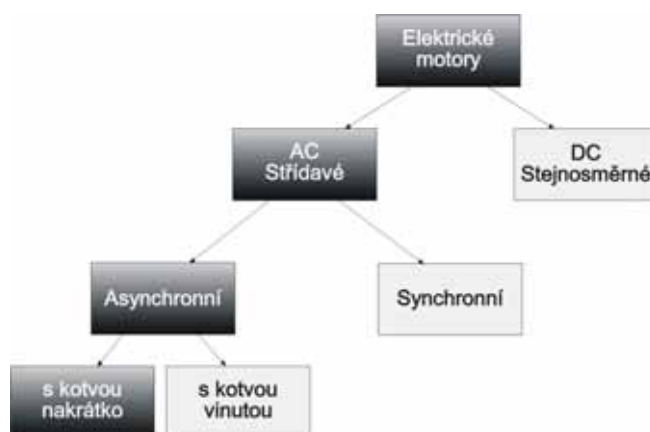


3

STŘÍDAVÉ POHONY

Klasické DC motory s mechanickým komutátorem pomalu, ale jistě ztrácejí svůj podíl na pohonářském trhu a jsou postupně nahrazovány buď asynchronními nebo synchronními motory. Na obr.3-1 jsou elektrické motory rozděleny do několika možných kategorií. V podstatě existují tři základní "klasické" typy motorů: komutátorový DC motor (s vinutým buzením) a dva typy střídavých motorů: asynchronní a synchronní. Tmavě zvýrazněné bloky představují vývojovou větev asynchronního motoru (ASM) s kotvou nakrátko.



Obr.3-1: Kategorie elektrických motorů

Předpokládá se, že v následujících letech získají regulované ASM v průmyslové automatizaci dominantní postavení. Určitou konkurenci představují tomuto motoru pouze ve speciálních případech elektronicky řízené DC motory (bez komutátoru) a synchronní stroje buzené permanentními magnety nové generace (*PMSM – Permanent Magnet Synchronous Motor*). Ve srovnání s těmito stroji není ASM ani nejlehčí, ani nejmenší.

Bezkomutátorové DC motory s permanentními magnety (*BLDC – Brushless DC motor*) ovládnou oblast servopohonů středních a vyšších výkonů, zatímco krokové motory se budou aplikovat spíše v servopohonech malých výkonů. Pro vysokorychlostní aplikace se jeví slibně spínané reluktanční motory (*SRM – Switched Reluctance Motor*).

Regulované střídavé pohony představují velice dynamicky se rozvíjející technickou oblast. V roce 1999 se odhadovalo, že pouze 10% všech ASM o výkonu 1-500kW je vybaveno frekvenční regulací. Zbývajících 90% pracuje stále s konstantní frekvencí (50Hz).

Z energetického hlediska je to velké plýtvání. Pokud se podíváme na cenové výdaje na celkový provoz ASM, zjistíme, že 5% připadá na pořizovací náklady, 5% na servisní náklady a 90% tvoří cena spotřebované energie. A právě frekvenční regulace je neúčinná

nější způsob, jak tuto spotřebu snížit. Hlavně v nejbližších letech, kdy se bude cena elektrické energie pravděpodobně zvyšovat, bude na energeticky nenáročném pohony kladen stále větší důraz. Navíc neustálý vývoj nových magnetických a izolačních materiálů, výkonových spínacích prvků a programovatelných integrovaných obvodů s sebou přináší možnost realizace stále složitějších, komplikovanějších a účinnějších řídicích algoritmů, což vede k přesnější regulaci s vyšší dynamikou.

3.1 Požadavky na AC pohony

Střídavý regulovaný pohon lze použít prakticky všude. Je však nutné zvolit vhodný typ AC motoru, měniče frekvence, snímačů a řídicí metody, aby byly uspokojeny všechny aplikační požadavky.

