ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1992

Seria: ELEKTRYKA z.120 Nr kol.1117

Kazimierz GIERLOTKA

OBLICZANIE PARAMETRÓW OBWODU REGULACJI PRĘDKOŚCI W NAPĘDACH Z POŁĄCZENIAMI SPRĘŻYSTYMI

Streszczenie: W artykule przedstawiono metodę syntezy układu regulacji napędu z mechanicznym połączeniem sprężystym. Podano zależności analityczne i graficzne umożliwiające dobór parametrów układu regulacji zapewniającego duże tłumienie oscylacji spowodowanych obecnością elementu sprężystego.

W analizie uwzględniono wpływ transmitancji obwodu regulacji momentu silnika na obliczanie parametrów układu regulacji prędkości oraz na tłumienie oscylacji napędu. Podano także zależności na dobór nastaw regulatora prędkości dla przypadku, gdy zastępcza stała czasowa obwodu regulacji momentu jest pomijalnie mała w porównaniu z okresem drgań uładu mechanicznego.

1. WPROWADZENIE

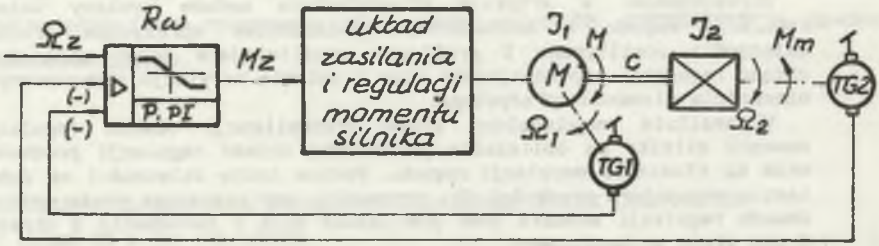
W artykułach [2,3] przedstawiono sposób obliczania nastaw regulatora prędkości w napędach z połączeniami sprężystymi o stosunkowo niskiej pulsacji drgań własnych mechanicznych, w których można pominąć wpływ zastępczej stałej czasowej zamkniętego obwodu regulacji prądu (momentu) silnika obcowzbudnego prądu stałego na przebiegi dynamiczne w układzie. Istnieją jednak napędy, w których występuje wpływ elastyczności połączeń mechanicznych na przebiegi w stanach nieustalonych, a jednocześnie okres drgań własnych mechanicznych jest porównywalny ze stałą czasową obwodu regulacji momentu (np. napędy robotów przemysłowych).

W artykule przeprowadzona została analiza napędu z połączeniem sprężystym i podana metoda doboru parametrów obwodu regulacji prędkości z uwzględnieniem transmitancji obwodu regulacji momentu silnika. W zależności

od ilości dostępnych zmiennych stanu (sprzężeń zwrotnych) jako cel przyjęto syntezę układu regulacji, który pozwoli uzyskać dowolne tłumienie oscylacji układu mechanicznego lub w przypadku możliwości pomiaru tylko prędkości silnika uzyskanie tłumienia maksymalnego dla danej struktury układu regulacji i parametrów obiektu regulacji.

2. OBIEKT REGULACJI

Schemat funkcjonalny analizowanego układu przedstawiony jest na rys.1.



Rys.1. Schemat funkcjonalny napędu z połączeniem sprężystym.
Fig.1. Functional diagram of the drive with elastic connection.

Silnik o momencie bezwładności J_1 napędza mechanizm o momencie bezwładności J_2 za pośrednictwem elementu sprężystego o sztywności c. Obwód regulacji składa się z wewnętrznego obwodu regulacji momentu silnika i nadrzędnej pętli regulacji prędkości z regulatorem R_ω. Na wejście regulatora prędkości wprowadzono sprzężenie zwrotne od prędkości silnika Ω_1 i prędkości mechanizmu Ω_2. Silnik wraz z układem zasilania umożliwia płynną regulację prędkości (np. napęd przekształtnikowy prądu stałego albo sterowany częstotliwościowo silnik asynchroniczny lub synchroniczny).

Należy zaznaczyć, że wprawdzie moment silnika nie jest na ogół wielkością bezpośrednio regulowaną w układach napędowych, lecz występują w nich obwody regulacji wielkości proporcjonalnych do momentu silnika (np. prąd wirnika silnika obcowzbudnego a w silniku asynchronicznym sterowanym częstotliwościowo np. poślizg lub składowa i_y prądu stojana w układzie orientacji wektora pola). Z tego względu w celu uzyskania zależności

ogolnych, dotyczących zarówno napędów z silnikami prądu stałego jak i przemiennego, przyjęto że wewnętrznym obwodem regulacji jest obwód regulacji momentu. Przy prawidłowo dobranych parametrach obwodu regulacji cechuje się on dość duzym tłumieniem i w dalszej analizie założono, że opisany jest transmitancją

$$G_{zm}(s) = \frac{M(s)}{M_z(s)} = \frac{K_m}{0,5T_\mu^2 s^2 + T_\mu s + 1} \tag{1}$$

gdzie: M, M_z - wartośc rzeczywista i zadana momentu silnika.

