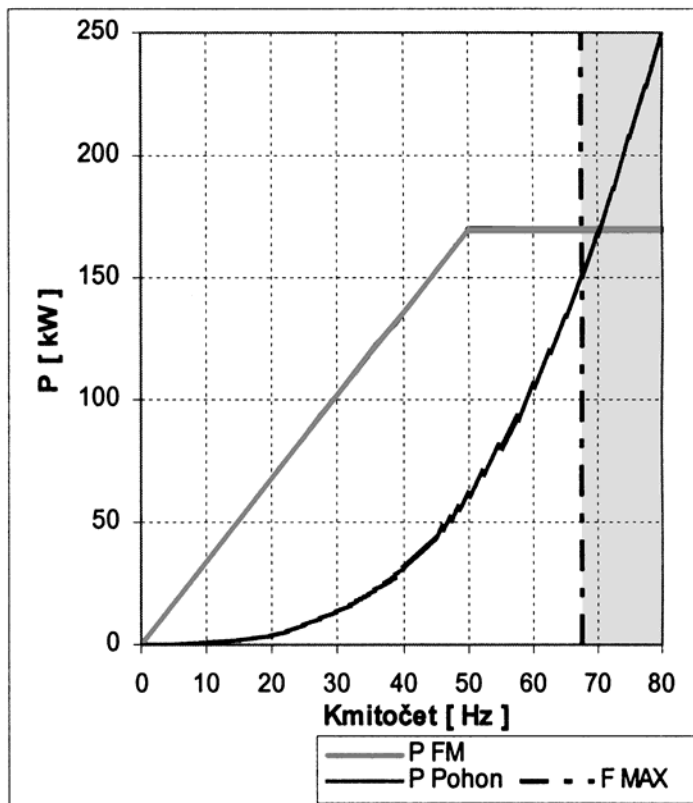
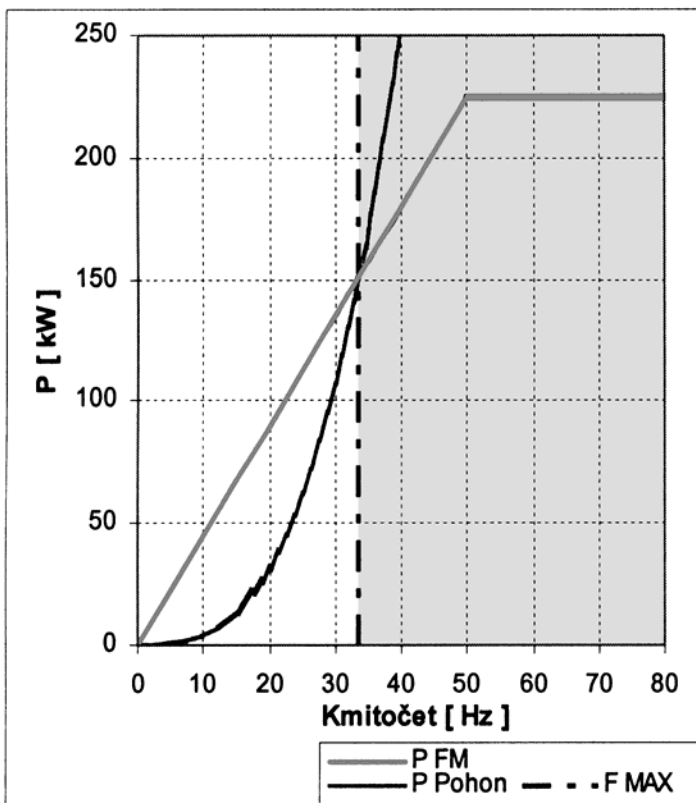
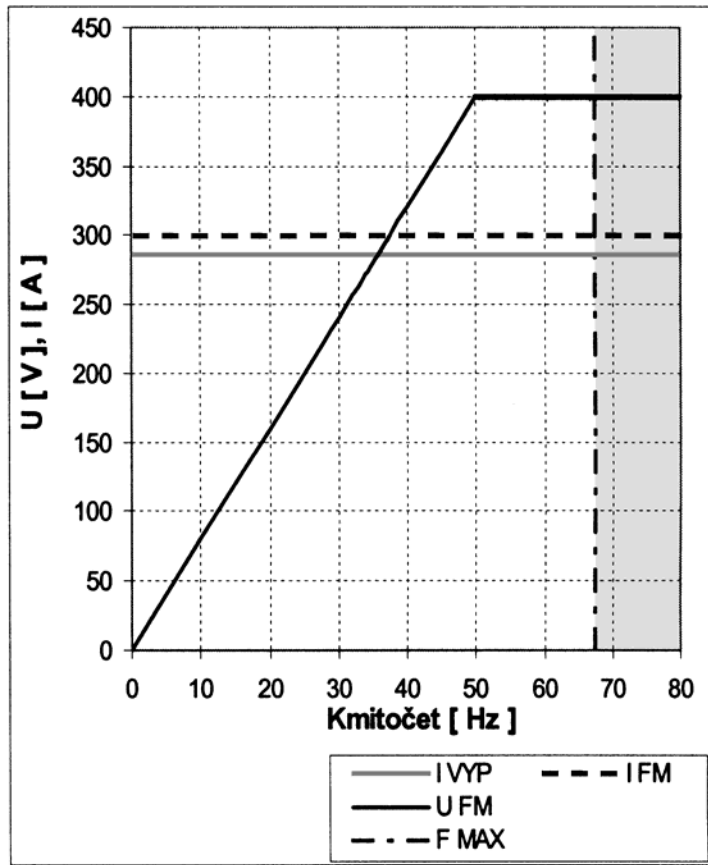
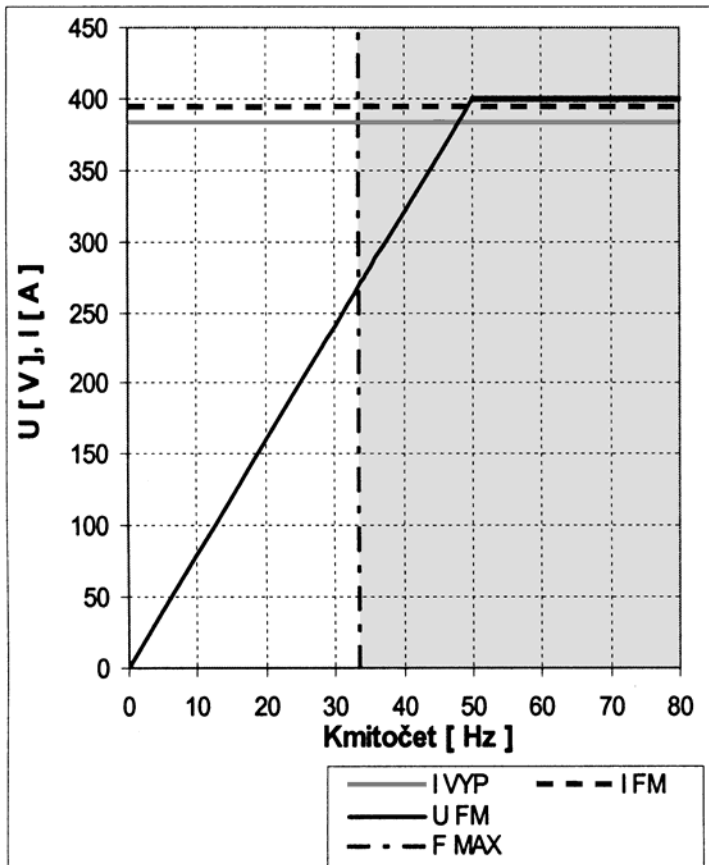
160 kW, 305 A, 1480 ot/min