Ty mohou vypadat následovně [26, 30]:

- Bude postačující řízení v otevřené smyčce, nebo je zapotřebí zpětnovazebních signálů?
- Jaké veličiny je nutné regulovat - moment, otáčky, polohu nebo magnetický tok? S jakou přesností a dynamikou?
- Nároky na regulační pásmo otáček. Je vyžadována práce nad jmenovitými otáčkami (odbuzování)?
- Jaká je požadovaná regulační přesnost v okolí nulových otáček?
- Bude zapotřebí vestavěného snímače otáček? Jaký zvolit způsob krytí? Je vyžadováno nezávislé chlazení?
- Postačí jedno, dvou nebo čtyřkvadrantové (oba směry otáček i momentu) provedení pohonu?
- Jaká kritéria vzhledem k normám o EMC má pohon splňovat?

3.1.1 Rychlost, přesnost a robustnost regulace

Elektrické pohony mají za úkol řídit pohyb, tedy moment a rychlost (resp. polohu) motoru, k čemuž se velmi často využívá uzavřených regulačních smyček. Pro posouzení regulačních vlastností různých pohonů se používá různých kritérií. Jedním z možných je například vyhodnocení tzv. akcelerační doby t_b (b - base speed), za kterou motor dosáhne jmenovité rychlosti z klidového stavu, a doby t_m (m - max), za kterou se motor rozběhne na svou maximální rychlost. Díky možné krátkodobé momentové přetížitelnosti motoru se dají tyto časy minimalizovat. Nejvíce je dynamika rozběhu ovlivněna momentem setrvačnosti motoru a poměrem mezi maximální a jmenovitou rychlostí motoru (pohybuje se mezi hodnotami 2 až 6).

Rychlost odezvy na skok žádaných otáček závisí na špičkové hodnotě poměru mezi elektromagnetickým momentem a momentem setrvačnosti (M_{max}/J) a na rychlosti vytváření momentu uvnitř motoru. Zatímco poměr M_{max}/J je určen již při návrhu a výrobě stroje, rychlost s jakou je motor schopen vyprodukovat potřebný moment je dána převážně kvalitou řízení celého pohonu. Schopnost vytvářet moment v co nejkratším čase klesá s vyšší rychlostí.

Přesnost regulace je kritérium pro hodnocení kvality pohonu, jež lze vztahovat buď k regulaci momentu nebo k regulaci rychlosti (resp. polohy). Malá pulsace a malá odchylka od požadované hodnoty (např. menší než 1%) jsou hlavní požadavky na momentovou regulaci. Přesnost regulátoru rychlosti je vyjadřována odchylkou od požadované hodnoty v rámci tzv. regulačního pásma. Toto pásmo je definováno jako poměr mezi maximální a minimální dosažitelnou hodnotou rychlosti. U méně přesných pohonů se tyto odchylky pohybují (při jmenovité rychlosti) kolem 2 - 3%. U pohonů s kvalitní rychlostní regulací bývá odchylka při jmenovité rychlosti menší než 0,1% a při otáčkách pod 1 ot/min dosahuje asi 10 - 20% žádané hodnoty. Pro velmi přesné servopohony je většinou zapotřebí přesné čidlo polohy a užití vysoce sofistikovaných řídicích algoritmů.

Robustnost regulace závisí na časové proměnlivosti parametrů stroje, momentu setrvačnosti a zátěže. Vyšší robustnosti je možno dosáhnout přesnější identifikací těchto labilních parametrů a důmyslnější regulací.

Střídavý pohon je v podstatě nelineárním systémem vyššího řádu. Vstupních regulačních veličin nebývá mnoho (otáčky, moment), avšak výstupních veličin, které často slouží jako zpětná vazba, je mnohem více (proudy, napětí, otáčky, poloha, magnetické toky, moment, a další). Některé z nich se přímo měří, některé se vypočítávají nebo odhadují pomocí více či méně přesného matematického modelu motoru. Parametry AC motorů však závisí na teplotě (odpory) a na saturaci (indukčnosti). Navíc bývá často proměnlivá i zátěž. Všechny tyto vlastnosti se negativně promítají do kvality regulace, neboť parametry jednotlivých regulátorů jsou naladěny pro předdefinovaný pracovní stav. Menším zesílením regulátorů sice snížíme citlivost na změnu parametrů pohonu, zhorší se však celková dynamika regulace.

