

Ing. Ondřej Mšal

Katedra výkonové elektroniky a regulačních pohonů, Fakulta elektrotechnická, ZČU Plzeň

1. PRINCIP AKTIVNÍCH FILTRŮ

Paralelní aktivní filtr je obvod, který je připojen paralelně k zátěži, s cílem omezit rušivé účinky. Filtr musí omezit jalové a harmonické proudy, které zátěž produkuje. Snahou je, aby proud odebíraný ze sítě byl sinusový a ve fázi s napětím. Jako zátěž uvažujeme třífázový plně řízený můstkový usměrňovač. Kompenzace usměrňovače se zdá být anachronismem, uvažíme-li že usměrňovač je vstupní částí většiny zařízení s založených na koncepci stejnosměrného meziobvodu s připojenou velkou kapacitou, zvláště pak pohonů s asynchronními motory, jde o záležitost nanejvýš aktuální.

Sít' uvažujeme tvrdou a stejně jako usměrňovač symetrickou. Vlastní filtr lze chápat jako pulsní usměrňovač.

1.1 Funkce filtru

Základní blokové schéma aktivního filtru je na obrázku č.1. Bylo by výhodné, aby filtr omezoval:

- ustálené harmonické
- impulsní rušení, což lze chápat jako náhodné špičky, které se jistě v odebíraném proudu vyskytují.

Odběr proudu usměrňovačem s kapacitní zátěží sítě má vždy pulsující charakter, s velmi nepříznivým tvarem a dosti vysokými špičkami. Ve skutečnosti ovšem není možné kompenzovat obě nežádoucí složky, vždy se navrhuje obvod buď na dobrou kompenzaci jalového výkonu nebo vyšších harmonických. Později bude rozvedeno, proč v reálných podmínkách téměř nelze aktivním filtrem splnit požadavky na omezení impulsního rušení.

1.2 Omezení při návrhu aktivních filtrů

Při návrhu aktivních filtrů se setkáváme s několika fyzikálními omezeními, která při realizaci představují závažný problém. Jsou to zejména:

- 1) omezená rychlost vzorkování a převodu vstupních signálů
- 2) omezená rychlost výpočtu akční veličiny
- 3) omezená rychlost přenosu z řídicího počítače do výkonového prvku

Vzhledem k vlastnostem reálných řídicích systému, představuje největší problém bod 1), ostatní omezení se stávají podružnými. Přestože je řídicí karta

bezprocesorová, postačuje PC s procesorem Pentium taktovaným na 233MHz. Problém vystupuje do popředí zejména při použití karet univerzálnějšího typu, které sice mají rychlé A/D převodníky. Tyto převodníky mohou pracovat s taktovacím kmitočtem kolem 100 kHz, daleko větší časový interval však potřebujeme pro přečtení hodnot z více převodníků. Uvážíme-li, že navrhovaný systém potřebuje znát hodnoty minimálně pěti analogových veličin, se vzorkovací periodou minimálně 2 kHz, zjistíme, že uvedená hodnota představuje nezbytné minimum.

1.3 Vlastní systém řízení

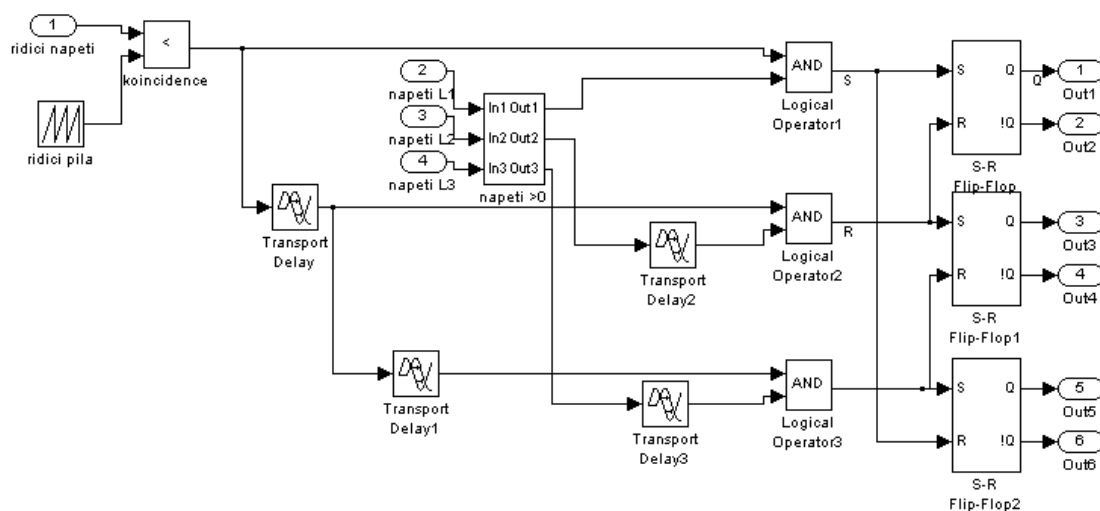
Pro řešení problémů spojených s použitím a návrhem aktivních filtrů byla zvolena platforma počítače PC, systému Windows, prostředí MATLAB. Zpočátku byly práce prováděny ve verzi 5.3, později se přešlo na verzi 6.0. Celý systém byl doplněn o kartu MF 604, dodávanou firmou Humusoft. Tato karta umožňuje spojení se zkoumaným systémem a přenos dat do programu. Vlastní prostředí pro simulace je nadstavba prostředí Matlab, program Simulink. Tento program umožňuje prostřednictvím I/O bloku v simulačním schématu snadný styk s vnějším prostředím.

