Vážení zákazníci,

dovolujeme si Vás upozornit, že na tuto ukázku knihy se vztahují autorská práva, tzv. copyright.

To znamená, že ukázka má sloužit výhradně pro osobní potřebu potenciálního kupujícího (aby čtenář viděl, jakým způsobem je titul zpracován a mohl se také podle tohoto, jako jednoho z parametrů, rozhodnout, zda titul koupí či ne).

Z toho vyplývá, že není dovoleno tuto ukázku jakýmkoliv způsobem dále šířit, veřejně či neveřejně např. umisťováním na datová média, na jiné internetové stránky (ani prostřednictvím odkazů) apod.

redakce nakladatelství BEN – technická literatura
redakce@ben.cz

5 RUŠIVÉ VLIVY PŘI PROVOZU HDO A JEJICH OSTRAŇOVÁNÍ

Předpokládáme-li spolehlivou vlastní činnost vysílačů a přijímačů, ohrožují bezpečnost provozu jen rušivé vlivy ze strany sítě, které je možné rozdělit v zásadě do dvou skupin.

První skupinu tvoří poruchy na přenosové cestě, které zároveň působí rušivě i na přenos energie se síťovou frekvencí (mechanické přerušení vedení, zkraty, přímý zásah bleskem atd.). Druhá skupina, pro tuto úvahu důležitější, v sobě zahrnuje rušivé vlivy působící jen na zařízení HDO a vznikající normálním provozem silnoproudé sítě. Poruchy takto vzniklé nemohou být odstraňovány omezováním normálního provozu, nýbrž je nutné, abychom tyto rušivé jevy znali a snažili se jejich účinkům buď vyhnout, nebo je vhodnými prostředky potlačit tak, aby parazitně nezasahovaly do bezpečnosti provozu zařízení HDO.

5.1 KRÁTKODOBÁ PARAZITNÍ NAPĚTÍ

Krátkodobá parazitní napětí mohou být způsobena přechodovými jevy při zapínání a vypínání velkých spotřebičů (hlavně kompenzačních kondenzátorů). Může to však být i jiskření (výboje), např. na závěsech trolejového vedení elektrických drah, které obsahuje zcela nedefinovatelné spektrum rušivých frekvencí. Mezi další příčiny můžeme započítat i působení atmosférické elektřiny, popř. některých jiných krátkodobých jevů.

Pozorujme nyní blíže vznik parazitního napětí při zapnutí kompenzačních kondenzátorů na síť. Proudy a napětí na kondenzátoru jsou ustálené a přechodné. Ustálený proud závisí pouze na stálých konstantách připojeného obvodu a jeho kmitočet je totožný s kmitočtem sítě, který označíme f_{50}. Přechodný proud o kmitočtu f_x, který je určen vlastní rezonanční frekvencí obvodu a bývá několikanásobkem síťové frekvence, se exponenciálně zmenšuje v závislosti na časové konstantě obvodu. Počáteční amplituda závisí na okamžiku připojení kondenzátoru na síť vzhledem k fázi síťového napětí. Nejhorší případ nastane tehdy, je-li kondenzátor zapnut v okamžiku maximálního napětí. Označíme-li klidový ustálený proud I_{50}, pak proudový náraz je

$$I_{50}\,\frac{f_x}{f_{50}}$$

z čehož plyne, že maximální proud činí

$$i_{max} = \left(1 + \frac{f_x}{f_{50}}\right) I_{50} \tag{64}$$

Přechodná složka napětí má amplitudu rovnou amplitudě ustálené složky U_{50}, takže maximální napětí je

$$u_{max} = 2U_{50} \tag{65}$$

Optimální poměry nastanou tehdy, jestliže je kondenzátor zapnut v okamžiku nulového napětí síťové frekvence. Amplituda proudu přechodné složky má stejnou velikost jako amplituda ustálené složky proudu, takže (při velké časové konstantě obvodu) je

$$i_{max} = 2I_{50} \tag{66}$$

Amplituda přechodného napětí na kondenzátoru bude $U_{50} \frac{f_{50}}{f_x}$

a maximální napětí bude

$$u_{max} = \left(1 + \frac{f_{50}}{f_x}\right) U_{50} \tag{67}$$

Při provozu se přechodné proudy a napětí pohybují mezi těmito krajními hodnotami. U kompenzačních kondenzátorů blokovaných zádržemi jsou poměry ještě komplikovanější.

