

Kazimierz GIERLOTKA

Tomasz BISKUP

MIKROPROCESOROWY UKŁAD STEROWANIA I ODTWARZANIA PRĘDKOŚCI MECHANIZMU NAPĘDU Z POŁĄCZENIEM SPRĘŻYSTYM

Streszczenie. W referacie przedstawiono układ odtwarzania prędkości mechanizmu za bezinercyjnym połączeniem sprężystym. Opisano mikroprocesorowy układ sterowania napędu z połączeniem sprężystym zrealizowany przy wykorzystaniu 16-bitowego mikrokontrolera Intel 80C196KC. Podano wyniki wstępnych badań współpracy sterownika mikroprocesorowego z działającym w czasie rzeczywistym modelem analogowym napędu z elementem sprężystym.

MICROPROCESSOR-BASED CONTROL SYSTEM AND LOAD SPEED OBSERVER OF THE DRIVE WITH ELASTIC JOINT

Summary. The paper presents a load speed observer of the elastic two-mass system with inertialess elastic joint. A microprocessor-based control system of the drive with elastic joint based on 16-bit Intel 80C196KC microcontroller is described. There are given results of the initial tests of microprocessor-based control unit, which associated with analog model of the drive with elastic joint operating in the real time.

MIKROPROZESSORSTEURUNGSSYSTEM UND LASTDREHZAHL- BEOBACHTER EINES ELASTISCHEN ZWEIMASSENSYSTEMS

Zusammenfassung. Es wurde ein Lastdrehzahlbeobachter eines Zweimassensystems dargestellt. Das bearbeitende Mikroprozessorsteuerungssystem enthält einen 16-bit Intel 80C196KC Mikrocontroller. Im Artikel wurden, auch die Forschungsergebnisse der Mitarbeit des Mikroprozessorsteuerungssystems mit einem, in real Zeit arbeitendem, Analogmodell des elastischen Zweimassensystem, dargestellt.

1. WPROWADZENIE

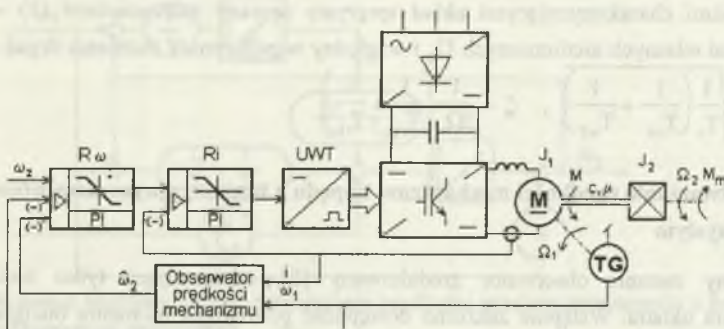
Sprężystość połączeń mechanicznych układu napędowego może być przyczyną powstania drgania układu napędowego, co z kolei wpływa na pogorszenie przebiegu procesu technologicznego, wzrost naprężeń w elementach układu mechanicznego, skrócenie żywotności napędu, pogorszenie jego niezawodności. Niekorzystny wpływ elastyczności połączeń mechanicznych można w znacznym stopniu ograniczyć przez zastosowanie specjalnych struktur układu regulacji napędu i metod doboru parametrów regulatorów. W publikacjach [1, 2, 5] przedstawiono układy z dodatkowym sprzężeniem od momentu w elemencie sprężystym. Inną możliwością uzyskania dużego tłumienia drgań układu jest zastosowanie w układzie regulacji dodatkowego sprzężenia zwrotnego od prędkości mechanizmu za połączeniem sprężystym [3]. Ponieważ zarówno moment w elemencie sprężystym (moment obciążenia silnika), jak i prędkość mechanizmu za połączeniem sprężystym są na ogół niedostępne pomiarowo, do ich odtworzenia stosuje się obserwatory [1,2,3,5,6,7,8]. W artykule przedstawiono układ regulacji napędu z połączeniem sprężystym z dodatkowym sprzężeniem zwrotnym od prędkości mechanizmu zrealizowanym za pośrednictwem obserwatora. Założono, że dostępnymi pomiarowo zmiennymi stanu są prędkość silnika i jego moment (lub wielkość bezpośrednio go kształtująca, np. prąd wirnika silnika obcowzbudnego).

