

Aplikace umělé inteligence v řízení elektrických regulačních pohonů (1)

Pavel Brandštetter
Martin Kuchař
Libor Štěpanec

Příspěvek se zabývá uplatněním umělé inteligence v oblasti elektrických regulačních pohonů. Mezi hlavní nástroje umělé inteligence patří umělé neuronové sítě a fuzzy logika. V tomto příspěvku je fuzzy logika uplatňována pro realizaci fuzzy regulátorů. K přednostem fuzzy logiky patří snížení návrhového a implementačního času. Dalšími možnostmi jsou adaptivní fuzzy logické regulátory a fuzzy-neuronové sítě, které využívají vlastností a výhod obou systémů umělé inteligence. Umělé neuronové sítě jsou používány především pro identifikaci a řízení nelineárních dynamických systémů. Učící a adaptivní schopnost neuronových sítí je předurčuje jako ideální nástroj pro účely řízení. Neuronové sítě a fuzzy logiku je možné s úspěchem použít i v případech, kdy parametry regulovaného motoru a jeho zatížení nejsou známy.

Úvod

Používáním moderních prostředků v regulaci nejen střídavých elektrických pohonů může dojít ke značným úsporám a zlepšením. Rozvoj a velké uplatnění v poslední době poskytly číslicové regulátory. Díky číslicovému zpracování dat můžeme data shromažďovat a vyhodnocovat průběh regulace a chodu, což může nadále zlepšovat kvalitu regulace a získávat údaje o stavu zařízení a data pro diagnostiku.

Neustálé snižování cen mikro počítačů a mikroprocesorů, zejména pak DSP umožňuje navrhovat složitější systémy a regulátory s použitím umělé inteligence. Jedná se o fuzzy logiku, umělé neuronové sítě, genetické algoritmy a kombinace např. fuzzy-neuronové.

Jejich masivnímu nasazení bránila a brání nedostupnost prostředků, pomocí níž by byla uplatněna do praxe. Největší zkušenosti a znalosti na poli fuzzy logiky a umělé inteligence vůbec má Japonsko, které vkládá nemalé prostředky do vývoje a výzkumu.

Umělá inteligence jako taková může přispět ke zvýšení robustnosti, tedy menšímu ovlivňování kvality regulace v závislosti na změnách parametrů nebo zatížení v regulovaném systému. Dále adaptivní a učící schopnost především neuronových sítí lze využít v případech neznámého matematického modelu nebo v případech, kdy parametry regulovaného motoru a jeho zatížení nejsou známy.

1. Aplikace fuzzy logiky v řízení střídavého regulačního pohonu

Fuzzy logické systémy jsou obecně univerzálními funkčními aproximátory. Mezi výhody, které poskytuje využití fuzzy logiky patří například zkrácení vývojového času, vyhnutí se matematickému popisu systému a větší robustnost. Při návrhu systému s fuzzy logikou není tudíž vyžadován matematický model ve formě algebraických a diferenciálních rovnic. Mezi další vlastnosti jako i zlepšení vlastností regulace při správném nastavení patří např. možnost návrhu na základě jazykových informací od expertů, dobré vlastnosti potlačení šumu nebo dokonce schopnost podporovat lidské rozhodování. Fuzzy logiku je vhodné použít také pro případy měnících se parametrů systému. Dále je vhodná pro nasazení v nelineárních systémech na místě fuzzy regulátorů [2], [3].

Fuzzy regulátory byly aplikovány v regulační struktuře vektorového řízení asynchronního motoru, která je uvedena v kap. 2.5, obr. 8. Struktura elektrického pohonu sestává z nepřímého měniče frekvence, asynchronního motoru, příslušných regulátorů a bloků

pro úpravy signálů. Pro vzájemné porovnání byly použity ve struktuře klasické PI-regulátory a fuzzy regulátory.

1.1 Klasické regulátory

Nevýhodou klasických regulátorů je nutnost znát matematický model systému ve formě matematických rovnic. Na základě těchto rovnic mnohdy zjednodušených a linearizovaných je následně určen konvenční regulátor a jeho konstanty. U složitějších a nelineárních systémů je výsledný regulátor a jeho parametry určené z matematických rovnic mnohdy velice vzdálené reálné potřebě. Je tedy nutno opět doladit regulátory na reálné aplikaci. Klasický PI-regulátor v diskrétní podobě můžeme popsat rovnicí:

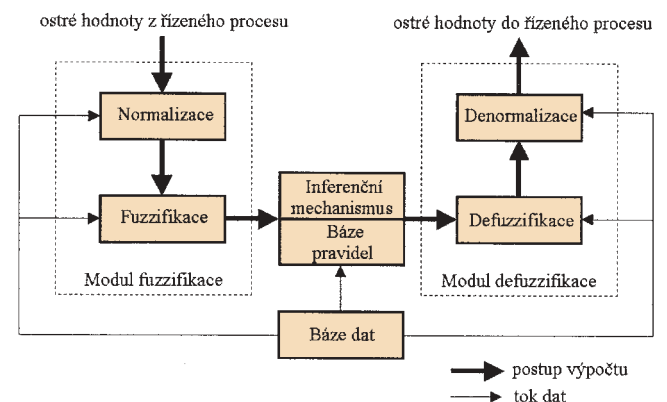
$$\Delta u(k) = K_P \cdot \Delta e(k) + K_I \cdot e(k) \quad (1)$$

Rovnice pro konvenční PI-regulátor v diskrétní podobě obsahuje lineární závislosti pro odchylku a změnu odchylky, z čehož plyne, že jejich řídicí plochou je rovina (obr. 2b).

