



TECHNIKA TRANSPORTU SZYNOWEGO

Tadeusz STEFAŃSKI, Daniel WILCZKOWSKI

REGULACJA PRĘDKOŚCI W DWUMASOWYM UKŁADZIE NAPĘDOWYM Z SILNIKIEM INDUKCYJNYM

Streszczenie

Przedstawiono problemy modelowania matematycznego, wyboru struktury układu regulacji prędkości i wyznaczania parametrów regulatorów w napędzie falownikowym z silnikiem indukcyjnym przy niesztynnym połączeniu masy obciążenia. W analizie tłumienia drgań napędu uwzględniono układ regulacji prędkości kątowej o strukturze połowo-zorientowanej z dodatkową pętlą sprzężenia zwrotnego. Zamieszczono model matematyczny, wyniki identyfikacji parametrycznej i regulacji prędkości napędu o mocy 1,1 kW.

1. WSTĘP

W przypadku elektromechanicznych układów przeniesienia momentu istotne znaczenie może mieć problem występowania drgań skrętnych elementów napędu. Ze względu na skończoną sztywność, elementy mechaniczne w tego typu układach podlegają odkształceniom sprężystym. W analizie dynamiki i projektowaniu układów sterowania powszechnie przyjmuje się, że połączenia mechaniczne poszczególnych elementów napędu są idealnie sztywne. Przyjęcie takiego założenia umożliwia zastąpienie mas wirujących całego układu napędowego jedną masą zastępczą, co w znacznym stopniu upraszcza analizę, jednak w wielu przypadkach może prowadzić do znacznych błędów.

W wielu urządzeniach, np. w górniczych maszynach wyciągowych, taśmociągach, walcarkach, robotach przemysłowych, napędach hutniczych lub napędach wind występują połączenia sprężyste, które mogą być przyczyną powstawania drgań elementów tych urządzeń. Wpływ połączeń niesztynnych na właściwości elektrodynamiczne układu napędowego jest znaczący w przypadku, gdy występują w nim takie elementy, jak: liny, pasy lub długie wały. Podobne efekty wywołują produkty procesu technologicznego, na przykład wstęgi papieru lub stali, stanowiące sprzężenie między poszczególnymi mechanizmami [1].

Występowanie zmiennych i dużych wartości mas i momentów obciążających, przy małej sztywności konstrukcji napędu, jest poważną przeszkodą w uzyskaniu dużej dokładności regulacji w ww. napędach [2, 3]. Do wytłumienia drgań elementów mechanicznych konstrukcji napędu stosuje się zmodyfikowane struktury układów regulacji [2, 3, 5, 6].

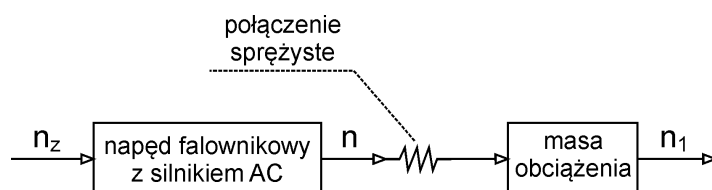
W ogólnym przypadku układ regulacji prędkości kątowej z silnikiem indukcyjnym z niesztynnym połączeniem masy obciążenia zalicza się do klasy układów nieliniowych. Parametry regulatorów napędu można wyznaczyć stosując numeryczne metody minimalizacji przyjętego wskaźnika jakości regulacji, który powinien zapewnić kształtowanie stanu

nieustalonego wielkości regulowanej wraz z tłumieniem jej oscylacji. Jeżeli regulacja prędkości kątowej jest realizowana w układzie polowo-zorientowanym, wówczas model matematyczny napędu można uprościć do postaci liniowej, co umożliwia również analityczny dobór parametrów regulatorów i zastosowanie wielu liniowych metod regulacji [2].

W pracy przedstawiono wyniki analizy dwumasowego układu regulacji prędkości kątowej z silnikiem indukcyjnym. Przyjęto strukturę polowo-zorientowaną układu regulacji z dodatkową pętlą sprzężenia zwrotnego. W układzie regulacji zastosowano regulatory klasyczne, których parametry wyznaczono za pomocą numerycznej minimalizacji przyjętego wskaźnika jakości regulacji.