Technika mikroprocesorowa, coraz szerzej stosowana w energoelektronice, umożliwia realizację złożonych układów regulacji napędów z połączeniami sprężystymi. Warunkiem jest zastosowanie mikrokontrolera o dostatecznej mocy obliczeniowej, umożliwiającej wykonanie zadań związanych ze sterowaniem przekształtnika energoelektronicznego, regulacją napędu i odtwarzaniem niedostępnych zmiennych stanu w ograniczonym czasie, wynikającym z zachowania wymaganej częstotliwości próbkowania sygnałów. W artykule przedstawiono wyniki wstępnych badań mikroprocesorowego układu sterowania napędu z elementem sprężystym zrealizowanego przy wykorzystaniu 16-bitowego mikrokontrolera Intel 80C196KC.

2. UKŁAD STEROWANIA NAPĘDU Z ELEMENTEM SPRĘŻYSTYM

Schemat funkcjonalny układu sterowania napędowego z połączeniem sprężystym przedstawiono na rys.1. Silnik obcowzbudny prądu stałego zasilany z przekształtnika tranzystorowego napędza mechanizm o momencie bezwładności J_2 za pośrednictwem elastycznego wału o współczynniku sprężystości c i współczynniku tłumienia wewnętrznego μ . Układ regulacji zawiera wewnętrzny obwód regulacji prądu silnika oraz nadrzędny obwód regulacji prędkości ze sprzężeniami od prędkości silnika Ω_1 i prędkości mechanizmu Ω_2 . Założono, że dostępne

pomiarowo są prędkość silnika Ω_1 i prąd silnika I , natomiast prędkość mechanizmu Ω_2 jest odtwarzana w obserwatorze.



Rys.1. Schemat funkcjonalny napędu z połączeniem sprężystym z układem odtwarzaniem prędkości mechanizmu

Fig.1. Functional diagram of the drive with elastic join and with load speed observer

2.1. Model układu mechanicznego z bezinercyjnym elementem sprężystym

Układ mechaniczny napędu elektrycznego przedstawiony na rys.1 można opisać równaniem stanu w wielkościach względnych:

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t), \quad (1)$$

i równaniem wyjścia:

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{C}\mathbf{x}(t), \quad (2)$$

w których oznaczono:

$$\mathbf{x}(t) = [\omega_1(t) \quad \varphi(t) \quad \omega_2(t)]^T, \quad \mathbf{u}(t) = [m(t) \quad m_f(t)]^T, \quad \mathbf{y}(t) = [\omega_1(t)], \quad (3)$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} -1/T_{t1} & -1/T_{m1} & 1/T_{t1} \\ 1/T_c & 0 & -1/T_c \\ 1/T_{t2} & 1/T_{m2} & 1/T_{t2} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1/T_{m1} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -1/T_{m2} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C} = [1 \quad 0 \quad 0], \quad (4)$$

gdzie:

ω_1, ω_2 - względne wartości prędkości silnika i prędkości mechanizmu,

φ - względna wartość kąta skręcenia elementu sprężystego:

$$\omega_1 = \frac{\Omega_1}{\Omega_N}, \quad \omega_2 = \frac{\Omega_2}{\Omega_N}, \quad \varphi = \frac{(\alpha_1 - \alpha_2)c}{M_N}, \quad (5)$$

Ω_N, M_N - prędkość znamionowa i moment znamionowy silnika,

α_1, α_2 - przemieszczenie kątowe początku i końca elementu sprężystego,

$m = \frac{M}{M_N}, m_m = \frac{M_m}{M_N}$ - względne wartości momentu elektromagnetycznego silnika i

momentu obciążenia napędu.

Mechaniczne stałe czasowe silnika T_{m1} i mechanizmu T_{m2} oraz stała czasowa sprężystości T_c i stałe czasowe tłumienia drgań mechanicznych T_{t1} i T_{t2} określone są zależnościami:

$$T_{m1} = \frac{J_1 \Omega_N}{M_N}, \quad T_{m2} = \frac{J_2 \Omega_N}{M_N}, \quad T_c = \frac{M_N}{c \Omega_N}, \quad T_{t1} = \frac{J_1}{\mu}, \quad T_{t2} = \frac{J_2}{\mu} \quad (6)$$

Wielkościami charakteryzującymi układ sprężysty opisany zależnościami (1) - (4) są pulsacja drgań własnych nietłumionych Ω_e i względny współczynnik tłumienia drgań ζ :

$$\Omega_e = \sqrt{\frac{1}{T_c} \left(\frac{1}{T_{m1}} + \frac{1}{T_{m2}} \right)}, \quad \zeta = \frac{1}{2\Omega_e} \left(\frac{1}{T_{t1}} + \frac{1}{T_{t2}} \right). \quad (7)$$