Pomijając masę i tłumienie wewnętrzne elementu sprężystego oraz zakładając liniowość i stacjonarność obiektu regulacji otwarty układ regulacji prędkości z rys.1 opisany jest równaniem stanu

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t) \tag{2}$$

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} M \\ D \\ \Omega_1 \\ M_s \\ \Omega_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{2}{T_\mu^2} & -\frac{2}{T_\mu} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{J_1} & 0 & 0 & -\frac{1}{J_1} & 0 \\ 0 & 0 & c & 0 & -c \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{J_2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M \\ D \\ \Omega_1 \\ M_s \\ \Omega_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{2K_m}{T_\mu^2} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{J_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_z \\ M_m \end{bmatrix} \tag{3}$$

gdzie: M_s, M_m - moment w elemencie sprężystym i obciązenia.

Wprowadzając wielkości odniesienia

$$\Omega_{odn} = \Omega_n , \quad M_{odn} = M_n , \quad M_{zodn} = M_{odn}/K_m , \quad \Omega_{zodn} = K_1\Omega_{odn}$$

oraz poddając przekształceniu Laplace'a wyrażenie (3) i rozwiązując go

$$\mathbf{x}(s) = \left[s\mathbf{1} - \mathbf{A}\right]^{-1} \mathbf{B}u(s) \tag{4}$$

otrzymuje się transmitancje przewodnie zamkniętego układu regulacji z połączeniami sprężystymi w wielkościach względnych oznaczonych małymi literami

$$G_{z\omega 1}(s) = \frac{\omega_1(s)}{\omega_z(s)} = \frac{G_\omega(s)\left(s^2 + \Omega_f^2\right)}{M_1(s)} , \tag{5}$$

$$G_{z\omega 2}(s) = \frac{\omega_2(s)}{\omega_z(s)} = \frac{G_\omega(s)\Omega_f^2}{M_1(s)} , \tag{6}$$

w których wprowadzono nastepujące oznaczenia

$$M_1(s) = sT_{m1}\left(s^2+\Omega_e^2\right)\left(0.5T_\mu^2 s^2+T_\mu s+1\right)+G_\omega(s)\left(s^2+\Omega_f^2(1+k_2)\right) , \tag{7}$$

$$G_\omega(s) = G_{r\omega}(s)\,\frac{K_1\Omega_n K_m}{M_n} , \tag{8}$$

$$k_2 = K_2/K_1 , \qquad T_{m1} = J_1\Omega_n/M_n ,$$

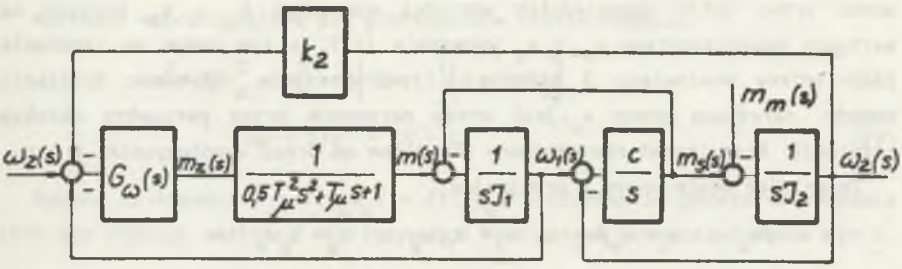
$G_{r\omega}(s), G_\omega(s)$ - transmitancje operatorowe regulatora prędkości w wielkościach naturalnych i względnych,

K_1, K_2 - wzmocnienia w torze pomiaru prędkości Ω_1 i Ω_2,

$\Omega_f = \sqrt{c/J_2}$ - pulsacja drgań własnych mechanicznych masy J_2,

$\Omega_e = \sqrt{c(J_1+J_2)/(J_1 J_2)}$ - pulsacja drgań własnych mechanicznych napędu.

Schemat blokowy napędu z połączeniem sprężystym przedstawiono na rys.2.



Rys.2. Schemat blokowy napędu z połączeniem sprężystym.

Fig.2. Block diagram of the drive with elastic connection.

3. ANALIZA NAPĘDU ZE SPRZĘŻENIEM OD PRĘDKOŚCI Ω_1 I Ω_2

3.1. Układ z proporcjonalnym regulatorem prędkości

Podstawiając w zależności (5) $G_\omega(s)=k_\omega$ otrzymuje się transmitancję zamkniętego obwodu regulacji prędkości

$$G_{z\omega 1}(s) = \frac{k_\omega\left(s^2+\Omega_f^2\right)}{0,5T_{m1}T_\mu^2 M_2(s)} \tag{9}$$

w której oznaczono

$$M_2(s) = s^5+\frac{2}{T_\mu}s^4+\left(\frac{2}{T_\mu^2}+\Omega_e^2\right)s^3+2\left(\frac{\Omega_e^2}{T_\mu}+\frac{k_\omega}{T_{m1}T_\mu^2}\right)s^2+$$

$$+\frac{2\Omega_e^2}{T_\mu^2}s+\frac{2k_\omega\Omega_f^2\left(1+k_2\right)}{T_{m1}T_\mu^2} \tag{10}$$

Mianownik $M_2(s)$ jest piątego stopnia a na wartość jego pierwiastków można wpływać przez dobór dwóch parametrów (k_ω i k_2). Nie jest więc możliwe uzyskanie dowolnych wartości pierwiastków mianownika, a tym samym dowolnych własności dynamicznych napędu. Przedstawiając mianownik $M_2(s)$ w postaci

$$M_2(s) = \left(s^3+a_1\omega_o s^2+a_2\omega_o^2 s+\omega_o^3\right)\left(s^2+b\omega_* s+\omega_*^2\right) \tag{11}$$

można przez dobór odpowiednich wartości wzmocnień k_ω i k_2 wpływać na wartości współczynników a_1 i a_2 wyrażenia (11), a tym samym na tłumienie pierwiastków wielomianu 3 stopnia w tym wyrażeniu. Szybkośc działania napędu, określona przez ω_o, jest wtedy narzucona przez parametry obiektu regulacji. Pierwiastki niesterowane określone są przez współczynniki b i ω_*.