2. MODEL MATEMATYCZNY NAPĘDU

Schemat blokowy analizowanego napędu elektrycznego z silnikiem indukcyjnym przedstawia rys. 1. Silnik indukcyjny o mocy 1,1 kW zasilany z falownika napędza przez połączenie sprężyste masę obciążenia. Do pomiaru prędkości kątowej n wału silnika i n_1 masy obciążenia zastosowano enkodery obrotowo-impulsowe, natomiast do sterowania i rejestracji wielkości mierzonych – kartę kontrolno-sterującą DSpace 1103, kartę pomiarową Advantech oraz komputer.



Rys. 1. Schemat układu napędowego ze sprężystym połączeniem masy obciążenia (n_z – zadana prędkość obrotowa)

Model matematyczny napędu przedstawiono w wirującym układzie współrzędnych d - q , zorientowanym zgodnie z wektorem napięcia stojana:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \phi_{dv}(t) &= \phi_{qv}(t) \omega_s(t) - R_s i_{dv}(t) + v(t) \\ \frac{d}{dt} \phi_{qv}(t) &= -\phi_{dv}(t) \omega_s(t) - R_s i_{qv}(t) \\ \frac{d}{dt} i_{dv}(t) &= a_1 \phi_{dv}(t) + a_3 \phi_{qv}(t) \omega_e(t) - a_2 i_{dv}(t) + i_{qv}(t) \omega_s(t) - i_{qv}(t) \omega_e(t) + a_3 v(t) \\ \frac{d}{dt} i_{qv}(t) &= -a_3 \phi_{dv}(t) \omega_e(t) + a_1 \phi_{qv}(t) - i_{dv}(t) \omega_s(t) + i_{dv}(t) \omega_e(t) - a_2 i_{qv}(t) \\ \frac{d}{dt} \omega_e(t) &= \frac{3p^2}{2J_s} (\phi_{dv}(t) i_{qv}(t) - \phi_{qv}(t) i_{dv}(t)) - a_4 (\alpha(t) - \alpha_1(t)) \end{aligned} \quad (1)$$

przy czym: $a_1 = \frac{R_r}{\sigma L_s L_r}$, $a_2 = \frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{R_r}{\sigma L_r}$, $a_3 = \frac{1}{\sigma L_s}$, $a_4 = \frac{pk}{J_s}$, $\sigma = \frac{L_s L_r - L_m^2}{L_s L_r}$

oraz: I_{dv} , I_{qv} i ϕ_{dv} , ϕ_{qv} – składowe wektora prądu i strumienia stojana układzie współrzędnych związanym z wektorem napięcia; ω_s – pulsacja synchroniczna; ω_e – elektryczna prędkość kątowa; $\omega = \dot{\alpha}$ – prędkość kątowa silnika; $\omega_1 = \dot{\alpha}_1$ – prędkość kątowa masy obciążenia; R_s i L_s – rezystancja i indukcyjność stojana; R_r i L_r – rezystancja i indukcyjność wirnika; L_m – indukcyjność główna; p – liczba par biegunów; J_s – moment bezwładności wirnika; k – sztywność połączenia sprężystego.

Równanie ruchu masy obciążenia przyjęto w postaci

$$\frac{d}{dt} \omega_1(t) = \frac{k}{J} (\alpha(t) - \alpha_1(t)) - \frac{B}{J} \omega_1(t) - M_o(t) \quad (2)$$

przy czym: J – moment bezwładności masy obciążenia; B – współczynnik tarcia wiskotycznego; M_o – moment obciążenia zewnętrznego (w dalszych rozważaniach przyjęto $M_o=0$).