2.2. Odtwarzanie prędkości mechanizmu napędu z bezinercyjnym elementem sprężystym

Rozważony zostanie obserwator zredukowany [5], odtwarzający tylko niedostępne zmienne stanu układu. Wstępnie założono dostępność pomiarową momentu obciążenia m_m napędu. Dla układu opisanego zależnościami (1) - (4) obserwator odtwarzający wektor niedostępnych zmiennych stanu:

$$\mathbf{x}_2(t) = [\varphi(t) \quad \omega_2(t)]^T \quad (8)$$

opisany jest wówczas zależnościami [5]:

$$\dot{\hat{\mathbf{x}}}_2(t) = \mathbf{z}(t) + \mathbf{L}y(t), \quad (9)$$

$$\dot{\mathbf{z}}(t) = (\mathbf{A}_{22} - \mathbf{L}\mathbf{A}_{12})\mathbf{z}(t) + (\mathbf{A}_{21} - \mathbf{L}\mathbf{A}_{11})y(t) + (\mathbf{B}_2 - \mathbf{L}\mathbf{B}_1)u(t), \quad (10)$$

w których $\mathbf{A}_{ij}$ i $\mathbf{B}_j$ są podmacierzami macierzy $\mathbf{A}$ i $\mathbf{B}$ [5], a $\mathbf{L}$ jest macierzą współczynników obserwatora zredukowanego:

$$\mathbf{L} = [\mathbf{l}_1 \quad \mathbf{l}_2]^T. \quad (11)$$

Na podstawie wyrażeń (8) - (10) otrzymuje się zależności opisujące przebiegi odtwarzanych zmiennych stanu:

$$\dot{\hat{\varphi}}(t) = z_\varphi(t) + l_1 \omega_1(t), \quad (12)$$

$$\dot{\hat{\omega}}_2(t) = z_{\omega_2}(t) + l_2 \omega_1(t), \quad (13)$$

gdzie:

$$\dot{z}_\varphi(t) = \frac{l_1}{T_{m1}} \hat{\varphi}(t) + \left(\frac{1}{T_c} + \frac{l_1}{T_{t1}} \right) (\omega_1(t) - \hat{\omega}_2(t)) - \frac{l_1}{T_{m1}} m(t), \quad (14)$$

$$\dot{z}_{\omega_2}(t) = \left(\frac{1}{T_{m2}} + \frac{l_2}{T_{m1}} \right) \hat{\varphi}(t) + \left(\frac{1}{T_{t2}} + \frac{l_2}{T_{t1}} \right) (\omega_1(t) - \hat{\omega}_2(t)) + \frac{l_2}{T_{m1}} m(t) - \frac{1}{T_{m2}} m_m(t). \quad (15)$$

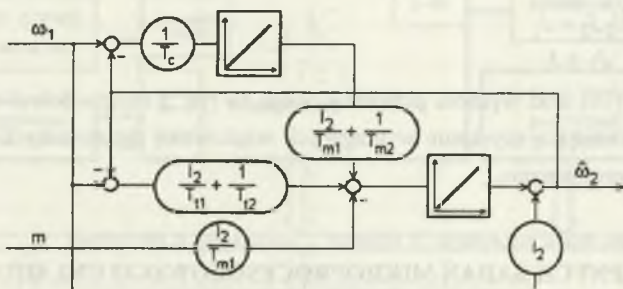
W przypadku gdy moment obciążenia układu napędowego m_m nie jest mierzony (nie jest wprowadzany na wejście obserwatora), ustalone uchyby odtworzenia niedostępnych pomiarowo zmiennych stanu wyznaczone z układu równań (12)-(15) wynoszą:

$$\Delta \hat{\omega}_{2u} = \frac{-l_1 T_c}{T_{m1} + l_2 T_{m2}} m_u, \quad \Delta \hat{\varphi}_u = -\frac{T_{m1} T_{t2} + l_1 T_{m2} T_c}{T_{t2} (T_{m1} + l_2 T_{m2})} m_u. \quad (16)$$

W przypadku braku informacji o wartości momentu obciążenia nie jest możliwe uzyskanie zerowej wartości ustalonego błędu odtworzenia kąta skręcenia $\Delta \hat{\varphi}_u$. Aby ustalony błąd odtworzenia prędkości mechanizmu $\Delta \hat{\omega}_{2u}$ był równy zero, należy spełnić warunek:

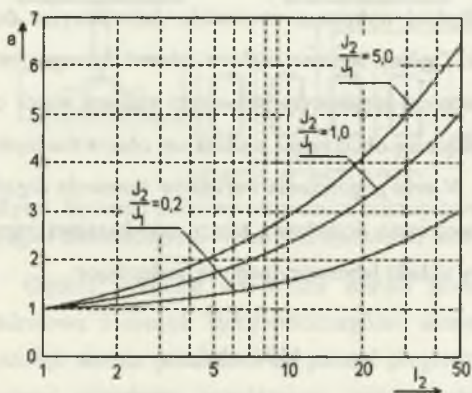
$$l_1 = 0.$$

(17)



Rys.2. Schemat blokowy układu odtwarzania prędkości mechanizmu napędu z bezinercyjnym połączeniem sprężystym

Fig.2. Block diagram of the load speed observer of the drive with inertialess elastic joint



Rys.3. Zależność parametru \$a\$ od współczynnika \$l_2\$ układu odtwarzania prędkości mechanizmu

Fig.3. Dependence of parameter \$a\$ on coefficient \$l_2\$ of load speed observer

Dla niedostępnego momentu obciążenia i zerowej wartości współczynnika \$l_1\$ na podstawie zależności (26) - (29) otrzymuje się przedstawiony na rys. 2 schemat blokowy układu odtwarzania prędkości mechanizmu.

Dla zespolonych pierwiastków równania charakterystycznego macierzy \$(A_{22} - L A_{12})\$ właściwości dynamiczne obserwatora określone są przez pulsację \$\Omega_o\$ oraz względny współczynnik tłumienia przebiegów układu \$\zeta_o\$, które dla \$l_1 = 0\$ opisane są zależnościami:

$$\Omega_o = \sqrt{\frac{1}{T_c} \left(\frac{l_2}{T_{m1}} + \frac{1}{T_{m2}} \right)},$$

$$\zeta_o = \frac{1}{2\Omega_o} \left(\frac{l_2}{T_{11}} + \frac{1}{T_{12}} \right), \quad (18)$$

i dla \$l_2 = 1\$ są równe pulsacji drgań własnych \$\Omega_e\$ i względnemu współczynnikowi tłumienia drgań \$\zeta\$ układu sprężystego. Wraz ze zmianą wartości współczynnika \$l_2\$ wartości parametrów \$\Omega_o\$ i \$\zeta_o\$ zmieniają się w identyczny sposób. Na rys. 3 przedstawiono wpływ współczynnika \$l_2\$ na wartość parametru \$a\$ określającego względną wartość pulsacji \$\Omega_o\$ oraz tłumienia przebiegów \$\zeta_o\$ układu odtwarzania prędkości mechanizmu odniesioną do odpowiednich wielkości układu mechanicznego:

biegów ζ_0 układu odtwarzania prędkości mechanizmu odniesioną do odpowiednich wielkości układu mechanicznego:

$$a = \frac{\Omega_e}{\Omega_e} = \frac{\zeta_e}{\zeta} = \sqrt{\frac{l_2 J_2 + J_1}{J_2 + J_1}} \quad (19)$$

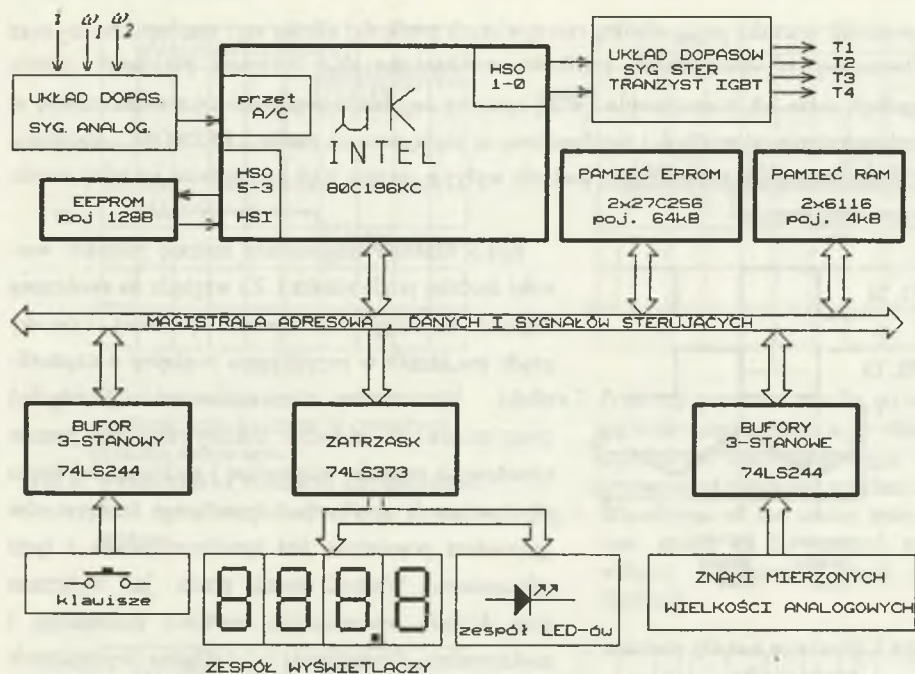
Z zależności (18) i (19) oraz wykresu przedstawionego na rys. 3 można dobrać wartość współczynnika l_2 zapewniającą uzyskanie wymaganych właściwości dynamicznych układu odtwarzania prędkości mechanizmu.