Amplitudy rušivých napětí vznikající spínacími pochody a změnami zatížení jsou podle okolností rozprostřeny v celé frekvenční oblasti užité pro ovládání a jejich velikost může dosahovat citlivosti přijímačů. Zpravidla jde o krátkodobé impulzy, nebo skupiny impulzů, jejichž napětí mohou dosáhnout až několika desítek voltů. Tyto rušivé impulzy vstupní obvod obvykle indikuje. Necitlivosti vstupního obvodu vůči těmto vlivům se dosahuje různými způsoby.

5.2 PARAZITNÍ NAPĚTÍ TRVALÉHO RÁZU

Příčinou těchto rušivých napětí je deformace sinusového průběhu křivky síťového napětí a mohou je vyvolávat všechny elektrické stroje. Přitom se v síti objevují nespojitá spektra vyšších harmonických síťové frekvence.

Velké synchronní generátory ve většině případů vyšší harmonické téměř neprodukují. Vyskytnou-li se výjimečně, lze je vhodnou úpravou potlačit. Horší situace je však u malých a zvláště pomaloběžných generátorů, které do sítě dodávají hlavně 5.; 7.; 11.; a 13. harmonickou síťového kmitočtu.

Dalšími zdroji harmonických jsou elektrické pece a polovodičové usměrňovače. U transformátorů napájejících usměrňovače je celkový průběh proudu stupňovitý, přičemž vzniká řada harmonických. Je-li počet fází usměrňovače y, pak můžeme určit vzniklé harmonické podle vztahu

$$h = m \,.\, y \pm 1 \tag{68}$$

kde m je libovolné celé kladné číslo. Velikost amplitudy jejich proudu určíme přibližně podle dalšího vztahu

$$I_h = \frac{1}{h} I_{50} \tag{69}$$

kde I_{50} je velikost proudu základní harmonické.

Rušivé spektrum vyšších harmonických od trojfázových usměrňovačů má přibližně hyperbolický průběh amplitud v závislosti na frekvenci, vyjímaje třetí harmonickou a její násobky. Deformace síťové křivky v určitém místě závisí na zatížení usměrňovače, na kvalitě polovodičových prvků a na vzdálenosti od nich.

Poslední velkou skupinou produkující vyšší harmonické jsou všechny elektrické stroje se železným obvodem, které odebírají ze sítě magnetizační proud, jehož průběh není sinusový. Do této skupiny je možné zařadit transformátory, asynchronní motory, tlumivky apod. V tomto spektru se vyskytují liché harmonické (3., 5., 7., 9., 11., 13., 17., 19. atd.). Zapojením spotřebiče do trojúhelníka je však možné odstranit třetí harmonickou a její celistvé násobky.

Z uvedeného je vidět, že největší amplitudy mají kromě základní harmonické také 5., 7., 11., 13., 17., 19., 23., 25. a 29. harmonická síťového kmitočtu.

Rozborem u asynchronních motorů se zjistilo, že rozdělením vinutí do drážek vzniká při otáčení rotoru kolísání impedance motoru, které má za

následek vznik vyšších harmonických. Jejich frekvence závisí na otáčkách motoru a na počtu drážek rotoru. Je-li motor připojen přes delší napájecí vedení (hlavně venkovní), pak může vzniknout rušivý signál o amplitudě i několik voltů.

Proud vyšších harmonických I_h vykazuje ve vodiči vedení úbytek napětí

$$U_h = \omega_h L I_h \tag{70}$$

Jestliže citlivost přijímače je U_{min}, pak nutně platí, že $U_h < U_{min}$. Uvažujeme-li zdánlivý výkon motoru N_{50} při jmenovitém napětí U_{50} a proudu I_{50}, pak

$$N_{50} = \sqrt{3} U_{50} I_{50} \tag{71}$$

a vztáhneme-li I_h na I_{50}, pak

$$\frac{I_h}{I_{50}} < \sqrt{3}\,\frac{U_{min} U_{50}}{N_{50} \omega_h L} \tag{72}$$