315MD – 160 kW

315L B – 200 kW

355MB – 250 kW

$$M_N = \frac{160 \cdot 9550}{1480} = 1032 Nm$$



Obr. 5 Porovnání pracovních oblastí regulovaného pohonu s 2pólovým a 4pólovým motorem. Zátěž s kvadratickým průběhem protimomentu

1.6 Zátěž s konstantním průběhem protimomentu

Návrh regulovaného pohonu plunžrového čerpadla

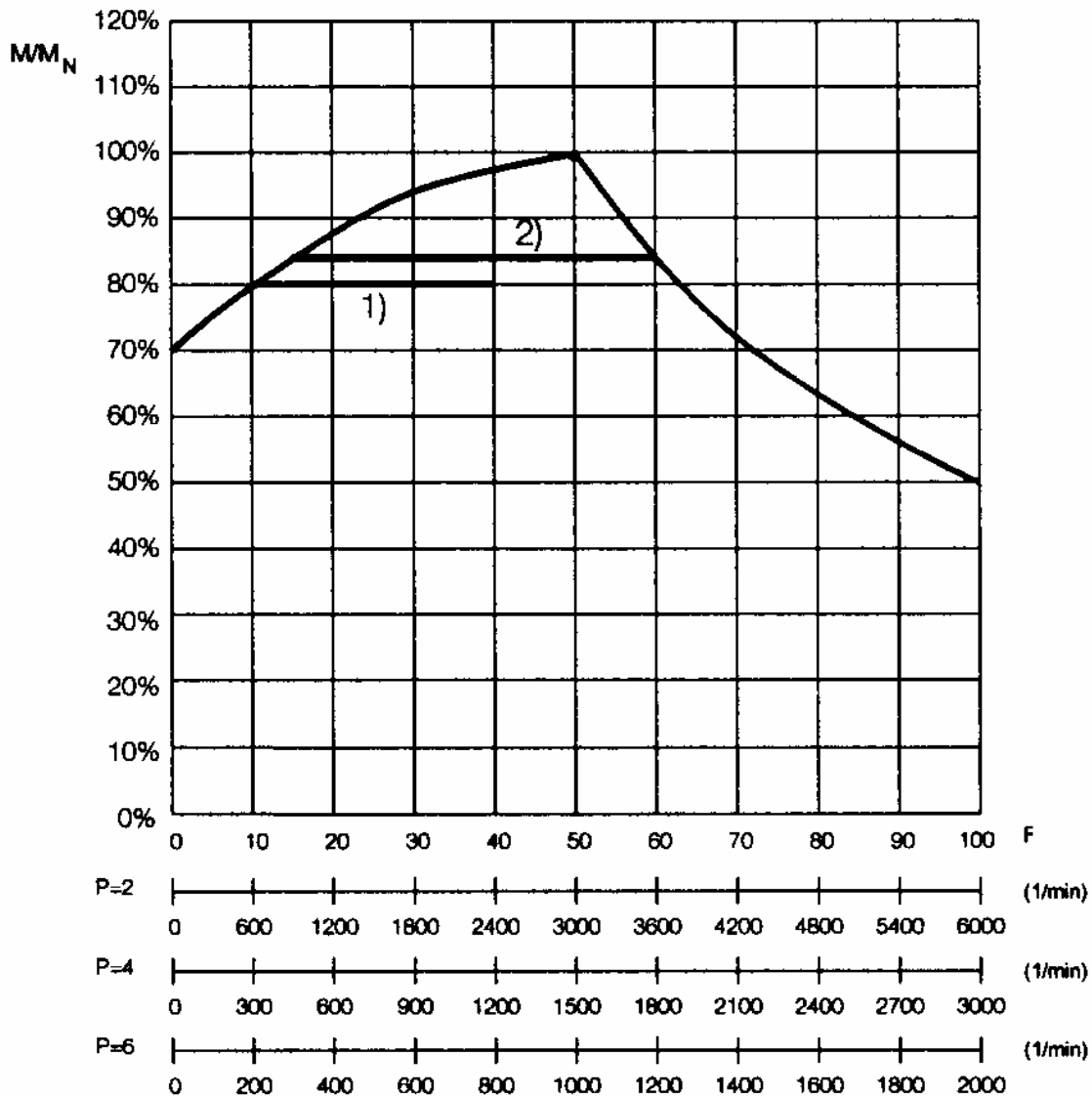
Zadání: výkon $P_{MAX} = 48 \text{ kW}$ při $n_{MAX} = 1200 \text{ ot/min}$
 rozsah regulace 300 – 1200 ot/min
 potřebný moment pro utržení z klidového stavu 200 Nm

Výpočet:

$$M_{MAX} = \frac{9550 \cdot P_{MAX}}{n_{MAX}} = \frac{9550 \cdot 48}{1200} = 382 \text{ Nm}$$

Dimenzování motoru:

Alternativně lze použít 4-pólový(1) nebo 6-pólový(2) motor pracující za bodem odbuzení. Do zatěžovacího diagramu vyneseme průběh protimomentu pro obě alternativy a odečteme zatěžovatel z .