3. WYNIKI WSTĘPNYCH BADAŃ MIKROPROCESOROWEGO UKŁADU STEROWANIA NAPĘDU Z POŁĄCZENIEM SPRĘŻYSTYM

W zakładzie napędu elektrycznego i energoelektroniki Instytutu Elektrotechniki Teoretycznej i Przemysłowej Politechniki Śląskiej wykonano stanowisko laboratoryjne do badania układów z połączeniem sprężystym. Ogólny schemat układu laboratoryjnego jest identyczny z zamieszczonym na rys. 1. Elementem sprężystym jest cienki stalowy wałek o średnicy 8,3 mm i długości 550 mm łączący prądnicę obciążającą z silnikiem obcowzbudnym zasilanym z przekształtnika tranzystorowego. W celu pogorszenia warunków tłumienia drgań układu na wspólnym wale z silnikiem zamocowano dodatkową tarczę zwiększającą jego moment bezwładności. Podstawowe parametry układu laboratoryjnego są następujące:

- moc znamionowa silnika P_N	2,2 kW
- prędkość znamionowa silnika n_N	1500 obr/min
- prąd znamionowy silnika I_N	11 A
- napięcie znamionowe silnika U_N	220 V
- moment bezwładności silnika z tarczą J_1	0,1125 kg·m ²
- moment bezwładności prądnicy obciążającej J_2	0,0125 kg·m ²
- współczynnik sprężystości elem. sprężystego c	43 N·m/rad
- współczynnik tłumienia elem. sprężystego μ	0,25 N·m/s/rad

Stanowisko wyposażono w mikroprocesorowy układ sterowania, w którym wykorzystano 16-bitowy mikrokontroler Intel 80C196KC taktowany zegarem o częstotliwości 16 MHz.



Rys.4. Schemat blokowy sterownika mikroprocesorowego

Fig.4. Block diagram of the microprocessor unit

Ogólna struktura sterownika została przedstawiona na rys.4. 16-bitowe magistrale adresowa i danych łączą poszczególne elementy układu z mikrokontrolerem. Dostępna pamięć została podzielona na pamięć programu (58 kB) oraz danych (4 kB), a pozostałe adresy przypisano urządzeniom wejścia/wyjścia. Sterownik mikroprocesorowy realizuje następujące funkcje:

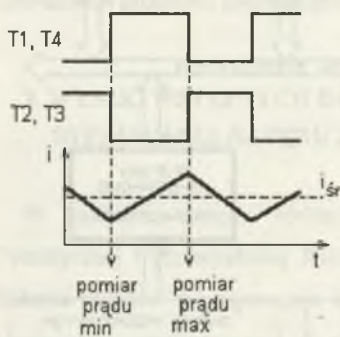
- przetwarzania wielkości analogowych (prędkości ω_1 i ω_2 oraz prądu silnika),
- odtwarzania prędkości mechanizmu za połączeniem sprężystym,
- regulacji prędkości i prądu układu napędowego,
- sterowania przekształtnika tranzystorowego (modulacja szerokości impulsów przy stałej częstotliwości impulsowania $f_i = 2$ kHz).

Główna pętla programowa, w której wykonywane są trzy pierwsze z wymienionych powyżej zadań, jest realizowana co 512 μ s.

