AUTOMATICKÁ REGULACE POHONŮ

Cílem regulace elektrického pohonu je zajistit požadované hodnoty regulovaných veličin, a to nezávisle na vlivu poruchových veličin, působících na regulovanou soustavu. Regulace v elektrických pohonech je charakterizována především požadavky na velkou rychlost změn soustavy v závislosti na požadavcích. Regulace je navíc dnes velmi složitá. U regulací dnes nejvíce používaných asynchronních motorů musí regulátory pro zajištění optimálních vlastností pohonu řešit během každého taktu střídače (desítky μs) řešit soustavu diferenciálních rovnic. Požadovaná chyba regulace je přitom u regulátorů zlomky %.
Protože se tedy v elektrických pohonech obvykle reguluje více veličin, je třeba vytvořit systém, který takovou regulaci umožní. V pohonech se nejčastěji používá tzv. hierarchická struktura řazení regulátorů. Hlavní předností je, že každá z podřízených regulací vytvoří korekci přenosu regulačního objektu a může tím pracovat samostatně.

Regulace stejnosměrných motorů

Přestože regulační pohony se stejnosměrnými motory se nově nasazují velmi málo, jsou v praxi z historického hlediska velmi rozšířeny. Kromě snadno dostupného zdroje proměnného stejnosměrného napětí se jedná o snadnou regulaci pomocí napětí v kotvě. V neposlední řadě to je linearita obvodů, použitých v řízení i samotného cize buzeného motoru.

Stejnosměrný motor s regulací proudu

Jedním ze základních parametrů motoru je moment. Pro regulaci momentu jsou však vhodná čidla jsou velmi drahá a prostorově náročná, a proto se reguluje proud, který při konstantním buzení je přímo úměrný momentu motoru. Vlastní regulace proudu obvykle není cílem regulačního pohonu. Přesto se téměř standardně

ESF II projekt Západo eské univerzity v Plzni, reg. . CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013239

užívá, a to z důvodů:

a) zajištění proudového omezení s ohledem na vlastnosti měniče a motoru,

b) zlepšení dynamických vlastností nadřazené smyčky.

Nejčastější způsob zapojení regulátorů je kaskádní spojení s nadřazeným regulátorem rychlosti. Struktura proudové smyčky je na patrná ze struktury regulace rychlosti na obrázku 1. Proudové omezení se dosahuje omezením žádané hodnoty proudu UI_1.

Regulace rychlosti stejnosměrného motoru

Základním úkolem je co nejpřesnější nastavení a udržení rychlosti motoru v závislosti na požadované hodnotě. Druhým úkolem regulátoru je zajistit vhodný průběh přechodového děje. Z tohoto důvodu se zařazuje do obvodu podřízená regulační smyčka proudu. Ta slouží navíc k omezení momentu na dovolenou hodnotu.

Z obecných vlastností pohonů s regulací rychlosti lze uvést:

a) Rozsah regulace (např. ω_{max} / ω_{min})

b) Přesnost regulace – absolutní $\Delta\omega$ nebo relativní $\Delta\omega/\omega_N$.

c) Kvadranty charakteristik

d) Dynamické vlastnosti

V předchozích kapitolách jsou uvedeny možné způsoby řízení otáček stejnosměrného motoru. Nejčastější způsob je *regulace napětím v obvodu kotvy*. Předpokládá se motor se stálým magnetickým tokem. Změnu napětí lze provádět dynamem či polovodičovým měničem. Základní regulační schéma je na obrázku 1, přechodový děj na obrázku 2. Od t_1 do t_3 pracuje pouze regulátor proudu, regulátor rychlosti je nasycen. Od t_3 řídí činnost motoru regulátor rychlosti.

