ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1992

Seria: ELEKTRYKA z.130 Nr kol.1184

Kazimierz GIERLOTKA

ZASTOSOWANIE OBSERWATORA STANU W UKŁADZIE STEROWANIA NAPĘDU ELEKTRYCZNEGO Z POŁĄCZENIEM SPRĘŻYSTYM

Streszczenie. W artykule przeprowadzono syntezę zredukowanego obserwatora stanu układu z połączeniem sprężystym. Zastosowano model Rayleigh'a układu z elementem sprężystym. Dla układu napędowego z dodatkowym sprzężeniem zwrotnym od prędkości mechanizmu podano metodę wyznaczania współczynników obserwatora, jeżeli moment obciążenia napędu jest niedostępny pomiarowo.

APPLICATION OF THE STATE OBSERVER IN THE CONTROL SYSTEM OF THE DRIVE WITH ELASTIC JOINT

Summary. Synthesis of the reduced-order state observer of the system with elastic joint has been carried out in the paper. Rayleigh's model of the elastic system has been applied. Method of calculation of the observer parameters for the control system with additional feedback loop of the load velocity has been given when the load torque of the drive is non-measurable.

ПРИМЕНЕНИЕ НАБЛЮДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА В СИСТЕМЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С УПРУГОЙ СВЯЗЬЮ

Резюме. В статье проведен синтез наблюдающего устройства системы с упруга связью. Применяется модель Релея упругой системы. Для электропривода с добавочной обратной связью по скорости механизма за упругим звеном, предлагается метод расч#та параметров наблюдающего устройства в случае, когда момент нагрузки электропривода неизмеримый.

1. WPROWADZENIE

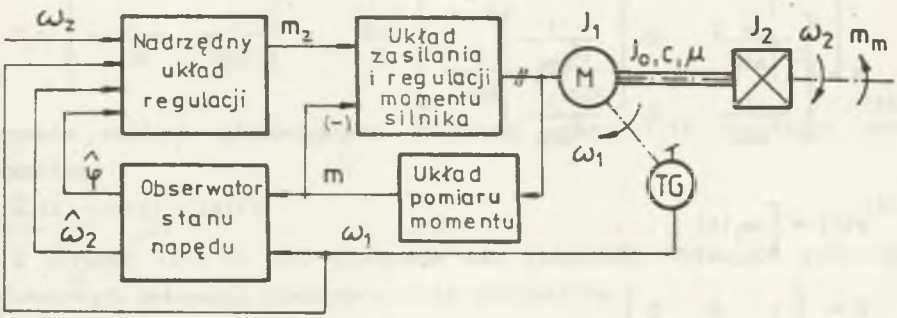
W celu uzyskania dobrych właściwości dynamicznych układów napędowych z połączeniami sprężystymi (duży współczynnik tłumienia oscylacji i krótki czas regulacji), konieczne jest w wielu przypadkach wprowadzenie do klasycznego układu sterowania napędu dodatkowych sprzężeń zwrotnych, np. od prędkości mechanizmu lub od kąta skręcenia elementu sprężystego [3], [4], [7]. Bezpośredni pomiar tych wielkości wiąże się jednak często z dużymi trudnościami i wysokimi kosztami.

Zagadnienie odtwarzania wektora niedostępnych zmiennych stanu i syntezy obserwatorów na podstawie wektora wymuszeń i wektora mierzalnych zmiennych stanu jest omówione w wielu pozycjach literatury, np. [5]. W ostatnich latach czynione są także próby stosowania obserwatorów w układach sterowania napędów z połączeniami sprężystymi [1], [2], [6], [8]. W publikacjach tych przyjmowany jest model układu sprężystego z bezinercyjnym elementem sprężystym. Ogranicza to zastosowanie wyników prezentowanych tam rozważan do układów napędowych, w których moment bezwładności elementu sprężystego jest mały w porównaniu z momentami bezwładności mas skupionych. Rozszerzenie zakresu zastosowań obserwatorów na układy o znaczącej wartości momentu bezwładności elementu sprężystego można uzyskać przez zastosowanie modelu Rayleigh'a układu z elementem sprężystym, który w sposób przybliżony uwzględnia zjawiska przestrzenne w elemencie sprężystym [4]. Pewnym problemem w syntezie obserwatora stanu jest również fakt, że na ogół niemierzalny jest moment obciążenia napędu, czyli niedostępny jest pełny wektor wymuszeń układu.

Synteza obserwatora niedostępnych zmiennych stanu układu napędowego z połączeniem sprężystym zostanie przeprowadzona przy założeniu, że mierzalne są dwie zmienne stanu; prędkość silnika ω_1 i moment elektromagnetyczny silnika m.