4-pólový motor
 $z = 0.8$

6-pólový motor
 $z = 0.84$

4-pólový motor

$$z = 0.8$$

Minimální moment při jmenovitých otáčkách motoru

$$M_N \geq \frac{M_{MAX}}{z} = \frac{382}{0.8} = 478 Nm$$

Minimální výkon při jmenovitých otáčkách motoru

$$P_N \geq \frac{M_N \cdot n_s}{9550} = \frac{478 \cdot 1500}{9550} = 75 kW$$

Volba motoru 400 V, 50 Hz:

75 kW, 146 A, 1473 ot/min

Velikosti:

280SG – 75 kW

280SG – 90 kW

6-pólový motor

$$z = 0.84$$

$$M_N \geq \frac{382}{0.84} = 455 Nm$$

$$P_N \geq \frac{455 \cdot 1000}{9550} = 48 kW$$

55 kW, 110 A, 984 ot/min

280SG – 45 kW

280MG – 55 kW

Jmenovitý moment zvoleného motoru:

$$M_N = \frac{P_N \cdot 9550}{n_N} = \frac{75 \cdot 9550}{1473} = 486 Nm$$

$$M_N = \frac{55 \cdot 9550}{984} = 534 Nm$$

Proud 4- pólového motoru při maximálních otáčkách n_{MAX} :

$$I_1 = \frac{M_{MAX}}{M_N} \cdot I_{1N} = \frac{382}{486} \cdot 146 = 115 A$$

Proud 6- pólového motoru při maximálních otáčkách n_{MAX} :

$$I_1 = \frac{P_{MAX}}{P_N} \cdot I_{1N} = \frac{48}{55} \cdot 110 = 96 A$$

Volba frekvenčního měniče 400 V:

pro 2p = 4

$I_{n FM} = 147 A \Leftrightarrow 85 kW$

předchozí typ 112 A $\Leftrightarrow 63 kW$

pro 2p = 6

$I_{n FM} = 112 A \Leftrightarrow 62 kW$

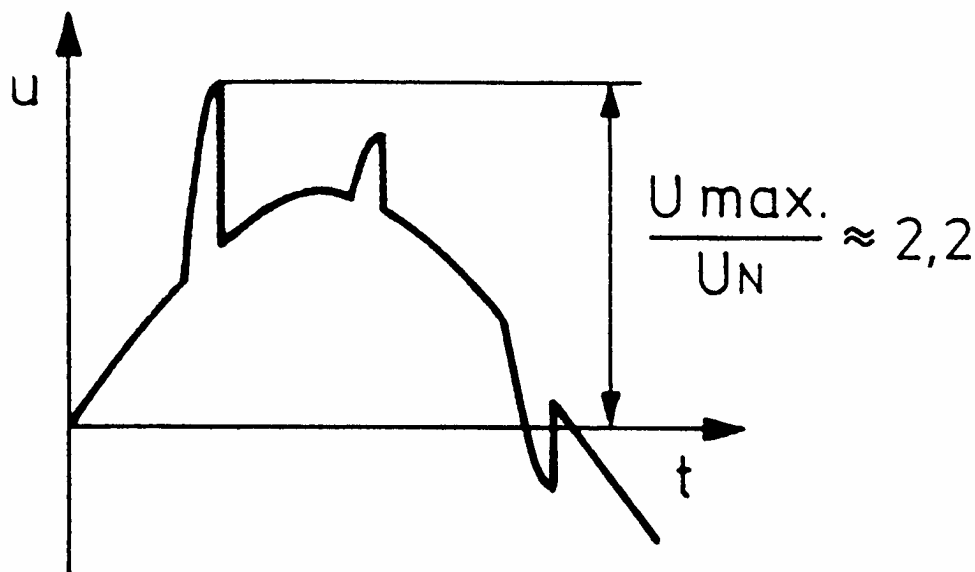
předchozí typ 89 A $\Leftrightarrow 49 kW$

⇒ Zkoumalo by se použití motoru 2p=4 s FM 112 A - tj. nakolik je zúžení regulačního rozsahu plynoucí z proudového omezení 112 A místo potřebných 115 A podstatné.

1.7 Napětové rezonance a přípustné namáhání izolace vinutí.

Izolace vinutí motoru je při napájení z frekvenčního měniče podstatně víc namáhána než při napájení sinusovým napětím z klasické sítě. Charakter namáhání je určený typem použitého frekvenčního měniče. Ve své podstatě namáhání vede k zrychlení procesu stárnutí izolace vinutí a k zkrácení její doby životnosti.

U staršího typu frekvenčních měničů s proudovým meziobvodem je izolace namáhána komutačními špičkami - viz. Obr. 6. Velikost komutačního přepětí závisí na konstrukci frekvenčního měniče, obvyklá hodnota se pohybuje okolo $2.2 U_N$.



Obr. 6 Typický průběh napětí na výstupu frekvenčního měniče s proudovým meziobvodem

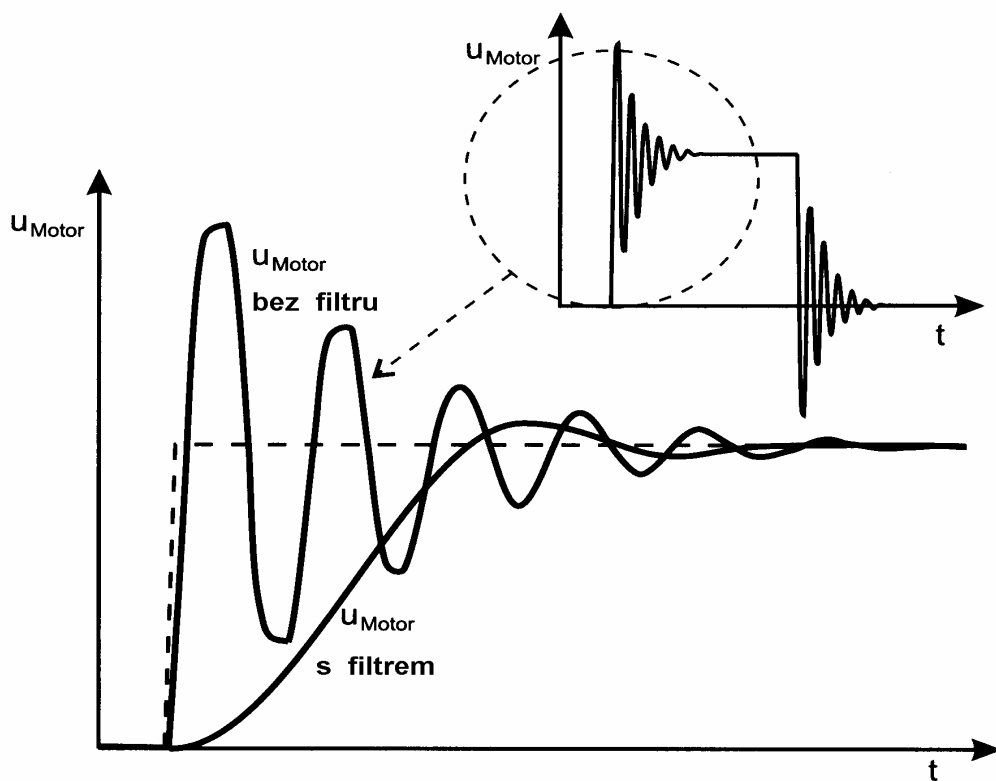
U frekvenčních měničů s napětovým meziobvodem izolaci vinutí namáhá především rychlé přepínání napětových pulsů při spínání jednotlivých pulzů šířkové pulzní modulační (PWM) a s tím spojené napětové rezonance. Každá náběžná hrana při sepnutí napětového pulsu vyvolá v přívodním kabelu napětovou vlnu, která v důsledku napětových rezonancí vede k podstatně větším hodnotám napětí na vstupních svorkách motoru. Viz. Obr. 7, Obr. 9.