Zmieniajac skalę czasu i przyjmując

$$p = s/\omega_o \quad ; \quad \omega_e = \Omega_e/\omega_o \quad ; \quad \omega_f = \Omega_f/\omega_o \quad ; \quad \tau_\mu = T_\mu\omega_o$$

$$\tau_{m1} = T_{m1}\omega_o \quad ; \quad \omega = \omega_*/\omega_o$$

otrzymuje się z zależności (10) i (11) odpowiednio

$$M_2(p) = p^5 + \frac{2}{\tau_\mu}p^4 + \left(\frac{2}{\tau_\mu^2} + \omega_e^2\right)p^3 + 2\left(\frac{\omega_e^2}{\tau_\mu} + \frac{k_\omega}{\tau_{m1}\tau_\mu^2}\right)p^2 + \frac{2\omega_e^2}{\tau_\mu^2}p + \frac{2k_\omega\omega_f^2\left(1+k_2\right)}{\tau_{m1}\tau_\mu^2}. \tag{12}$$

$$M_2(p) = \left(p^3 + a_1p^2 + a_2p + 1\right)\left(p^2 + b\omega p + \omega^2\right). \tag{13}$$

W przypadku wielomianu typu $p^3 + a_1p^2 + a_2p + 1 = 0$ maksymalne tłumienie pierwiastków przy określonej wartości jednego z współczynników uzyskuje się dla

$$a_1 = a_2 = 2\xi + 1 \qquad \text{dla } \xi \in \langle 0,1\rangle , \tag{14}$$

gdzie ξ jest współczynnikiem tłumienia pierwiastków zespolonych tego wielomianu. Uwzględniając zależność (14) otrzymuje się z porównania współczynników przy tych samych potęgach wielomianów (12) i(13) zależności na dobór nastaw układu regulacji prędkości

$$k_\omega = \tau_{m1}\omega_e^2\left\{1 + \tau_\mu\left[\frac{2\xi - \tau_\mu\left(2\xi^2 + \xi - 0,5\right)}{\omega_e^2} - 1\right]\right\}, \tag{15}$$

$$k_\omega\left(1 + k_2\right) = \frac{\tau_{m1}\omega_e^2}{\left(2\xi + 1\right)\omega_f^2}\left\{1 + \frac{\tau_\mu}{\omega_e^2}\left[\tau_\mu\left(\xi + 0,5\right) - 1\right]\right\}, \tag{16}$$

przy czym musi być spełnione równanie

$$\left[\omega_e^2 + 2\xi\left(2\xi + 1\right) - 1\right]\left(2\xi + 1\right)\left(\tau_\mu\omega_e\right)^2 - 8\omega_e\xi\left(\xi + 1\right)\left(\tau_\mu\omega_e\right) +$$

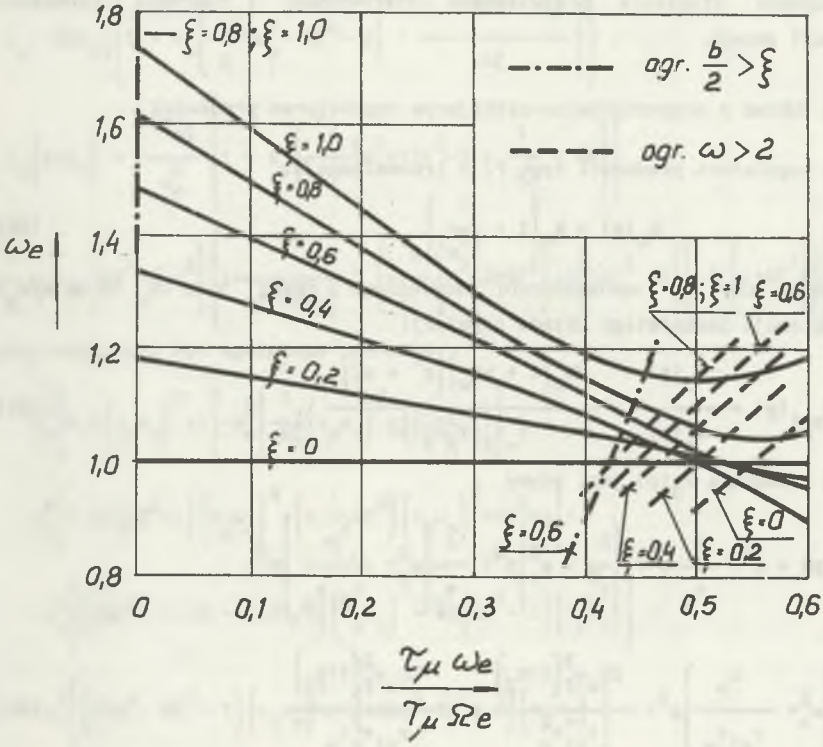
$$+ 2\omega_e^2\left(2\xi + 1 - \omega_e^2\right) = 0 \quad . \tag{17}$$

Wartości współczynników dla pierwiastków niesterowanych:

$$\omega^2 = 2/\tau_\mu^2 + \omega_e^2 + 2\left(2\xi + 1\right)\left(\xi - 1/\tau_\mu\right) , \tag{18}$$

$$b\omega = 2/\tau_\mu - 2\xi - 1 \tag{19}$$

Wykres zależności $\omega_e = f(\tau_\mu \omega_e) = f(T_\mu \Omega_e)$ otrzymany na podstawie równania (17) dla różnych wartości współczynnika tłumienia ξ przedstawiono na rys.3.