2. OBSERWATOR ZREDUKOWANY UKŁADU NAPĘDOWEGO Z ELEMENTEM SPRĘŻYSTYM

Schemat funkcjonalny układu napędowego z połączeniem sprężystym i z obserwatorem stanu przedstawiono na rys.1. Obserwator na podstawie dostępnych zmiennych stanu odtwarza na wyjściu wartości kąta skręcenia



Rys. 1. Schemat funkcjonalny układu napędowego z połączeniem sprężystym z obserwatorem stanu

Fig. 1. Functional diagram of the drive with elastic joint and state observer

elementu sprężystego $\hat{\varphi}$ i prędkości mechanizmu $\hat{\omega}_2$. Blok nadrzędnego układu regulacji może w szczególności zawierać układ regulacji napędu z połączeniemem sprężystym przedstawiony w publikacjach [3] lub [4].

Przyjmując do rozważań model Rayleigh'a [4] układu sprężystego oraz stosując identyczne oznaczenia, jak w pracy [4], układ z elementem sprężystym opisany jest równaniem stanu:

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

$$\mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0 \quad , \tag{2}$$

i równaniem wyjścia:

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{C}\mathbf{x}(t) \quad , \tag{3}$$

w których oznaczono:

$$\mathbf{x}(t) = \begin{bmatrix} \omega_1(t) & \varphi(t) & \omega_2(t) \end{bmatrix}^T \quad , \tag{4}$$

$$\mathbf{u}(t) = \begin{bmatrix} m(t) & m_m(t) \end{bmatrix}^T \quad , \tag{5}$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \frac{-1}{T_{t1z}} & \frac{-1}{T_{m1z}} & \frac{1}{T_{t1z}} \\ \frac{1}{T_c} & 0 & \frac{-1}{T_c} \\ \frac{1}{T_{t2z}} & \frac{1}{T_{m2z}} & \frac{-1}{T_{t2z}} \end{bmatrix} \quad . \tag{6}$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \frac{1}{T_{m1k}} & 0 & \frac{-1}{T_{msk}} \\ \frac{1}{T_{msk}} & 0 & \frac{-1}{T_{m2k}} \end{bmatrix}^T , \tag{7}$$

$$\mathbf{y}(t) = \begin{bmatrix} \omega_1(t) \end{bmatrix} , \tag{8}$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} . \tag{9}$$

Stałe czasowe tłumienia układu sprężystego są określone zależnościami:

$$T_{t1z} = \frac{J_{1z}}{\mu} , \quad T_{t2z} = \frac{J_{2z}}{\mu} \tag{10}$$

Analiza zastanie przeprowadzona dla obserwatora zredukowanego [5], odtwarzającego tylko niedostępne pomiarowo zmienne stanu układu napędowego z połączeniem sprężystym. Dla układu opisanego zależnościami (1) - (10) obserwator zredukowany odtwarzający wektor niedostępnych zmiennych stanu:

$$\mathbf{x}_2(t) = \begin{bmatrix} \varphi(t) & \omega_2(t) \end{bmatrix}^T , \tag{11}$$

opisany jest zależnością [5]:

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

w której $\mathbf{A}_{ij}$ i $\mathbf{B}_i$ są podmacierzami odpowiednio macierzy $\mathbf{A}$ i $\mathbf{B}$, a $\mathbf{L}$ jest macierzą współczynników obserwatora zredukowanego:

$$\mathbf{A}_{11} = \begin{bmatrix} \frac{-1}{T_{t1z}} \end{bmatrix} , \quad \mathbf{A}_{12} = \begin{bmatrix} \frac{-1}{T_{m1z}} & \frac{1}{T_{t1z}} \end{bmatrix} , \tag{13}$$

$$\mathbf{A}_{21} = \begin{bmatrix} \frac{1}{T_c} \\ \frac{1}{T_{t2z}} \end{bmatrix} , \quad \mathbf{A}_{22} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{-1}{T_c} \\ \frac{1}{T_{m2z}} & \frac{-1}{T_{t2z}} \end{bmatrix} , \tag{14}$$

$$\mathbf{B}_1 = \begin{bmatrix} \frac{1}{T_{m1k}} & \frac{1}{T_{msk}} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B}_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{-1}{T_{msk}} & \frac{-1}{T_{m2k}} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{L} = \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \end{bmatrix}. \tag{15}$$

Estymata wektora niedostępnych zmiennych stanu (11) określona jest równaniem:

$$\hat{\mathbf{x}}_2(t) = \mathbf{z}(t) + \mathbf{L}\mathbf{y}(t) \quad . \tag{16}$$