Przełączanie tranzystorów przekształtnika jest realizowane za pomocą układu szybkich wyjść (HSO-unit) mikrokontrolera z dokładnością do 1 μ s. Tranzystory są zabezpieczone programowo przed zbyt krótkimi impulsami przełączającymi i zwarciami skrośnymi.

Użytkownik ma możliwość komunikacji ze sterownikiem za pomocą klawiatury, zespołu wyświetlaczy i diod LED. Poza podstawową informacją o prędkości zadanej można

wyświetlić wartości prądu silnika, rzeczywistych prędkości silnika ω_1 i mechanizmu ω_2 oraz odtworzonej w obserwatorze prędkości mechanizmu $\hat{\omega}_2$. Wybrane parametry układu regulacji, takie jak wzmacnienie i stała czasowa regulatora prędkości oraz wzmacnienie w torze sprzężenia od prędkości mechanizmu, są zapisywane w pamięci EEPROM. Umożliwia to łatwą zmianę ich wartości oraz badanie wpływu zmiany tych parametrów na właściwości dynamiczne napędu.



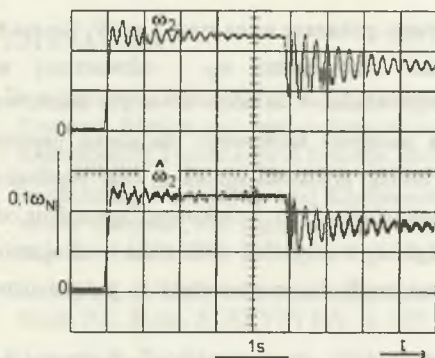
Rys. 5. Ilustracja metody pomiaru prądu silnika

Fig. 5. Illustration of the method of motor current measurement

Rys. 5 ilustruje zastosowaną metodę pomiaru wartości średniej prądu silnika i . Ze względu na skończoną wartość indukcyjności obwodu, przebieg czasowy prądu ma kształt w przybliżeniu trójkątny o częstotliwości f_i równej częstotliwości przełączeń tranzystorów. W układzie dokonywany jest pomiar chwilowych wartości minimalnej i maksymalnej prądu występujących w chwilach przełączeń tranzystorów (procedura pomiarowa jest synchronizowana z tymi zdarzeniami). Wartość średnia prądu jest wyliczana jako średnia arytmetyczna wartości minimalnej i maksymalnej. Umożliwia to dokładne wyznaczanie wartości średniej prądu w każdym pulsie napięcia wyjściowego przekształtnika tranzystorowego bez wprowadzania do układu pomiarowego dodatkowych inercji.

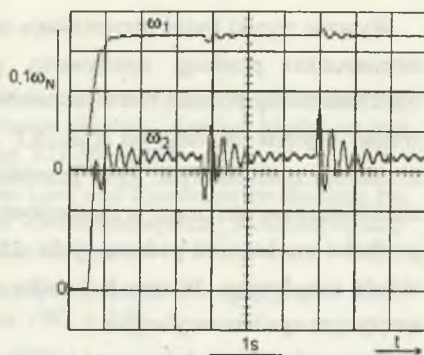
W celu sprawdzenia koncepcji układu sterowania oraz możliwości realizacji układu regulacji oraz układu odtwarzania prędkości mechanizmu za połączeniem sprzężystym, przeprowadzono badania współpracy sterownika mikroprocesorowego z wyidealizowanym obiektem regulacji, którym był model analogowy układu elektromechanicznego pracujący w czasie rzeczywistym (skala czasu równa jedności). W badaniach tych wykorzystano układ Evaluation Board EV80C196KC firmy Intel. Ogólna struktura mikroprocesorowego układu sterowania była identyczna z przedstawioną na rys. 1. Wielkością wyjściową sterownika mikroprocesorowego było w tym przypadku napięcie sterujące przekształtnik tranzystorowy, który został zamodelowany jako wzmacniacz inercyjny. Parametry zamodelowanego układu elektromechanicznego były identyczne z rzeczywistym układem laboratoryjnym.

Nastawy regulatora prędkości oraz wartość wzmacnienia w torze dodatkowego sprzężenia zwrotnego od prędkości mechanizmu za połączeniem sprzężystym dobrano według metody przedstawionej w publikacji [3] tak, aby współczynnik tłumienia drgań w zamkniętym układzie sterowania był równy $\sqrt{2}/2$.