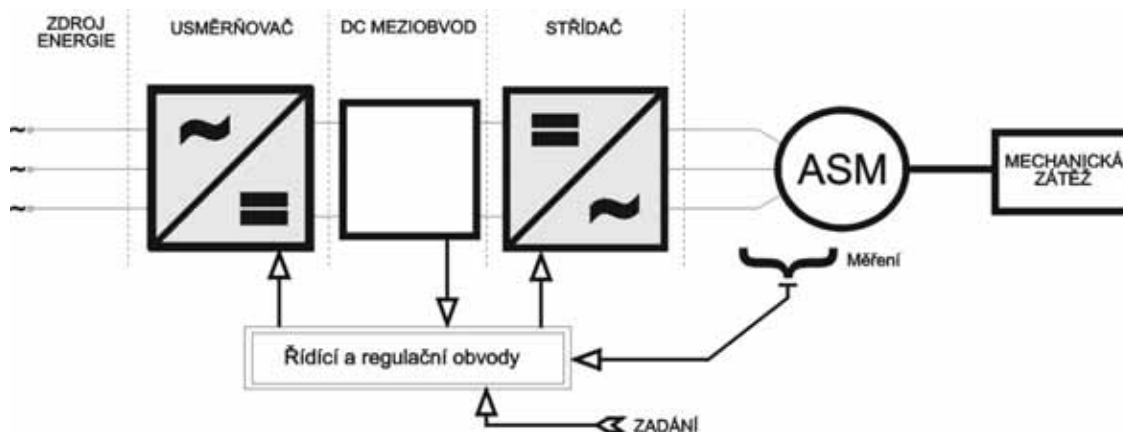
Tento problém lze řešit pomocí adaptivních regulátorů. Mezi nejpoužívanější metody adaptivní regulace patří:

- samonastavující se regulátor (*self-tuning controller*)
- regulátor s referenčním modelem (*model-reference adaptive controller - MRAC*)
- regulátor s proměnnou strukturou (*variable-structure controller*)

Tyto metody jsou většinou náročné na výpočetní schopnosti použitých regulátorů, často se proto realizují pomocí rychlých signálových procesorů (DSP).

3.2 Struktura AC pohonu

Pro regulaci otáčivé rychlosti a momentu AC motorů se v moderních pohonech používá statický měnič frekvence. Rychlost otáčení magnetického pole ve vzduchové mezeře, a tím i velikost otáček motoru, se mění v závislosti na frekvenci výstupního napětí měniče, který napájí motor. Ačkoliv existuje více druhů měničů frekvence, nejvíce se rozšířila struktura na obr.3-2. Jedná se o tzv. nepřímý měnič frekvence se stejnosměrným (DC) meziobvodem.



Obr.3-2: Obecné schéma frekvenčního měniče s DC meziobvodem

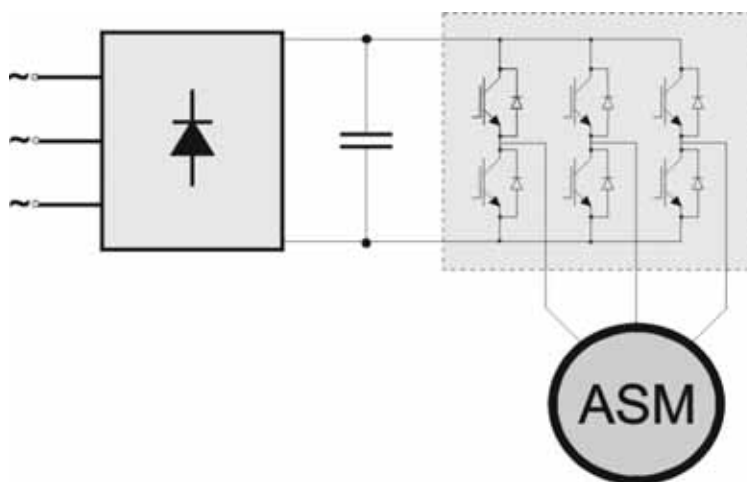
Tento typ měniče se skládá s následujících čtyř hlavních částí:

Usměrňovač - Přemění vstupní střídavé (jedno nebo třífázové) napětí na stejnosměrné pulzující napětí. Usměrňovač může být neřízený (diodový), plně řízený (tyristorový nebo tranzistorový), nebo polořízený (kombinace obou). K potlačení nepříznivých zpětných vlivů polovodičových usměrňovačů na napájecí síť se instalují kondenzátory pro kompenzaci jalové energie, rezonanční obvody pro filtraci a rádiové rušení, což ovšem vyžaduje velké množství pasivních součástek. Proto se začínají používat speciálně řízené vstupní usměrňovače, které nevyžadují další zařízení v silových obvodech. Tyto usměrňovače

jsou realizovány pomocí plně říditelných výkonových polovodičových součástek a jsou provozovány v režimu pulsně šířkové modulace. Ve spojení se vstupním filtrem mohou pracovat s jednotkovým účinníkem, popřípadě účinníkem kapacitním, a maximálně omezují zpětné vlivy na napájecí síť.

Stejnoseměrný meziobvod - Vyskytují se tři typy. První přeměňuje DC napětí z usměrňovače na DC proud (proudový meziobvod). Druhý typ stabilizuje pulzující DC napětí (napěťový meziobvod). Třetí typ upravuje konstantní DC napětí z usměrňovače na jinou hodnotu. Stejnoseměrný meziobvod může být považován za jakýsi zdroj, ze kterého čerpá střídač energii pro svou práci. Typ použitého meziobvodu závisí na použitém střídači a usměrňovači.

Střídač - Poslední výkonový prvek před motorem. Provádí poslední úpravy napětí v závislosti na zatěžování motoru. Střídač odebírá z DC meziobvodu buď proměnný DC proud, proměnné DC napětí nebo konstantní DC napětí, a upravuje jej na napětí střídavé.



Obr.3-3: IGBT střídač se stejnosměrným napěťovým meziobvodem

V oblasti střídavých pohonů je nejrozšířenější tzv. napěťový střídač (*VSI - Voltage Source Inverter*) se stejnosměrným meziobvodem (obr.3-3). Na jednotlivých fázích statoru ASM se podle spínací kombinace objevují různá napětí, jejichž velikost je závislá na napětí v meziobvodu a na spínací kombinaci výkonových spínacích prvků ve střídači. Napěťový střídač je schopen poskytnout maximálně osm konkrétních spínacích kombinací, kterým na základě teorie o komplexních vektorech odpovídá šest aktivních napěťových vektorů a dva vektory nulové.

Jednotlivá provedení těchto měničů se od sebe liší hlavně v použitých výkonových spínacích prvcích (GTO, MOSFET, IGBT), ve velikosti spínací frekvence (100Hz - 20kHz) a v použitém typu modulace. Dále se stále více zohledňují evropské normy pro EMC elektrotechnických výrobků, což vede k používání filtrů, stíněných kabelů, apod. Spínací polovodičové prvky ve střídači se zapínají a vypínají podle budících signálů z řídicích obvodů. Princip generování těchto signálů je dán zvolenou řídicí metodou. Napěťový střídač na obr.3-3 se skládá ze šesti výkonových spínacích tranzistorů a šesti zpětných diod.

Pro vysokonapěťové aplikace se používá vícehladinových měničů frekvence ^[24].

Řídicí a regulační obvody - Mají za úkol zpracovávat a vyhodnocovat vstupní a zpětnovazební signály a zároveň provádět řídicí algoritmus, jehož výstupem jsou řídicí pulsy pro střídač. Dnes je téměř vše realizováno číslicově, pomocí integrovaných obvodů a mikroprocesorů. Informace o stavu pohonu se získávají převážně měřením. Pro měření proudů a napětí se nejčastěji používají snímače, jenž pracují na principu Hallova jevu.

U standardních AC pohonů je pro přesné řízení pohybu nejdůležitější čidlo pro snímání polohy nebo rychlosti hřídele motoru. Pro číslicové řízení jsou vhodné inkrementální

snímače polohy. Často se také užívá klasických tachogenerátorů. U bezkomutátorových DC motorů s permanentními magnety se často užívá pro přesné určení polohy hřídele tzv. resolveru.