Z wyrażeń (11) - (16) otrzymuje się zależności opisujące przebiegi odtwarzanych zmiennych stanu na wyjściu obserwatora:

$$\hat{\varphi}(t) = z_{\varphi}(t) + l_1\omega_1(t) \quad , \tag{17}$$

$$\hat{\omega}_2(t) = z_{\omega 2}(t) + l_2\omega_1(t) \quad , \tag{18}$$

gdzie:

$$\dot{z}_{\varphi}(t) = \frac{l_1}{T_{m1z}}\hat{\varphi}(t) + \left(\frac{1}{T_c} + \frac{l_1}{T_{t1z}}\right)\left(\omega_1(t) - \hat{\omega}_2(t)\right) - \frac{l_1}{T_{m1k}}m(t) - \frac{l_1}{T_{msk}}m_m(t) \tag{19}$$

$$\dot{z}_{\omega 2}(t) = \left(\frac{1}{T_{m2z}} + \frac{l_2}{T_{m1z}}\right)\hat{\varphi}(t) + \left(\frac{1}{T_{t2z}} + \frac{l_2}{T_{t1z}}\right)\left(\omega_1(t) - \hat{\omega}_2(t)\right) +$$

$$- \left(\frac{1}{T_{msk}} + \frac{l_2}{T_{m1k}}\right)m(t) - \left(\frac{1}{T_{m2k}} + \frac{l_2}{T_{msk}}\right)m_m(t) \quad . \tag{20}$$

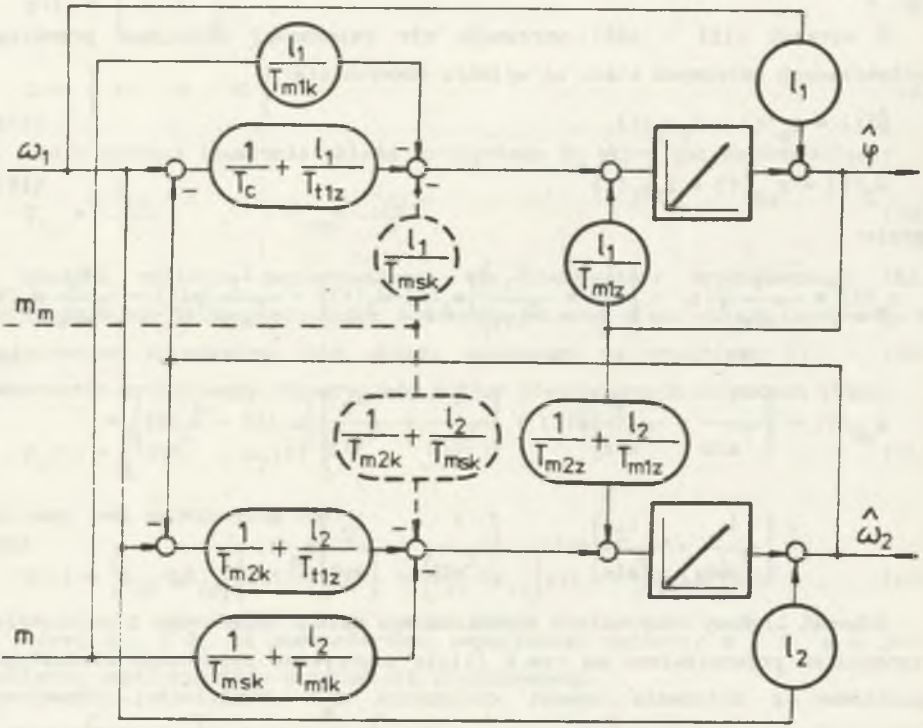
Schemat blokowy obserwatora zredukowanego układu napędowego z połączeniem sprężystym przedstawiono na rys.2 (linią przerywaną zaznaczono niedostępny pomiarowo z założenia moment obciążenia m_m). Właściwości dynamiczne obserwatora mozna określić na podstawie równania operatorowego otrzymanego z zależności (12) i (16):

$$\mathbf{x}_2(s) = \frac{\left[\left(\mathbf{A}_{22} - \mathbf{L}\mathbf{A}_{12}\right)\mathbf{L} + \mathbf{A}_{12} - \mathbf{L}\mathbf{A}_{11}\right]\mathbf{y}(s) + \left(\mathbf{B}_2 - \mathbf{L}\mathbf{B}_1\right)\mathbf{u}(s)}{\mathbf{1}s - \mathbf{A}_{22} + \mathbf{L}\mathbf{A}_{12}} + \mathbf{L}\mathbf{y}(s) \tag{21}$$

Ogólnym kryterium doboru współczynników macierzy obserwatora $\mathbf{L}$ jest wymóg, aby pierwiastki równania charakterystycznego macierzy $\left(\mathbf{A}_{22} - \mathbf{L}\mathbf{A}_{12}\right)$:

$$\det\left[1s - \left(A_{22} - LA_{12}\right)\right] = s^2 + \left(\frac{1}{T_{t2z}} + \frac{l_2}{T_{t1z}} - \frac{l_1}{T_{m1z}}\right)s +$$

$$+ \left(\frac{1}{T_c} + \frac{l_1}{T_{t1z}}\right)\left(\frac{1}{T_{m2z}} + \frac{l_2}{T_{m1z}}\right) - \frac{l_1}{T_{m1z}}\left(\frac{1}{T_{t2z}} + \frac{l_2}{T_{t1z}}\right) = 0 \quad , \qquad (22)$$



