

Aktivní kompenzace harmonických v průmyslových aplikacích

V průmyslových napájecích sítích nízkého a středního napětí byly a jsou pasivní filtry a kapacitní filtry PFC tradičně používány ke zlepšení kvality napájecí sítě. Tyto filtry však nemohou být dimenzovány pouze pro zatížení, jež má být kompenzováno, neboť jsou tyto pasivní filtry ovlivněny harmonickými proudy z jiných nelineárních zátěží nebo vyššími harmonickými z napájecí sítě.

Oproti tomu aktivní harmonický kompenzátor (AHC) je možné používat ke zlepšení kvality napájení bez nutnosti zabývat se problémy, které jsou spojeny s aplikacemi pasivních filtrů.

Navrhaná aktivní kompenzace harmonických pro průmyslové síť (AHC) může být úspěšně použita pro nelineární zatížení, spotřebiče s rapidní fluktuací reaktivní a činné spotřeby energie. AHC filtr může být s výhodami použit i ke zlepšení kvality napájecí sítě pro další připojená zařízení, jež jsou na stejné napájecí síti jako AHC. Hlavními výhodami AHC jsou především redukce zkreslení, poklesů a změn napájecího napětí (tzv. flicker efekt), a také stabilizace síťového napájecího napětí. Toto vede ke zvýšení kvality napájecího napětí v průmyslových sítích a efektivnější kompenzaci síťového napětí ve srovnání s pasivními filtry a PFC.

Výhody AHC

Použití aktivní kompenzace sítě má v porovnání s pasivní kompenzací řadu výhod.

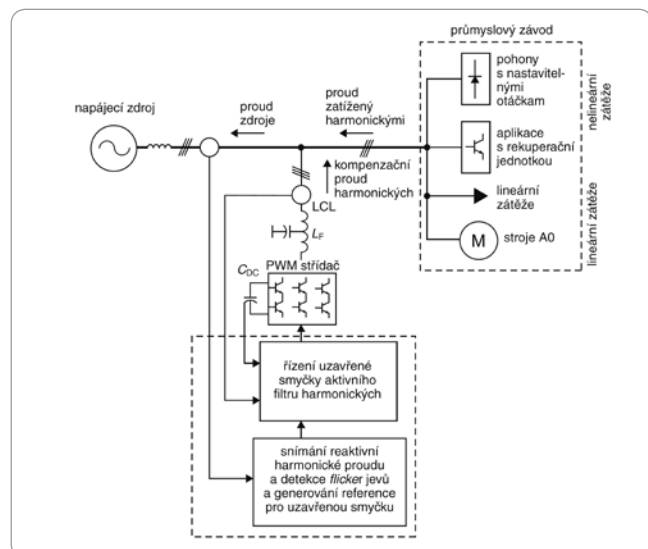
AHC – Activ Harmonic Compensator:

- je snadné navrhnut jej podle dané aplikace, neboť je nezávislý na impedanci vedení,
- negeneruje rezonance,
- aktivně omezuje a kontroluje harmonické i jalové (reaktivní) proudy.

Řešení AHC nabývá na významu

Navzdory výhodám mají AHC omezený podíl na trhu hlavně kvůli vysokým pořizovacím nákladům. Ale trendy při návrhu systémů průmyslových napájecích sítí a další faktory z oblasti výroby elektrické energie ukazují na to, že přichází doba změn.

- Vývojové novinky spolu s masovou výrobou polovodičových součástek významně redukuje výrobní, a tedy i pořizovací náklady aktivního filtru.
- V důsledku velkého objemu mědi a oceli použité v pasivních filtrech má nárůst nákladů na výrobní materiál větší dopad na pasivní řešení než na aktivní řešení.



Obr. 1 Schéma elektrického zapojení aktivního harmonického filtru AHC napojeného na průmyslový závod.

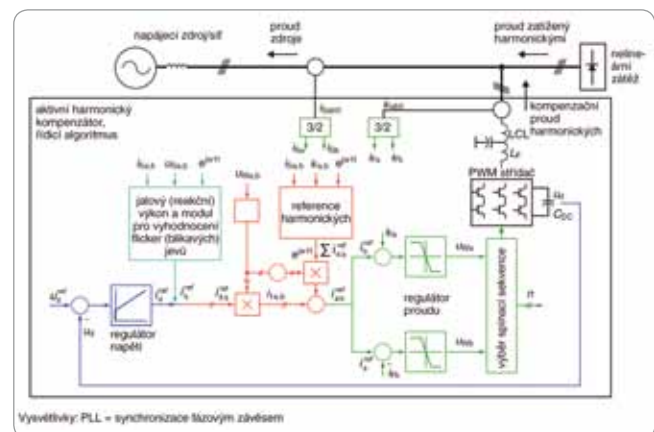
Obrázek 1 ukazuje blokový diagram AHC. Třífázový střídač je připojen mezi zdroj napájecího napětí a průmyslovou síť (obr. 1).

