

REGULÁCIA ASYNCHRÓNNYCH MOTOROV VEĽKÝCH VÝKONOV POMOCOU MENIČOV FREKVENCIE VONSCH

Pavol Šperka
VONSCH, spol. s r.o.
Brezno

Abstrakt

Prednáška poskytuje komplexný pohľad na reguláciu AM veľkých výkonov pomocou meničov frekvencie. Informácie o technickej realizácii dopĺňajú aktuálne trendy v oblasti noriem a rušenia do siete vyššími harmonickými prúdu. Praktický pohľad na problematiku poskytuje popis problémov vyskytujúcich sa pri aplikácii meničov frekvencie veľkých výkonov, ako aj príklady realizovaných aplikácií spolu s návratnosťou investícií. Záver je zameraný na etapy spolupráce so zákazníkom pri realizácii diela.

Kľúčové slová

asynchrónne motory veľkých výkonov, NN meniče frekvencie, VN meniče frekvencie, normy EMC, vyššie harmonické prúdu, výstupné pomery na strane meniča a motora, opotrebovanie ložísk motora, tepelný stav motora, účinník na vstupe meniča frekvencie, návratnosť zariadení s meničmi frekvencie, realizované aplikácie, etapy dodávky diela

1. Úvod

Regulácia AM veľkých výkonov je problematika, ktorá zahŕňa široké spektrum technických i ekonomických otázok. Realizácia regulácie AM veľkých výkonov si vyžaduje inžiniering šitý na mieru konkrétneho zákazníka a dostatočné praktické skúsenosti. Slovenská spoločnosť VONSCH sa už 13 rokov špecializuje na vývoj, výrobu a aplikácie meničov frekvencie celej výkonovej škály, s dôrazom na veľké výkony, preto je schopná komplexne vyriešiť aj tie najšpecifickejšie požiadavky na reguláciu AM veľkých výkonov.

2. Technická realizácia regulácie AM veľkých výkonov

Regulácia asynchrónnych motorov veľkých výkonov (nad 250 kW) pomocou meničov frekvencie si vyžaduje osobitný prístup pri technickom návrhu diela. Rieši sa

viacerými spôsobmi, pričom je možné dosiahnuť rovnaký technický efekt, ale pri rôznych nákladoch a investičnej návratnosti.

2.1 Regulácia pomocou VN meničov frekvencie

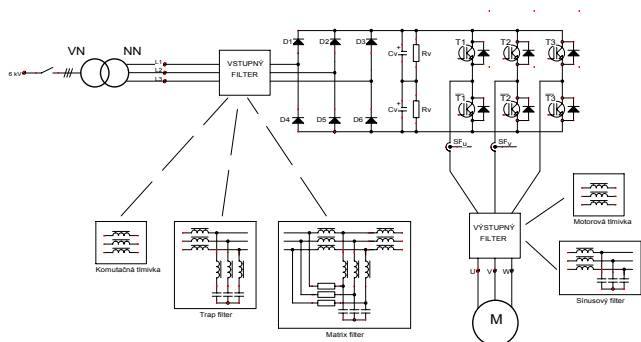
Táto regulácia sa uplatňuje (zatiaľ z cenových dôvodov) najmä v oblasti výkonov nad 2,5 MW, pri ktorých sú zvládnuté technológie meničov frekvencie pomocou vysokonapäťových prvkov. Jedná sa o napäťové, prípadne prúdové meniče s neriadeným, resp. riadeným usmerňovačom. Pri tomto spôsobe regulácie treba zväziť ovplyvňovanie napájacej siete vyššími harmonickými prúdu a napätia (najmä skreslenie 5, 7, 9, 11 harmonickou). Bez vstupných filtrov a tlmiviek nie je možné dosiahnuť hranicu stanovenú normou.

2.2 Regulácia pomocou NN meniča frekvencie a transformáciou na VN stranu

Táto, v súčasnosti už najmenej používaná metóda, používa menič typu NN, s tým, že sa prevedie transformácia VN strany na NN sústavu, ktorá napája menič na nízke napätie a potom opätovná transformácia výstupu meniča na VN stranu pomocou výstupného transformátora. Táto možnosť sa používa v prípade, že nie je možné vymeniť VN motor za motor NN, resp. existujú iné technické prekážky. Nevýhodou tejto regulácie sú pomerne vysoké straty, kvôli dvojnásobnej transformácii a obmedzenie dolného rozsahu frekvencií prenášaného meničom (vzhľadom na výstupný transformátor).