Rys. 2. Schemat blokowy zredukowanego obserwatora stanu układu z połączeniem sprężystym

Fig. 2. Block diagram of the reduced-order state observer of the system with elastic joint

zapewniały dobre właściwości dynamiczne obserwatora, tzn. aby zmienne stanu obserwatora szybko dążyły do odpowiednich zmiennych stanu układu [5]. Względny współczynnik tłumienia przebiegów obserwatora jest określony zależnością:

$$\zeta_o = \frac{0,5\left(\frac{1}{T_{t2z}} + \frac{l_2}{T_{t1z}} - \frac{l_1}{T_{m1z}}\right)}{\sqrt{\left(\frac{1}{T_c} + \frac{l_1}{T_{m1z}}\right)\left(\frac{1}{T_{m2z}} + \frac{l_2}{T_{m1z}}\right) - \frac{l_1}{T_{m1z}}\left(\frac{1}{T_{t2z}} + \frac{l_2}{T_{t1z}}\right)}} \quad . \tag{23}$$

3. DOBÓR WSPÓŁCZYNNIKÓW MACIERZY L PRZY NIEDOSTĘPNYM POMIAROWO MOMENCIE OBCIĄŻENIA

Obliczone z równania (21) wartości ustalone wielkości wyjściowych obserwatora zredukowanego określone są zależnościami:

$$\hat{\varphi}_u = m_u \quad , \tag{24}$$

$$\hat{\omega}_{2u} = \omega_{1u} \quad , \tag{25}$$

gdzie m_u i ω_{1u} są ustalonymi wartościami momentu silnika i jego prędkości.

W przypadku, gdy moment obciążenia m_m nie jest mierzony, wartości ustalone wielkości wyjściowych obserwatora wyrażone są zależnościami:

$$\hat{\varphi}_{ua} = \frac{\frac{1}{T_c}\left(\frac{1}{T_{msk}} + \frac{l_2}{T_{m1k}}\right) - l_1\left(\frac{1}{T_{m1k}T_{t2z}} - \frac{1}{T_{msk}T_{t1z}}\right)}{\frac{1}{T_c}\left(\frac{1}{T_{m2z}} + \frac{l_2}{T_{m1z}}\right)} m_u \quad , \tag{26}$$

$$\hat{\omega}_{2ua} = \omega_1 + \frac{\frac{l_1}{T_{m1z}T_{m2z}}\left(\frac{T_{m2z}}{T_{msk}} - \frac{T_{m1z}}{T_{m1k}}\right)}{\frac{1}{T_c}\left(\frac{1}{T_{m2z}} + \frac{l_2}{T_{m1z}}\right)} m_u \quad , \tag{27}$$

a ustalony błąd odtworzenia niedostępnych pomiarowo zmiennych stanu wynosi:

$$\Delta\varphi_u = \hat{\varphi}_{ua} - \varphi_u = -\frac{\frac{1}{T_c}\left(\frac{1}{T_{m2k}} + \frac{l_2}{T_{msk}}\right) + l_1\left(\frac{1}{T_{m1k}T_{t2z}} - \frac{1}{T_{msk}T_{t1z}}\right)}{\frac{1}{T_c}\left(\frac{1}{T_{m2z}} + \frac{l_2}{T_{m1z}}\right)} m_u \quad . \tag{28}$$

$$\Delta\omega_{2u} = \hat{\omega}_{2ua} - \omega_{2u} = \frac{l_1 T_c\left(\frac{T_{m2z}}{T_{msk}} - \frac{T_{m1z}}{T_{m1k}}\right)}{T_{m1z} + l_2 T_{m2z}} m_u \quad . \tag{29}$$

Zerową wartość ustaloną błędu obydwu wielkości wyjściowych obserwatora:

$$\Delta\varphi_u = 0 \quad , \qquad \Delta\omega_{2u} = 0 \quad , \tag{30}$$

można uzyskać w przypadu:

1. przyjęcia nieskończenie dużej wartości współczynnika l_2 obserwatora:

$$l_2 = \infty \tag{31}$$

co jest fizykalnie niemożliwe, lub

2. gdy współczynniki l_1 oraz l_2 obserwatora spełniają zależności:

$$l_1 = 0 \quad , \tag{32}$$

$$l_2 = -\frac{T_{msk}}{T_{m2k}} \quad . \tag{33}$$

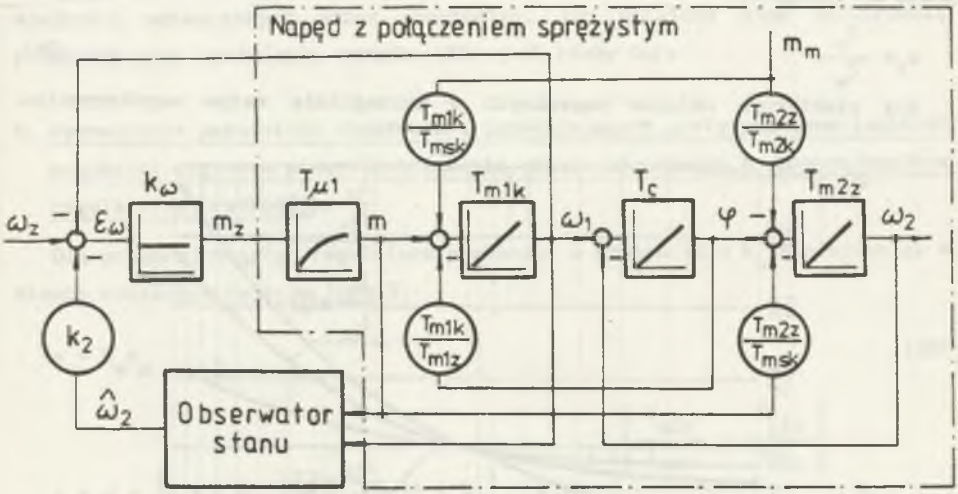
Analizując równanie charakterystyczne obserwatora (22) można określić warunek stabilności obserwatora w przypadku spełnienia zależności (32) i (33):

$$\frac{T_{msk}}{T_{m2k}} < \frac{T_{m1z}}{T_{m2z}} \quad . \tag{34}$$

Nierówność (34) nie jest nigdy spełniona. W przypadku niedostępności momentu obciażenia nie jest więc możliwa synteza obserwatora zredukowanego napędu z połączeniem sprężystym, w którym ustalone błędy odtworzenia prędkości mechanizmu $\Delta\omega_{2u}$ i kąta skręcenia $\Delta\varphi_u$ byłyby jednocześnie równe zero.

3.1. Zastosowanie obserwatora zredukowanego w układzie napędowym z dodatkowym sprzężeniem zwrotnym od prędkości mechanizmu

Schemat blokowy układu napędowego z dodatkowym sprzężeniem od prędkości ω_2 za połączeniem sprężystym [4] zrealizowanym za pomocą obserwatora przedstawiono na rys.3. W tym przypadku nie jest istotna wartość błędu odtworzenia kąta skręcenia $\Delta\varphi$. W zależności od typu zastosowanego regulatora prędkości proponuje się dwie metody obliczania parametrów obserwatora zredukowanego.



Rys.3. Schemat blokowy układu napędowego z połączeniem sprężystym z dodatkowym sprzężeniem zwrotnym od prędkości mechanizmu zrealizowanym przez obserwator stanu

Fig.3. Block diagram of the drive with elastic joint and with additional feedback of the load velocity realized by state observer

a. Wyznaczanie parametrów obserwatora zredukowanego dla układu napędowego z proporcjonalno - całkującym regulatorem prędkości

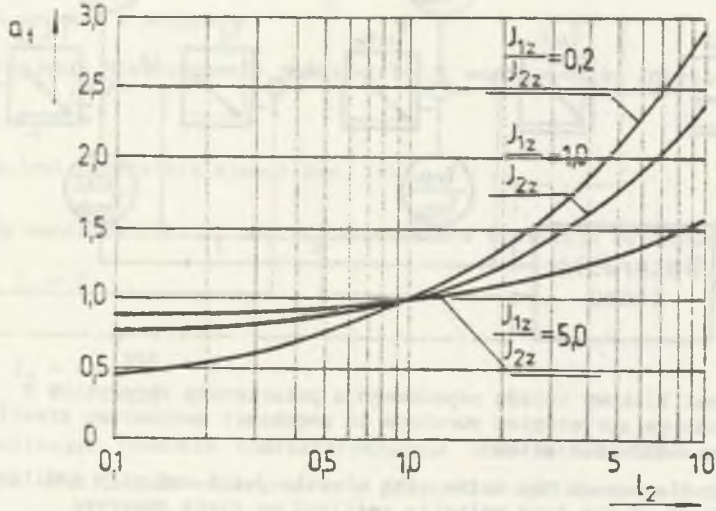
W tym przypadku istotnym jest, aby ustalony błąd odtworzenia prędkości mechanizmu $\Delta\omega_{2u}$ był równy zero. Uzyskuje się to przez spełnienie warunku (32). Współczynnik tłumienia przebiegów obserwatora dla $l_1=0$ określony jest zależnością:

$$\zeta_o = \frac{0,5\left(\frac{1}{T_{t2z}} + \frac{l_2}{T_{t1z}}\right)}{\sqrt{\frac{1}{T_c}\left(\frac{1}{T_{m2z}} + \frac{l_2}{T_{m1z}}\right)}} = \frac{\mu}{2}\sqrt{\frac{1}{c}\left(\frac{1}{J_{2z}} + \frac{l_2}{J_{1z}}\right)} \quad . \tag{35}$$

i dla $l_2=1$ jest on równy względnemu współczynnikowi tłumienia oscylacji układu sprężystego ζ_w. Wpływ wartości współczynnika l_2 na wartość współczynnika tłumienia obserwatora przedstawiony został na rys. 4, na którym przez a_t oznaczono:

$$a_t = \frac{\zeta_o}{\zeta_w} \tag{36}$$

Dla niektórych układów napędowych o szczególnie małym współczynniku



Rys. 4. Zależność parametru a_t od wartości współczynnika l_2 obserwatora
Fig. 4. Dependence of parameter a_t on coefficient l_2 of the observer

tłumienia oscylacji układu sprężystego ζ_w i przy ograniczonej ze względu na szumy pomiarowe wartości współczynnika l_2, obserwator o tak dobranych parametrach może się cechować małym tłumieniem i przebiegami oscylacyjnymi na wyjściu. W takim przypadku zwiększenie współczynnika tłumienia obserwatora można uzyskać przez zwiększenie wartości współczynnika tłumienia

wewnętrznego elementu sprężystego przyjętej do syntezy obserwatora stanu (świadome wprowadzenie błędu identyfikacji parametrów obiektu regulacji). Jeżeli wartość współczynnika tłumienia wewnętrznego przyjęta do syntezy obserwatora $\tilde{\mu}$ jest k-krotnie większa od wartości rzeczywistej:

$$\tilde{\mu} = k\mu \tag{37}$$

to współczynnik tłumienia obserwatora także rośnie k razy.

Ogólnie na podstawie zależności (21) i (24) - (29) można stwierdzić, że jeżeli wyrazy macierzy **A** określone są z błędem (z błędem określone parametry układu przyjęte do syntezy obserwatora), to zmienia się dynamika przebiegów wielkości odtwarzanych przez obserwator, ale ustalony błąd odtworzenia prędkości przy spełnieniu warunku (32) jest równy zero.

b. Wyznaczanie parametrów obserwatora zapewniających statyczną inwariantność prędkości względem momentu obciążenia układu napędowego z proporcjonalnym regulatorem prędkości

Dla proporcjonalnego regulatora prędkości o wzmocnieniu k_ω spełnione są w stanie ustalonym relacje (rys.3):

$$m_u = k_\omega \varepsilon_\omega \quad , \tag{38}$$

$$\varepsilon_\omega = \omega_z - \left(\omega_1 + k_2\hat{\omega}_{2u}\right) = \omega_z - \omega_1\left(1 + k_2\right) - k_2 \frac{l_1 T_c\left(\frac{T_{m2z}}{T_{msk}} - \frac{T_{m1z}}{T_{m1k}}\right)}{T_{m1z} + l_2 T_{m2z}} m_u \, . \tag{39}$$

Dla idealnie sztywnej charakterystyki mechanicznej napędu zachodzi:

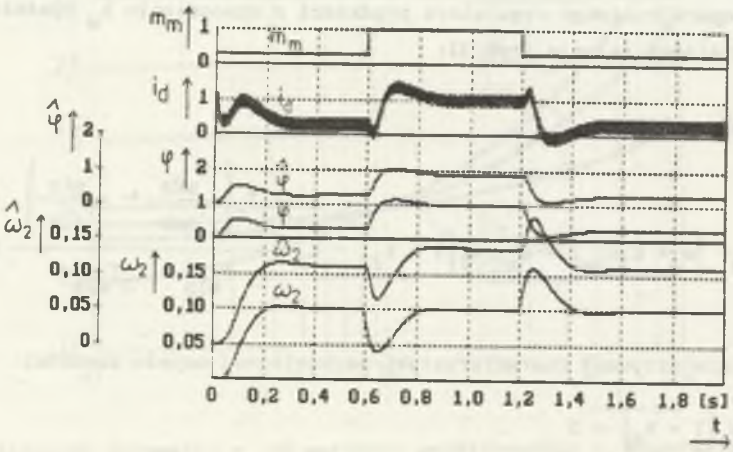
$$\omega_z - \omega_1\left(1 + k_2\right) = 0 \quad . \tag{40}$$