Současně se vznikem přepětí dojde k nelineárnímu rozdělení napětí podél vinutí a důsledkem toho k dalšímu zvýšenému namáhání izolace. Mimo to svorkovnice motoru musí při tomto zvýšeném napětí, proti standardnímu stavu při napájení ze sítě, splňovat požadavky na přeskokové napětí a na odolnost proti vzniku plíživých a plazivých proudů.

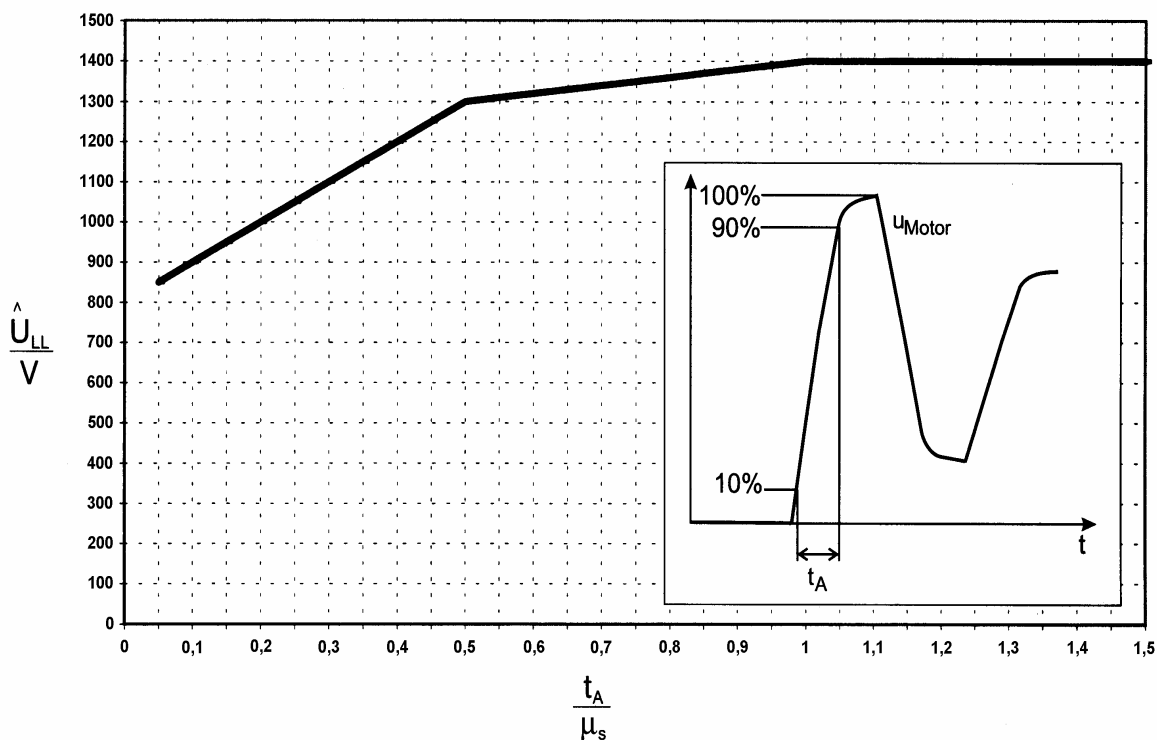
Přípustné namáhání izolace vinutí závisí na době nárůstu t_A náběžné hrany napětového pulsu. Obr. 8 ukazuje průběh přípustného maximálního napětí na svorkách NN motorů se standardní izolací dle IEC 34 - 17.

Obecně: Velikost maximálního napětí závisí na rychlosti nárůstu náběžné hrany napětového pulsu a délce motorového kabelu. Velikost tohoto napětí lze omezit pomocí filtru umístěného na výstupu frekvenčního měniče tvořeného tlumivkou – tzv. du/dt filtru. Velikost napětových rezonancí závisí samozřejmě na konstrukci frekvenčního měniče. Již při relativně krátkých délkách motorového kabelu (20 m) mohou bez výstupního du/dt filtru vznikat nepřijatelně velká přepětí, zatímco s výstupním filtrem jsou dostupné i délky okolo 300 m. Každý výrobce frekvenčního měniče udává dovolené délky motorového kabelu s a bez výstupního du/dt filtru. du/dt filtr zároveň podstatně omezuje možnost vzniku ložiskových proudů a vysokofrekvenční ztráty v motoru.

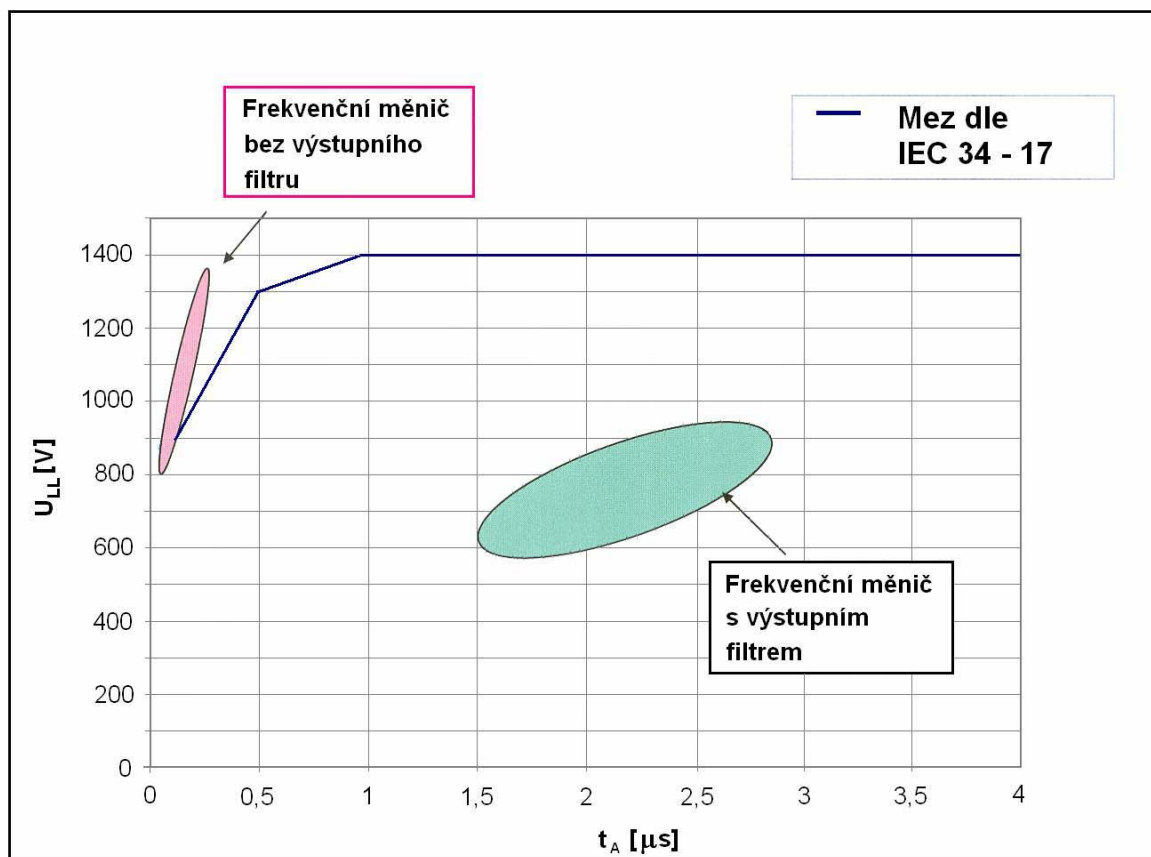
Napětové rezonance jsou současně doprovázené zvýšením výstupního proudu potřebným pro nabíjení parazitních kapacit motorového kabelu. Tento přírůstek je významný zejména u frekvenčních měničů malých výkonů v řádech stovek watů a jednotek kilowatů.



