

Zatížitelnost střídače

Při průchodu proudu střídačem vznikají ztráty v polovodičových součástkách, na ochranných a řídicích prvcích a ve vodivých částech, které vše spojují do systému (např. do můstkového trojfázového střídače). Tyto ztráty způsobují oteplování a musí se ochlazovacím systémem odvádět do jiného média. Je to složitý tepelný obvod s mnoha prvky, ve kterých ztráty vznikají, ze kterých se převádějí do jiných prvků a do chladicího média.

Na rozdíl od motorů a vinutých dílů s velkou tepelnou kapacitou vinutí, tedy s větší přetížitelností po delší dobu, vznikají u polovodičových měničů ztráty na PN přechodech o velmi malé hmotnosti, tedy s malou tepelnou kapacitou. Přetížitelnost je proudově i časově omezena.

Střídač jako tepelný obvod je dosti komplikovaný systém. Udávaná zatížitelnost a časově omezená přetížitelnost se opírají o měření u výrobců. Výrobce určí zatížitelnost a přetížitelnost na základě měření na střídači. Při měření se uplatňují všechny tepelné kapacity, tepelné odpory, přechodové tepelné odpory mezi částmi měniče - prostě všechny komponenty mající vliv na oteplení zejména součástek s PN přechody. Přitom se měří při definovaném zatížení a přetížení s určitým časovým průběhem. Pro dimenzování se pak využijí tyto skutečnosti:

a) V důsledku malé tepelné kapacity polovodičových součástek se vychází z toho, že v určitém krátkém časovém intervalu T (často např. 5 minut nebo i 15 s) se nesmí ve střídači překročit určité množství ztrátové energie. Po přetížení nad typovou (rated, bemessungs) hodnotu musí přijít odlehčení, tedy přetížení a pak odlehčení (pod typovou hodnotu) v rámci uvedeného časového intervalu.

b) Pokud nejsou uvedeny (tj. od výrobce určeny) mnohé různé způsoby možného přetěžování, pro dimenzování se zjednodušují závislosti ztrát na proudu vyplývající z ampér-voltové charakteristiky větve s antiparalelní kombinací tranzistoru a diody spolu s dalšími částmi, kterými prochází proud. Obvyklé zjednodušení uvažuje pro celý střídač charakteristiku

$$\Delta u = u_0 + ki \quad u_0 = konst. \quad (1)$$

a tedy ztráty - okamžitá hodnota

$$\Delta P = u_0 i + ki^2 \quad (2)$$

Výkonové ztráty v nějakém časovém intervalu

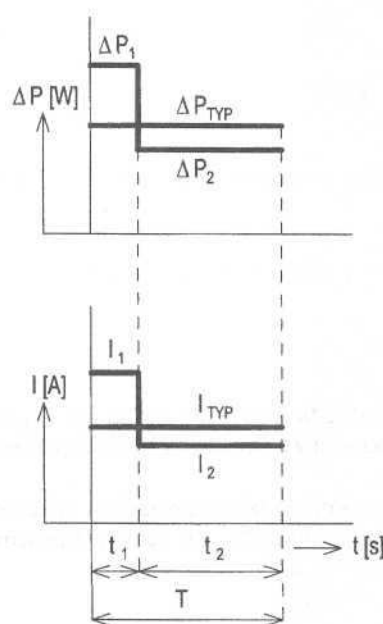
$$\Delta P = u_0 I_{av} + k I_{ef}^2 \quad (3)$$

kde index av značí střední a index ef značí efektivní hodnotu. Ztráty jsou tedy zčásti úměrné střední hodnotě, zčásti efektivní hodnotě zatěžovacího proudu. Kvalitativně možno říci, že při „malých“ proudových zatíženích rozhodují $u_0 I_{av}$ a při „velkých“ narůstají ztráty $k \cdot (I_{ef})^2$ a mohou být rozhodující.