Z zależności (38)-(740) otrzymuje się związek między współczynnikami l_1 i l_2 obserwatora oraz parametrami układu napędowego, którego spełnienie zapewnia uzyskanie idealnie sztywnej charakterystyki mechanicznej napędu z proporcjonalnym regulatorem prędkości i obserwatorem stanu przy niedostępnym pomiarowo momencie obciążenia:

$$l_2 = \frac{k_\omega k_2 l_1 T_c \left(\frac{T_{m1z}}{T_{m1k}} - \frac{T_{m2z}}{T_{msk}} \right) - T_{m1z}}{T_{m2z}} \tag{41}$$

Dobierając parametry obserwatora na podstawie zależności (41) należy się kierować następującymi zasadami:

- aby współczynnik tłumienia przebiegów obserwatora zredukowanego ζ_o określony zależnością (23) był duży, wartość współczynnika l_1 powinna być ujemna,
- po wstępnym doborze współczynników l_1 i l_2 należy sprawdzić wartość współczynnika tłumienia ζ_o. W przypadku, gdy tłumienie przebiegów obserwatora jest zbyt duże lub zbyt małe należy skorygować dobór współczynników obserwatora, lub przyjąć do syntezy obserwatora, podobnie jak dla układu z regulatorem prędkości typu PI, zmienioną wartość współczynnika $\tilde{\mu}$.

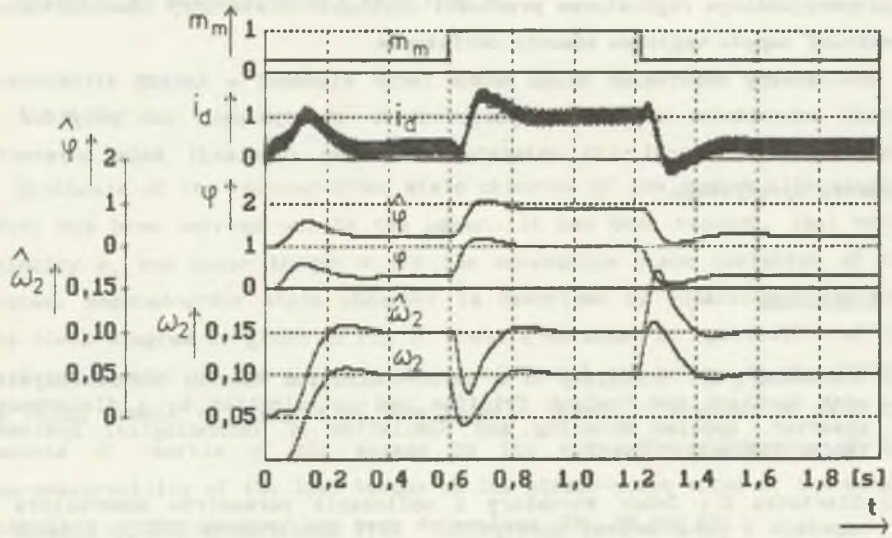


Rys.5. Przebiegi w układzie z regulatorem prędkości typu P i dodatkowym sprzężeniem zwrotnym od prędkości mechanizmu zrealizowanym przez obserwator stanu. J_1=0.052 kgm^2, c=43 Nm/rad, J_2=0.5J_1, J_0=0.2J_1, μ=0.1 Nms. Parametry obserwatora: $\tilde{J}_1=J_1$, $\tilde{J}_2=J_2$, $\tilde{J}_0=J_0$, $\tilde{c}$=0.7c, $\tilde{\mu}=\mu$

Fig.5. Transients in the drive with P speed controller and additional feedback of the load velocity ω_2 realized by state observer. J_1=0.052 kgm^2, c=43 Nm/rad, J_2=0.5J_1, J_0=0.2J_1, μ=0.1 Nms. Parameters of the observer: $\tilde{J}_1=J_1$, $\tilde{J}_2=J_2$, $\tilde{J}_0=J_0$, $\tilde{c}$=0.7c, $\tilde{\mu}=\mu$

Na podstawie zależności (21), (26)-(29) i (38)-(41) można stwierdzić, że w przypadku gdy parametry macierzy **A** są określone z błędem, wówczas zmienia się dynamika przebiegów wielkości wyjściowych obserwatora, lecz o ile współczynniki macierzy **L** są dobrane z zależności (41), układ zapewnia statyczną inwariantność prędkości napędu względem momentu obciążenia.