W połowo-zorientowanym układzie współrzędnych moment silnika wyraża się zależnością

$$M(t) = \frac{3pL_m}{2L_r} \phi_d(t) i_q(t) \quad (3)$$

przy czym ϕ_d i i_q – odpowiednio składowe wektora strumienia i prądu w połowym układzie współrzędnych. Wobec powyższego model matematyczny ruchu wirnika silnika obciążonego masą bezwładności można przedstawić w postaci

$$\frac{d}{dt} \omega(t) = \frac{3pL_m}{2J_s L_r} \phi_d(t) i_q(t) - a_4 (\alpha(t) - \alpha_1(t)) \quad (4)$$

Równanie (4) jest liniowe przy założeniu $\phi_d = \text{const}$.

3. IDENTYFIKACJA PARAMETRÓW MODELU MATEMATYCZNEGO NAPĘDU

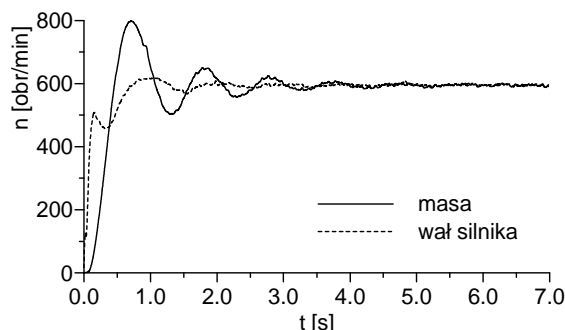
Uzyskanie pożądaných właściwości regulacyjnych prędkości kątowej silnika wymaga odpowiednich nastaw parametrów regulatorów. Określenie ich wartości jest dokonywane na podstawie identyfikacji parametrycznej bądź nieparametrycznej silnika wraz z obciążeniem. Parametry modelu matematycznego silnika są zwykle wyznaczane na podstawie danych konstrukcyjnych, danych katalogowych (danych podanych w tabliczce znamionowej), na podstawie odpowiednich pomiarów silnika nieobciążonego i z zahamowanym wirnikiem lub na eksperymentalnym wyznaczaniu charakterystyk mechanicznych. Wymienione klasyczne metody identyfikacji nie odznaczają się dużą dokładnością, gdyż technika dokonywania eksperymentu pomiarowego uniemożliwia uwzględnienie nieliniowych zjawisk dynamicznych. Ponadto technika pomiaru i przetwarzania danych pomiarowych wyklucza bezpośrednie zastosowanie tych metod do identyfikacji parametrycznej w czasie rzeczywistym i stąd głównie są stosowane do wyznaczania parametrów silnika zasilanego z sieci trójfazowej.

Obecnie stosowane komputerowe algorytmy umożliwiają identyfikację z dużą dokładnością, o ile właściwie określono strukturę modelu matematycznego, wskaźnik jakości oraz ewentualnie sygnał pobudzający. W identyfikacji eksperymentalnej w warunkach off-line niezmiernie ważną sprawą jest odpowiednie zaplanowanie eksperymentów. Warunki realizacji eksperymentów identyfikacyjnych modelu matematycznego silnika indukcyjnego powinny być zbliżone do warunków eksploatacji napędu. Wynika to stąd, że rodzaj i charakter sygnału pobudzającego istotnie wpływają na wyniki identyfikacji.

Identyfikacji parametrów modelu matematycznego napędu dokonano na podstawie pomiaru jego wielkości fizycznych podczas rozruchu silnika elektrycznego. Do minimalizacji błędu średniokwadratowego odpowiedzi czasowej napędu i rozwiązania jego modelu matematycznego zastosowano numeryczną metodę optymalizacji statycznej Box'a. Ten sposób identyfikacji parametrycznej cechuje się wieloma zaletami, w tym możliwością: wyboru dowolnego rodzaju sygnału pobudzającego obiekt, zastosowania eksperymentu czynnego lub biernego, wyboru dowolnej postaci modelu matematycznego (liniowy,

nieliniowy, ciągły, dyskretny) i minimalizowanej funkcji, uzyskania dobrej zbieżności algorytmu i małą wrażliwością na szумы pomiarowe o zerowej wartości oczekiwanej. identyfikacji

Przykład odpowiedzi czasowej prędkości obrotowych wału silnika n i masy obciążenia n_1 , podczas rozruchu napędu do prędkości 600 obr/min, zamieszczono na rys. 2.