Obr. 7 Typický průběh napětového pulsu na svorkách asynchronního motoru při napájení z frekvenčního měniče s napětovým meziobvodem (frekvenční měnič bez du/dt filtru, délka kabelu 20 m)



Obr. 8 Průběh přípustného maximálního napětí na svorkách NN motorů se standardní izolací dle IEC 34 - 17. (U_{LL} = maximální hodnota amplitudy sdruženého napětí)



Obr. 9 Typické rozložení oblastí napětových rezonancí při použití frekvenčního měniče s a bez výstupního filtru.

1.7.1 Kontrola velikosti přepětí při napětových rezonancích.

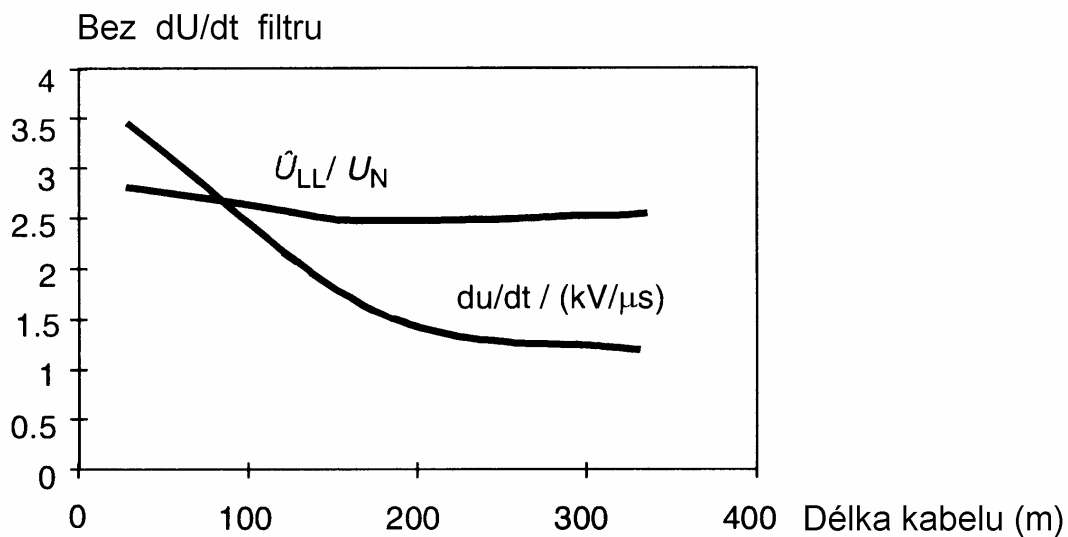
Kontrola je založena na tom, že se pro známou délku motorového kabelu z grafů odečte velikost přepětí a velikost gradientu rychlosti nárůstu napětového pulsu. Z odečtených hodnot se vypočte doba nárůstu t_A náběžné hrany napětového pulsu. Maximální velikostí přepětí dovolená výrobcem motoru pro stanovenou dobu nárůstu t_A se pak porovná s odečtenou velikostí přepětí.

Vlastní postup:

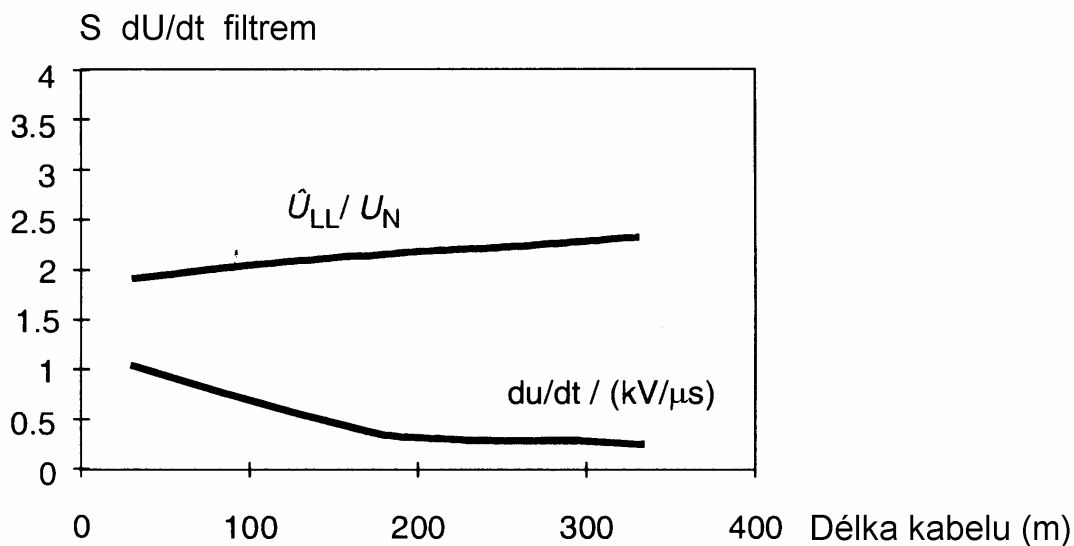
1. Pro zvolenou délku kabelu se z grafu odečte velikost přepětí U_{LL}/U_N a velikost gradientu rychlosti nárůstu napětového pulsu du/dt .
2. Velikost doby nárůstu t_A se stanovuje pro 80 % U_{LL} viz. Obr. 8. Platí:

$$\frac{du}{dt} = k = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{0,8 \cdot U_{LL}}{t_A} \Rightarrow t_A = \frac{0,8 \cdot U_{LL}}{k}$$

3. Stanovená velikost přepětí na svorkách motoru musí být vždy nižší, než maximální velikost přepětí povolená výrobcem při vypočtené době nárůstu náběžné hrany napětového pulsu t_A .