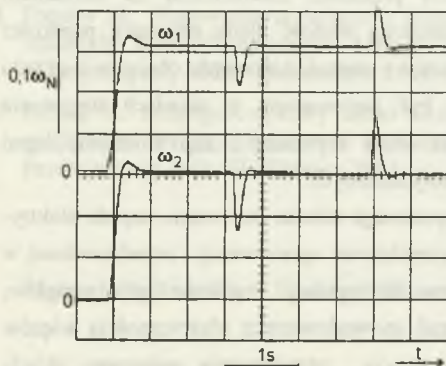
Rys.6. Przebiegi rzeczywistej i odtworzonej prędkości mechanizmu w otwartym układzie sterowania

Fig.6. Waveforms of measured and estimated load speed in the open-loop control system



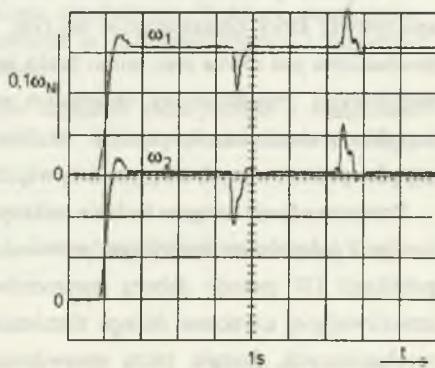
Rys.7. Przebiegi prędkości silnika ω_1 oraz prędkości mechanizmu ω_2 w układzie napędowym bez dodatkowego sprzężenia od prędkości mechanizmu

Fig.7. Waveforms of the motor speed and load speed in the control system without additional load speed feedback



Rys.8. Przebiegi prędkości silnika ω_1 oraz prędkości mechanizmu ω_2 w układzie z bezpośrednim dodatkowym sprzężeniem zwrotnym od prędkości mechanizmu

Fig.8. Waveforms of the motor speed and load speed in the control system with additional load speed feedback



Rys.9. Przebiegi prędkości silnika ω_1 oraz prędkości mechanizmu ω_2 w układzie z dodatkowym sprzężeniem zwrotnym od prędkości mechanizmu zrealizowanym za pośrednictwem obserwatora

Fig.9. Waveforms of the motor speed and load speed in the control system with additional load speed feedback carried out by observer

Wybrane wyniki badań przedstawiają oscylogramy pokazane są na rys.6 - rys.9. Na rys.6 zamieszczono przebiegi rzeczywistej prędkości mechanizmu ω_2 i odtwarzanej w

Wybrane wyniki badań przedstawiają oscylogramy pokazane są na rys.6 - rys.9. Na rys.6 zamieszczono przebiegi rzeczywistej prędkości mechanizmu ω_2 i odtwarzanej w obserwatorze $\hat{\omega}_2$ podczas rozruchu nieobciążonego silnika w układzie otwartym (skokowa zmiana napięcia zasilania od 0 do $0,1 U_N$), a następnie skokowego obciążenia napędu momentem znamionowym. Rys.7 przedstawia przebiegi prędkości silnika ω_1 oraz prędkości mechanizmu ω_2 , otrzymane w zamkniętym układzie regulacji bez dodatkowego sprzężenia od prędkości mechanizmu podczas cyklu składającego się z rozruchu, obciążenia i odciążenia układu napędowego. W tym przypadku przebiegi prędkości mechanizmu za połączeniem sprężystym są silnie oscylacyjne.

Wprowadzenie dodatkowego sprzężenia zwrotnego od prędkości mechanizmu za połączeniem sprężystym umożliwia uzyskanie dużego tłumienia drgań układu. Przebiegi w takim układzie przedstawione są na rys.8 (bezpośrednie sprzężenie od prędkości mechanizmu ω_2) oraz rys.9 (sprzężenie od prędkości mechanizmu $\hat{\omega}_2$, odtwarzane w obserwatorze).

4. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono układ odtwarzania prędkości mechanizmu za elementem sprężystym, który charakteryzuje się tym, że ustalona wartość błędu estymacji prędkości mechanizmu jest równa zero mimo braku informacji o wartości momentu obciążenia układu napędowego. Przedstawiony obserwator może być zastosowany w układach sterowania napędów z elementem sprężystym. Możliwe jest wtedy uzyskanie dużego tłumienia drgań napędu spowodowanych sprężystością więzów mechanicznych.

Przeprowadzone wstępne badania mikroprocesorowego układu sterowania napędu elektrycznego z połączeniem sprężystym potwierdziły przydatność opracowanej i przedstawionej w publikacji [3] metody doboru parametrów obwodu regulacji prędkości tych napędów, umożliwiającej uzyskanie dużego tłumienia drgań spowodowanych elastycznością więzów mechanicznych. Została także sprawdzona koncepcja zastosowania opisanego układu odtwarzania prędkości mechanizmu za połączeniem sprężystym.