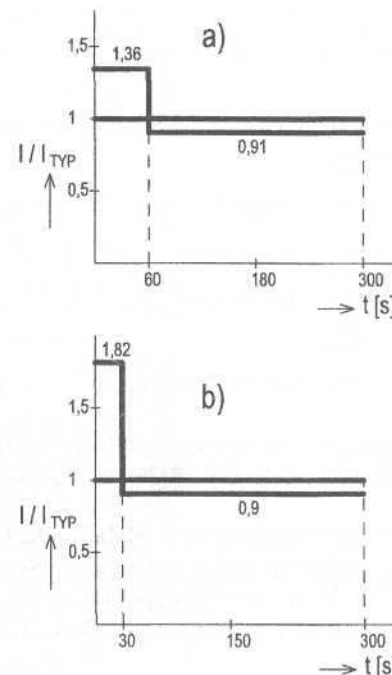
a) Údaje o zatížitelnosti měniče jsou udávány pro určitý nosný kmitočet f_{TYP} pulsní šířkové modulace. Pokud použijeme jiný nosný kmitočet f než f_{TYP} , pro který jsou udány podmínky přetížitelnosti, přepočteme (nejčastěji odhadneme) změněné podmínky zatížitelnosti, neboť z celkových ztrát ΔP střídače s IGBT při frekvenci 2,5 kHz činí spínací ztráty 15 % až 25 % (pro malé výkony méně, pro velké více). Pro jiný kmitočet f , jiný proud I a jiné napětí U se spínací ztráty změň podle přibližného vztahu

$$\frac{\Delta P_f}{\Delta P_{f_{TYP}}} = \frac{f}{f_{TYP}} \frac{I}{I_{TYP}} \frac{U}{U_{TYP}} \quad (4)$$

Napětí a proudy jsou efektivní hodnoty na výstupu střídače.



Obr. 1 Způsoby udávání zatížitelnosti



Obr. 2 Zatížitelnost měniče (příklady)

Údaj o zatížitelnosti střídače je založen na tom, že v udávaném časovém intervalu T se ve střídači smí přeměnit ztrátová energie na teplo o nejvýše stejné velikosti, jako při konstantním jmenovitém (typovém, rozměrovém apod.) proudu I_{TYP} ve stejném časovém intervalu T . Pro interval T s dvěma dílčími intervaly t_1 a t_2 , obr. 1, pak je pro plné využití střídače bilance ztrát

$$\Delta P_{TYP}(I_{TYP})T = \Delta P_1(I_1)t_1 + \Delta P_2(I_2)t_2 \quad (5)$$

Všechny dílčí ztráty ΔP jsou uvedeny jako funkce proudu a při zjednodušené představě (3) to vede na

$$\left(u_0 I_{TYP} + k I_{TYP}^2\right)T = \left(u_0 I_{1av} + k I_{1ef}^2\right)t_1 + \left(u_0 I_{2av} + k I_{2ef}^2\right)t_2 \quad (6)$$

Tento obecný výraz upřesňují výrobci střídačů pro typický průběh proudu I měřením a stanoví, jaké přetížení proudem $I_1 > I_{TYP}$ po dobu t_1 musí být vyrovnáno odlehčením $I_2 < I_{TYP}$ po dobu t_2 .

Dimenzování měniče (střídače)

Dimenzování měniče podle výkonu:

V případě, že na pohon nejsou kladeny požadavky na jeho krátkodobé přetěžování (např. v dynamických režimech) lze provést návrh měniče na základě určení potřebného zdánlivého výkonu měniče dle vztahu:

$$S_Q = 1,05 \cdot \frac{P_{max}}{\eta_{Mot} \cdot \cos \varphi_{Mot}} \quad [\text{kVA, kW}] \quad (7)$$

1,05 koeficient zohledňující neharmonický průběh proudu

P_{max} maximální požadovaný trvalý mechanický výkon na hřídeli motoru v ustáleném stavu tj. při $n=\text{konst.}$

η_{Mot} , $\cos \varphi_{Mot}$... účinnost a účiník motoru

Dimenzování měničů podle proudů

Pro náročnější aplikace s větším regulačním rozsahem řízení rychlosti popř. s požadavky na přetěžování pohonu je vhodné vycházet z proudu motoru.