2.3 Regulácia pomocou NN meničov frekvencie

Principiálne je regulátor zobrazený na obr. 1. Na tomto obrázku je zakreslené aj napojenie meniča veľkého výkonu cez znižujúci transformátor k VN sieti. Regulácia sa uplatňuje najmä z cenových dôvodov v oblasti výkonov do 2 MW. V prípade, že je k dispozícii motor a napájacia sústava typu NN, je možné použiť menič frekvencie k regulácii priamo s rešpektovaním noriem EMC. Ako výkonové prvky striedača sú používané tranzistory IGBT „piatej generácie“ s veľmi nízkym saturačným napätím, čo umožňuje znížiť straty meniča na minimum. Vstupný obvod usmerňovača býva neriadený t.j. zložený z diód. Počet a zapojenie diód je dané použitím napájacieho transformátora.



Obr.1 Bloková schéma meniča

3. Praktické problémy vyskytujúce sa pri aplikácii meničov frekvencie veľkých výkonov

V EÚ boli prijaté nové normy pre meniče frekvencie ako sú EN 60146-1-1, s príslušnými dodatkami týkajúcimi sa konštrukčného riešenia meničov frekvencie a norma EN 61800-3 zaoberajúca sa EMC meničov. Už teraz je v legislatívnom procese pripravovaná nová norma EN 61000-3-12 vychádzajúca z odporúčaní normy IEEE 519-1992. Uvedené normy a odporúčania stanovujú nové kritériá na konštrukciu meničov frekvencie najmä pre veľké výkony.

3.1 Rušenie do siete vyššími harmonickými prúdu

Najväčším technickým problémom ostáva rušenie do siete vyššími harmonickými prúdu, ktoré spôsobujú nadmerné otepľovanie vodičov a distribučných transformátorov. Tieto harmonické prúdu vznikajú principiálne u neradených alebo riadených usmerňovačov frekvenčných meničov a súvisia s dobou otvorenia usmerňovacích diód a nabíjaním kondenzátorov DC medziobvodu. Jedná sa o harmonické nepárne (5, 7, 11 harmonická), ktoré sa v spektre napájacieho prúdu vyskytujú najčastejšie. Existuje viacero opatrení na elimináciu vplyvu týchto harmonických skreslení, ktoré sa líšia technicky a najmä cenovo.

3.1.1 Najpoužívanejšie metódy odstránenia vplyvu vyšších harmonických

Viacimpulzný vstupný usmerňovač meniča a špeciálny transformátor.

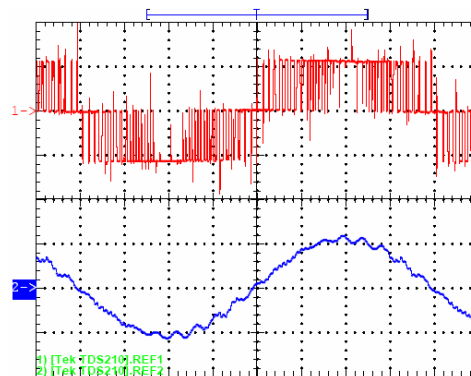
Pri tejto metóde sa k napájaniu meniča použije špeciálny transformátor s viacerými nezávislými vinutiami (najčastejšie dve vinutia), ktoré sú usporiadané na jadre transformátora tak, že po spojení príslušných cievok vinutí sa dosiahne fázového posuvu medzi vinutiami. Pri dvojvinuťovom transformátore je to napr. posuv o 30 st. elektrických. V meniči sa potom samostatne spracuje

dočovaný prúd z každého posunutého vinutia nezávislým usmerňovačom – 12-impulzné zapojenie.

6-impulzný vstupný usmerňovač meniča, transformátor a TRAP filter, prípadne MATRIX filter. Pri tejto metóde sa k napájaniu meniča použije transformátor s jedným vinutím (klasický transformátor). Za týmto transformátorom je napojená komutačná tlmivka, cez ktorú sa napája aj menič frekvencie a zároveň je za touto tlmivkou paralelne napojený tzv. TRAP filter alebo MATRIX filter, ktorý zabezpečuje také fázové natočenie vyšších harmonických na vstupe meniča, aby sa vykompenzovali s tvorenými harmonickými na meniči frekvencie.

