

Návrh PSS s využitím metód adaptívneho riadenia a umelej inteligencie (1)

O. P. Malik

Článok sa zaoberá návrhom PSS regulátorov s využitím metód adaptívneho riadenia a umelej inteligencie. Napriek tomu, že uvedené metódy návrhu PSS boli uspokojivo rozpracované a testované, má každý konkrétny algoritmus svoje špecifiká. Na ilustráciu sú v článku uvedené a analyzované výsledky simulácií a experimentov získané použitím rôznych algoritmov.

Úvod

Riadenie budenia generátorov zohráva dôležitú úlohu pri stabilizácii elektrizačných systémov. Napriek tomu, že regulátory svorkového napätia (automatic voltage regulator, AVR) zlepšujú dynamické hranice elektrizačných sústav, AVR s vysokým zosilnením môžu spôsobovať záporné tmenie, najmä v rozsiahlych a slabo prevádzbených systémoch, v dôsledku čoho sa systém môže destabilizovať. Na odstránenie tohto problému sa v elektrizačných systémoch používajú stabilizačné spätné väzby (PSS), ktoré generujú doplnkový stabilizačný signál zapojený na vstup regulátora napätia. Generovaním momentu vo fáze s uhlovou rýchlosťou generátora sa zlepšuje tmenie systému. Efektívnosť tmenia použitím regulácie budenia bola preukázaná simuláciami, prevádzkovými testami i praxou.

Štandardné PSS sa navrhujú off-line. Na základe spätnej väzby od stavov, resp. výstupov, sa určí optimálna štruktúra, zosilnenia a časové konštanty regulátora, ktorý minimalizuje vybrané kritérium kvality alebo zabezpečuje splnenie stanovených požiadaviek na riadenie. Rôzne prístupy k návrhu tohto typu PSS je možné nájsť v príslušnej literatúre.

Pri implementácii takto navrhnutých PSS sa ich parametre dolaďujú pri uvádzaní systému do prevádzky, a potom už ostávajú konštantné.

1. PSS s pevnými parametrami

Štandardné PSS (common PSS, CPSS) majú lineárnu prenosovú funkciu a navrhujú sa na báze lineárnej teórie riadenia [1], [2] pre model systému linearizovaný v predpísanom pracovnom bode.

Prenosová funkcia CPSS podľa IEEE typu PSS1A v tvare

$$TF = K_s \frac{1}{1+sT_6} \cdot \frac{sT_5}{1+sT_5} \cdot \frac{1+sT_1}{1+sT_2} \cdot \frac{1+sT_3}{1+sT_4} \quad (1)$$

je tvorená sériovým zapojením prenosových funkcií prvého rádu na kompenzáciu fázového rozdielu medzi vstupom do regulátora budenia a tmiacim momentom na výstupe, t.j. amplitúdovej a fázovej charakteristiky budiaceho systému, generátora a elektrizačnej sústavy, ktoré spoločne tvoria prenosovú funkciu otvoreného obvodu.

CPSS sa navrhuje pre konkrétny pracovný bod, pre ktorý musí byť k dispozícii linearizovaný model generátora. Nastavenie jeho parametrov, ktoré sú fixné, je kompromisom, ktorý zabezpečí síce prijateľnú, avšak nie optimálnu kvalitu riadenia v celom rozsahu pracovných podmienok.

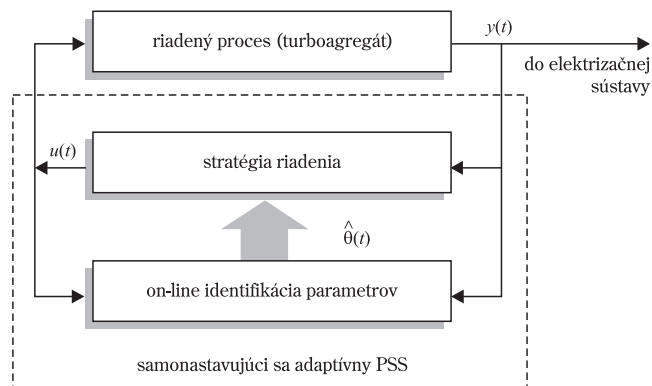
Elektrizačné systémy sú nelineárne a majú široký pracovný rozsah. Napríklad so zvyšovaním záťaže generátora sa zvyšuje zosilnenie systému a fázové oneskorenie je tým väčšie, čím je systém stabilnejší. V dôsledku nelineárnych charakteristík, širokého pracovného rozsahu a nepredikovateľných neurčitostí elektrizačného systému nemôže vo všeobecnosti CPSS, ktorý je lineárnym regulátorom, zabezpečiť rovnako kvalitu riadenia pre všetky prevádzkové podmienky.

