Elektromagnetická kompatibilita měničů v nf oblasti

"Elektromagnetická kompatibilita je schopnost zařízení nebo systému fungovat vyhovujícím způsobem ve svém elektromagnetickém prostředí bez vytváření nepřípustného elektromagnetického rušení pro cokoliv v tomto prostředí".

1. Definice a průběhy neharmonických veličin

V teorii i v praxi se setkáváme s takovými průběhy elektrických veličin, které jsou sice periodické (alespoň v určitém časovém intervalu), ale jejich průběh je neharmonický. Protože se však velmi dobře a výhodně pracuje s harmonickými průběhy, je často požadováno vyjádřit periodickou harmonickou veličinu jako nekonečnou řadu složenou z konstanty a harmonických veličin o kmitočtech rovných přirozeným násobkům základního kmitočtu.

Výkony v obvodech s neharmonickými průběhy napětí a proudu

Předpokládejme, že v rozvodném systému je v místě připojení spotřebiče napětí, které lze vyjádřit Fourierovou řadou:

$$u(t) = \sum_{k=0}^{\infty} u_k(t)$$

kde $u_k(t) = \sqrt{2}U_k \sin(k\omega t + \varphi_{uk})$ *a* $u_0(t) = U_0$

Proud spotřebiče lze vyjádřit obdobně:

$$i(t) = \sum_{l=0}^{\infty} i_l(t)$$

kde $i_l(t) = \sqrt{2}I_l \sin(l\omega t + \varphi_{il})$ *a* $i_0(t) = I_0$

Základní definice výkonu vychází z definice okamžitého výkonu, kde platí:

$$p(t) = u(t) \cdot i(t)$$

Dosazením:

$$p(t) = \sum_{k=0}^{\infty} u_k(t) \cdot \sum_{l=0}^{\infty} i_l(t)$$

Činný výkon je definován jako střední hodnota okamžitého výkonu:

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T p(t)dt = \frac{1}{T}\int_0^T \sum_{k=0}^{\infty}\sum_{l=0}^{\infty} u_k(t).i_l(t)dt$$

Výpočtem dostaneme:

$$P = P_0 + P_1 + P_2 + ... = \sum_{h=0}^{\infty} P_h = P_0 + \sum_{h=1}^{\infty} U_h I_h \cos\varphi_h$$

Zdánlivý výkon**,** zavedený jako pomocná veličina z výpočtových důvodů, je obdobně jako u harmonických napětí a proudů definován jako součin efektivních hodnot napětí a proudů.

$$S = U \cdot I = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} U_k^2} \cdot \sqrt{\sum_{l=0}^{\infty} I_l^2}$$

Jalový výkon udává míru energie, která střídavě kmitá mezi zdrojem a spotřebičem: $Q = \sum_{h=1}^{\infty} Q_h = \sum_{h=1}^{\infty} U_h I_h \sin\varphi_h$

Protože u neharmonických průběhů dochází k nerovnosti:

$$S^2 \geq P^2 + Q^2$$

zavádí se pojem deformační výkon, definovaný:

$$D = \sqrt{S^2 - \left(P^2 + Q^2\right)}$$

Deformační výkon, obdobně jako výkon jalový, představuje neužitečnou složku zdánlivého výkonu, vyvolávajícího nárůst ztrát v napájecí síti a snížení využitelnosti sítě a měniče. V neharmonických obvodech pak nestačí uvádět pouze účiník cos φ_1 , nýbrž je zaveden tzv. skutečný (celkový) účiník Λ. Velmi často přejímaný název je faktor výkonu (*Power Factor)*, a označuje se v literatuře buď písmenem Λ, nebo písmenem PF.

$$\Lambda = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}}$$

Skutečný účiník Λ a cos φ_1 zaměňovat, neboť dochází (zejména u měničů kmitočtu s napěťovým střídačem) k velmi rozdílným hodnotám obou účiníků. Může docházet k takovým stavům, že požadujeme regulaci soustavy na cos $\varphi_1 \rightarrow 1$, ale celkový účiník Λ zůstává velmi nízký.

2. Negativní vlivy usměrňovačů s induktivní zátěží na napájecí síť

Pro odvození velikosti proudů vyšších harmonických předpokládejme 3 fázový usměrňovač v můstkovém zapojení, transformátor ve spojení Y/y.