2. SIMULACE SYSTÉMU

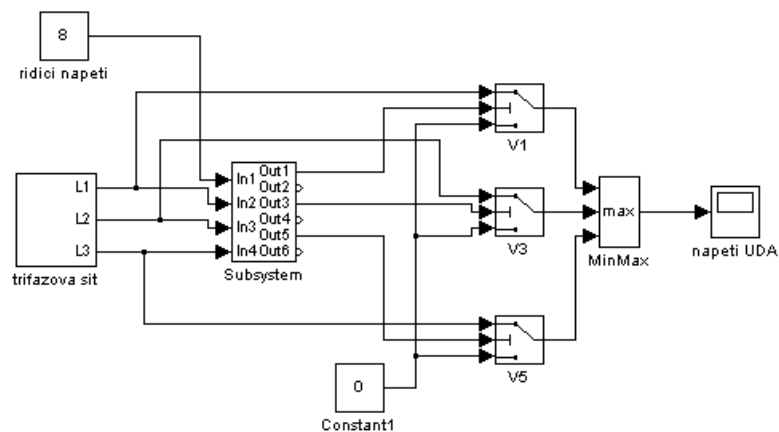
2.1. Simulace silové části usměrňovače

Pro vlastní simulaci byla vytvořeno blokové schémata jednotlivých částí obvodu. Nejprve popíšeme simulační schéma zdroje rušení, dříve uvedeného řízeného usměrňovače. Bylo uvažováno nejčastěji používané spojení, tedy trojfázový tyristorový plně řízený můstek. Výstupní napětí má tedy šestipulsní charakter. Součástky, z nichž je skutečný usměrňovač sestaven, nejsou jistě ideální, je nutné tyto vlastnosti zanechat do simulačního schématu. V tomto případě nelze použít oblíbené zjednodušení-prohlásit součástky za ideální. To platí zejména o zapínací a vypínací době, nenulové indukčnosti větve a s tím souvisejícím zpožděním a konečné rychlosti nárůstu a poklesu proudu a napětí. Zanedbáme-li uvedené, dostaneme sice velmi lákavé výsledky, jejich aplikace bude přinejmenším problematická. Bez obav však můžeme zanedbat úbytek napětí v propustném směru a závěrný proud, pro dimenzování prvků ovšem hodnoty určující. Vlastní schéma je pochopitelně odvozeno od skutečného spínání tyristoru a chování usměrňovače. Lze ho nazvat digitálním modelem tyristoru. Podmínka sepnutí (kladné napětí a přítomnost řídicího signálu) je realizována součinným členem. Polarita napětí na tyristoru je vyhodnocována porovnáváním jednotlivých fázových napětí, neboť v každém okamžiku je známo, která dvě napětí se odečítají. Dále bylo nutno vyřešit typické chování tyristoru, kdy je tento otevřený i po doznění signálu na řídicí elektrodě, dokud neklesne proud v propustném směru pod přídržnou hodnotu. Hodnotu přídržného proudu lze zanechat do schématu, ale vliv na výsledné hodnoty je minimální. Komutace proudu mezi tyristory byla vyřešena použitím klopných