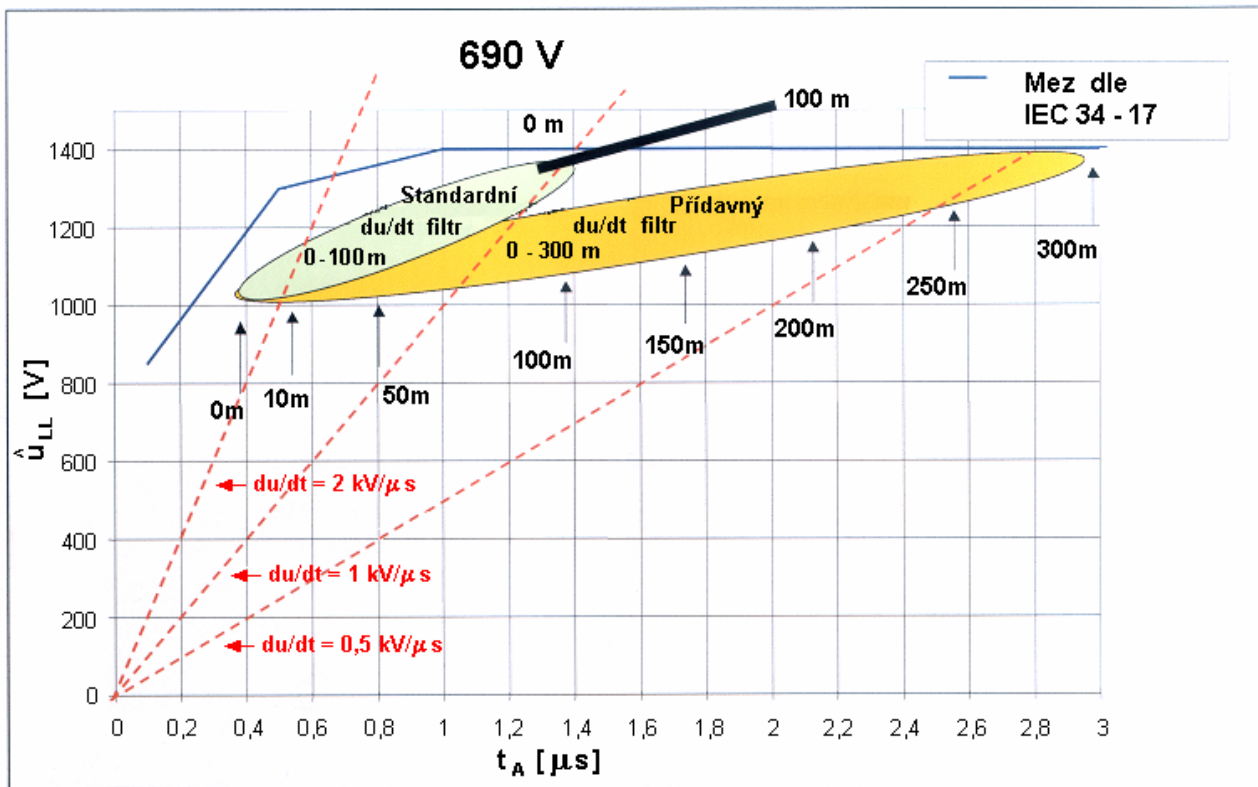
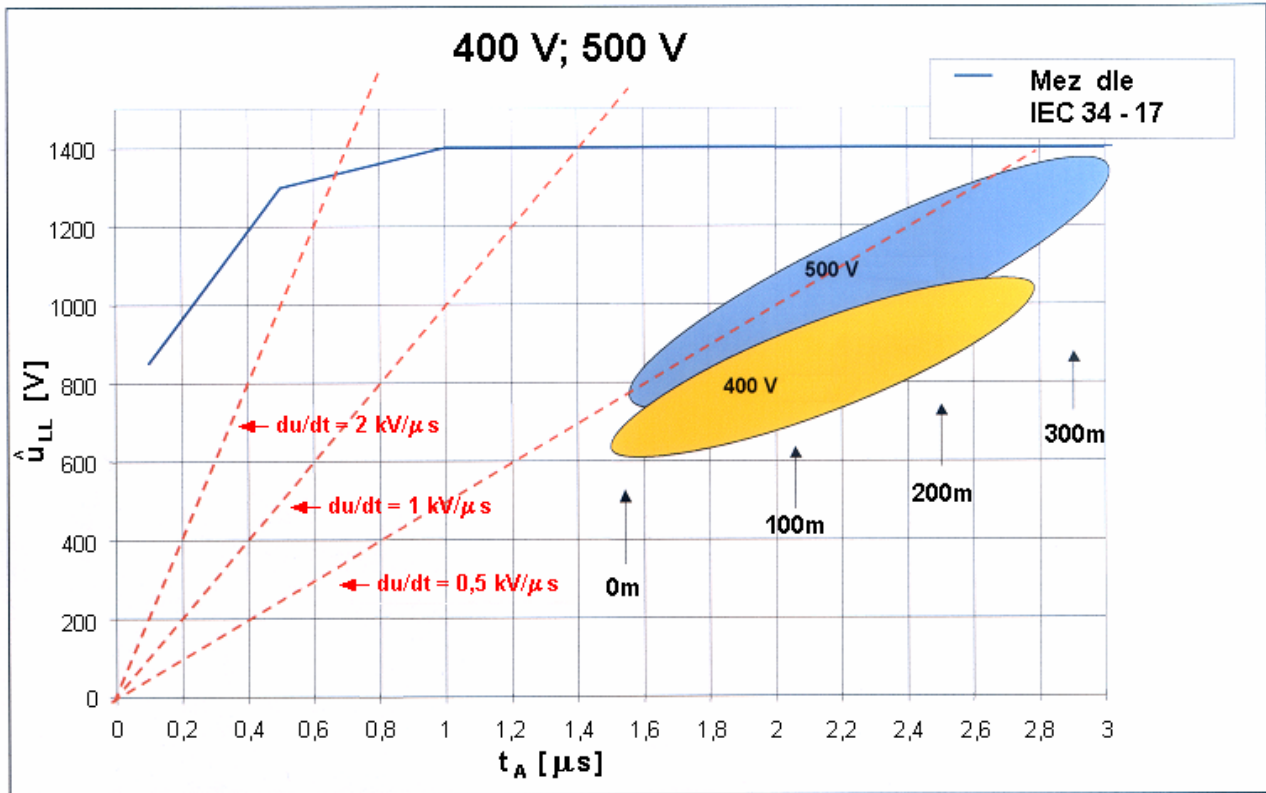


Obr. 10 Velikost přepětí a gradient nárůstu napětíového pulsu u frekvenčního měniče bez du/dt filtru v závislosti na délce motorového kabelu.