Provedením Fourierovy analýzy odebíraného proudu i_R dostaneme:

$$i_R(t) = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_d \left(\frac{1}{1}\sin \omega_1 t - \frac{1}{5}\sin 5\omega_1 t - \frac{1}{7}\sin 7\omega_1 t + \frac{1}{11}\sin 11\omega_1 t + \ldots\right)$$

Rozborem vztahu zjistíme, že se zde objevují pouze harmonické určitých řádů **h**:

$$h = kp \pm 1$$

kde k je celé číslo a p je pulznost usměrňovače. Harmonické, které splňují podmínky rovnice, se nazývají charakteristické harmonické**.** Pro velikost proudu **h** – té harmonické lze psát vztah:

$$I_h = \frac{1}{h} \cdot I_1$$

Tento vztah bývá označován jako ***amplitudový zákon*.**

Hodnoty amplitudy první harmonické proudu pro jednotlivá zapojení jsou:

$I_{1\max} = \frac{\sqrt{3}}{\pi} I_d$ - pro trojpulzní spojení

$I_{1\max} = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_d$ - pro šestipulzní spojení

$I_{1\max} = \frac{4\sqrt{3}}{\pi} I_d$ - pro dvanáctipulzní spojení

3. Negativní vlivy usměrňovačů s kapacitní zátěží na napájecí síť

Existuje 5 různých možností, jaký mohou mít proudy odebírané měničem ze sítě průběh. Nejčastější tři průběhy jsou ukázány na obrázku.

Pokud nebudou použity dodatečné prostředky, je nejčastější průběh dle horního obrázku. Hledejme nyní obdobu amplitudového zákona, platného pro usměrňovač pracující do induktivní zátěže. Pak lze průběh proudu zjednodušit dle obrázku.

Vyjádření proudu Fourierovou řadou:

$$i_S(\omega t) = \sum_{h=1}^{\infty} \frac{8I_{Sm}}{\pi h} \sin\frac{hd}{2}.\sin\frac{h\pi}{2}.\cos\frac{h\pi}{6}.\sin(h\omega t)$$

Pro první, základní harmonickou tohoto proudu pak platí:

$$I_1 = \frac{8I_{Sm}}{\pi} \sin\frac{d}{2}.\cos\frac{\pi}{6} = 2{,}205.I_{Sm}.\sin\frac{d}{2}$$

a pro h-tou harmonickou: $I_h = \frac{1}{h} I_1 . \frac{\sin\frac{hd}{2}}{\sin\frac{d}{2}}$

Uvedený vztah je univerzální. Dosazením za max. dobu vodivosti diody 2.d = 120^0 je zlomek rovný 1 pro všechny harmonické řádu **h**. Pak se dostáváme na známý amplitudový zákon. Nový vztah pak nazýváme zobecněný amplitudový zákon. Ze vztahu je rovněž patrné, aby z hlediska velikosti harmonických proudů vedla dioda v můstku usměrňovače co nejdéle. To lze nejsnáze dosáhnout použitím nízké kapacity kondenzátoru. Požadavek na nízkou hodnotu kapacity je ale v přímém rozporu s požadavky na nízké zvlnění a nízké kolísání střední hodnoty napětí stejnosměrném meziobvodu měniče. V praxi se to řeší přidáváním vhodných tlumivek. To v praxi ale znamení další investiční náklady.

Výhodou neřízených usměrňovačů na rozdíl od řízených je odběr proudu s účiníkem téměř 1. Další možnost snížení harmonických proudů je užití pulzních usměrňovačů.

4. Negativní účinky měničů na napájená zařízení

Gradient d*u*/d*t* moderních polovodičových součástek dosahuje až 10kV/μs. Z hlediska provozu měniče jsou to vynikající vlastnosti. Uvedené výhody měničů však mají i stinné stránky.

K okamžitým projevům negativních účinků měniče na motor se můžeme dostat, pokud připojíme mezi měnič kmitočtu a motor přívodní kabel větší délky. Pak kromě strmých napěťových pulzů se na motoru objeví navíc vysokonapěťové vysokofrekvenční kmity, které mohou vést k okamžitému poškození izolace vinutí motoru. Například při provozních zkouškách zařízení měnič – kabel – motor v soustavě 3 x 500 V se zjistilo, že se na vinutí motoru objevují špičky vysokého napětí o hodnotě téměř 2 kV. Vzhledem k destruktivním účinkům je velmi obtížné toto napětí měřit a rovněž experimentální hledání příčin a způsobů odstraňování je prakticky nemožné.