Rys. 2. Odpowiedzi czasowe prędkości obrotowych podczas rozruchu napędu

Problem identyfikacji parametrycznej napędu polega na wyznaczeniu nieznanych wartości współczynników nieliniowego modelu matematycznego (1) – (2). Identyfikację układu, opisanego nieliniowym modelem matematycznym, można przeprowadzić w różny sposób, w zależności od dostępnej informacji o wielkościach charakteryzujących stan układu, takich jak prędkości wirnika i masy, prądy i napięcia fazowe stojana silnika itd. Identyfikowane parametry modelu matematycznego napędu można wyznaczyć w jednym etapie, na podstawie minimalizacji funkcji

$$Q = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (n_1(i) - \hat{n}_1(i))^2 \quad (5)$$

lub

$$Q = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (n(i) - \hat{n}(i))^2 + \frac{w}{N} \sum_{i=1}^N (I(i) - \hat{I}(i))^2 + \frac{w_1}{N} \sum_{i=1}^N (n_1(i) - \hat{n}_1(i))^2 \quad (6)$$

gdzie: \hat{n} , \hat{n}_1 – prędkości obrotowe otrzymane z rozwiązania modelu matematycznego; I , \hat{I} – zarejestrowana i obliczona amplituda wektora prądu stojana; N – liczba pomiarów; w , w_1 – współczynniki wagowe.

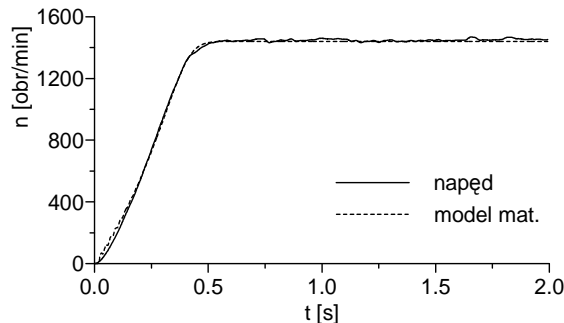
Skutkiem uwzględnienia we wskaźniku jakości (5) tylko prędkości n_1 może być niezgodność prądu silnika, otrzymanego z pomiaru i z rozwiązania modelu matematycznego. Dodatkowe uwzględnienie we wskaźniku (6) błędu średniokwadratowego prędkości n lub także amplitudy I wektora prądu zwiększa dokładność identyfikacji.

Dysponując możliwością niezależnego pomiaru prędkości n silnika i n_1 obciążenia, proces identyfikacji należy rozdzielić, tzn. wykonać go niezależnie dla silnika i obciążenia. Wartości parametrów modelu matematycznego silnika, dla sztywnego połączenia masy obciążenia ($n = n_1$), wyznaczono na podstawie minimalizacji błędu średniokwadratowego prędkości obrotowej n oraz amplitudy prądu stojana I

$$Q = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (n(i) - \hat{n}(i))^2 + \frac{w}{N} \sum_{i=1}^N (I(i) - \hat{I}(i))^2 \quad (7)$$

przy czym przyjęto $w=10$. Wyznaczano parametry modelu matematycznego (1) i (2), tj.: a_1 , a_2 , a_3 i J , lub parametry schematu zastępczego silnika. W procesie identyfikacji wyznaczono następujące wartości parametrów: $a_1=603,4$, $a_2=227,1$, $a_3=31,8$ i $J=0,06 \text{ kgm}^2$ lub: $R_r=3,69 \Omega$, $L_s=0,153 \text{ H}$, $L_r=0,195 \text{ H}$ i $L_m=0,161 \text{ H}$. Rezystancję stojana i $R_s=7,21 \Omega$, wyznaczono za pomocą bezpośredniego pomiaru.

Na rys. 3 przedstawiono zarejestrowaną i obliczoną (dla wyznaczonych w procesie identyfikacji wartości parametrów schematu zastępczego) odpowiedź czasową prędkości obrotowej n silnika. W czasie eksperymentu pomiarowego silnik zasilano z sieci, wprowadzając skokową zmianę wartości pulsacji synchronicznej $\omega_s = 314 \text{ rad/s}$.