Rys.3. Zależność względnej pulsacji ω_e od iloczynu $T_\mu \Omega_e$ dla napędu z regulatorem prędkości typu P

Fig.3. Dependence of relative oscillations frequency ω_e of coefficient $T_\mu \Omega_e$ for the drive with P action speed controller

Znając ω_e można wyznaczyć $\omega_o = \Omega_e/\omega_e$ a następnie parametry ω_f, τ_μ oraz τ_{m1}.

Na rys.3 przedstawiono również ograniczenia wynikające z warunku, by pierwiastki niesterowane nie pogarszały własności dynamicznych napędu.

Przyjęto następujące warunki:

- szybkości działania $\omega > 2$,
- tłumienia $b/2 > \xi$.

W napędzie z regulatorem prędkości typu P dla współczynników tłumienia $\xi<0,6$ silniej działa ograniczenie wynikające z warunku niepogorszenia szybkości działania układu: na rys,3 przedstawiono jego przebieg linią przerywaną. Dla współczynnika tłumienia pierwiastków sterowanych $\xi>\sqrt{2}/2$ współczynnik tłumienia pierwiastków niesterowanych jest mniejszy aniżeli współczynnik tłumienia pierwiastków sterowanych i określa tłumienie oscylacji napędu.

3.2. Układ z proporcjonalno-całkującym regulatorem prędkości

Dla regulatora prędkości typu PI o transmitancji

$$G_\omega(s) = k_\omega\left(1 + \frac{1}{sT_\omega}\right) \tag{20}$$

otrzymuje się po wprowadzeniu względnego czasu $\tau = t\omega_o$ $(p = s/\omega_o)$ transmitancję zamkniętego układu regulacji

$$G_{z\omega 1}(p) = \frac{\omega_1(p)}{\omega_z(p)} = \frac{2k_\omega\left(1 + p\tau_\omega\right)\left(p^2 + \omega_f^2\right)}{\tau_\omega\tau_{m1}\tau_\mu^2 M_3(p)} , \tag{21}$$

której mianownik $M_3(p)$ jest równy

$$M_3(p) = p^6 + \frac{2}{\tau_\mu}p^5 + \left(\frac{2}{\tau_\mu^2} + \omega_e^2\right)p^4 + \frac{2}{\tau_\mu}\left(\omega_e^2 + \frac{k_\omega}{\tau_{m1}\tau_\mu}\right)p^3 +$$

$$+ \frac{2}{\tau_\mu^2}\left(\omega_e^2 + \frac{k_\omega}{\tau_{m1}\tau_\omega}\right)p^2 + \frac{2k_\omega\omega_f^2\left(1+k_2\right)}{\tau_{m1}\tau_\mu^2}p + \frac{2k_\omega\omega_f^2\left(1+k_2\right)}{\tau_{m1}\tau_\mu^2\tau_\omega} \tag{22}$$

gdzie; $\tau_\omega = T_\omega\omega_o$.

Mianownik $M_3(p)$ można przedstawić w postaci

$$M_3(p) = \left(p^4 + a_1p^3 + a_2p^2 + a_3p + 1\right)\left(p^2 + b\omega p + \omega^2\right) \tag{23}$$

W wielomianie $p^4+a_1p^3+a_2p^2+a_3p+1=0$ maksymalne tłumienie pierwiastków, przy określonej wartości jednego z współczynników, uzyskuje się jeżeli

$$a_1 = a_3 = 2\sqrt{a_2 - 2} = 4\xi \qquad \text{dla } \xi \in \langle 0,1\rangle . \tag{24}$$

(Współczynnik tłumienia ξ wszystkich czterech pierwiastków jest wtedy jednakowy.)

Z wyrażeń (22) i (23) i (24) otrzymuje się zależności na obliczanie parametrów układu regulacji z regulatorem prędkości typu PI

$$k_\omega = 4\xi\tau_{m1}\left\{1 + \tau_\mu\left[\frac{\tau_\mu}{2}\left(\omega_e^2 + 8\xi^2 - 3\right) + \frac{2 - 12\xi^2 - \omega_e^2}{4\xi}\right]\right\} . \tag{25}$$

$$k_\omega\left(1+k_2\right) = \frac{4\xi\tau_{m1}}{\omega_f^2}\left\{1 + \tau_\mu\left[\frac{\tau_\mu}{2}\left(\omega_e^2+12\xi^2-3\right) + \frac{1}{4\xi} - 4\xi\right]\right\} . \tag{26}$$

$$\frac{k_\omega}{\tau_\omega} = \tau_{m1}\left(4\xi^2+2-\omega_e^2\right)\left\{1+\frac{\tau_\mu}{4\xi^2+2-\omega_e^2} \cdot \left\{\frac{\tau_\mu}{2}\left[\omega_e^2\left(2+4\xi^2\right)+3\left(16\xi^4 - 1\right)\right] - 4\xi\left(1+4\xi^2\right)\right\}\right\} \tag{27}$$

przy czym musi być spełnione równanie

$$\omega_e^6\left[0,5\left(\tau_\mu\omega_e\right)^2+1\right] - \omega_e^5\left[\frac{1}{8\xi}\left(\tau_\mu\omega_e\right)^3 + 4\xi\left(\tau_\mu\omega_e\right)\right] +$$