obvodů R-S, kdy sepnutí následujícího tyristoru (signál SET příslušného klopného obvodu) představuje signál RESET pro obvod předchozí. Zde došlo ke vzniku hazardního stavu, způsobeného současným příchodem signálů R i S na klopný obvod. Tento hazard který byl pozorován na grafickém průběhu spínací funkce představoval velmi úzký impuls, řádu 10^{-14} s. Pokus o jeho analýzu prostředky Matlabu se nesetkal s úspěchem, bohužel i při mnohonásobném zoomu časové osy se stále jednalo pouze o svislou čáru. Problém byl odstraněn umělým zavedením zpoždění 10^{-7} s do signálové cesty. Vždy po třech blocích je pro lepší přehlednost umístěno do podsystémů, představujících anodovou a katodovou skupinu. Stejně jako ve skutečném usměrňovači je výsledné napětí získáváno jako rozdíl napětí obou komutačních skupin. Na přiloženém obrázku je pro přehlednost uvedeno simulační schéma jedné fáze. V simulacích není zahrnuta do obvodu reaktance sítě, resp. to že síť není dokonale tvrdá a má určitý konečný zkratový výkon. Tyto hodnoty by bylo možné zahrnout do indukčnosti a odporu komutující větve. Schéma spínací logiky je na obrázku č.1, na výstupech Out1,3,5 je vlastní spínací funkce tyristorů. Obrázek č. 2 znázorňuje tyristory (V1,V3,V5) resp. pro přehlednost pouze anodovou skupinu.



Obr.1. spínací logika tyristorového usměrňovače



Obr.2. Anodová skupina usměrňovače

2.3. Simulace silové části střídače

Výkonovou částí aktivního filtru je pulsní usměrňovač, zde ovšem pracující jako napěťový střídač. Střídač se předpokládá osazený prvky IGBT. Činnost tohoto obvodu spočívá ve vytvoření vhodného průběhu proudu, tak aby se tento sčítal s proudem odebíraným ze sítě, a bylo dosaženo tvaru který se co nejvíce přibližuje sinusovému průběhu.

Střídač pracuje s připojenou kapacitou na stejnosměrné straně, z níž odebírá energii pro svou činnost. Tento střídač pracuje s pulsně šířkovou modulací. Pro vytvoření modelu střídače platí obdobné podmínky jako pro usměrňovač. Model tohoto obvodu samozřejmě nevyžaduje klopné obvody k realizaci „přidržené“ funkce, neboť prvky, kterými je střídač tvořen jsou vypínatelné, propustný proud jimi zaniká po odeznění signálu na řídicí elektrodě.

2.4. Blok výpočtů a řízení

Realizace a návrh vlastního jádra aktivního filtru je poměrně složitou záležitostí. Z teoretického rozboru vyplývá, že tento blok je možné chápat jako prostý rozdílový člen, který odečítá od požadované hodnoty proudu v síťové větvi hodnoty, které se získají vzorkováním proudu zátěže. V simulaci dává tento způsob sice téměř ideální výsledky, jejichž se zřejmě při realizaci obvodu nedá příliš použít. Kondenzátor na stejnosměrné straně střídače může pojmout konečné množství energie, musí se v určitém časovém intervalu nabíjet. Řídicí obvod také musí mít určitou necitlivost ke krátkodobým špičkám, protože okamžitá reakce na ně a pokus je omezovat působí značné kolísání napětí na kondenzátoru spojené s nepřijatelnými změnami proudu filtru. Ve své podstatě způsobí pokus o okamžitou kompenzaci uvedených jevů přechodný stav, který trvá ještě několik period napájecího napětí po odeznění špičky. Zde se otevírá prostor pro možnou aplikaci dvoucestného regulátoru (*), přičemž o velikosti

regulačního zásahu by rozhodovala délka a velikost impulsu v proudu i_f . Nedošlo-li by k opakování pulsu po uplynutí určité doby (což znamená nahodilé rušení) nedošlo by vůbec k regulačnímu zásahu.

(*) někdy se pro tento druh regulace užívá termín fuzzy, autor považuje za vhodnější nazývat popsaný systém pouze dvoucestným regulátorem

3. DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

Řízení skutečného střídače, resp. aktivního filtru kartou MF 604, zatím nebylo fyzicky provedeno, obvod je simulován v Matlabu. Vlastní simulační schéma obvodu je dosti složité, jsou proto rozvedeny jednotlivé části systému.