Obr. 11 Velikost přepětí a gradient nárůstu napětíového pulsu u frekvenčního měniče s du/dt filtrem v závislosti na délce motorového kabelu.

Následující obrázky ukazují oblasti výskytu přepětí na svorkách motoru při výstupních napětích frekvenčního měniče 400, 500 a 690 V a různých délkách motorového kabelu při použití du/dt filtru.



Obr. 12 Vliv použití du/dt filtru na výstupu frekvenčního měniče na amplitudu napěťových rezonancí.

Proto většina výrobců frekvenčních měničů s ohledem na napěťové rezonance vlastní provedení výstupu konkrétního typu frekvenčního měniče vydává doporučení pro použití běžných NN motorů v regulovaných pohonech. Typicky se doporučuje:

- pro napětí $U > 500 \text{ V}$ - použití du/dt filtru;
- pro motory s osovou výškou 280 mm a větší izolované ložisko.

Např. firma ABB doporučuje pro motory s přímým řízením momentu (DTC) a délkou motorového kabelu do 300 m :

Napětí	$P_N < 100 \text{ kW}$	$P_N \geq 100 \text{ kW}$ nebo $\geq \text{IEC 315}$	$P_N \geq 350 \text{ kW}$ nebo $\geq \text{IEC 400}$
$UN \leq 500 \text{ V}$	standardní motor	standardní motor + izolované ložisko	standardní motor + izolované ložisko + common mode filter
$UN \leq 600 \text{ V}$	standardní motor + du/dt filter nebo se zesílenou izolací	standardní motor + izolované ložisko + du/dt filter nebo se zesílenou izolací + izolované ložisko	standardní motor + izolované ložisko + du/dt filter + light common mode filter nebo se zesílenou izolací + du/dt filter + common mode filter
$UN \leq 690 \text{ V}$	zesílenou izolaci + du/dt filter	zesílenou izolaci + izolované ložisko + du/dt filter	zesílenou izolaci + izolované ložisko + du/dt filter + light common mode filter

Pro frekvenční měniče 400 V malých výkonů se skalárním řízením pro omezení proudů pro nabíjení parazitních kapacit ABB doporučuje:

Výkon FM	Délka kabelu bez du/dt filtru	Délka kabelu s du/dt filtrem
0.37 ÷ 0.55 kW	50 m	75 m
0.75 ÷ 2.2 kW	75 m	110 m
2.2 ÷ 4.0 kW	100 m	100 m
5.5 ÷ 15 kW	200 m	250 m
18.5 ÷ 30 kW	200 m	300 m

1.8 Přetížitelnost regulovaných pohonů.

Přetížení pohonu je spojené s proudovým nárůstem odebíraného proudu. K tomu aby bylo možné přetěžovat motor musí mít frekvenční měnič dostatečnou proudovou rezervu. Pro obvyklé provozní režimy platí do přetížení do 1.5 M_N lineární závislost mezi proudem a zatížením viz. dříve.

Krátkodobé přetížení každého motoru je přípustné závisí však na: výchozím zatížení, velikosti přetížení, délce trvání a teplotě motoru na začátku přetížení.

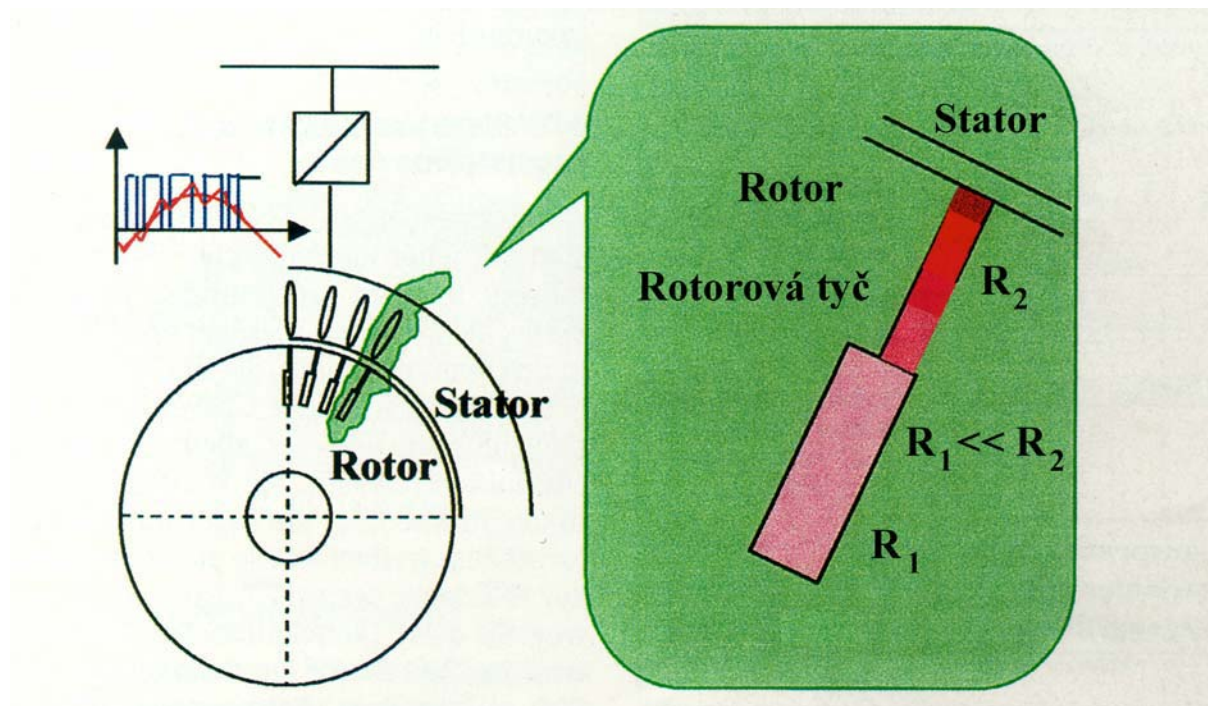
Při kontrole motoru z hlediska přetížitelnosti musí být zachován dostatečný odstup mezi jmenovitým momentem a momentem zvratu. Obvykle se požaduje odstup 40 % pro stacionární stavy a 20 % dynamické.

Frekvenční měniče mívají obvykle typové parametry udané pro 0, 10 % a 50% přetížitelnost v cyklu 1/10 min. Pokud frekvenční měnič nesplňuje požadavky na přetížitelnost, volí se frekvenční měnič o větší typové velikosti.