$$-\omega_e^4\left[0,25\left(4\xi^2+1\right)\left(\tau_\mu\omega_e\right)^4 + \left(1,5-2\xi^2\right)\left(\tau_\mu\omega_e\right)^2 + 4\xi^2+1\right] +$$

$$+\omega_e^3\left[\left(16\xi^3 + 0.5\xi + 0,25/\xi\right)\left(\tau_\mu\omega_e\right)^3 + 4\xi\left(8\xi^2 + 1\right)\left(\tau_\mu\omega_e\right)\right] +$$

$$-\omega_e^2\left[\left(24\xi^4 - 2\xi^2 - 1\right)\left(\tau_\mu\omega_e\right)^4 + \left(112\xi^4 - 4\xi^2 - 1\right)\left(\tau_\mu\omega_e\right)^2\right] +$$

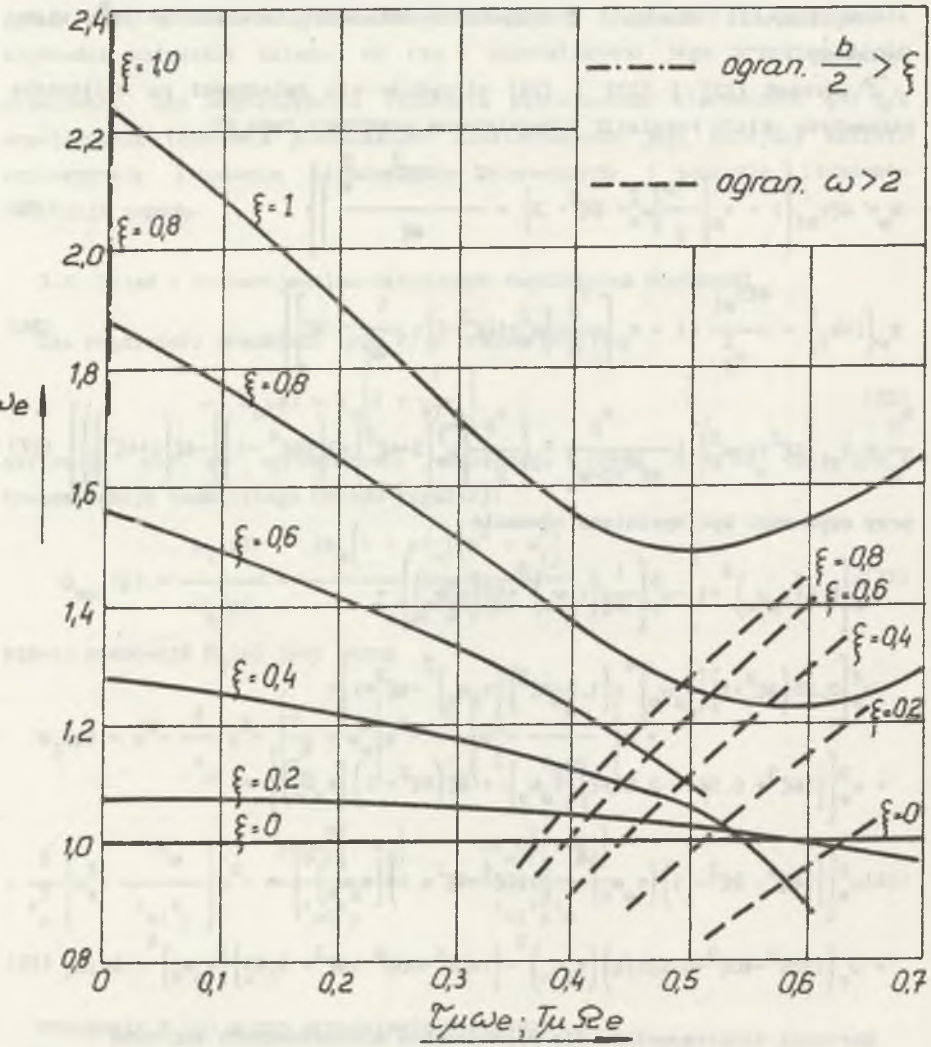
$$+\omega_e\left(192\xi^5 - 40\xi^3 - 0,125/\xi\right)\left(\tau_\mu\omega_e\right)^3 - \left(144\xi^6 - 60\xi^4 + 4\xi^2 + 0,75\right)\left(\tau_\mu\omega_e\right)^4 = 0. \tag{28}$$

Wartości współczynników dla pierwiastków niesterowanych sa równe

$$\omega^2 = \omega_e^2 + 2/\tau_\mu^2 + 4\xi\left(3\xi - 2/\tau_\mu\right) - 2 , \tag{29}$$

$$b\omega = 2/\tau_\mu - 4\xi . \tag{30}$$

Na rys.4 przedstawiono otrzymany na podstawie równania (28) wykres zależności $\omega_e=f(\tau_\mu\omega_e)$ dla różnych wartości współczynnika tłumienia ξ z zaznaczonymi ograniczeniami wynikającymi z warunków aby pierwiastki niesterowane nie pogarszały własności dynamicznych napędu.