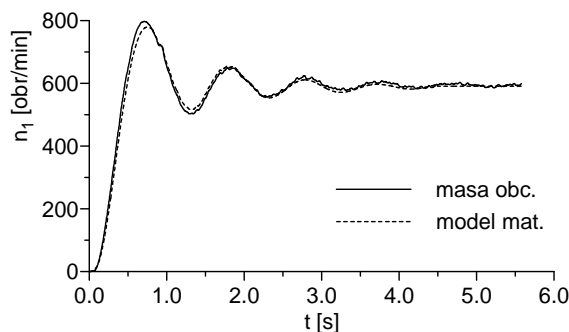


Rys. 3. Porównanie zarejestrowanej i obliczonej odpowiedzi czasowej prędkości silnika

Wartości parametrów równania (2) wyznaczono na podstawie pomiaru prędkości n i n_1 oraz minimalizacji błędu średniokwadratowego prędkości masy

$$Q = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (n_1(i) - \hat{n}_1(i))^2 \quad (8)$$

W tym przypadku sygnałem pobudzającym podukład identyfikacji była różnica kątów $\alpha - \alpha_1$ wyrażona w stopniach ($^\circ$), a w procesie identyfikacji wyznaczono parametry $B=0,67 \text{ Nms}^\circ$ i $k=139,3 \text{ Nm}^\circ$. Wyniki weryfikacji procesu identyfikacji ilustruje rys. 4.



Rys. 4. Porównanie zarejestrowanej i obliczonej odpowiedzi czasowej prędkości obrotowej masy obciążenia

4. REGULACJA PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ MASY OBCIĄŻENIA

Wysoką jakość sterowania silnika można uzyskać w przypadku niezależnego (odsprężonego) sterowania strumieniem i momentem. Do najpopularniejszych metod, umożliwiających niezależne sterowanie strumieniem i momentem silnika, zaliczają się metody polowo-zorientowane. W przypadku układu napędowego ze sztywnym połączeniem masy obciążenia w zasadzie nie ma większego problemu z zapewnieniem aperiodycznego

tłumienia procesu przejściowego prędkości obrotowej n_1 obciążenia. W układach regulacji stosuje się zwykle regulatory typu PI, rzadziej PID. Czas trwania stanu nieustalonego można zmieniać poprzez zmianę wartości współczynnika wzmocnienia regulatora. Nastawy regulatora wyznacza się na podstawie iteracyjnej minimalizacji wskaźnika jakości regulacji

$$F = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (n_z(i) - \hat{n}_1(i))^2 \quad (9)$$

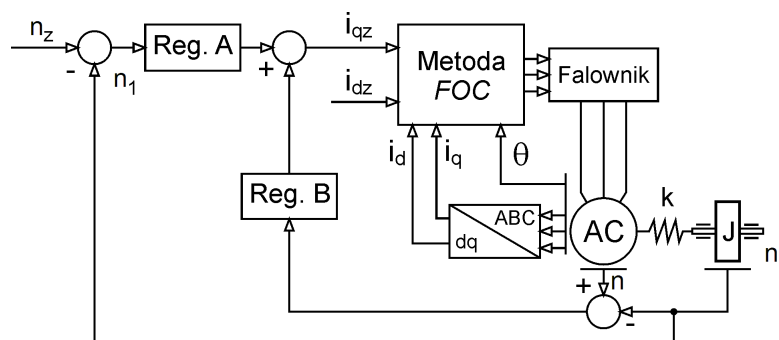
gdzie: n_z – zadana prędkość obrotowa; \hat{n}_1 – bieżąca, obliczona prędkość masy obciążenia.