1.2 Fuzzy regulátory

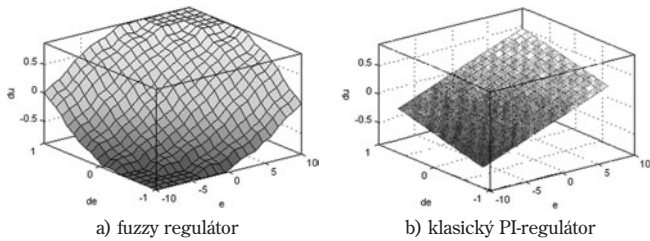
Použité fuzzy regulátory využívají klasickou strukturu Mamdaniho typu. Jejich jádrem je báze pravidel, která může být interpretována jako pravidla „celkového“ experta, nebo jako pravidla „pod-expertů“. Dále je zde inferenční mechanismus, kde jsou všechna pravidla zvážena vhodným způsobem pro získání výstupu. Tyto zmiňované části jsou pak totožné i s fuzzy regulátorem Mamdaniho typu zobrazeném na obr. 1. Existují však ještě i jiné typy fuzzy systémů viz např. [5], které se od popsaného typu více či méně liší.

Fuzzy regulátor tvoří bloky normalizace (přizpůsobení vstupních hodnot), fuzziifikace, inferenčního mechanismu sází pravidel, defuzziifikace, denormalizace (přizpůsobení výstupních hodnot).



Obr.1 Blokové schéma fuzzy regulátoru Mamdaniho typu





Obr.2 Řídicí plochy regulátorů

defuzzifikace a denormalizace. Na tomto základě je proveden fuzzy regulátor v programu Matlab Simulink. Do regulátoru vstupují žádaná a skutečná hodnota, které jsou ostrými hodnotami. Realizovaný fuzzy regulátor je zde chápán jako obdoba PI-regulátoru s tím, že lze nastavit jeho nelineární chování pomocí báze pravidel. Jedná se tedy o expertní systém, kdy zadávání báze pravidel probíhá na základě znalostí a zkušeností experta se soustavou. Výsledkem navrhnutého fuzzy regulátoru je řídicí plocha na obr. 2a, která udává odezvu výstupu na změnu vstupních veličin. Řídicí plochu lze pak snadněji implementovat například ve formě tabulky do řídicího mikroprocesoru.

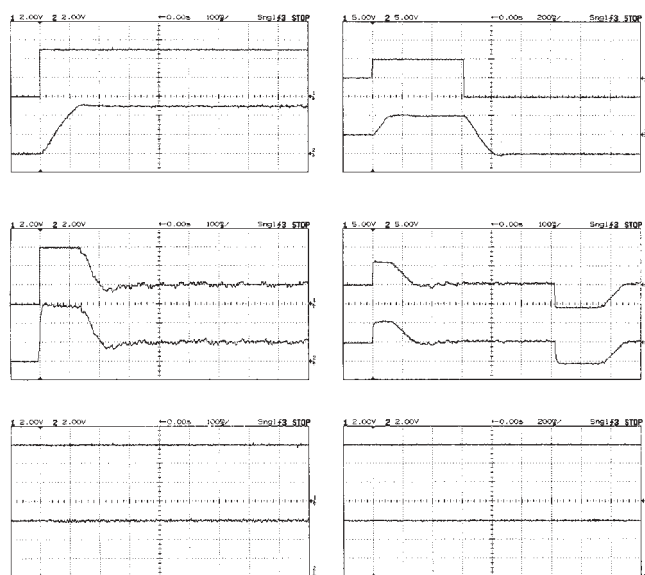
Fuzzy regulátor můžeme popsat rovnicemi:

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k) \quad \Delta u(k) = F(e(k), \Delta e(k)) \quad (2)$$

kde F reprezentuje funkci (závislost), která je většinou nelineární.

1.3 Adaptivní fuzzy regulátor

Adaptivní fuzzy regulátor je systém opatřený adaptačním algoritmem, který zabezpečuje, že jsou dodrženy vyhovující parametry regulátoru během všech provozních podmínek systému. V adaptivních fuzzy logických systémech (FLS) je mnoho možností pro adaptaci, a budou následně stručně zmíněny. Jedna z možností je použít Mamdaniho typ FLS s normovaným rozsahem univerza, kde jsou měněny měřítka, takže nemají pevné hodnoty. Avšak podobný efekt může být obdrženo také změnou tvaru vstupních a výstupních funkcí příslušnosti a jejich rozmístěním a počtem na univerzu. Adaptace může být také dosaženo změnou pravidel. V tomto případě v každém vzorkovacím okamžiku pravidla, která byla identifikována v předchozím vzorkovacím okamžiku a vedla k neuspokojivým výsledkům, jsou nahrazena novými pravidly, které by měly přinášet uspokojivé výsledky. Dalšími metodami je využití umělých neuronových sítí a jejich trénovacích algoritmů.