3.2 Výstupné pomery na strane meniča frekvencie a motora v súvislosti s obmedzením prepäťových špičiek pri použití tienených káblov k motoru

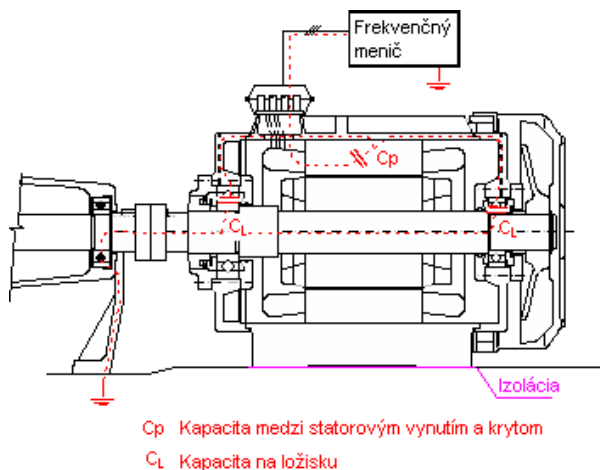
Tento problém vyplýva z rýchlych prechodových dejov na výstupnej strane meniča frekvencie. Výkonová časť meniča je osadená tranzistormi IGBT, ktoré spínajú a vypínajú záťaž rýchlosťou cca 0,1 μ s. Ak si predstavíme kabeľ k motoru ako sústavu s rozloženými parametrami s reálnou indukčnosťou, kapacitou a odporom, tak pri rýchlych prechodových dejoch sa na konci vedenia, kde je pripojený motor môžu objavovať prepäťové špičky okolo 1,5 kV. Riešením je použitie motorových tlmiviek na výstupe meniča, ktoré znížia strmosť nárastu napätia, alebo použitie sínusového filtra. Tento filter „vyhladí“ na výstupe meniča aj napätie do sínusového tvaru, čím odpadne nutnosť použitia tienenej kabeľáže (obr. 2). Ekonomika prípadného riešenia je daná vzdialenosťou menič-motor a počtom paralelných káblov.



Obr.2 Výstupné napätia meniča s použitím a bez použitia sínusového filtra

3.3 Opatrebovanie ložísk motora, ktoré vzniká kapacitnými prúdmi tečúcimi so spínacích prvkov meniča cez kostru motora do ochranného vodiča

Problém kapacitných prúdov tečúcich do ložiska motora je známy (obr. 3). Princiipiálne každá klieťka motora voči kostre uplatňuje reálnu kapacitu. Pri veľkých motoroch je táto kapacita pomerne vysoká. Spínaním výkonových prvkov meniča sa cez kapacitu statorového vinutia dostávajú prúdové impulzy do ochranného vodiča, s ktorým je spojená aj kostra motora. Keďže guľičky ložísk motora sú v neustálom pohybe a sú premazávané tukom, dochádza týmito prerušovanými kapacitnými prúdmi k ich nerovnomernému opotrebovaniu. Riešením je použitie odizolovaných ložísk motora, čím sa znemožní prechod kapacitných prúdov do ochranného vodiča cez ložiská motora.



Obr.3 Kapacitné prúdy ložiska motora

3.4 Tepelný stav motora pri práci s meničom frekvencie je potrebné snímať pomocou priamych snímačov vo vnútri motora ako aj snímačov v ložiskách motora

K tomuto problému len uvedieme, že veľa firiem používa pri ochrane motora tepelný model. Výpočtom a stanovuje teplota vinutia motora. Aj keď uvedené výpočty sú pomerne dobre prepracované, naša firma pri veľkých výkonoch používa túto metódou spolu s priamym meraním teploty vinutia v statore.