Za předpokladu, že venkovní vedení má L = 1,05 mH.km^{-1}, vedení je dlouhé 2 km a U_{50} = 380 V, dostaneme

$$\frac{I_h}{I_{50}} < \sqrt{3} \,.\, 50 \frac{U_{min}}{N_{50} f_h}$$ a pro f_h = 1000 Hz a motor 10 kVA je $\frac{I_h}{I_{50}} < 1\%$

Proto v obdobných případech, kde by se přestoupila z těchto příčin citlivost přijímačů, je nutné zdroj vyšších harmonických blokovat. Ačkoli z třífázového synchronního nebo asynchronního motoru nemůže vzniknout frekvence např. 1050 Hz, přesto může způsobit rušivé napětí, které přestoupí hranici citlivosti přijímače. Nejbližší frekvence která se může objevit, je 1150 Hz; ta se však při zatížení snižuje úměrně se skluzem. Při přetížení asynchronního motoru může frekvence klesnout až na 1100 Hz při současném nárůstu napájecího proudu a při omezené selektivitě přijímače pak může dojít k jeho náběhu. Ještě horší však je, že se při rozběhu motoru objeví změnou otáček celé spektrum frekvencí a tyto nemají rušivý vliv jen při dostatečně rychlém rozběhu. Rovněž při přepínání motoru přepínačem hvězda-trojúhelník se může velmi rušivě projevit frekvence 850 Hz. Stejné obtíže mohou nastat i u kroužkových motorů

s regulací otáček. Bližším zkoumáním bylo zjištěno, že problém proudů vyšších harmonických je identický s parazitními synchronními točivými momenty. Došlo se k následujícím závěrům:

1. Optimální zešikmení drážek v rotoru nebo statoru je závislé na počtu drážek, na kroku vinutí a na počtu pólpárů. Největší synchronní moment, a tím i největší hodnota vyšších harmonických vzniká při rozdílu počtu drážek $(d_1 - d_2) = 2p_p$. Zde i malé výrobní odchylky mají značný význam.
2. Změnou kroku cívek se může někdy dosáhnout velkých zlepšení, hlavně pro určitou frekvenci (je ekonomicky výhodnější než změna počtu drážek nebo zešikmení).
3. Někdy místo jednotlivých cívek je vhodné volit skupiny cívek s odstupňovaným počtem drátů. Faktor vinutí pro základní harmonickou se mění jen nepatrně, kdežto pro vyšší harmonické značně.
4. Paralelní větve vinutí mají vliv, jen když rozdíl počtu drážek $(d_1 - d_2) \neq \neq 2p_p, 4p_p, 6p_p$ ... a mohou tedy výskyt vyšších harmonických značně zvětšit.
5. Zapojení do hvězdy zvětšuje vyšší harmonické.
6. Sycení železa má značný vliv a při jeho přesycení vznikají nové vyšší harmonické. Vyšší harmonické vzniknou, když je splněna podmínka $(d_1 - d_2) = 2p_p, 4p_p$.
7. Excentricita rotoru nemá podstatný vliv na vyšší harmonické.
8. Zlomení tyče v kleci rotoru nemá podstatný vliv.
9. Zvláště nevýhodné poměry jsou u motorů s proměnným počtem pólů, u motoru s malým výkonem a s vysokým počtem pólpárů.
10. U normálních obchodních motorů se musí počítat se síťovými proudy vyšších harmonických 2 až 4 % I_{50}.

Nežádoucí vliv vyšších harmonických by se měl projevit teprve tehdy, kdyby si výkon vysílacího zařízení vyžádal větší citlivosti přijímače a nebylo by možné se vůči rušivým vlivům bránit snížením jeho citlivosti. V mnoha případech se dá ovšem vyhnout nepříznivému vlivu vyšších harmonických i volbou vhodné signální frekvence.

5.3 REZONANČNÍ VLIVY

Mezi nejnepříjemnější, někdy krátkodobé, jindy dlouhodobé rušivé vlivy patří jevy rezonanční. Jak již bylo uvedeno, mohou vzniknout všude tam, kde se vyskytuje současně indukčnost i kapacita, tedy prakticky v celé síti.

Pravděpodobnost markantních jevů je tím menší, čím méně je síť rozlehlá, čím méně kapacit obsahuje (hlavně kabelů), čím je signální frekvence nižší a čím více je síť ohmicky zatížena. Protože se konfigurace sítě během dne mění a s ní se mění i odběr, můžeme očekávat během dne nejen možnosti výskytu rezonančních jevů (změna velikosti kompenzačních kondenzátorových baterií, změna velikosti propojení kabelové sitě), ale i změny ve velikosti vzrůstu, resp. poklesu signálního napětí ovlivněném velikostí ohmického zatížení.