Rys.4. Zależność względnej pulsacji ω_e od iloczynu $T_\mu\Omega_e$ dla napędu z regulatorem prędkości typu PI

Fig.4. Dependence of relative oscillations frequency ω_e of coefficient $T_\mu\Omega_e$ for the drive with PI action speed controller

4. NAPĘD ZE SPRZĘŻENIEM OD PRĘDKOŚCI Ω_1

Jeżeli w napędzie nie ma możliwości wprowadzenia dodatkowego sprzężenia zwrotnego od prędkości mechanizmu Ω_2, wtedy współczynnik tłumienia ξ nie może być dowolnie dobrany. Przedstawiona w punkcie 3 metoda umożliwia w tym przypadku dobór nastaw regulatora prędkości dających maksymalne tłumienie oscylacji dla określonych parametrów obiektu regulacji. Wartości współczynnika tłumienia uzyskuje się z zależności określających parametry regulatora po uwzględnieniu, że $k_2 = 0$.

Dla napędu z regulatorem prędkości typu P z porównania zależności (15) i (16) dla $k_2=0$ otrzymuje się po przekształceniach równanie

$$8\omega_e^2\left(\tau_\mu\omega_e\right)^2\xi^3 + 8\omega_e^2\left(\tau_\mu\omega_e\right)\left[\left(\tau_\mu\omega_e\right) - \omega_e\right]\xi^2 +$$

$$+ 2\left[2\omega_e^3\left(\tau_\mu\omega_e\right)\left(\omega_e^2 - 1\right) - 2\omega_e^6 + \left(\tau_\mu\omega_e\right)^2\left(\frac{\omega_e}{\omega_f}\right)^2\right]\xi - 2\omega_e^6 +$$

$$+ \omega_e^2\left(\tau_\mu\omega_e\right)\left[2\omega_e^3 - \left(\tau_\mu\omega_e\right)\right] + \left(\frac{\omega_e}{\omega_f}\right)^2\left[2\omega_e^4 - 2\omega_e\left(\tau_\mu\omega_e\right) + \left(\tau_\mu\omega_e\right)^2\right] = 0 \,. \tag{31}$$

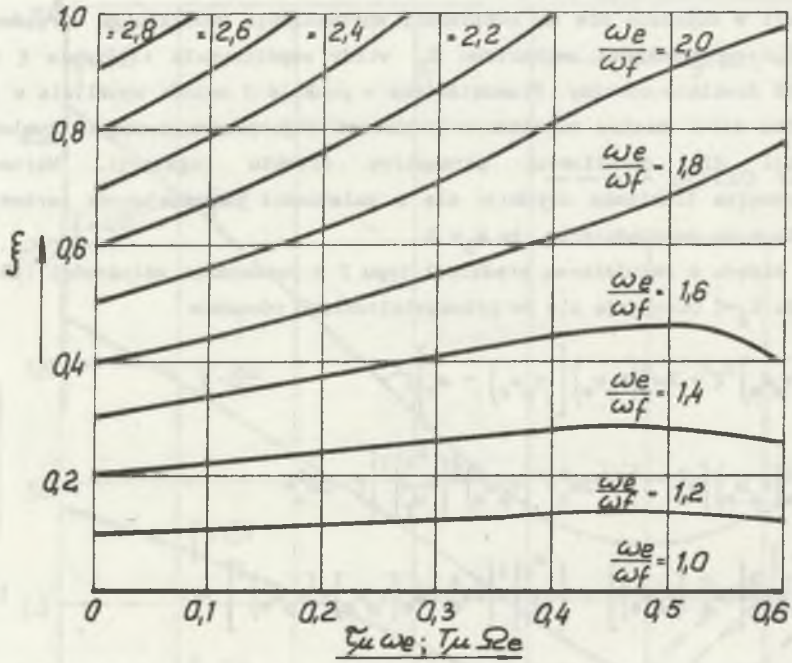
Na podstawie równań (31) i (17) otrzymuje się zależność $\xi=f(T_\mu\Omega_e)$ dla $k_2=0$ oraz $(\omega_e/\omega_f)=(J_1+J_2)/J_1=\text{const.}$ którą przedstawiono na rys.5. Współczynnik tłumienia ξ jest w tym przypadku zależny od parametrów układu mechanicznego (J_1, J_2, c) oraz od stałej czasowej zamkniętego obwodu regulacji prądu T_μ.

Analogicznie dla regulatora prędkości typu PI z zależności (25) i (26) dla $k_2=0$ otrzymuje się

$$8\xi^3\left(\tau_\mu\omega_e\right)^2\left[3\left(\omega_e/\omega_f\right)^2 - 2\omega_e^2\right] - 4\xi^2\left(\tau_\mu\omega_e\right)\omega_e\left[4\left(\omega_e/\omega_f\right)^2 - 3\omega_e^2\right] +$$

$$+ 4\xi\left[\left(\omega_e/\omega_f\right)^2 - \omega_e^2\right]\left[\omega_e^2 + 0{,}5\left(\omega_e^2 - 3\right)\left(\tau_\mu\omega_e\right)^2\right] +$$