3.5 Účinník na vstupe meniča frekvencie, ktorý závisí od riešenia vstupných obvodov meniča

Účinník motora je daný vstupnými obvodmi meniča. Pri meničoch, kde sa používa neriadený usmerňovač bez komutačnej tlmivky je možné dosiahnuť účinníka okolo 0,96. Tam, kde sa použije komutačná tlmivka s $U_k = 4\%$ sa

účinník zhorší na cca 0,94. obdobne sa zhorší účinník pri použití TRAP filtra, MATRIX filtra, prípadne aktívneho filtra. Hodnoty sa líšia podľa jednotlivých riešení.

3.6 Prepínanie a odpínanie meniča frekvencie od napájacieho transformátora na NN prípadne VN strane za chodu meniča a motora

Toto predstavuje dosť vážny problém, ktorý je treba sa zaoberať vzhľadom k vysokým indukčnostiam vyskytujúcich sa na napájacej strane. Pri vypnutí VN strany za chodu meniča sa uplatňuje indukčnosť transformátora, ktorá spôsobí naindukovanie napätia do vstupných obvodov meniča. Pri nepriaznivom stave môže dôjsť k prerazeniu usmerňovacích prvkov meniča napät'ovou výkonovou vlnou. Ochranu pred touto situáciou je treba riešiť na vstupe meniča pomocou špeciálneho prepät'ového filtra.

3.7 Použitie rôznych typov napájacej sústavy pri použití viacerých meničov v jednej rozvodni

Pri použití rôznych typov sústav (TN-S, IT) je treba rešpektovať zákonitosti správneho zemnenia jednotlivých sústav. Práve pri kritických javoch ako sú prepätia v sieti a nesprávne odpojovanie meniča od siete za chodu spôsobujú problémy s kapacitnými prúdmi, ktoré môžu poškodiť riadiace obvody meničov.

4. Návratnosť zariadení s meničmi frekvencie

Návratnosť zariadení osadených meničmi frekvencie je rôzna, podľa typu aplikácie. NN meniče frekvencie vo vodárenských, teplárenských a vzduchotechnických aplikáciách sa vyznačujú vysokou návratnosťou. Táto sa pohybuje poväčšine od 1 roka do maximálne 3 rokov od uvedenia diela do prevádzky. Pri aplikácii meničov frekvencie na motory veľkých výkonov sa zvyčajne zákazník rozhodne pre komplexnú úpravu stávajúcich sústrojenstiev s doplnením o riadiaci systém so snímaním skutočných veličín, ktorý zautomatizuje celú prevádzku. Tým sa dostáva účinnosť celého riešenia do vysokých čísel a návratnosť sa urýchľuje. Pri regulácii čerpadiel a ventilátorov ide o využitie fyzikálnych vlastností týchto zariadení. Príkon do motora poháňajúceho odstredivé čerpadlo (ventilátor) klesá s otáčkami kubicky, ale prietok (množstvo vzduchu) klesá lineárne s otáčkami. Navyše pri otáčkovej regulácii ostáva účinnosť čerpadla v dosť širokom rozsahu otáčok nemenná. Preto pri 10% znížení otáčok dochádza k zníženiu príkonu motora a tým spotreby energie minimálne o 25%. Jednoduché porovnanie

s predchádzajúcimi systémami využívajúce reguláciu obchvatom resp. škrtением (kde motor beží na plné otáčky a dopravné množstvo sa škrtí) hovorí jednoznačne o výhodnosti otáčkovej regulácie. Iným druhom použitia FM sú aplikácie s konštantným momentom na hriadeľ motora, teda zdvíhacie zariadenia, dopravníky, vleky, lisy, drviče, miešadlá a podobne. V týchto aplikáciách sa prikon do motora s rastúcimi otáčkami mení lineárne. Návratnosť je o niečo horšia, silne závislá od pracovných cyklov, ale nepochybne sú to technologické výhody prinášajúce úsporu materiálov a opotrebovania sústrojenstiev.