V literatúre sa uvádzajú mnohé ďalšie prístupy k zvyšovaniu stability a zlepšovaniu kvality elektrizačných systémov použitím PSS s fixnými parametrami, napr. metódy lineárneho kvadraticky optimálneho riadenia, [3], H_∞ -optimalizácie [4], premenlivej štruktúry [5], bázy pravidiel [6] a umelej inteligencie (AI) [7], [8], [9]. Ich spoločným znakom je to, že návrh PSS s fixnými parametrami sa realizuje off-line.

2. Adaptívne regulátory

Adaptívne riadenie možno charakterizovať ako on-line zmenu parametrov regulátora na základe zmien prevádzkových podmienok systému. Vždy, keď adaptívny regulátor zaznamená zmenu prevádzkových podmienok, zareaguje určením novej množiny parametrov riadenia.

Teória adaptívneho riadenia je jedným z možných prístupov k riešeniu mnohých problémov spojených s CPSS. Pri adaptívnom riadení systému je možné použiť dva základné prístupy – priame a nepriame adaptívne riadenie. Pri priamom adaptívnom riadení sa parametre regulátora priamo nastavujú tak, aby sa zmenšovala



Obr.1 Štruktúra samonastavujúceho sa adaptívneho PSS



zvolená norma výstupnej chyby. Pri nepriamom adaptívnom riadení sa najprv odhadujú parametre systému ako prvky vektora v k -tom okamihu a na jeho základe sa následne adaptuje vektor parametre regulátora.

Všeobecná konfigurácia nepriameho adaptívneho riadenia reprezentovaná samonastavujúcim sa regulátorom je na obr. 1. Vstupné a výstupné signály procesu (turboagregátu) sú vzorkované so zvolenou periódou vzorkovania, pričom model procesu sa určí použitím vhodného on-line algoritmu identifikácie. Získaný model zodpovedá dynamike procesu v danom časovom okamihu. Prítom sa očakáva, že získaný model bude v každom časovom okamihu sledovať prevádzkové podmienky systému.

Požadovaný riadiaci zásah pre riadený proces sa počíta na základe identifikovaného modelu. Na výpočet riadiaceho zásahu možno použiť rôzne prístupy, pričom pri všetkých sa vychádza z predpokladu, že identifikovaný model je pravdivým matematickým opisom riadeného systému.

2.1 Adaptívne PSS na báze analytického riadenia

Pri použití analytického prístupu k návrhu adaptívneho PSS sa na výpočet riadenia používajú diskrétné metódy. Postup návrhu je nasledovný:

- Výber frekvencie vzorkovania f_s , ktorá má byť približne desaťnásobne väčšia než je frekvencia kmitov, ktoré majú byť tlmené.
- Aktualizácia (korekcia) parametrov modelu systému v každej perióde vzorkovania $T (= 1/f_s)$. Na určenie diskrétnej prenosovej funkcie procesu bol odvodený veľký počet identifikačných algoritmov v rekurzívnej forme.
- Výpočet riadiaceho zásahu podľa zvolenej stratégie riadenia s využitím aktualizovaného odhadu parametrov modelu.

Návrhom a adaptívnych PSS podľa uvedenej stratégie a ich implementáciou sa zaoberá veľké množstvo prác. Takýto PSS je schopný prestavovať svoje parametre on-line v závislosti od pracovného prostredia, pričom zabezpečuje dobré tlmenie kmitov v širokom rozsahu prevádzkových podmienok elektrizačného systému.

2.1.1 Samonastavovanie sa na princípe pole-shift

Všeobecný postup pri riadení procesov spočíva v porovnaní aktuálnych meraných hodnôt výstupu s jeho žiadanými hodnotami a zavedení ich rozdielu - regulačnej odchýlky - cez regulátor a akčný člen na vstup do procesu. Výpočet riadenia sa realizuje na základe rôznych kritérií.