Pro daný průběh momentového zatížení motoru se určí průběh proudu motoru - viz kap. k dimenzování motoru. Zvolí se dodavatel měniče, který stanoví časový interval T_{TYP} . V časovém průběhu proudu se vyhledá interval o trvání T_{TYP} a v něm se stanoví obdobně k (6) pro malá přetížení a odlehčení střední zatěžovací proud I_{pav} , pro velká přetížení efektivní zatěžovací proud I_{pef} . Např. pro průběh proudu v intervalu T_{TYP} se dvěma hodnotami proudu I_{p1} a I_{p2} se určí střední zatěžovací proud

$$I_{pav} T_{TYP} = I_{p1} t_1 + I_{p2} t_2 \quad (10)$$

nebo efektivní ze vztahu

$$I_{pef}^2 T_{TYP} = I_{p1}^2 t_1 + I_{p2}^2 t_2 \quad (11)$$

Dimenzování měniče znamená určit jeho I_{TYP} z podmínky

$$I_p \leq I_{TYP} \quad (12)$$

(I_p je podle (10) nebo (11)). Podrobněji v dalším uvedeme několik možných průběhů zátěžného proudu.

a) Trvalý zatěžovací proud $I_p = \text{konst.}$ Měnič se dimenzuje z jednoduché podmínky

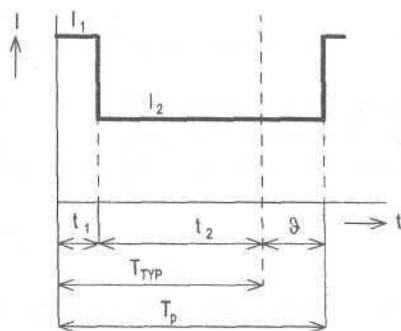
$$I_p \leq I_{TYP} \quad (13)$$

k I_{TYP} je přiřazen typový (jmenovitý) výkon měniče.

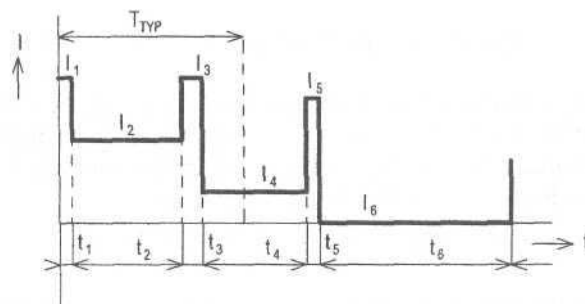
b) Cyklické zatížení s přetížením - doba cyklu $T_p < T_{TYP}$. Podle velikosti přetížení se vypočte I_p jako střední podle (10) nebo efektivní podle (11) hodnota proudu v intervalu T_p . Poté musí být splněna podmínka (12).

c) Cyklické zatížení s přetížením - doba cyklu $T_p > T_{TYP}$. Průběh takového zatížení je na obr.3. V tomto případě se nemohou respektovat ztráty vznikající v časovém intervalu od T_{TYP} do T_p . To znamená, že pro výpočet proudu I_p podle (10), (11) se uvažují proudy:

$$I_1 \text{ po dobu } t_1, I_2 \text{ po dobu } t_2 = T_{TYP} - t_1$$



Obr. 3 Příklad cyklického zatížení



Obr. 4 Příklad necyklického zatížení

d) Necyklické zatížení s občasným přetížením. Průběh zatížení je znázorněn na obr. 4. Pro dimenzování vyhledáme v časovém sledu přetěžovacích a odlehčovacích intervalů časový interval T_{TYP} , ve kterém vzniknou největší ztráty. Tento interval je buď na první pohled zřejmý (to je např. na obr. 4) nebo se určí některé další intervaly T_{TYP} . V nich se vypočte proud I_p podle (10), resp. (11). Pro dimenzování se pak využije ten interval T_p , ve kterém I_p vyjde největší.

Ve všech uvedených průbězích zatěžovacího proudu by se neměl v žádném dílčím intervalu překročit maximální proud udávaný v katalogu měničů.