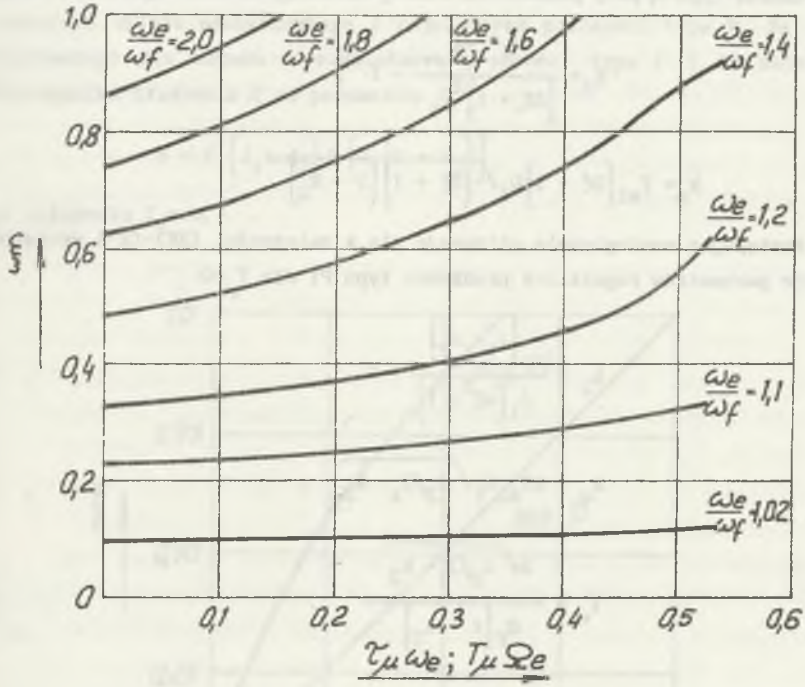
$$+ \omega_e\left(\tau_\mu\omega_e\right)\left[\left(\omega_e/\omega_f\right)^2 - \omega_e^2\left(2 - \omega_e^2\right)\right] = 0 \,. \tag{32}$$



Rys. 5. Zależność współczynnika tłumienia ξ od iloczynu $T_\mu \Omega_e$ dla napędu z regulatorem prędkości typu P i sprzężeniem od prędkości Ω_1

Fig. 5. Dependence of damping coefficient ξ of coefficient $T_\mu \Omega_e$ for the drive with P speed controller and speed Ω_1 feedback control

Na podstawie równań (28) i (32) otrzymuje się przedstawiony na rys. 6 wykres zależności współczynnika $\xi = f(\tau_\mu \omega_e)$ dla parametru $\omega_e/\omega_f = (J_1 + J_2)/J_1 = \text{const}$.



Rys.6. Zależność współczynnika tłumienia ξ od iloczynu $T_\mu\Omega_e$ dla napędu z regulatorem prędkości typu PI i sprzężeniem od prędkości Ω_1

Fig.6. Dependence of damping coefficient ξ of coefficient $T_\mu\Omega_e$ for the drive with PI speed controller and speed Ω_1 feedback control

5. OBLICZANIE NASTAW OBWODU REGULACJI PRĘDKOŚCI W PRZYPADKU POMIJALNIE MAŁEJ STAŁEJ CZASOWEJ T_μ

Jeżeli wartość iloczynu $(T_\mu\Omega_e)$ jest bliska zeru można w obliczeniach pominąć stałą czasową zamkniętego obwodu regulacji momentu silnika, tj. przyjąć $T_\mu=0$. Podstawiając w równaniach (15)-(20) $\tau_\mu=0$ oraz zauważając na podstawie zależności (10), że dla $T_\mu=0$

$$\omega_o=\left[\frac{k_\omega\Omega_f^2\left(1+k_2\right)}{T_{m1}}\right]^{\left(\frac{1}{3}\right)} \tag{33}$$

otrzymuje się wyrażenia na dobór parametrów układu regulacji z regulatorem prędkości typu P, przy pominięciu stałej czasowej obwodu regulacji momentu

$$k_2 = \frac{J_1 + J_2}{\left(2\xi + 1\right)^2 J_1} - 1 \quad , \tag{34}$$

$$k_\omega = T_{m1}\left(2\xi + 1\right)\Omega_f\sqrt{\left(2\xi + 1\right)\left(1 + k_2\right)} \quad . \tag{35}$$

Postępując analogicznie otrzymuje się z zależności (25)-(27) wyrażenia na dobór parametrów regulatora prędkości typu PI dla T_μ=0:

$$k_2 = \frac{\left(J_1 + J_2\right)}{J_1\left(4\xi^2 + 1\right)} - 1 \quad , \tag{36}$$

$$k_\omega = 2T_{m1}\Omega_f\sqrt{J_2/J_1 - k_2} \quad , \tag{37}$$

$$T_\omega = \frac{2\sqrt{J_2/J_1 - k_2}}{\Omega_f\left(1 + k_2\right)} \quad . \tag{38}$$

5. WNIOSKI

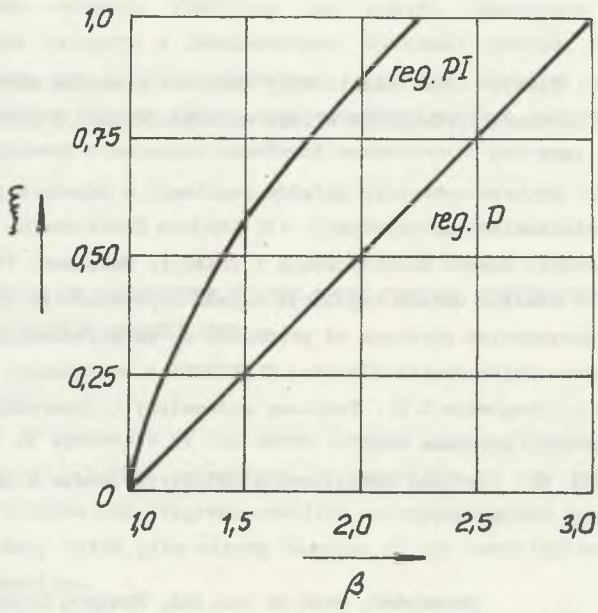
W artykule przedstawiono zależności i wykresy pozwalające dobrać nastawy regulatora prędkości w napędach z połączeniami sprężystymi. W przypadku układu z dodatkowym sprzężeniem od prędkości mechanizmu Ω_2 możliwe jest uzyskanie dużego tłumienia oscylacji spowodowanych obecnością elementu elastycznego, którego maksymalna wartość $\xi=\sqrt{2}/2$ ograniczona jest współczynnikiem tłumienia pierwiastków niesterowanych. Punktem wyjścia w doborze nastaw jest w tym przypadku żądana wartość tłumienia ξ.