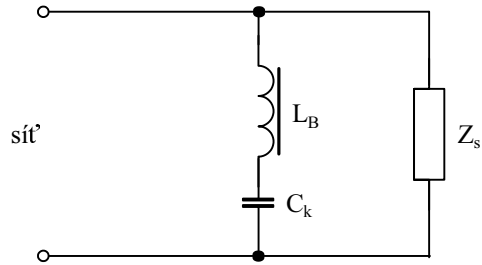
I když se podmínky HDO před jeho zavedením zkoumají, všechny možné případy není možné postihnout. Vyskytnou-li se pak za provozu (a s tím se musí vždy počítat), je třeba příčinu rezonance zjistit a odstranit. K tomuto účelu se používá speciálních měřících přístrojů a měřících souprav.

Vzniká-li rezonance v kompenzačních kondenzátorech umístěných přímo v síti vn a nn, pak je třeba je při sériové rezonanci zablokovat vhodnými zádržemi. Někdy zase naopak je třeba při paralelní rezonanci kapacitu příslušně zvětšit, a tím rezonanční frekvenci daného úseku snížit natolik, aby byla pro danou signální frekvenci dostatečně odlišná.

5.4 OMEZENÍ RUŠIVÝCH VLIVŮ BLOKOVÁNÍM KOMPENZAČNÍCH KONDENZÁTORŮ

Jak je všeobecně známé, je nutné z hlediska dosažení co nejlepšího účiníku nasazovat do sítě kompenzační kondenzátory všude tam, kde se vyskytuje velké induktivní zatížení. Jedná se hlavně o motorické zátěže, ale také např. o výbojková svítidla. Tyto kondenzátory znamenají pro ovládací kmitočet HDO zátěž tím větší, čím vyšší je použitá tónová frekvence. Kromě tohoto lineárního poklesu hladiny tónového napětí, způsobují však také tyto kapacity spolu s indukčnostmi částí sítě (vedení, transformátory) rezonanční jevy pro ovládací kmitočet. Proto se v síti provádí výše uvedené úpravy, nazvané blokování kondenzátorů.

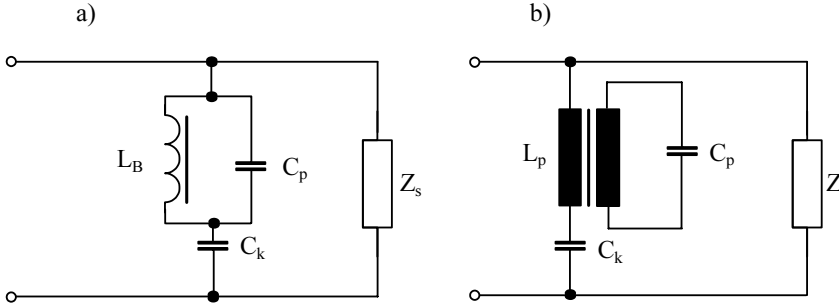
Blokování kondenzátorů se provádí tím způsobem, že se jim předřadí určitý obvod, který způsobí, že se celek předřazený obvod – kondenzátor jeví pro ovládací kmitočet jako induktivní zátěž. Nejčastěji se používá jako předřazeného obvodu jednoduché tlumivky L_B (viz *obr. 16*).



Obr.16 *Blokování tlumivkou (Z_s – impedance spotřebiče, C_k – kompenzační kondenzátor, L_B – blokovací tlumivka)*

Zádržné tlumivky mají impedanci stoupající úměrně se signálním kmitočtem a jsou tedy použitelné pro široký rozsah kmitočtů. K dosažení vyhovujícího blokovacího účinku potřebují však poměrně velkou indukčnost. Z toho důvodu může být jejich použití u velkých kondenzátorů ekonomicky nevýhodné. Mají se užívat jen do velikosti kondenzátorů 1 kVAr (třífázově do 3 kVAr). Kromě toho sériové zapojení zádržné tlumivky L a kondenzátoru C představuje el. obvod schopný kmitání, které vykazuje sériový rezonanční kmitočet f_{rs}. Tento kmitočet nesmí nikdy souhlasit se silně vyjádřenou vyšší harmonickou v síti, protože by nastávalo značné proudové přetěžování tohoto rezonančního okruhu.