Minimalizacja funkcji (9) prowadzi do minimalizacji uchybu regulacji, przy czym charakter jego stanu nieustalonego jest silnie uzależniony od tłumienia (oscylacyjności) obiektu sterowania. Minimalizacja tego wskaźnika często prowadzi także do przeregulowania prędkości. Analizę doboru wskaźnika jakości przedstawiono w [1, 3]. W dalszych badaniach parametry regulatora (lub regulatorów) wyznaczano w oparciu o minimalizację błędu średniokwadratowego między zadaną (wzorcową) odpowiedzią czasową n_m modelu odniesienia

a odpowiedzią czasową układu regulacji n_1

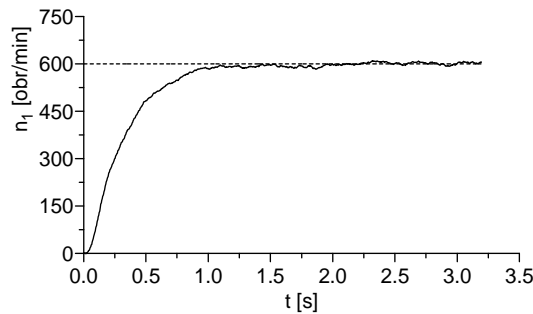
$$F = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (n_m(i) - \hat{n}_1(i))^2 \quad (10)$$

W typowym układzie regulacji prędkości kątowej z niesztynnym zamocowaniem masy obciążenia wytłumienie oscylacji w stanie nieustalonym jest trudne, nawet w przypadku zastosowania odpowiedzi modelu odniesienia (minimalizacji funkcji (10)). Stąd analizowano różne struktury układu regulacji, w tym: sprzężenie zwrotne od momentu, sprzężenie zwrotne od odpowiedzi modeli odniesienia, układ z dodatkową pętlą sprzężenia zwrotnego z regulatorem. Efektywne tłumienie drgań otrzymano w układzie regulacji prędkości n_1 masy obciążenia z dodatkową pętlą sprzężenia zwrotnego, którego schemat przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Schemat blokowy układu regulacji prędkości (i_{dz} , i_{qz} i i_d , i_q – odpowiednio zadane i mierzone składowe wektora prądu stojana w polowym układzie współrzędnych; θ – kąt położenia wektora strumienia wirnika)

Na rys. 6 zamieszczono odpowiedzi skokowe prędkości n_1 obciążenia bezwładnościowego układu z regulatorem PID (reg. A) i z regulatorem PD (reg. B). Parametry regulatorów wyznaczono na podstawie minimalizacji funkcji (10). Wzorcową charakterystykę czasową modelu odniesienia przyjęto w postaci odpowiedzi skokowej układu drugiego rzędu. Przedstawiony układ regulacji zapewnia wytłumienie oscylacji prędkości obrotowej masy w stanie nieustalonym w szerokim zakresie zmian wartości czasu regulacji. Jest także odporny na zmiany wartości identyfikowanych parametrów.



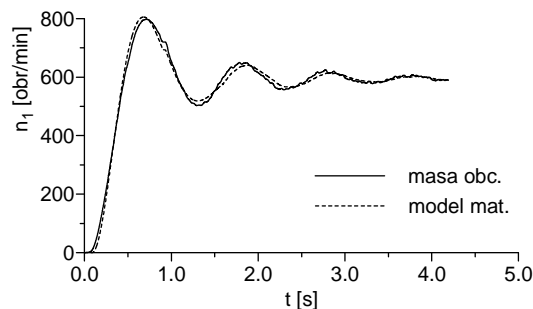
Rys. 6. Odpowiedź skokowa układu regulacji prędkości z dodatkową pętlą sprzężenia zwrotnego.

5. UPROSZCZONA STRUKTURA UKŁADU REGULACJI PRĘDKOŚCI

Rzeczywiste zjawiska zachodzące w analizowanym układzie są nieliniowe i w analizie dynamiki tego typu układu zwykle stosuje się również nieliniowe modele matematyczne. Model nieliniowy, ze względu na swą złożoność, wymaga w procesie identyfikacji pomiarów wielu wielkości, a w syntezy układu regulacji położenia lub prędkości – złożonej struktury układu sterowania i zastosowania numerycznych metod wyznaczania parametrów regulatorów. Problem regulacji prędkości kątowej układu dwumasowego można rozwiązać stosując model liniowy. Można założyć, że sygnałem wejściowym jest pulsacja synchroniczna ω_s (dla skalarnej zasady sterowania prędkością silnika, tj. napięcie/częstotliwość=const) lub składowa wektora prądu stojana i_q (przy stałej wartości składowej i_d), natomiast wielkością wyjściową – prędkość n_1 masy. Na podstawie analizy eksperymentalnej stanu nieustalonego prędkości stwierdzono, że zależność między pulsacją synchroniczną ω_s a prędkością obrotową n_1 , z wystarczającą dokładnością z punktu widzenia sterowania, można aproksymować modelem matematycznym typu wejście-wyjście, w postaci transmitancji członu drugiego rzędu