3.3 Výkonová část pohonu

Výkonové (silové) součástky se podílejí na ceně průmyslového elektrického pohonu zhruba z jedné třetiny. Samozřejmě tento poměr se může měnit s výkonem pohonu. Cenově nejnáročnější jsou výkonové plně říditelné spínací součástky. V současnosti se nejvíce užívá tranzistorů. Výkonové MOS-FETy lze spínat velmi vysokou frekvencí (až 100kHz), používají se však pouze pro aplikace nízkých výkonů, neboť nejsou schopny spínat příliš velké proudy. Proto se dnes s oblibou používají IGBT (*Insulated Gate Bi-polar Transistor*) tranzistory, jež v sobě spojují dobré vlastnosti MOS-FETů na vstupu (snadné řízení; vysoká spínací frekvence) a bipolárních tranzistorů na výstupu (nízké spínací ztráty; možnost přenosu vysokých výkonů). IGBT tranzistory ovšem pro svou správnou funkci vyžadují antiparalelně připojenou diodu, kvůli zpětným proudům, jež střídačem protékají během komutací.

V oblasti vysokých výkonů jsou stále požívány GTO (*Gate-Turn-Off*) tyristory. Na trhu se objevují i další druhy výkonových polovodičových součástek, jež v obě sdružují vlastnosti různých typů spínacích součástek. Např. MCT (*MOS-Controlled Thyristor*), IGCT (*Insulated Gate Controlled Thyristor*) nebo IEGT (*Injection Enhanced Gate Transistor*).

Nejdůležitější výkonovou částí celého pohonu je bezesporu střídač. Kvalitu spínání a tepelné poměry ovlivňuje hlavně výběr spínacích součástek a příslušných budících obvodů. Velmi důležitý je i návrh plošného spoje a celkové uspořádání součástek kvůli minimalizaci parazitních indukčností a EMI (*Electro-Magnetic-Interference*), jež mohou mít negativní vliv na řídicí součástky a signály. Budící obvody obvykle obsahují i určité druhy diagnostických funkcí. Například bývají schopny včas rozpoznat zkrat ve větvi střídače, nadproud či tepelné přetížení a případně zablokovat řídicí pulsy, a zabránit tak zničení tranzistorů nebo motoru. Většinou má budící obvod také za úkol galvanické oddělení řídicí a výkonové části pohonu.

3.4 Řízení AC pohonů

Ať již používáme jakýkoliv princip řízení, požadavek na pohon je stále stejný: Přesné a rychlé řízení momentu v co nejširším regulačním rozsahu, včetně nulových otáček. Řídicí algoritmy jsou realizovány mikropočítačovými či DSP (*Digital Signal Processor*) obvody s vhodnými perifériemi nebo zákaznickými obvody (*ASIC - Application Specific Integrated Circuit*).

Řídicí systém by měl obstarávat tyto funkce:

- generovat řídicí pulsy pro střídač, a řídit tak tvar a velikost jeho výstupního napětí
- realizovat regulační algoritmy
- zajišťovat ochranu systému před nadproudy, přetížením, přehřátím, před výpadkem elektrické sítě, apod.
- měření a indikování veličin nutných pro správnou funkci pohonu a pro nadřazený systém
- funkce zvyšující uživatelský komfort, např. autotuning - automatické ladění parametrů pohonu
- Inteligentní pohon by měl obsahovat i další přídavné funkce, jako například komunikaci s dalšími pohony a s nadřazeným systémem (centrální nebo distribuované řízení), nastavitelné omezení veličin, hledání poruch, diagnostika, optimalizace pohybu a spotřeby elektrické energie, protokol o provozu, apod.

U sériově vyráběných AC pohonů je obvykle možné programově nastavit tyto parametry:

- rampa rozběhu a brždění
- možnost nastavení zvýšení momentu (*Torque boost*)
- kompenzace skluzu (*Slip compensation*)
- energeticky úsporný chod při sníženém zatížení (*Energy saving*)
- omezení vibrací motoru
- tepelná ochrana měniče i motoru
- možnost opětovného startu při výpadku síťového napájení
- ochrana proti zastavení motoru
- možnost nastavení různých typů závislostí U/f
- možnost použití více rychlostních vstupů
- komunikace s PC přes sériové rozhraní