Naša spoločnosť má zrealizované viaceré aplikácie veľkých meničov frekvencie v rozvodniach s rôznym typom sústav a tam, kde sa vyžaduje odpínanie a pripínanie sústavy za chodu zariadenia, prípadne sa vyskytujú časté výpadky napájania a menič frekvencie musí na tieto stavy inteligentne reagovať (napríklad využitie kinetickej energie mechanickej sústavy na premostenie výpadku siete). Zrealizované posledné zákazky tohto typu, najmä regulácie obehových čerpadiel výkonov 800 kW a 500 kW v teplárenských aplikáciách, projekty na 1200 kW ventilátory, vzduchové ventilátory a ventilátory odsávania nám potvrdili, že komplexne naprojektované zariadenie sa vyznačuje robustnosťou s minimalizovaním vplyvov iných spínaných zariadení na menič a navyše je možné dosiahnuť minimálne vplyvy na napájaciu sieť. Zároveň sa osvedčila vysoká spoľahlivosť technického riešenia, ako aj návratnosť investície do 18 mesiacov.

5. Praktické aplikácie meničov frekvencie VONSCH

1, Menič frekvencie VQFREM690/500 - 1ks bol namontovaný v Západoslovenskom energetickom podniku, výkonu 500 kW, 690 V, motor SIEMENS Drásov, trafo 630 kVA BEZ Bratislava s kompletnou dodávkou na kľúč (NN aj VN strana) vrátane projektovej dokumentácie a schvaľovacím konaním na TI ohľadom vyhradených technických zariadení (výkon nad 250 kVA) v zmysle vyhl. ÚBP 74/96 písm. A. V tejto dodávke bol zakomponovaný aj TRAP filter. Dodávka bola realizovaná 1/2 r. 2000, vieme zabezpečiť obhliadku dodávky.

2, Menič frekvencie VQFREM690/800 - 3 ks namontované v Teplárni Košice, výkonu 800 kW, 690 V, motory SIEMENS Drásov, trafo 1000 kVA BEZ Bratislava s kompletnou dodávkou na kľúč (NN aj VN strana) vrátane projektovej dokumentácie a schvaľovacím konaním na TI ohľadom vyhradených technických zariadení (výkon nad 250 kVA) v zmysle vyhl. ÚBP 74/96 písm. A. Dodávka bola realizovaná r. 2001 až r. 2002 komplexne spolu s čerpadlami armatúrami a nevyhnutným potrubným systémom. V tejto dodávke bol zakomponovaný aj TRAP filter. Dodávka bola realizovaná r. 2001 až 2002, vieme zabezpečiť obhliadku dodávky.

3, Menič frekvencie VQFREM400/160 - 21 ks namontované vo Fermas a.s. Slovenská Ľupča, výkonu 160 kW, 400 V, motory SIEMENS Drásov, s kompletnou dodávkou na kľúč, prepojenie meničov PROFIBUS DP.

Dodávka bola realizovaná r. 2003 komplexne spolu s oživením nastavením.

4, Menič frekvencie VQFREM400/250 - 1ks + 200 kW 1ks namontovaný v KAPPA Štúrovo, výkonu 250 kW, 400 V a 200 kW, motory SIEMENS Drásov, regulácia kalového čerpadla a čerpadla požiarnej vody.

6. Štyri etapy spolupráce so zákazníkom

Jednou z najväčších výhod pri kúpe výrobkov spoločnosti VONSCH je to, že zákazníka dostáva do užívania komplexné dielo, zohľadňujúce všetky špecifiká. Práca so zákazníkom pri dodávke diela prebieha v štyroch etapách:

1. etapa pozostáva zo vstupného inžinieringu, ktorý odstraňuje možné problémy pri realizácii diela

2. etapa pozostáva z výpočtu návratnosti zariadenia pri známej dohodnutej konfigurácii zariadenia – vybavenie rozvážača meniča obvody, ktoré zákazník zvolí (pri dodržaní noriem EN), analýza súčasného stavu

3. etapa pozostáva z projektu celého zariadenia, montáže, oživenia, nastavenia. V tejto etape je zahrnuté aj školenie pracovníkov, celkový inžiniering diela s následným schvaľovacím procesom na TI

4. etapa znamená starostlivosť o zákazníka a zariadenie.

O autoroch...

Pavol ŠPERKA je jedným zo zakladateľov spoločnosti VONSCH, spol. s r.o. v Brezne, ktorá sa od roku 1990 zaoberá vývojom, výrobou, servisom a aplikáciami frekvenčných meničov. V súčasnosti už ide o tradičného slovenského výrobcu, ktorého strategická sila je v kvalitnom inžinieringu a individuálnom prístupe k zákazníkom.