Blokování kompenzačního kondenzátoru můžeme ale také realizovat pomocí zádrže tvořené paralelním obvodem LC buď podle *obr. 19a*, nebo *obr. 19b*.



Obr. 17 *Blokování paralelním rezonančním obvodem*

Tento blokovací obvod má oproti předchozímu lepší zádržný účinek a vystačí s menší hodnotou indukčnosti. Může se však použít pouze pro jediný ovládací kmitočet (zádržné pásmo o šířce asi ±10 % f_{rp}).

Vyššími harmonickými, které jsou v síti, vzniká přídavné proudové zatížení jak kondenzátorů, tak i zádrží (blokovacích členů). Kondenzátory musí podle nomy snést 1,3násobek jmenovitého proudu. Také v blokovací tlumivce vyšší harmonické zvyšují protékající proudy, a tím způsobují přídavné ztráty jak v mědi, tak i v železe. Při zvyšování sycení železa v tlumivce klesá její indukčnost. To je zvláště důležité u paralelního rezonančního okruhu, kde tím vzniká nebezpečí rozladění. Protože musí být bezpodmínečně zaručena linearita magnetizační křivky, kontroluje se při 2,5násobku jmen. proudu I_{50}. Aby železné jádro bylo schopno tuto podmínku splnit, musí mít dostatečně velkou vzduchovou mezeru. Izolační pevnost paralelního rezonančního okruhu vůči zemi musí počítat s přídavnými napěťovými nárazy, které se obvykle při připínání kondenzátoru na síť objevují. U zádržné tlumivky se musí počítat s tím, že se při zapnutí v prvním okamžiku objeví celé síťové napětí U_{50} na tlumivce, tzn. že vznikne vysoké napětí mezi prvními závity.

Při zapnutí kondenzátoru s předřazeným paralelním rezonančním okruhem na síť, dojde v prvním okamžiku k rozdělení síťového napětí mezi kondenzátory C a C_p v obráceném poměru jejich kapacit. Obecně lze říci, že blokování kondenzátorů je poměrně nákladná záležitost. V některých případech ji však nelze pominout.

5.5 DALŠÍ PROSTŘEDKY OMEZUJÍCÍ RUŠIVÉ VLIVY

Pro omezení vlivu rušivých signálů v okolí ovládacího kmitočtu můžeme provádět určité zásahy nebo opatření v ovládané síti. Nejdůležitější z nich jsou dále uvedeny:

a) Vyloučení třetí harmonické a všech jejích násobků dosáhneme zapojením vn strany napájecího transformátoru do trojúhelníka. Proto tomuto uspořádání budeme dávat přednost.

b) Kompenzační kondenzátory odsávají vyšší harmonické z celé okolní sítě. Pokud jsou zablokovány pouze pro určitou vyšší frekvenci paralelním rezonančním okruhem, pak nám pomáhají odstranit ze sítě alespoň nejmarkantněji vyjádřené vyšší harmonické (především 5 a 7 harmonickou). Proto se doporučuje blokovat pouze ty kondenzátory, které působí rušivě, a ostatní neblokovat.

c) Dalším velmi účinným prostředkem v době mimo vysílání je použití vazebního členu vysílače jako členu sacího. Tímto způsobem velmi účinně zabráníme jakýmkoli přeslechům z nadřazené sítě a zároveň v napěťové úrovni vysílání odsáváme rušivá napětí v těsné blízkosti signální frekvence.

d) U zdrojů rušivých proudů a napětí, kde se nám nepodaří vnitřními zásahy v zařízení potlačit vyšší harmonické na potřebné minimum, je nutné zdroj zablokovat tlumivkou a ke zdroji eventuelně ještě připojit paralelní kondenzátor pro svod vyšších harmonických. Jestliže nelze z jakýchkoli důvodů použít blokovací tlumivku, musí se zablokovat zdroj rušení alespoň v okolí signálního kmitočtu paralelním rezonančním okruhem s dostatečně plochou rezonanční křivkou, aby při omezené selektivitě přijímače nedocházelo k jeho náběhu.