Pri použití samonastavujúcej sa pole-shift stratégie riadenia sa póly uzavretého obvodu riadeného systému posúvajú smerom k stredu jednotkovej kružnice v z -rovine s faktorom menším než jedna. Tento faktor je možné meniť on-line tak, aby jeho príspevok k tlmeniu bol vždy maximálny bez toho, aby sa prekročili ohraničenie riadenia. Použitím tejto metódy sa želaný zákon riadenia získava nasledovne:

$$u(t) = f[\theta_s(t), y(t), u(t-T)] \quad (2)$$

kde $\theta_s(t)$ je vektor parametrov systému,
 $y(t)$ - výstupný vektor $[y(t), y(t-T), \dots]'$,
 $U(t-T)$ - vektor riadenia $[u(t-T), u(t-2T), \dots]'$,
 ' označuje transpozíciu a
 T - perióda vzorkovania.

Ak je vektor parametrov známy, je možné priamo vypočítať riadenie, ktoré zabezpečí splnenie daného kritéria kvality. Problémom však je, že dynamika zložitých nelineárnych systémov sa v čase mení v závislosti od pracovných podmienok, pôsobenia porúch a pod. Na modelovanie takýchto systémov je vhodné použiť lineárny diskretný model nízkeho rádu s časovo premenlivými parametrami. Adaptívna on-line regulácia v reálnom čase sa potom realizuje v dvoch etapách: (i) identifikácia on-line modelu a (ii) výpočet riadiaceho zásahu na základe identifikovaných parametrov modelu.

2.1.2 Model systému

Riadený proces je opísaný diskretným ARMA modelom v tvare

$$A(z^{-1})y(t) = B(z^{-1})u(t) + e(t) \quad (3)$$

kde $A(z^{-1})$ a $B(z^{-1})$ sú polynómy operátora posunutia z^{-1} v tvare

$$A(z^{-1}) = 1 + a_1 z^{-1} + \Lambda + a_i z^{-i} + \Lambda + a_{n_a} z^{-n_a} \quad (4)$$

$$B(z^{-1}) = b_1 z^{-1} + \Lambda + b_i z^{-i} + \Lambda + b_{n_b} z^{-n_b} \quad (5)$$

$$n_a \geq n_b$$

premenné $y(t)$ a $u(t)$ označujú výstup a vstup systému a $e(t)$ je postupnosť nezávislých náhodných premenných s nulovou strednou hodnotou.

Literatúra

(vybrané tituly)

[1] LARSEN, E. W. AND SWANN, D.A., „Applying power system stabilizer: Parts 1-3“, IEEE Trans. On Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100(6), 1981, pp. 3017-3046.

[2] KUNDUR, P., LEE, D. C. AND ZEIN EL-DIN, H. M., „Power system stabilizers for thermal units: analytical techniques and on-site validation“, IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100(1), 1981, pp. 81-95.

[3] EL-METWALLY, M. M., RAO, N. D. AND MALIK, O. P., „Experimental results on the implementation of an optimal control of synchronous machines“, IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-94(4), 1975, pp. 1192-1200.

[4] CHEN, S. AND MALIK, O. P., „An H (optimization based power system stabilizer design“, IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution, Vol. 142(2), 1995, pp. 179-184.

[5] CHAN, W.C. AND HSU, Y. Y., „An optimal variable structure stabilizer for power system stabilizer“, IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, 1983, pp. 1738-1746.

[6] HIYAMA, T., „Application of rule-based stabilizer controller to electric power system“, IEE Proceedings C, Vol. 136(3), 1989, pp. 175-181.

[7] ZADEH, L.A. et. al., „Calculus of fuzzy restriction in fuzzy sets and their application to cognitive and decision process“, Academic Press, 1975, pp. 1-40.

[8] EL-METWALLY, K. A., HANCOCK, G. C. AND MALIK, O. P., „Implementation of a fuzzy logic PSS using a micro-controller and experimental test results“, IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 11(1), 1996, pp. 91-96.

[9] ZHANG, Y., MALIK, O. P. AND CHEN, G. P., „Artificial neural network power system stabilizer in multi-machine power system environment“, IEEE Trans on Energy Conversion, Vol. 10(1), 1995, pp. 147-155.

Pokračovanie v budúcom čísle.

*Spracované pre AT&P journal.
 Publikované so súhlasom autora.*

O. P. Malik

**Department of Electrical and Computer Engineering
 University of Calgary
 Calgary, AB, Canada**