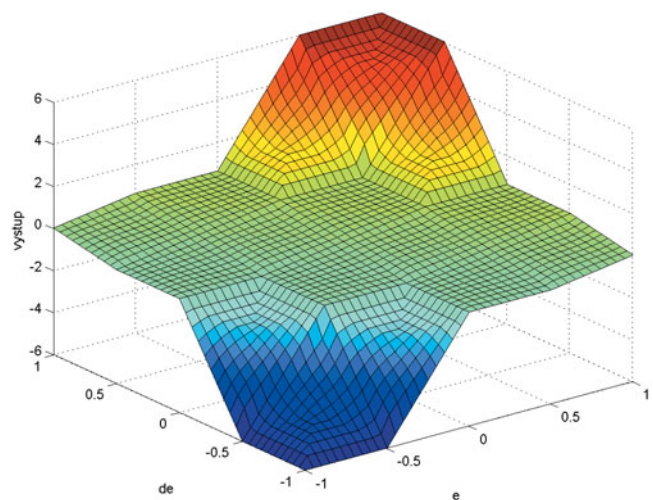
a) rozběh motoru na 300 min⁻¹ se zatížením
b) rozběh na 300 min⁻¹ a reverzace na -300 min⁻¹ motoru bez zatížením

Obr.3 Průběhy žádaných a skutečných otáček AM, žádané a skutečné momentotvorné a tokotvorné složky vektoru statorového proudu AM (měřítka otáček je 1 V ≈ 60 min⁻¹, měřítka proudu je 1 V ≈ 1 A)

Mělo by být poznamenáno, že kromě adaptace parametrů (kde jsou měněny parametry regulátoru) je také možné použít k adaptaci signálu (výstupní signál regulátoru je modifikován) pro jehož účel může být fuzzy logika také použita. Jestliže je výstupní signál z fuzzy logického adaptačního mechanismu přidán k výstupu z regulátoru, pak je výstup tohoto regulátoru modifikován a systém s uzavřenou smyčkou se chová jako referenční model.

1.4 Experimentální výsledky

Pro experimentální ověření vlastností byl realizován řídicí algoritmus využívající fuzzy logiku jako regulátoru. Řídicí algoritmus je aplikován na laboratorním systému s elektrickým pohonem, který je popsán níže. Dále popisované experimenty jsou prováděny na regulační struktuře implementované do DSP TMS 320C40. Na obrázcích jsou reprezentovány průběhy důležitých veličin, které byly naměřeny na reálném pohonu s vektorově řízeným asynchronním motorem napájeným měničem a aplikací fuzzy logiky jako regulátoru otáček. Pro přehled jsou uváděny pouze dva typy režimů a pouze pro jeden typ aplikace fuzzy logiky do DPS pomocí Sugeno fuzzy logického systému. Další průběhy a experimenty lze nalézt v literatuře [9].



Obr.4 Realizovaná charakteristická plocha regulátoru do DSP

1.5 Dílčí závěr

Výše uvedená aplikace uvádí regulaci otáček asynchronního motoru s vektorovým řízením, kde je pro regulátor otáček obecně použito návrhu pomocí fuzzy logiky Mamdaniho typu. Tento typ FLS umožňuje jednodušší přístup díky lingvistickému vyjádření. Závěrem z mnoha ověřování je potvrzení skutečnosti o robustnosti fuzzy regulace a tím zmenšení závislosti na měnících se parametrech elektrického pohonu. Ve finálním srovnání dvou nejpoužívanějších typů fuzzy logiky lze dojít k následujícím tvrzením pro jednotlivé systémy. Výhodami Sugeno FLS jsou: výpočetní efektivnost, pracuje dobře s optimalizačními a adaptivními technikami, zajišťuje spojitost výstupní charakteristické plochy a je vhodný pro matematické analýzy. Naproti tomu výhodami Mamdaniho FLS jsou: intuitivnost, široká akceptace a vhodnost pro lidské zadávání. Při praktické implementaci je pak volen právě Sugeno FLS a aplikace fuzzy logiky převedením charakteristické plochy ve formách tabulek, pro něž pak hovoří vysoká rychlost.

Ze zázorněných řídicích ploch pro klasický PI-regulátor a fuzzy regulátor je vidět možnost přizpůsobení fuzzy regulátoru nelinearitě systému. Značnou výhodou fuzzy regulace je možnost vytvořit na základě pravidel pro soustavu vhodný regulátor. Protože jsou fuzzy regulátory z obecného pohledu nelineární, můžeme díky nim dosáhnout lepších regulačních výsledků.