Zohlednění některých vlivů při návrhu a dimenzování MK

Pracovní prostředí

Zvýšená teplota okolí měniče

U většiny měničů je při jeho provozu uváděn dovolený rozsah okolní teploty (chladícího media) $0 \div 40$ (50) °C, který je mj. závislý na provedení měniče (otevřený, uzavřený, s ventilací apod.). V případě, že skutečná provozní teplota přesáhne maximální hranici tohoto rozsahu, je nutno provést snížení (redukci) výkonu měniče (jeho jmenovitého proudu). Výrobci měničů uvádějí ve svých technických podkladech návod na způsob tohoto snížení:

- buď ve formě grafického znázornění koeficientu redukce (závislosti poměrné hodnoty redukovaného jmenovitého proudu) na teplotě (převýšení max. hranice) – viz obr. 6
- nebo udáním tohoto koeficientu přímo v závislosti na jeden stupeň převýšení teploty okolí nad max. hranici, který bývá uváděn v rozmezí cca 1÷5 % na stupeň převýšení teploty, (např. u měničů řady Altivar se uvádí 1,2 %, fa ELPRO udává pro své měniče 5 % na každý stupeň převýšení, ABB udává koeficient 3,5 %)

Snížený tlak okolního vzduchu (vyšší nadmořská výška)

Většinou se zde jedná o případy instalace měniče do nadmořské výšky nad 1000 m. Algoritmus snížení parametrů měniče bývá uváděn v závislosti na nadmořské výšce ve formě:

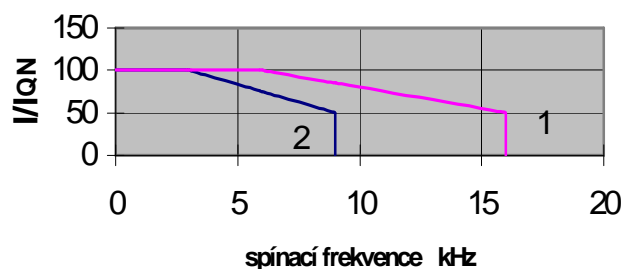
- buď grafického zobrazení koeficientu snížení (popř. poměrné hodnoty proudu) – viz obr. 6
- nebo ve snížení max. dovolené okolní teploty

Dlouhá přívodní vedení k motoru nebo jeho vyšší průřez (předimenzování)