I v současnosti je mnoho elektroinženýrů přesvědčeno, že regulace otáček a momentu ASM je v porovnání s motorem stejnosměrným nesrovnatelně složitá a drahá. Vychází přitom z faktu, že pro řízení střídavého motoru je zapotřebí generovat střídavá napětí pro tři fáze a navíc zvládnout regulaci jejich amplitud a frekvencí. Pokud však přihlédneme k současné situaci na trhu s číslicovou a polovodičovou technikou, je jasné, že to s tou nesrovnatelně větší složitostí a cenou nebude tak žhavé. Výkonovou část střídavého pohonu lze sestavit ze sériově vyráběných výkonových modulů. Podobná situace je i při realizaci řídicí části. Použití digitální techniky nabízí vyšší flexibilitu v provádění řídicích algoritmů a umožňuje snadné přizpůsobení programu aktuálním požadavkům.

Výkonové polovodičové spínací prvky používané u regulovaných AC pohonů pracují s vysokými spínacími frekvencemi. To přispívá k vyšší účinnosti, menší pulsaci momentu a menšímu hluku. Na druhé straně jsou ale tyto prvky zdrojem elektromagnetického a rádiového rušení. Rušivý signál se přenáší sítí a zemí do okolí. U nových měničů jsou proto vstupní a výstupní filtry pevnou součástí měničů. Výrobce zároveň předepisuje podmínky pro kabelové spojení a montáž.

V posledních letech se pro potlačení vyšších harmonických odebíraného proudu a pro zvýšení účinnosti používají usměrňovače s říditelnými spínacími součástkami místo klasických diod.

3.4.1 Číslicové zpracování signálu

V šedesátých letech dvacátého století se začíná díky rozvoji mikroelektroniky využívat téměř ve všech technických oborech číslicová technika. Přejít od analogového k číslicovému přenosu, zpracování a vyhodnocení signálu je způsoben nejen zvýšenými nároky na parametry řízení, ale i technologickým rozvojem používaných součástek a zaváděním nových materiálů a technologií. Vzniká nová řada zakázkových, polozakázkových a speciálních obvodů, ale i univerzální aritmeticko-logické jednotky, komplexní násobičky, programovatelné filtry apod. Reprezentace fyzikálních veličin diskrétními číslicovými signály dovoluje při zpracování používat nejen postupy modelující chování reálných fyzikálních soustav, ale i metody ryze matematické, optimalizační, statistické, atd. Chování soustav je pak možno modelovat na počítači nebo přímo realizovat mikroprocesorem či signálovým procesorem, který pracuje v reálném čase. V oblasti mikroprocesorové techniky dochází stále častěji k využívání multiprocesorových a paralelních architektur a v neposlední řadě i k rozvoji netradičních způsobů číslicového zpracování založených na využití neuronových sítí a fuzzy logiky. Číslicové zpracování signálů se stalo neodmyslitelnou součástí v oblastech jako je například řídicí a automatizační technika, měřicí technika, spotřební elektronika nebo telekomunikace^[8].

Moderní AC pohony jsou vesměs vybaveny číslicovými regulátory. Abychom se vypořádali s vysokými požadavky na pohon, je často zapotřebí dosáhnout co nejširšího regulačního

pásma rychlosti. Hlavním limitujícím faktorem tohoto požadavku je vzorkovací (taktovací) frekvence regulátoru. Špičkové sériově vyráběné servopohony realizované s pomocí DSP nebo RISC procesorů mají taktovací periodu okolo 100-200 μ s. Samozřejmě je zapotřebí používat snímače a převodníky, které tuto rychlost vzorkování podporují, jinak by se zhoršila stabilita regulačních smyček, zvýšila by se chyba měření při nízkých otáčkách, apod. V některých případech se tento problém řeší kombinováním analogových a číslicových prvků (hybridní obvody).