Struktury řízení měničů pro regulaci otáček asynchronního motoru

Regulační struktury řídících obvodů střídačů pro napájení asynchronních motorů prodělaly v poslední době velmi dynamický vývoj, směřující od skalárního řízení přes vektorové řízení až po přímé řízení momentu. Bylo to umožněno jednak změnami ve vlastnostech výkonových polovodičových součástek, jednak ve vývoji řídících systémů na bázi mikropočítačů, poté užíváním mikrokontrolérů až po tzv. signálové procesory (DSP).

Skalární řízení asynchronních motorů

Skalární způsob řízení výkonových polovodičových měničů kmitočtu je poměrně jednoduchý. Je však používán pouze u pohonů s malými nároky na dynamické vlastnosti, jako jsou například ventilátory, čerpadla, kompresory, nebo pro takové pohony, kde je zátěžný moment takového charakteru, že se nemůže měnit skokem.
Pro měniče kmitočtu s napěťovým střídačem se používá tzv.
napěťově – kmitočtové řízení. Princip je velmi jednoduchý a vychází z rovnice

$$\overline{u_1} = R_1.\overline{i_1} + \frac{d\overline{\psi_1}}{dt} + j\omega_S\overline{\psi_1}$$

Protože vzhledem k určení regulace (pomalým změnám) můžeme člen $d\overline{\psi}_1/dt$ zanedbat, dostává rovnice tvar: $\overline{u_1} = R_1.\overline{i_1} + j\omega_S\overline{\psi_1}$. Při rychlostech vyšších[1] jak $0.1\omega_N$ můžeme zanedbat i úbytky napětí na odporech a dostaneme $\overline{u_1} = j\omega_S\overline{\psi_1}$. Tato rovnice již říká, že při zachování konstantního toku $\overline{\psi_1}$ je napětí přímo úměrné kmitočtu. Princip napěťově–kmitočtového řízení tkví tedy v udržování:

$$\frac{|\overline{u_1}|}{f_S} = konst.$$

[1] Skalární řízení není vhodné pro regulaci při malých otáčkách. Proto je daný vztah možný.

Regulační obvody mohou být provedeny buď bez nebo s čidlem otáček. Nejjednodušší řízení je na obrázku 3. Pro kmitočty $f_S < f_{SN}$ je udržován konstantní magnetický tok. Pro větší kmitočty již nelze napětí zvyšovat – motor se odbuzuje. Blok **F** (filtr) naopak zajišťuje pomalý nárůst f_S. Po skokové změně $\mathbf{f_{SW}}$ (řidící hodnota, odpovídá požadované frekvenci) a rovněž po skokové zátěži musí motor pracovat stále v lineární momentové charakteristice. V bloku $\mathbf{k_U}$ je provedena operace násobení – zde je proveden přepočet $\mathbf{f_S}$ na požadovanou hodnotu napětí U_i. V součtovém bloku je připočítána hodnota ΔU (úměrné úbytku napětí na R_S). Toto napětí se odvozuje buď ze statorového proudu, nebo jako funkce rotorového kmitočtu.

Při použití čidla otáček lze i s napěťově kmitočtovým řízením dosáhnout kvalitní regulace. Pak můžeme zařadit do obvodu regulátor rychlosti R_ω, jehož vstupy jsou požadovaná rychlost ω_{mw} a skutečná rychlost $\omega_{m.}$ Výstupem je požadovaná rotorová frekvence $\mathbf{f_r}$**.** Pro rotorovou frekvenci v ustálených stavech platí $M \approx f_r$. V součtovém bloku se realizuje součet $f_r + f_m = f_S$.

Vektorové řízení asynchronních motorů

Doposud probírané regulační struktury vyhovují pro ustálené stavy nebo pro dynamicky málo náročné pohony. Jedna z metod, která umožňuje řízení dynamicky náročných pohonů s asynchronními motory je metoda **vektorového řízení**.