Sterownik mikroprocesorowy, w którym zastosowano mikrokontroler Intel 80C196KC, pełni funkcje układu regulacji napędu oraz sterownika przekształtnika tranzystorowego. W artykule przedstawiono wyniki badań współpracy sterownika mikroprocesorowego z modelem analogowym napędu z połączeniem sprężystym. Sterownik został także sprawdzony we współpracy z układem rzeczywistym (przekształtnik tranzystorowy i silnik), pracującym w otwartym układzie sterowania. W najbliższym czasie przewiduje się pełne uruchomienie układu laboratoryjnego napędu z połączeniem sprężystym z mikroprocesorowym układem sterowania.

LITERATURA

1. Brandenburg G.: Stability of a speed-controlled elastic two-mass system with backlash and Coulomb friction and optimisation by a disturbance observer. *Applied Modelling and Simulation of Technological Systems, IMACS*, pp. 371-381, 1987.
2. Brandenburg G.: Einfluss und Kompensation von Lose und Coulombscher Reibung bei einem drehzahl- und lagegeregelten, elastischen Zweimassensystem. *Automatisierungstechnik*, vol.37, 1989. Teil 1, No.1, p.23-31. Teil 2, No.3, pp. 111-119.
3. Gierlotka K.: Układy sterowania napędów elektrycznych z elementami sprężystymi. *Zesz. Nauk. Pol. Śl.ser. ELEKTRYKA*, z. 129, Gliwice 1992, s. 146.
4. Kaczorek T.: *Teoria sterowania*, PWN, Warszawa, 1977, t.1.
5. Ohmae T., Matsuda T, Kanno M., Saito K., Sukegawa T.: A microprocessor-based motor speed regulator using fast-response state observer for reduction of torsional vibration. *IEEE Transaction on Industry Application*, vol IA-23, No. 5, 1987, pp. 863-871.
6. Tomei P.: An observer for elastic joint robots. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 1990, vol.35, No 6, pp. 739-743.
7. Tondos M.: Zasady odtwarzania momentu obciążenia w napędach z połączeniami sprężystymi. *Materiały XIV SPETO*, Wisła 1992, s. 309-316.
8. Tondos M.: Sterowanie napędami z połączeniami sprężystymi. *Wybrane zagadnienia. Materiały Konf. "Nowoczesne Metody Sterowania w Energoelektronice i Napędzie Elektrycznym"*, Łódź - Dobieszków 1993, s. 506-513.
9. Płonka P.: Mikroprocesorowy układ sterowania napędem elektrycznym z elementem sprężystym. *Praca dyplomowa wykonana w Inst. Elektrotechniki Teoretycznej i Przemysłowej Polit. Śl., Gliwice 1993.*

Recenzent: Dr hab. inż. Maciej Tondos

Wpłynęło do Redakcji 11 marca 1994

Abstract

Vibrations of the system generated by the elasticity of mechanical constraints, and also other harmful phenomena resulted from this, may appear in such electric drives as hoisting machines, rolling mills, etc. The vibrations may be eliminated by the use of the special control systems, e.g. of the system with additional load speed behind elastic joint feedback. Because usually the load speed is inaccessible for measurement, observers may be applied to estimate them. The control system of the drive using the load speed observer is presented in Fig. 1. It contains the inner loop of the current control and the outer loop of the speed control with the motor speed feedback and the load speed feedback carried out by the observer.

The paper presents the synthesis of the load speed observer in the drive with inertialess elastic joint. It has been assumed, that motor speed ω_1 and motor torque m are the

accessible state variables of the system. Reduced-order state observer of this system is described by equations (12) - (15) and (17). Its block diagram is presented in Fig. 2. Dynamical properties of the load speed observer, specified by (Eq. 18) depends on parameter l_2 of the observer (Fig. 3).

Results of examination of the control system based on Intel 80C196KC microcontroller are presented in the paper. Microcontroller works as:

- analog-digital converter of the armature current and motor speed signals,
- current controller and speed controller,
- load speed observer,
- driver of the converter transistors.

There are executed the initial tests of the microprocessor-based control system, which associated with the analog model of the drive with elastic joint operating in the real time. Their results are presented in Fig. 6 - Fig. 9.