Při realizaci se počítá s pokusy o odrušení některého stávajícího pohonu s měničem koncepce. Předpokládaný výkon rušícího zařízení je 1-3kW. S ohledem na vlastnosti čidel proudu a hlavně rychlosti, s jakou je karta MF 604 schopna vzorkovat pět vstupních veličin byla simulace prováděna s vzorkovacím kmitočtem vstupního signálu 2kHz. Kmitočet nosné pro pulsní modulaci střídačů je též 2 kHz. Při použití rychlé řídicí karty je samozřejmě možné zvýšit vzorkovací kmitočet, ale u nosného kmitočtu, se kterým jsou spínány prvky ve střídači je třeba brát zřetel na značný nárůst spínacích ztrát. Přednesené vlivy znamenají, že s aktivním filtrem v naznačené podobě lze dobře kompenzovat 5. a 7. harmonickou. Při použití vyššího vzorkovacího kmitočtu připadá v úvahu i 11. harmonická.

Zaneseme-li do simulačního schématu reálné chování systému, je nasnadě, že aktivní filtry se ani při použití nejrychlejších řídicích obvodů nedají použít ke kompenzaci impulsního rušení. K zamezení šíření impulsního rušení neexistuje lepší prostředek než stínění, uzemnění a vhodné konstrukční uspořádání vůbec. Současné simulace ukazují, že tyto obvody vykazují dosti problematické vlastnosti při odezvě na rychlou změnu řídicího napětí nebo vůbec v rušícím obvodu.

Bylo zjištěno, že při popsané konfiguraci obvodu je možná relativně dobrá kompenzace kmitočtů do 400Hz. V praxi to tedy znamená, že lze dobře kompenzovat 5. a 7. harmonickou. Pro vyšší kmitočty bude nutné použít pasivní LC filtr. V souvislosti s odstavcem 2.4. lze konstatovat, že po vytvoření a odladění modelu vlastního systému se problém zúžil na návrh vhodného regulátoru, resp. vnesení skutečných parametrů prvků do modelu a zkoumání jakým způsobem se projevují na výsledných hodnotách. Na činnost aktivního filtru má značně negativní vliv fázová nesymetrie sítě, napěťová se příliš neprojevuje. Při realizaci laboratorního vzorku bude nutné mít na zřeteli možnost rušení řídicí části např. pulsy ze silového obvodu. Podobný problém se již v laboratoři naší katedry vyskytl a vyžádal si použití symetrické linky pro přenos číslicového signálu z čidel do řídicího obvodu.

4.ZÁVĚR

Cílem práce je realizovat a uvést do provozu aktivní filtr, řízený přímo z aplikace Matlab. Do současné doby bylo, zjištěno, že ačkoli se použití aktivních filtrů zdá být velmi efektní, naráží na poměrně závažná omezení, zejména v oblasti vzorkování vstupních signálů. Při vlastní realizaci lze předpokládat, že od vlastního pulsního usměrňovače vznikne další přídavné rušení na které bude nutno adekvátně reagovat. Ve výsledném spektru se projevuje zejména nosný kmitočet pulsně šířkové modulace napěťového střídače. Ten je však konstantní a tudíž jej lze velmi dobře odrušit správně naladěným LC filtrem.

5. POUŽITÁ LITERATURA:

- [1]-výzkumná zpráva L2EP, metody řízení aktivních filtrů s měřením proudu sítě. Universita Villeneuve 1997
- [2]-výzkumná zpráva, Using hysteresis Current control for compensation application. Department of Electrical engineering, Indian institute of science, India 1996
- [3]-Výkonová elektronika, svazek III, Prof. František Vondrášek, skripta ZČU, Plzeň 1998
- [4]- výzkumná zpráva-A series Active power filter vased on sinusoidal controlled voltage source inverter, Juan W.Dixon, IEEE 1997
- [5]-Compensation of reactive power using active filter, W. Koczara, Warsaw University of technology 1996, výzkumná zpráva

Kontakt: ing. Ondřej Mšal, Katedra výkonové elektroniky a regulačních pohonů,
Falukta Elektrotechnická, Sady Pětatřicátníků 14, 316 00, Plzeň
E-mail: msal4@kve.zcu.cz, tel 019/7256881 linka 119

**Zpracováno s podporou výzkumného záměru
č. CEZ:J23/98:232200008**