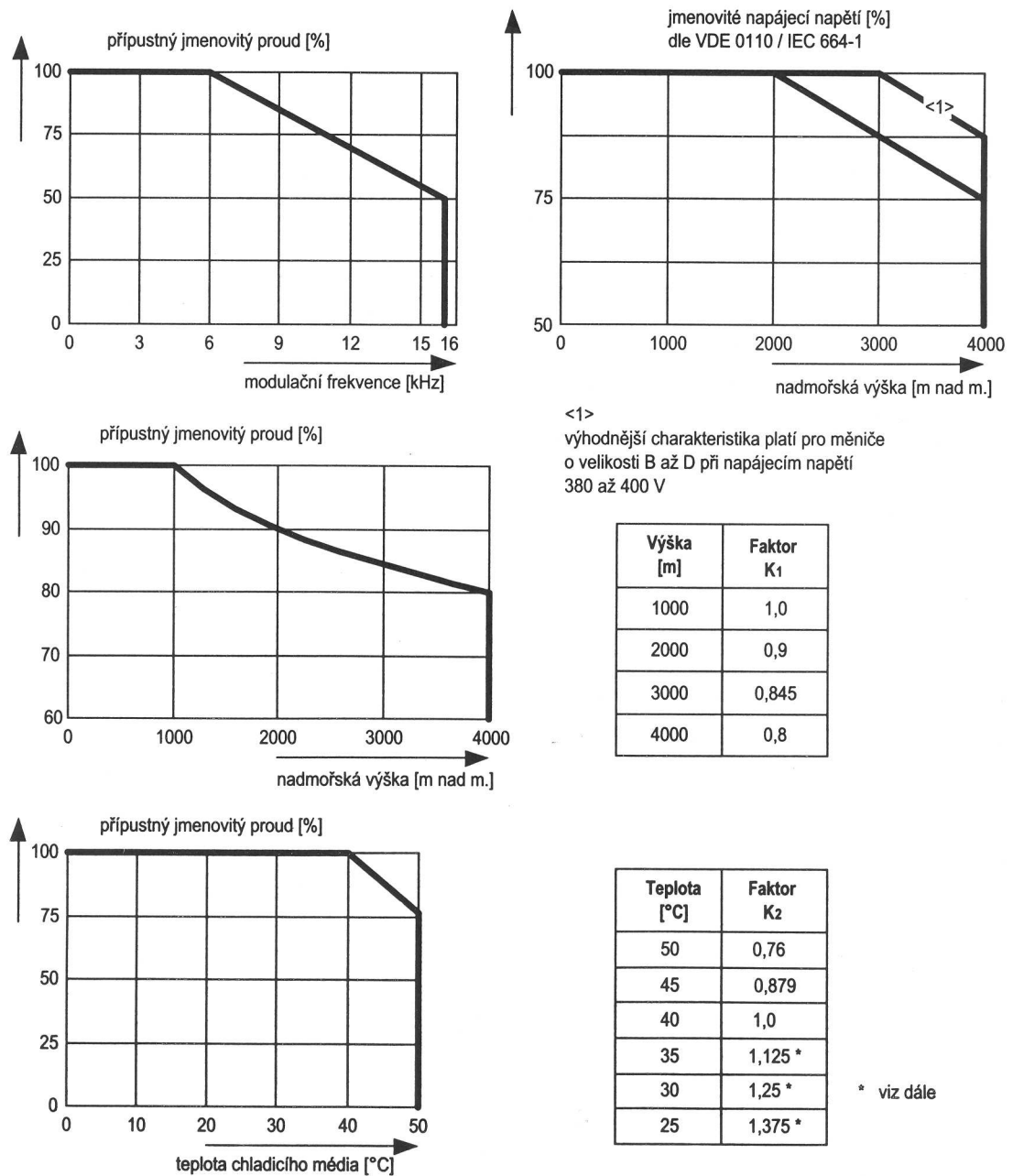
V obou výše uvedených případech se jedná o zvýšení kapacity připojené na výstup měniče, znamenající mj. i zvýšení velikosti svodového proudu zatěžujícího výstupní střídač měniče. V dokumentaci k měničům bývají uvedeny měniče maximální parametry přívodních vedení k motoru pro jejich jednotlivá provedení (stíněné - nestíněné) a použití přídatných komponent na výstupu (tlumivky, filtry). V případě překročení těchto hodnot je nutná redukce výkonu měniče (jeho jmen. proudu). Např. pro měniče Danfoss se pro zvýšení průřezu o jeden stupeň uvádí algoritmus snížení jmenovitého proudu měniče o 5 %

Spínací (modulační) frekvence f_p

Jmenovité parametry měniče jsou stanoveny pro určitou spínací frekvenci, která bývá uváděna v dokumentaci měniče a pohybuje se většinou v rozmezí 3÷6 kHz. . V případě použití vyšší spínací frekvence je nutno provést redukci (snížení) jmenovitého proudu měniče. Přesný činitel tohoto snížení by měl být udán výrobcem měniče. Na následujícím obr. je příklad uvedeného snížení pro měniče řady Master Drives 1 - pro napětí sítě $U_s = 220 - 440$ V, 2 - $U_s = 500$ V.



Obr. 5 Korekce jmenovitého proudu měniče kmitočtu s ohledem na spínací frekvenci



Obr. 6 Příklad zahrnutí vlivu prostředí na zatížitelnost měniče fy Siemens

Pozn. *: Přepočítání přípustného jmenovitého proudu v závislosti na nadmořské výšce (> 1000 m nad mořem) místa, kde je měnič provozován, se při teplotě chladicího média odlišné od 40°C provede takto:

výsledný koeficient = koeficient (výška) x koeficient (teplota chladicího média)

$$K = K_1 \times K_2$$

Upozornění: V žádném případě nesmí být redukční koeficient větší než 1

Příklad:

nadmořská výška: 3000 m nad mořem ~ $K_1 = 0,845$

teplota chladicího média: 35°C ~ $K_2 = 1,125$

$$K = K_1 \times K_2 = 0,845 \times 1,125 = 0,95$$