Při odvození vlastností cize buzeného stejnosměrného motoru bylo ukázáno, že nejrychlejší změny momentu dosáhneme změnou napětí kotvy při napájení z polovodičového usměrňovače. Moment motoru je úměrný jednak budícímu proudu, jednak proudu obvodu kotvy. Protože budící proud vytváří magnetický tok, nazývá se tato složka **tokotvornou** složkou. Naopak točivý moment je úměrný proudu kotvy – tuto složku nazýváme **momentotvornou** složkou. Protože u stejnosměrné-

ho motoru jsou vinutí oddělená, lze tyto složky řídit samostatně bez obtíží. Podíváme-li se na uvedenou problematiku z hlediska asynchronního motoru, lze pro vysvětlení použít fázorový diagram. Dále zavedeme nový souřadnicový systém – osy **d**, **q.** Položíme osu **d** totožnou s vektorem $\boldsymbol{\psi_r}$. Složku proudu $\mathbf{I_S}$ můžeme potom rozložit do těchto nově zavedených os. Složka $\mathbf{I_{sd}}$ (rovnoběžná s tokem) je tedy složkou, která vytváří v magnetickém obvodu stroje magnetický tok a nazýváme ji tedy složkou **tokotvornou.** Naopak, složka $\mathbf{I_{sq}}$ (kolmá na tok) je úměrná momentu (platí $M = k.\left|\overline{\psi_r}\right|.i_{sq}$). Tato složka se proto nazývá **momentotvorná.** Uvedené analogie mezi proudy stejnosměrného motoru a rozkladem proudů asynchronního motoru se potom využívá u **vektorového řízení asynchronního motoru** : oddělené řízení tokotvorné a momentotvorné složky proudu.

Principiální schéma vektorového řízení je uvedeno na obrázku 6. Základem je opět regulátor otáček, jehož výstupem je požadovaná momentotvorná složka proudu I_{sqw}. Regulátor napětí zadává naopak požadovanou tokotvornou složku proudu I_{sdw}. Blok VR (vektorové řízení) pak provádí výpočet vektoru požadovaného napětí (v případě že je motor napájen zdrojem napětí) nebo vektoru požadovaného proudu (v případě že je motor napájen zdrojem proudu). Pro výpočet těchto vektorů jsou nutné informace o skutečných hodnotách I_{sq} a I_{sd}. Současně je potřeba znát úhel pootočení magnetického toku. Tyto veličiny zpracovává již zmíněný blok "matematický model motoru". V případě použití měniče s napěťovým střídačem, je použit napěťový model – vstupní signály jsou proud a napětí motoru. U měniče s proudovým střídačem jsou vstupními signály otáčky a proud motoru. Pokud jsou použity nejmodernější metody řízení – tj. pohony bez čidla otáček, musí "matematický model motoru" vypočítat též mechanickou rychlost motoru ω.

Z vektorového diagramu je zřejmé, že v případě použití proudového střídače může být blok VR podstatně jednodušší, než v případě použití napěťového střídače. Pro proudový zdroj blok VR pouze přepočítává požadovaný vektor proudu ze souřadného systému (d,q) na souřadný systém (x,y). Pro napěťový zdroj musí navíc blok VR nejprve vypočítat vektor požadovaného napětí v souřadném systému (d,q) a teprve potom jej převést do systému (x,y).

Na obrázku 7 je uvedena jedna z používaných variant zapojení regulačních obvodů s vektorovým řízením asynchronního motoru s napájením z napěťového střídače. Regulátory $\mathbf{R_{id}}$, $\mathbf{R_{iq}}$ spolu s bloky **Výpočet** $\boldsymbol{\psi_r}$ a **Výpočet** $\mathbf{U_{sd}}$, $\mathbf{U_{sq}}$ vyhodnocují ze zadaných proudů $\mathbf{I_{sdw}}$, $\mathbf{I_{sqw}}$ požadované složky napětí v souřadném systému rotorového magnetického toku $\mathbf{U_{sdw}}$, $\mathbf{U_{sqw}}$. V dalších blocích je pak proveden přepočet ze souřadného systému (d.q) do stojícího souřadného systému (x,y). V následujícím bloku se pak uvedená napětí přepočtou na požadovaná harmonická napětí jednotlivých fází.