Przykładowe przebiegi w układzie z regulatorem prędkości typu P oraz PI, otrzymane w wyniku komputerowej symulacji układu napędowego z obserwatorem stanu, dla określonnych z błędem parametrów obserwatora (oznaczono je symbolem ~) , przedstawiono na rys.5 i rys.6. Przedmiotem badań symulacyjnych był układ z elementem sprężystym i silnikiem obcowzbudnym



Rys.6. Przebiegi w układzie z regulatorem prędkości typu PI i dodatkowym sprzężeniem zwrotnym od prędkości mechanizmu zrealizowanym przez obserwator stanu. J_1=0.052 kgm^2, c=43 Nm/rad, J_2=0.5J_1, J_0=0.2J_1, μ=0.1 Nms. Parametry obserwatora: $\tilde{J}_1$=J_1, $\tilde{J}_2$=1.5J_2, $\tilde{J}_0$=J_0, $\tilde{c}$=c, $\tilde{\mu}$=5μ

Fig.6. Transients in the drive with PI speed controller and additional feedback of the load velocity ω_2 realized by state observer. J_1=0.052 kgm^2, c=43 Nm/rad, J_2=0.5J_1, J_0=0.2J_1, μ=0.1 Nms. Parameters of the observer: $\tilde{J}_1$=J_1, $\tilde{J}_2$=1.5J_2, $\tilde{J}_0$=J_0, $\tilde{c}$=c, $\tilde{\mu}$=5μ

prądu stałego zasilanym z przekształtnika typu dc-dc (na rys.5 i rys.6 przez i_d oznaczono prąd wirnika silnika). Współczynnik tłumienia oscylacji układu sprężystego ζ_w= 0.056. Parametry regulatorów dobrano wg zależności przedstawionych w publikacji [4].

4. PODSUMOWANIE

Prezentowana struktura zredukowanego obserwatora stanu układu sprężystego, w powiązaniu z zaproponowaną metodą wyznaczania wartości współczynników macierzy L, umożliwia jego zastosowanie w układzie sterowania napędu z połączeniem sprężystym z dodatkowym sprzężeniem od prędkości ω_2, mimo braku pomiaru momentu obciążenia układu. Możliwe jest w układzie z proporcjonalnym regulatorem prędkości uzyskanie statycznej inwariantności prędkości napędu względem momentu obciążenia.

Analizowany obserwator stanu można także stosować w innych strukturach układu sterowania napędów z połączeniami sprężystymi, na przykład w opisanym w publikacji [3] układzie z obwodem regulacji kąta skręcenia elementu sprężystego.

LITERATURA

[1] Brandenburg G.: Stability of a speed-controlled elastic two-mass system with backlash and Coulomb friction and optimization by a disturbance observer. Applied Modeling and Simulation of Technological Systems, IMACS, p.371-381, 1987.

[2] Gierlotka K.: Dobór struktury i obliczanie parametrów obserwatora w napędach z połączeniami sprężystymi. XIII Konferencja SPETO, Gliwice - Wisła, 1990, t.II, s.413-420.

[3] Gierlotka K.: Układ regulacji napędów z połączeniami sprężystymi z obwodem regulacji momentu w elemencie sprężystym. Zeszyty Naukowe Pol. Śląskiej ELEKTRYKA, nr 120, 1992.

[4] Gierlotka K.: Uproszczona metoda uwzględniania zjawisk przestrzennych w elemencie sprężystym w syntesie układów sterowania napędów z połączeniami sprężystymi. ZN Pol. Śląskiej ELEKTRYKA

[5] Kaczorek T.: Teoria sterowania. Tom 1. Warszawa, PWN 1977.

[6] Luckiv N.M.: Sistemy elektropriwoda s nabludajuszczimi ustrojstwami mechanizmov s uprugimi svjazjami. Elektromechanika, 1988, nr 11, s.99-104.

[7] Sokolovskij G.G.: Sistema uprawlenia elektroprivodom s uprugostiu. Elektriczestvo, 1984, nr 1, s.23-28.

[8] Tomei P.: An observer for flexible joint robots. IEEE Transactions on Automatic Control, 1990, vol.35, No 6, pp.739-743.

Badania zrealizowano w ramach projektu Nr 8 8293 91 02 finansowanego w roku 1992 przez Komitet Badań Naukowych.

Recenzent: prof.dr hab.inż. Zbigniew Nowacki

Wpłynęło do Redakcji dnia 6 maja 1992 r.

A b s t r a c t

Synthesis of the reduced-order state observer of the system with elastic joint has been carried out in the paper. It has been assumed, that motor velocity ω_1 and motor torque m are the accessible state variables of the system. Reduced-order state observer is described by equations (17)-(20). Its block diagram is given in Fig.2. Results obtained by application of the Rayleigh's model of the system with elastic joint can be use in the drives, in which moment of inertia of the elastic joint is comparable with the moments of inertia of the masses on its ends. The influence of the non-measurability of the load torque on the steady-state error of the output variables of the observer has been determined (Eq. 28 and 29).

Analysis of the drive system with elastic joint and with additional feedback of the load velocity ω_2 carried out by state observer has been done in the paper. Method of calculation of the observer parameters, when the load torque is non-measurable, has been proposed for the control system with P (Eq. 41) and PI (Eq. 32 and 35) type of speed controller. Selected results of the computer simulation of the drive have been presented in Fig.5 and Fig.6.