Průmyslový závod může obsahovat různé typy elektrických zařízení a zátěží, rozdělených na lineární zátěž (rekuperační energetické jednotky, činná zatížení, stroje na stř. proud) a nelineární zátěž (pohony s proměnnými otáčkami, obloukové jednotky, atd.).

Aktivní harmonický filtr má za úkol detekovat harmonické proudy a generovat kompenzující proud, který ruší harmonickou složku, přičemž zachovává první (základní) harmonickou proud, který je odebrán ze zdroje. Řízení AHC se skládá z uzavřené regulační smyčky proudů střídače, ze stejnosměrného obvodu a z obvodu pro detekci a generování kompenzačního proudy. Z uvedeného vyplývá, že v závislosti na aplikaci může AHC provádět redukcí harmonických, kompenzaci jalového proudy nebo zmírnění flicker jevu (tzv. blikání v síti).

Systém řízení

Obrázek 2 ukazuje blokový diagram řídicí jednotky AHC. Řízení celého AHC je založeno na kaskádním řízení s regulací proudy ve vnitřní smyčce bez snímačů síťového napětí. Regulator proudy nastavuje výstupní napětí ze střídače pro každou vzorkovací periodu řídicího systému tak, aby síťový proud měl referenční hodnotu. Regulator napětí kontroluje hladinu stejnosměrného napětí tak, aby mělo téměř konstantní hodnotu. Výstupní signál regulátoru stejnosměrného napětí určuje hodnotu aktivního proudy zatížení sítě a ztrát energetické jednotky regeneračního systému. Reakční proud je vypočten podle jalového (reakčního) výkonu a informací z modulu pro vyhodnocení blikavých jevů v síti (viz obr. 2).



Obr. 2 Blokový diagram řídicí jednotky.

Pro omezení vysokofrekvenční pulzace síťového proudy z AHC je zde mezi síť a AHC připojen vysokofrekvenční LCL filtr.

Řízení proudy

Řízenou hodnotou smyčky proudového regulátoru je dodávaný proud. Tento proud je výsledkem součtu naměřeného zátěžového proudy (viz obr. 1) a střídavého proudy měniče napětí. Tyto dva trojfázové proudy jsou spojeny v jeden celek a pak jsou transformovány na signál dvoufázových množství i_{Sa} , i_{Sb} . Na obr. 2 je tento proud reprezentován jako i_{Sa} a i_{Sb} .

Referenční hodnota regulátoru elektrického proudu $i_{ref,d,q}$ (složky d a q) je transformována do stacionární soustavy souřadnic $a-b$. Transformace vektoru $i_{ref,d,q}$ na vektor $i_{1a,b}$, se provádí pomocí e_{jw1t} , odvozené z fázově uzavřené smyčky PLL (viz obr. 2).

Výběr spínací sekvence pro každou spínací operaci obou zdrojů měničů napětí se provádí použitím regulátoru klouzavého řízení.

Výběr spínací sekvence pro každou spínací operaci použitím modu klouzavého řízení je detailně probrán v literatuře [4-6]. Tímto způsobem je umožněno řídit aktivní filtr bez senzorů síťového napětí [7]. To významně zjednodušuje konfiguraci hardwaru aktivních kompenzátorů sítě, zejména pro aplikace středních a vysokých napětí.

Výstupní signály dvou proporcionálních regulátorů se saturací představují dvě složky vektoru síťového napětí u_{Wa} , u_{Wb} , jež jsou použity pro detekci polohy vektoru napětí pomocí synchronizace fázovým závěsem.

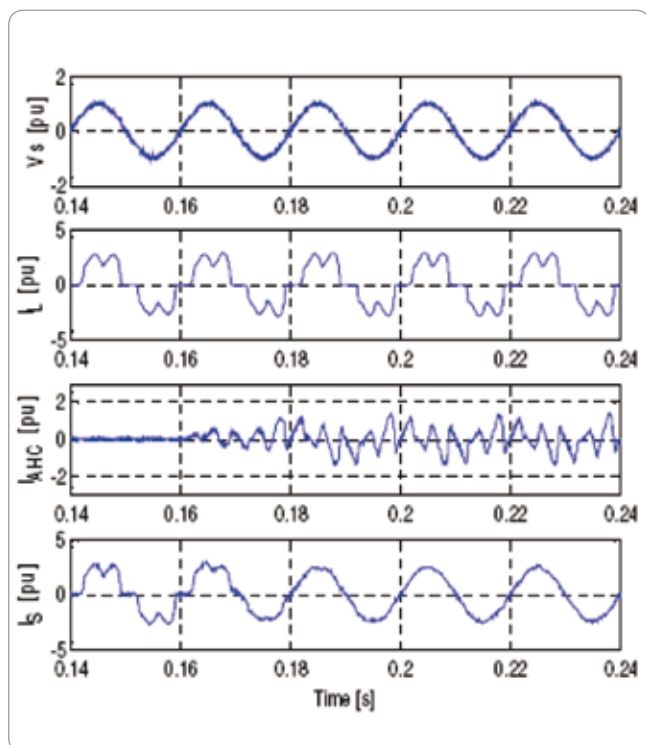
Pro kontrolu harmonických amplitud v síti je použit harmonický kalkulátor. Princip provozování je založen na přímé harmonické metodě řízení. Tato metoda je stručně popsána v literatuře [2,3].