Stále více se v pohonářské technice používají signálové procesory (*DSP - Digital Signal Processor*), jež umožňují:

- snižovat cenové náklady pohonu díky účinnému řízení
- provádět inteligentní algoritmy náročné na výpočetní výkon, což vede ke snížení pulsace momentu a tím k potlačení vibrací a prodloužení životnosti pohonu
- potlačovat obsah harmonických díky zdokonaleným řídicím algoritmům
- pomocí algoritmů pro "bezsenzorové" řízení dosahovat přesné regulace otáček motoru i bez čidla rychlosti

Signálový procesor má obdobné vlastnosti a způsob programování jako univerzální procesor. Jeho odlišná architektura a instrukční soubor však umožňuje mnohem rychlejší a účinnější výpočet nejpoužívanějších vztahů při číslicovém zpracování signálu (násobení, diskrétní transformace, číslicová filtrace, aj.). Převážná většina DSP má tzv.harvardskou architekturu s odděleným zpracováním instrukcí a dat, což umožňuje současnou manipulaci s daty i adresami. Vysoké rychlosti výpočtu se dosahuje, podobně jako u univerzálních procesorů, architekturou, paralelním zpracováním úloh více procesory najednou a zvyšováním hodinového kmitočtu.

Tvorbu programového vybavení pro řešení konkrétní úlohy s daným typem procesoru lze provádět zhruba ve třech úrovních. Nejnižší způsob vyžaduje znalost tzv.strojového kódu (číselná forma instrukce), což značně znesnadňuje tvorbu a ladění programu. Využití jazyku symbolických adres představuje vyšší úroveň programování. Instrukce, adresy a data jsou zde reprezentovány abecedněčíslíkovými symboly, což zvyšuje přehlednost a srozumitelnost programu. Jazyk symbolických adres je pak do strojového kódu předkládán speciálním programem - *assemblerem*. Třetí nejvyšší úroveň programování DSP představují tzv.vyšší programovací jazyky - *Basic, Pascal, C, Fortran*, aj. V současné době se používá téměř výhradně jazyk C. Vytvořený zdrojový text aplikačního programu je přeložen překladačem jazyka C do jazyka symbolických adres a z něj potom pomocí assembleru do strojového kódu.

3.4.2 Číslicové regulační obvody

Realizace moderních algoritmů řízení střídavých pohonů je z hlediska zpracování signálů, jež reprezentují konkrétní veličiny pohonu, výpočetně velice náročná. Například u vektorového řízení je pro provedení transformace souřadnic zapotřebí několik násobiček a funkčních generátorů. Zatímco v případě analogového řešení těchto bloků by se jednalo o mimořádně náročný úkol, pro digitální signálové procesory (DSP) je to standardní procedura.

Prudký vývoj mikroelektroniky umožňuje zmenšovat velikost a cenu a zvyšovat výpočetní výkon těchto součástek. Díky tomu se dnes vyrábějí regulační desky o velikosti pohlednice, jež jsou schopny vykonávat nejmodernější metody řízení ASM.

V případě číslicového zpracování signálu je pro přesnost prováděných úkolů velice důležitá velikost (délka) slova, s kterým procesor pracuje a jeho výpočetní rychlost.

V současné době jsou v pohonářských aplikacích velmi rozšířené 16-ti bitové procesory. Jednak jsou mnohem levnější než DSP s pohyblivou čárkou, a při používání 10-ti nebo 12-ti bitových A/D převodníků je 16-ti bitové rozlišení dostačující.

Spojité časově proměnné signály je třeba před použitím pro číslicový procesor digitalizovat. Vstupní signál je tedy v předem daných okamžicích vzorkován, přičemž je pro kaž-

dou dobu vzorkování signálu přiřazena odpovídající číselná hodnota. Vzorkování obvykle probíhá periodicky s vhodnou periodou pomocí analogově-číslcového převodníku. Takto upravený signál již lze zpracovávat mikroprocesorem nebo DSP.

Číslicový PID regulátor

Algoritmem regulace je obvykle vytvářena regulační odchylka $e(t)$ a podle ní se odvozuje akční (výstupní) veličina regulátoru $y(t)$.

Spojité PID regulátor (obr.3-4) lze popsat diferenciální rovnicí

$$y(t) = K \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right]$$

kde: K - zesílení regulátoru

T_I - integrační časová konstanta

T_D - derivační časová konstanta

Číslicový ekvivalent tohoto výrazu získáme nahrazením integrálu součtem a derivace diferencí. Výsledkem je diferenciální rovnice ve tvaru

$$y(k) = K \left[e(k) + \frac{T}{T_I} \sum_{n=0}^k e(n) + \frac{T_D}{T} [e(k) - e(k-1)] \right]$$

kde: $y(k)$, $e(k)$ - hodnoty signálů v k -tém okamžiku vzorkování

T - vzorkovací perioda

Výstup PID regulátoru $y(k)$ je tedy určován součtem jednotlivých složek u_p , u_I , u_D a v paměti je uchována minulá hodnota integrační složky.