5. Důsledky negativních účinků měničů

1. Odběr neharmonických proudů, čímž vzniká deformační výkon. Ten je odebírán ze sítě, spolu s jalovým výkonem první harmonické patří mezi tzv. neaktivní výkony. Znamená to, že je odebereme, zaplatíme, ale nepřemění se v činný výkon.
2. Vyšší harmonické proudy se uzavírají přes napájecí síť a mohou na ní vyvolat změny napětí. Výsledkem je deformace základní křivky napětí, což negativně ovlivňuje činnost spotřebičů, které na napájecí síť jsou připojeny.
3. Vlivem vyšších harmonických dochází ke vzájemnému rušení funkce stejných a obdobných zařízení, tj. působení výkonových elektronických obvodů navzájem, a zvláště pak působení všech obvodů na systémy řízení rozsáhlých elektronických zařízení, včetně výpočetní techniky.
4. U řízených měničů dochází vlivem řízení měniče k posunu základní (první) harmonické proudu za napětím o úhel řízení α. Tím dochází ke zvětšení odebíraného jalového výkonu.

5. Dochází ke vzniku velkého napěťového namáhání na motorech vlivem velké strmosti spínacího napětí střídače. Při zařazení kabelu pak vznikají velká přepětí.
6. Mezi negativní účinky lze řadit též působení na sdělovací prostředky a zařízení pro drátový i bezdrátový přenos informace.
Z uvedeného je zřejmé, že prakticky žádný elektrický spotřebič nemůže pracovat, aniž by zpětně negativně neovlivňoval napájecí síť.

6. Minimalizace negativních jevů měničů na síť

Vytvořit takový elektrický spotřebič, který by negativně neovlivňoval napájecí soustavu, je prakticky nemožné. Princip elektromagnetické kompatibility spočívá v zásadě, že je možné všechny druhy zpětných vlivů omezit na jistou, hospodárně a technicky dosažitelnou míru. Současně je nutné zajistit, že všechna zařízení v soustavě budou řádně plnit svou funkci.

V zásadě lze rozdělit tyto prostředky na 2 skupiny:

Omezení negativních účinků bez přídavných zařízení

Jedná se o taková zapojení měničů, které by vykazovaly co nejmenší vlivy na napájecí síť. Sem řadíme např. zvětšení počtu fází měniče (pulznost), speciální zapojení měničového transformátoru, sériové zapojení usměrňovačů, měniče s vícenásobnou komutací atd.

Omezení negat. účinků pomocí filtrů

Rezonanční filtr je základním obvodem tzv. filtračně-kompenzačního zařízení (FKZ). Filtr, nebo častěji skupina filtrů jsou naladěny vždy na určitý kmitočet. Obvykle se volí charakteristické harmonické nejnižších řádů.
Základní schéma rozvodu v průmyslovém závodě s užitím polovodičového měniče a filtru je na obrázku, následuje pak schéma dvou filtrů (laděných např. na 5. a 7. harmonickou) a jejich výsledná frekvenční charakteristika.

7. Minimalizace negativních jevů měničů na spotřebiče

Možnosti, jak zabránit negativním účinkům polovodičových měničů na motory lze rozdělit do 3 skupin:

a) zmenšení výstupního du/dt střídače,
b) použití terminátorů,
c) filtry du/dt,
d) sinusové filtry,
e) dimenzování motorů.

Zatímco první způsob se zabývá tím, jak omezit du/dt přímo konstrukcí a řízením střídače, další způsoby již du/dt eliminují. Použití terminátorů spočívává ve vytvoření takové brány, že strmé hrany se nedostanou do kabelu, nebo již vzniklé kmity se nedostanou na vinutí motoru. Často používané jsou filtry, a to buď jednodušší filtry du/dt, nebo složitější (zejména s ohledem na návrh a ztráty) filtry sinusové. Poslední způsob je takové dimenzování motoru, že nebezpečné napěťové kmity nepoškodí izolaci vinutí motoru.