Ovládání stejnosměrného vedení

Při nesinusovém síťovém proudu měniče napětí obsahuje el. napětí stejnosměrného vedení nejenom zvlnění z operací při přepínání tranzistorů, ale také nízkofrekvenční zvlnění napětí jaké se vyskytuje na stejnosměrné straně vedení diodového usměrňovače s kondenzátorem. Toto zvlnění nízkofrekvenčního napětí musí být filtrováno v řídicí smyčce návratem ke zdroji stejnosměrného napětí, jinak je třeba toto zvlnění napětí zvýšit úměrně podle regulátoru napětí a předat dále na regulační smyčku síťového proudu. Proto je síťový proud třeba deformovat [8].

Pro snížení vlivu zvlnění napětí stejnosměrného vedení na regulační smyčku proudu musí mít hraniční kmitočet zpětného filtru pro dolní pásmo hodnotu $f_0 = 50 \div 75$ Hz. Nízký hraniční kmitočet zpětnovazebního filtru způsobuje v měření stejnosměrného napětí velké časové zpoždění, a proto má napětí stejnosměrného vedení nízký dynamický výkon.

Pro zlepšení časové odezvy napětí stejnosměrného vedení je použit adaptivní systém řízení, jehož parametrické hodnoty pro zpětnovazební filtr a proporcionální a integrační regulátor se mění v souladu s hodnotou chyby stejnosměrného napětí [8].



Obr. 3 Výsledky simulace spuštění AHC.

Výsledky simulace

Simulace kontroly AHC vykazuje velmi vysokou dynamiku. Ta se zaprvé vyrovná svou vysokou dynamikou regulátoru elektrického proudu, který je charakteristický pro režim klouzavého řízení a za druhé, v důsledku implementovaného adaptivního regulátoru stejnosměrného napětí může AHC mnohem rychleji překonat přechod během připojení/odpojení AHC nebo při změně zatížení harmonickými v síti.

Výsledek simulace je k dispozici na obr. 3 (je zobrazena pouze jedna fáze).

Harmonický proud je generován typickým třífázovým diodovým usměrňovačem pohonu s proměnnými otáčkami. Jelikož účinník dPF je blízko jedné, nevzniká v tomto případě potřeba kompenzace reaktivního výkonu. V čase 0,16 je AHC napojen na napájecí síť a začíná zmírňovat harmonické proudy z ASD. Přechod trvá téměř jednu základní periodu, dokud se zdrojový proud nezačne podobat sinusovému tvaru.

V důsledku své vysoké dynamiky je AHC schopen kompenzovat harmonické proudy v rámci základní periody. Zkreslení proudu nelineárního zatížení má THD 34 %, zatímco zdrojový proud dosahuje THD o hodnotě 4 %.

Literatura

- [1] Akagi, H.: New Trends in Active Filters for Power Conditioning. IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.32, No.6, pp. 1313-1322, 1996.
- [2] Kalachnikov, S. Three-phase rectifier for AC-Drives incorporated with Active Power Filter, Proceedings of the International Power Electronics and Motion Conference, 1998, Prague, Czech Republic., pp. 2125-2130.
- [3] Rummich, E., Kalaschnikow, S.: Oberschwingungs- arme Netzeinspeisung von Windkraftanlagen mit Hilfe von aktiven Filtern, e&i 117. Jg.(2000), H.2, pp 129-133.
- [4] Sabanovic, N., Sabanovic, A., Jezernik, K., Kaynak, O.M.: Current Control in three-phase switching Converters and ac electrical Machines. In: Proceedings of IECON '94, Italy, 1994, pp. 581-586.
- [5] Gao, W., Wang, Y., Homaifa, A.: Discrete-time variable Structure Control System. In: IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.42, No.2, pp. 117-122, 1995.
- [6] Fernando, J, Orlandi, E., Pais, M.: Sliding Mode Control of Unity Power Factor Three Phase Boost Converters, Proceedings of International Power Electronics and Motion Conference, 1998, Czech Republic., pp.1125-1130.
- [7] Kalachnikov, S.: Control of the Switch-Mode Rectifier without Mains Voltage Sensors, SPEEDAM '98, Italy, pp.125-128
- [8] Kalachnikov, S., Berger, H.: A New Control Strategy for DC-Link Voltage of a Three-Phase Bi-directional PWM Rectifier, EPE '95, Spain, 1995, pp 2558-2562.
- [9] Guillaume de Préville: Flicker mitigation. Application to a STATCOM, Proceedings of the European Conference on Power Electronics and Applications, 2001, Austria.

Danfoss

Sergej Kalaschnikow, Steffan Hansen,
Lucian Asiminoaei, Henrik Gedde Moos

Danfoss Drives A/S, 6300 Graasten, Denmark,
sergej.kalaschnikow@danfoss.com, s.hansen@danfoss.com,
las@danfoss.com hgm@danfoss.com
www.danfoss.com