Jeżeli w napędzie na wejście regulatora prędkości wprowadzono sprzężenie tylko od prędkości silnika Ω_1 uzyskanie dowolnego tłumienia w układzie nie jest możliwe. Szczególnie w przypadku, gdy moment bezwładności J_2 jest mały w porównaniu z J_1, tłumienie może być niewystarczające.

W przypadku sprzężenia tylko od prędkości Ω_1 tłumienie w napędzie z regulatorem prędkości typu PI jest większe aniżeli w napędzie o identycznych parametrach układu mechanicznego z regulatorem prędkości typu P. Na rys.7 przedstawiono dla napędu z regulatorem prędkości typu P i PI zależność współczynnika tłumienia ξ od parametru

$$\beta = \sqrt{\left(J_1 + J_2\right) / \left[J_1\left(1 + k_2\right)\right]} \tag{39}$$

przy założeniu $T_\mu = 0$.



Rys.7. Zależność współczynnika tłumienia ξ od parametru β dla napędu z regulatorem prędkości typu P i PI

Fig.7. Dependence of damping coefficient ξ of parameter β for the drive with both P and PI speed controllers

W analizie układu i przy doborze nastaw regulatora prędkości uwzględniono inercję obwodu regulacji momentu silnika. Z wykresów przedstawionych na rys.5 i rys.6 wynika, że w układzie ze sprzężeniem od prędkości Ω_1 wzrost stałej czasowej T_μ obwodu regulacji momentu powoduje przy niezmienionych parametrach układu mechanicznego zwiększenie tłumienia oscylacji napędu.

W napędzie z regulatorem prędkości typu PI, o nastawach dobranych z podanych w artykule zależności, istnieje silne forsowanie przebiegów spowodowane obecnością członu $(1+s\tau_{\mu})$ w mianowniku transmitancji operatorowej (21) i powodujące duże przeregulowanie prędkości w odpowiedzi na skok jednostkowy prędkości zadanej. Dlatego w tym przypadku należy ograniczyć szybkość narastania sygnału zadającego, lub w torze zadawania prędkości zastosować filtr inercyjny o stałej czasowej równej stałej całkowania T_{ω} regulatora prędkości.

LITERATURA

[1] Burgin B. S.: Sintiez DEMS stabilizacij skorosti mietodom modalnogo uprawlienia, Awtomatizirowannyje eliektromiechaniczeskije sistiemy, Nowosybirsk 1979.

[2] Gierlotka K.: Synteza wybranych układów regulacji w napędach prądu stałego z połączeniami sprężystymi, III Krajowa Konferencja Energoelektroniki Napędu Elektrycznego i Trakcji, Warszawa, 1984.

[3] Gierlotka K.: Analiza układu regulacji napędu z połączeniem sprężystym z dodatkowym sprzężeniem zwrotnym od prędkości ω_2 za połączeniem sprężystym, Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej ELEKTRYKA z.94 Gliwice, 1985.

[4] Krasowski A.A.,Pospiełow G.S.: Podstawy automatyki i cybernetyki technicznej, WNT, Warszawa 1965.

[5] Sokolowskij G. G.: Sistiema uprawlienija eliektropriwodom s uprugostju, Elektriczestwo, 1984, Nr.1.

Recenzent: prof.dr hab.inż. Ryszard Kozioł

Wpłynęło do Redakcji dnia 18 maja 1990 r.

РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ КОНТУРА ПРЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ С УПРУГИМИ СВЯЗЯМИ

Р е з ю м е

В статье представлен метод синтеза системы регулирования электропривода с механической упругой связью. Приведены формулы и диаграммы делающие возможным подбор параметров системы регулирования, которые обеспечивают большое демпфирование колебаний вызваных упругой связью.

А анализе учитивается влияние передаточной функции контура регулирования момента гвигателя на расчёт параметров системы регулирования скорости и демпфирование колебаний привода. Приведены также формулы для расчёта параметров регулятора скорости в слычае, когда постоянноя времени контура прегулирования момента двигателя очень мала по сравнению с периодом колебаний механической системы.

THE CALCULATION OF PARAMETERS OF THE SPEED CONTROL SYSTEM FOR THE ELECTRIC DRIVES WITH ELASTIC CONNECTIONS

S u m m a r y

A method of synthesis of the speed control system for the electric drive with mechanical elastic connection is described in the paper. There are presented formulas and diagrams enabling to calculate the parameters of the control system, which give strong damping of the oscillations owing to the elastic connection.

The effect of the closed-loop transfer function of a torque control system both on the calculating of the speed control system parameters and on the damping of the drive oscillations is taken into account.

Formulas for calculation of the speed control system parameters in the case then the time constant of the closed-loop torque control system is very small in comparison with the oscillations period of the mechanical system are given too.