Pro jednotlivé složky platí

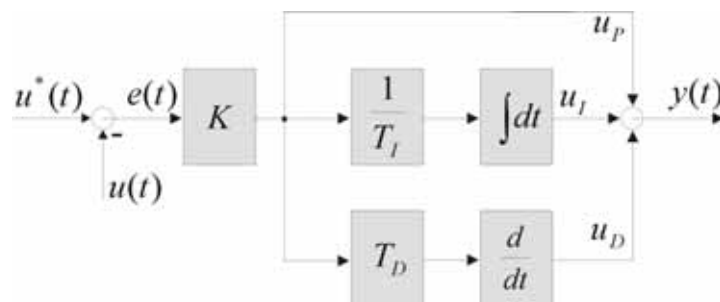
$$u_p(k) = Ke(k),$$

$$u_I(k) = K \frac{T}{T_I} \sum_{n=0}^k e(n) = u_I(k-1) + \frac{T}{T_I} e(k),$$

$$u_D(k) = K \frac{T_D}{T} [e(k) - e(k-1)].$$

A výstupem regulátoru je

$$y(k) = u_p(k) + u_I(k) + u_D(k).$$



Obr.3-4: Blokové schéma PID regulátoru

Při práci regulátoru v režimu nasycení (omezení) je nutné omezovat velikost integrační složky. V opačném případě dojde k jejímu narůstání, což vede k prodloužení přechodového děje (ztrátě dynamiky), kvůli delšímu návratu hodnoty do lineární oblasti.

3.4.3 Řízení výstupního napětí střídače

Pro řízení výstupního napětí 3-fázového napětí s napětovým meziobvodem, což je nejpoužívanější typ, existuje mnoho metod. Napětí DC meziobvodu bývá většinou udržováno na konstantní hodnotě, a proto lze tvar a frekvenci napětí na výstupu střídače ovlivňovat pouze vhodným spínáním výkonových prvků uvnitř měniče. Spínací schéma pro zapínání a vypínání jednotlivých tranzistorů či tyristorů se nejčastěji odvozuje v modulátoru pomocí tzv. pulsně šířkové modulace (*PWM - Pulse Width Modulation*). Střídavé výstupní napětí se vytváří pomocí kladných pulsů pro jednu půlperiodu napětí a ze záporných pulsů pro zbylou půlperiodu. Amplituda výsledného střídavého napětí závisí na šířce pulsů (velikost pulsů je konstantní). Obvykle se pro generování řídicích signálů pro spínací prvky užívá tzv. komparační metoda. Zadané střídavé sinusové napětí se porovnává s nosným pilovitým signálem o určité frekvenci dané spínacími možnostmi výkonových součástí. Pro dosažení maximální možné amplitudy sdruženého napětí na svorkách motoru se k modulovanému vstupnímu řídicímu signálu přidává jeho třetí harmonická složka^[9]. Výsledkem je nárůst amplitudy sdruženého napětí asi o 14% oproti předchozímu stavu.

Velmi oblíbená je metoda založená na modulaci prostorového vektoru řídicího napětí (*SVM - Space Vector Modulation*)^[51].

Obsah

Kapitola **STŘÍDAVÉ POHONY**

3.1	Požadavky na AC pohony	2
3.1.1	Rychlost, přesnost a robustnost regulace	2
3.2	Struktura AC pohonu	3
3.3	Výkonová část pohonu	5
3.4	Řízení AC pohonů	5
3.4.1	Číslicové zpracování signálu	6
3.4.2	Číslicové regulační obvody	7
3.4.3	Řízení výstupního napětí střídače	9

Pozn.: Tento dokument je jednou z kapitol mé disertační práce nazvané "Řízení asynchronního motoru bez použití snímače rychlosti" na Katedře elektrických pohonů a trakce (FEL ČVUT Praha).

Poslední aktualizace: 6. září 2004

Autor: Petr Kadaník

Email: petr@kadanik.cz