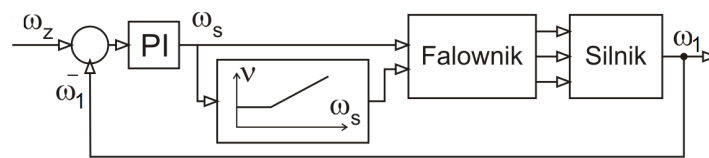
$$\frac{n_1(s)}{\omega_s(s)} = \frac{K}{T^2 s^2 + 2\xi Ts + 1} \quad (11)$$

Model (11) jest przybliżeniem liniowym modelu nieliniowego dla skalarnej zasady sterowania prędkością silnika. Parametry transmitancji (11) wyznaczono na podstawie minimalizacji błędu średniokwadratowego (8), stosując numeryczną metodę optymalizacji statycznej Box'a. W wyniku identyfikacji modelu matematycznego (11) otrzymano następujące wartości parametrów: $T=0,0181s$, $\xi=0,313$ i $K=4,75$, przy wartości współczynnika korelacji $R^2=0,993$. Na rys. 7 zamieszczono przykład weryfikacji procesu identyfikacji, tj. porównanie odpowiedzi czasowej prędkości n_1 masy i rozwiązania modelu matematycznego (11).



Rys. 7. Odpowiedzi czasowe prędkości masy i modelu matematycznego (11)

W przypadku obiektu słabo tłumionego o modelu matematycznym (11) można przesunąć jego bieguny do zadanego położenia stosując regulatory PI, PID, PD lub stanu. Schemat układu regulacji prędkości kątowej ω_1 z regulatorem PI dla skalarnej metody sterowania typu napięcie/częstotliwość= const zamieszczono na rys. 8. Regulator PI lub PID, ze względu na całkowanie, musi być umiejscowiony w torze głównym, co powoduje pojawienie się w transmitancji układu zamkniętego zer, które zniekształcają odpowiedź skokową układu regulacji. Regulator PD zastosowany w torze sprzężenia zwrotnego oraz regulator stanu nie wprowadzają zer, a więc odpowiedź skokowa ma kształt odpowiedzi członu inercyjnego drugiego rzędu. Teoretycznie w wymienionych układach można przesunąć ich bieguny w dowolne położenie. W praktyce sygnał sterujący obiektem, tj. pulsacja synchroniczna ω_s (a także amplituda wektora napięcia v) ma ograniczoną wartość amplitudy, a więc mogą pojawić się problemy z wytłumieniem oscylacji dla małych wartości czasu regulacji prędkości masy obciążenia.



Rys. 8. Schemat blokowy układu regulacji prędkości kątowej

Parametry regulatorów PID w analizowanym układzie regulacji można wyznaczyć na podstawie numerycznej minimalizacji następującej funkcji

$$F = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\omega_m(i) - \hat{\omega}(i))^2 \quad (12)$$

gdzie ω_m jest zadaną odpowiedzią modelu odniesienia. Transmitancję modelu odniesienia przyjęto w postaci transmitancji (11). Uzyskane wyniki regulacji prędkości masy z niesztynnym jej połączeniem z wirnikiem silnika są zbliżone do przedstawionych na rys. 6, jednak układ ten cechuje się dużą wrażliwością na zmiany wartości parametrów transmitancji (1).