1.9 Zvláštnosti návrhu motorů pro pohony s frekvenčními měniči

1.9.1 Přídavné ztráty

V důsledku napájení motoru nesinusovým napětím a proudem vznikají v motoru ztráty, které v motoru při napájení ze sítě nejsou. Typickým případem jsou ztráty v rotorových klecích pracujících na principu skin efektu – vírová klec, dvojitá klec. V důsledku nesinusového napájení se v magnetickém toku objevují vyšší harmonické, které pak i při běžném chodu podporují vznik skin efektu a tím zvýšené ztráty v rotoru. Při objednání motoru od osové výšky 355 mm musí být vždy zadáno pro jaký druh provozu je motor určený.



Obr. 13 Princip vzniku přídavných ztrát v rotoru asynchronního motoru s kotvou nakrátko.

1.9.2 Hřídelové napětí a ložiskové proudy

Hřídelové napětí je napětí měřené podél hřídele mezi oběma ložiskovými uzly. Je vyvolané nesymetrií magnetického pole a je známe především od VN motorů velkých výkonů. Toto napětí je příčinou vzniku ložiskových proudů, které se uzavírají cestou nejmenšího odporu přes hřídel stroje, ložiska a kostrou stroje. Při přestoupení hodnoty 500 mV dochází k porušení olejového filmu v ložiscích. Začne protékat ložiskový proud, jehož přítomnost podstatně zkracuje životnost ložisek. Při napájení asynchronního motoru z frekvenčního měniče je mechanismus vzniku hřídelového napětí podstatně složitější – vedle nesymetrie magnetického toku, se projevuje vliv kapacitních vazeb uvnitř motoru a „common mode voltage“.

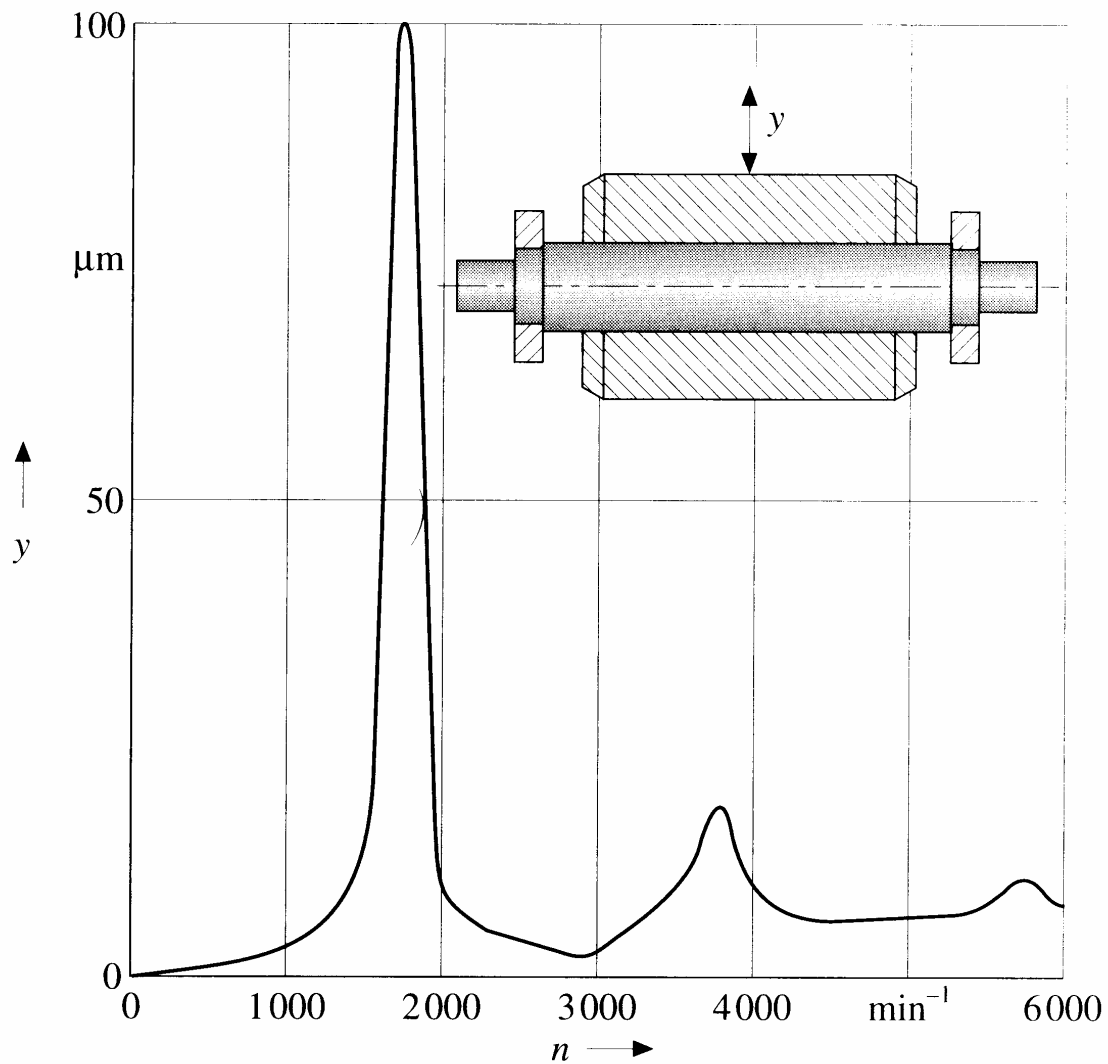
Opatření k omezení ložiskových proudů:

- vhodný typ šířkové pulzní modulace
- proměnná taktovací frekvence
- výstupní filtr
- použití stíněného motorového kabelu
- magnetická symetrie motoru
- izolování ložiska na NDE straně (NON DRIVE END)

1.9.3 Mezní a kritické otáčky

U pohonů s horní hranicí regulačního rozsahu nad 50 Hz se musí respektovat maximální otáčky s ohledem na mechanické vlastnosti motoru – zejména obvodovou rychlost rotoru a z ní vyplývající odstředivé síly namáhající rotorovou klec. Podstatnou roli však hraje i způsob vyvážení motoru a provedení ložiskových uzlů, ventilátoru.

U dvoupólových motorů se mimo to musí respektovat 1. a 2. kritické otáčky. Dvoupólové motory od osové výšky 355 mm mají obvykle synchronní otáčky mezi 1. a 2. kritickými otáčkami. V regulačním rozsahu se pak musí počítat se zakázaným pásmem ve kterém vibrace motoru výrazně překročí povolenou hodnotu – viz. Obr. 14.



Obr. 14 Kritické otáčky dvoupólového asynchronního motoru.

2 LITERATURA

Der Drehstrommotor, Falk K.

Hardware manual ACS600, ABB

Dimensionierung eines Antriebssystems, Technische Anleitung Nr. 7, ABB

Drehzahlverstellung von Asynchronmaschinen, Schörner J, Seifert D., Technische Schriften 4, Loher AG.

Drehstrommaschinen für drehzahlverstellbare Antriebe, Technische Liste UN 03 de

Interní materiály firem ELCOM a.s., Loher GmbH a ABB