Zasadniczą wadą przedstawionego powyżej sposobu wyznaczania parametrów regulatorów jest pośrednie kształtowanie właściwości dynamicznych poprzez zadawanie wartości parametrów modelu odniesienia. Bardziej jednoznacznym sposobem kształtowania właściwości dynamicznych układu regulacji jest zadawanie położenia biegunów układu z regulatorem, nie ma jednak możliwości uwzględnienia ograniczeń amplitudy sygnałów. Parametry regulatora PID (dla uproszczenia rozważań przyjęto regulator z idealnym różniczkowaniem) wyznaczono porównując współczynniki równania charakterystycznego układu zamkniętego ze współczynnikami zadanego równania o postaci

$$(s + p)^3 = s^3 + 3ps^2 + 3p^2s + p^3 \quad (13)$$

gdzie p jest zadaną wartością biegunów (dla uproszczenia zapisu przyjęto biegun rzeczywisty, trzykrotny). Wówczas wartości parametrów regulatora PID wyrażają się następującymi zależnościami:

$$k_p = \frac{3p^2T^2 - 1}{K}, \quad T_i = \frac{K k_p}{T^2 p^3}, \quad T_d = \frac{3pT^2 - 2\xi T}{K k_p} \quad (14)$$

PODSUMOWANIE

Typowy układ regulacji prędkości kątowej masy obciążenia, którego parametry regulatora wyznaczono w wyniku minimalizacji całkowitych wskaźników jakości, będących funkcją uchybu regulacji, nie zapewnia dokładnego tłumienia oscylacji w stanie nieustalonym. Przyjęto więc strukturę układu regulacji prędkości kątowej masy z dodatkową pętlą sprzężenia zwrotnego. Do wyznaczania parametrów regulatora (lub regulatorów) zastosowano minimalizację błędu średniokwadratowego między zadaną odpowiedzią czasową modelu odniesienia a odpowiedzią czasową układu regulacji prędkości obrotowej.

Zbliżone wyniki tłumienia oscylacji w stanie nieustalonym układu regulacji prędkości otrzymano dla modelu liniowego napędu typu wejście-wyjście i skalarnej metody sterowania napięcie/częstotliwość=const. W tym przypadku wartości parametrów modelu matematycznego napędu są uzależnione od warunków zasilania i obciążenia silnika, a więc niezbędne jest zastosowanie sterowania adaptacyjnego.

SPEED CONTROL OF TWO-MASS SYSTEM DRIVE WITH AC MOTOR

Abstract

The paper presents a problem of mathematical modelling, parametric identification and control of inverter drive system with elastic connection of AC motor and load mass. Field-oriented structure of speed control system with additional feedback loop and classical controllers has been analysed. For parameter identification of the object mathematical models and calculations of the controller parameters the static optimisation method were used. Results of parameter identification and speed regulation of the inverter drive rated 1,1 kW have been presented.

BIBLIOGRAFIA

1. Brzezińska A., Stefański T.: *Damping of Load Mass vibrations in DC Electric Drive System*. 5th International Workshop on Research and Education in Mechatronics, REM 2004, 67-72.
2. Gierlotka K., Zaleśny P.: *Dodatkowe sprzężenia zwrotne w układach napędowych z połączeniem sprężystym*. Z.N. Politechniki Śląskiej, ser. Elektryka z.147, Gliwice 1996, 31-44.
3. Stefański T.: *Problem of Modelling and Control of the Induction Motor with Nonstiff Coupling of the Load Mass*. Power Electronics and Electrical Drives. Polish Academy of Sciences. Wrocław 2007, 291-303.
4. Szabat K.: *Analiza porównawcza właściwości dynamicznych napędu z połączeniem sprężystym i różnego rodzaju regulatorami*. VI Konferencja Sterowanie w Energoelektronice i Napędzie Elektrycznym. SENE'2003, Łódź 2003, 575-580.
5. Szabat K., Orłowska-Kowalska T.: *Tłumienie drgań prędkości w napędzie z połączeniem sprężystym*. Przegląd Elektrotechniczny, nr 7-8, 2003, 474-482.
6. Zhang G., Furusho A.: *Speed Control of Two-Inertia System by PI/PID Control*. IEEE Transaction On Industrial Electronic, 2000, vol.47, No.3, 603-609.

Autorzy:

dr hab. inż. Tadeusz STEFAŃSKI, mgr inż. Daniel WILCZKOWSKI – Politechnika Świętokrzyska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki