ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLASKIEJ

sylectored i podobnie jak

atnashasna claoni ala an

Seria: AUTOMATYKA z. 9

Nr kol. 216

JERZY DABROWA

Katedra Konstrukcji Aparatów Automatyki

ANALIZA STATYCZNA INDUKCYJNEGO PRZETWORNIKA KĄTA NA NAPIĘCIE

Streszczenie. Opisano zastosowanie i działanie przetwornika indukcyjnego w układach regulacji automatycznej. Podano opis konstrukcji.

Matycznej. Podano opis ionstrukcji. Przeanalizowano pracę przetwornika w oparciu o elektromagnetyczny schemat przestrzenny. Wyprowadzono zależność między napięciem wyjściowym a kątem obrotu. Podano analizę błędów amplitudowo-fazowych. Przedstawiono wyniki badań doświadczalnych.

1. Wstep

W nowoczesnych urządzeniach i układach pomiarowych i kontrolnych dla określenia położeń kątowych przy pomocy elektrycznych sygnałów wyjściowych, stosuje się specjalne typy przetworników. Można podzielić je na dwie grupy: stykowe (oporowe) i bezstykowe. Do przetworników stykowych zaliczamy ogólnie znane i powszechnie stosowane potencjometry drutowe. Wykazują one j dnak szereg wad takich jak: zużywanie się szczotek i drutu, skokowe narastanie napięcia, mała czułość napięciowa, ograniczony ruch obrotowy itp. Z powodu tych wad potencjometry drutowe nie nadają się do współpracy z czułymi układami elektronicznymi.

Drugą grupę przetworników stanowią przetworniki bezstykowe. Charakteryzują się one wysoką sprawnością i niezawodnoscią działania, długim okresem pracy oraz stałcścią charakterystyk wyjściowych w szerokim zakresie trudnych zewnętrznych (klimatycznych elektrycznych i mechanicznych) warunków pracy. Do przetworników tych zalicza się bezstykowe przetworniki fotoelektryczne, pojemnościowe i indukcyjne

Przetworniki fotoelektryczne pracują w wąskim zakresie temperaturowym, mają niski poziom mocy wyjściowej i podobnie jak przetworniki pojemnościowe wymagają dużego wzmocnienia sygnału wyjściowego.

Natomiast przetworniki indukcyjne mają odpowiednio wysoki poziom mocy wyjściowej, a uzyskane sygnały wyjściowe bez dodatkowych wzmocnień mogą sterować odpowiednimi obwodami aparatury elektronicznej.

Dzięki tym zaletom znacznie zmniejsza się koszty urządzenia oraz poprawia się liniowość na skutek zmniejszenia liczby nieliniowych elementów składowych.

Opisany w niniejszej pracy przetwornik indukcyjny przeznaczony jest dla określania położenia kątowego wału przy pomocy wyjściowego sygnału napięciowego.

2. Budowa przetwornika

Schemat konstrukcji omawianego przetwornika indukcyjnego podaje rys. 1. Przetwornik składa się z dwóch ruchomych względem



Rys. 1. Schemat ideowy przetwornika

siebie części: stojana i wirnika. Obwód magnetyczny stojana wykonany jest z trzech pierścieni (1,2,3) wprasowanych w niemagnetyczny korpus (4), w którym umieszczone są poprzeczne pa-

Analiza statyczna indukcyjnego przetwornika kąta ...

kiety magnetyczne (5). Na pierścieniu środkowym (2) nawinięte jest uzwojenie (11) połączone jak na rys. 2. Końce tego uzwojenia wyprowadzone są na zewnątrz przez otwór w korpusie.





Obwód magnetyczny wirnika podobnie jak stojana składa się również z trzech pierścieni magnetycznych (6,7,8) osadzonych na wale (9), w którym w miejscu osadzenia pierścieni wstawiono pakiet magnetyczny (10) stanowiący zworę magnetyczną dla strumienia φ . Uzwojenie wtórne (wyjściowe) (12) nawinięto na środkowym pierścieniu wirnika (7), a jego końce wyprowadzono przez wydrążony otwór w wale.

Wszystkie pakiety magnetyczne stojana i wirnika wykonane są z blachy permolojowej o grubości 0,1 mm i sklejone szelakiem. Szelak stanowi równocześnie izolację pomiędzy blachami. Grubość pierścieniowych pakietów środkowych stojana i wirnika (2 i 7) jest dwa razy większa od grubości pakietów bocznych (1,3,6 i 8).

3. Zasada działania

Uzwojenie pierwotne przetwornika zasilane jest z generatora akustycznego napięciem zmiennym, sinusoidalnym o dowolnej częstotliwości. Częstotliwość napięcia zasilania dobiera się w zależności od wymagań stawianych układowi, w którym pracuje przetwornik. Zasadę działania przetwornika przeanalizujemy w oparciu o schemat podany na rys. 1. Foloženie wirnika względem stojana pokazane na rys. 1.przedstawia stan wyjściowy przetwornika. Strumienie wzbudzające $\varphi_{11}^{(1)}$ i $\varphi_{14}^{(1)}$ indukują w jednej połowie uzwojenia wirnika sem równe i przeciwnie skierowane, w wyniku czego napięcie wyjściowe jest równe zeru. Obracając następnie wirnikiem o zadany kąt w granicach od 0° do 90° powodujemy zmianę obejmowanych przez uzwojenie wtórne strumieni. Jeden z nich rośnie drugi maleje, w zależności od kierunku obracania wirnikiem. Ponieważ strumienie te są teraz różne ($\varphi^{(1)} \pm \varphi^{(1)}$) zatem $x_1 \qquad x_4$ indukują różne sem w obwodzie wtórnym. Do obwodu tego podłączona jest opornosć obciążenia Z_{ob}, dzięki czemu popłynie prąd i₂, który wywoła na oporności obciążenia spadek napięcia równy napięciu wyjściowemu u₂.

Konstrukcja przetwornika może zapewnić liniową zmianę sygnału wyjściowego y przy zmianie sygnału wejściowego x:

 $\mathbf{y} = \mathbf{c} \cdot \mathbf{x} \,. \tag{1}$

Jeżeli sygnałem wejściowym jest kąt ¢, zaś sygnałem wyjściowym napięcie u₂ (zbierane z oporności obciążenia Z_{ob}), wówczas równanie (1) można napisać ogólnie:

 $u_2 = f(\alpha)$. (2)

stotlinger. Crestoris

Wierność odtwarzania sygnału u₂ przy zmianie sygnału o będzie też w dużej mierze zależeć od technologii i precyzji wykonania przetwornika. Staranna obróbka poszczególnych elementow składowych, staranne nawinięcie uzwojeń i zachowanie równomiernej szczeliny wzdłuż całego obwodu to czynniki wpływające na poprawną pracę przetwornika.

4. Równanie wyjściowe

Równanie wyjściowe przetwornika wyprowadzone przy założeniach

 a) obwód mągnetyczny jest nienasycony o stałej przenikalności πagnetycznej μ = const, -

Analiza statyczna indeukcyjnego przetwornika kąta ...

- b) zachowana jest równomierna szczelina powietrzna wzdłuż całego obwodu,
- c) pominięte są straty w rdzeniu magnetycznym przetwornika jako znikomo małe,
- d) zachowana jest symetria magnetyczna i elektryczna względem obydwóch osi przetwornika,

podane jest w pracy [1]. Wyprowadzono go w oparciu o rozwinięty schemat elektromagnetyczny ważny dla dowolnych przebiegów i przedstawiony na rys. 3.



Rys. 3. Rozwinięty schemat elektromagnetyczny

Jeżeli przez u₁ oznaczymy napięcie zasilania (wartość chwilowa), a poprzez u₂ napięcie na oporności obciążenia Z_{ob} przetwornika oraz skorzystamy z używanych powszechnie oznaczeń, wówczas ogólne równania koła napięć (rys. 3) możemy napisać:

 $u_1 = u_{rs} + u_{s1} + e_1[V]$ (3) $u_2 = -u_{r2} - u_{s2} - e_2[V],$ (4)

gdzie:

$u_{r1} = 2u_{rI}$	- spadek napięcia na oporności czynnej całego uzwojenia pierwotnego i wtórnego (wartość
u _{r2} = 2u _{rII}	chwilowa) w [V],
$u_{s1} = 2u_{s1}$	- spadek napięcia na oporności rozproszenia ca- lego uzwojenia pierwotnego i wtórnego (war-
$u_{g2} = 2u_{gII}$	tość chwilowa) w [V],
$e_1 = 2e_I$ $e_2 = 2e_{II}$	wotnym i wtórnym (wartość chwilowa) w [V].

Wartości indukowanych sem e₁ i e₂ zależą od budowy przetwornika oraz od kąta wychylenia wirnika względem stojana. Przyjmiemy (zgodnie z założeniem) stałą przewodność magnetyczną wzdłuż całego obwodu przetwornika.



Rys. 4. Obrót wirnika względem stojana o "x"

Wartości wypadkowych strumieni cząstkowych φ_{x1} i φ_{x2} przenikających uzwojenia stojana i wirnika zależą od położenia wirnika względem stojana, a więc zależą od położenia osi uzwojenia wirnika względem osi uzwojenia wzbudzenia (stojana) (rys. 4). Możemy więc powiedzieć, że wzajemne sprzężenie uzwojeń zależy od parametru x. Tak więc odpowiednie liniozwoje można napisać

$$\Psi_{g1} = i_1 L_{g1} - i_2 M(x)$$
 [Wb] (5)

$$\Psi_{g2} = -i_2 L_{g2} + i_1 M(x) [Wb],$$
 (6)

gdzie:

$$\begin{split} \Psi_{g1} &= 2\Psi_{gI} = 2z_{I} (\Psi_{x1} + \Psi_{x2}) - \text{całkowite liniozwoje uzwojenia pierwotnego w [Wb],} \\ \Psi_{g2} &= 2\Psi_{gII} = 2z_{II} (\Psi_{x1} - \Psi_{x2}) - \text{całkowite liniozwoje uzwojenia wtórnego w [Wb],} \\ \textbf{z}_{1} &= 2z_{I} - \text{całkowita liczba zwojów uzwojenia pierwotne-go,} \\ \textbf{z}_{2} &= 2z_{II} - \text{całkowita liczba zwojów uzwojenia wtórnego,} \\ \Psi_{x1} &= \Psi_{x1}^{(1)} - \Psi_{x1}^{(2)} - \text{wypadkowy strumień magnetyczny (war-tość chwilowa) na długości (\frac{T}{2} + x) (rys. 4) w [Wb],} \\ \Psi_{x2} &= \Psi_{x2}^{(1)} - \Psi_{x2}^{(2)} - \text{wypadkowy strumień magnetyczny (war-tość chwilowa) na długości [(T/2)-x] w [Wb],} \end{split}$$

Analiza	statyczna	indukcyjnego	przetwornika	kąta
---------	-----------	--------------	--------------	------

φ (1) x1	 strumień magnetyczny uzwojenia pierwotnego na dłu- gości [T/2) + x] (wartość chwilowa) w [Wb],
φ _{x2} ⁽¹⁾	- strumień magnetyczny uzwojenia pierwotnego na dłu- gości [T/2) - x] (wartość chwilowa) w [Wb],
φ (2) x1	- strumień magnetyczny uzwojenia wtórnego na dłu- gość [T/2) + x] (wartość chwilowa) w [Wb],
φ (2) x2	- strumień magnetyczny uzwojenia wtórnego na długo- ści [T/2) - x] (wartość chwilowa) w [Wb],
i ₁	- prąd pierwotny (wartość chwilowa), w [A],
iz	- prąd wtórny (wartość chwilowa) w [A],
r ^{g1}	 indukcyjność własna główna uzwojenia pierwotnego w [H],
L _{g2}	- indukcyjność własna główna uzwojenia wtórnego w [H]
M(x)	- indukcyjność wzajemna uzwojeń w [H].

W równaniach (5) i (6) indukcyjność własna główna L_{g1} i L_{g2} oraz wzajemna M(x) wynoszą:

$$\mathbf{L}_{g1} = i \quad \mathbf{z}_{\mathbf{I}}^2 \Lambda \tau \qquad [H] \qquad (7)$$

$$L_{g2} = 2 z_{II}^2 \Lambda \tau$$
 [H] (8)

$$\mathbf{M}(\mathbf{x}) = 4 \mathbf{z}_{\mathbf{I}} \mathbf{z}_{\mathbf{II}} \mathbf{\Lambda} \mathbf{x} \qquad [H] \qquad (9)$$

gdzie: A - jednostkowa przewodność magnetyczna w szczelinie w [H],

- T podziałka biegunowa w [m],
- x wychylenie wirnika w [m].

Jeśli teraz wprowadzimy znany i ważny dla dowolnych przebiegów związek między przepływami

$$i_1 z_1 - i_2 z_2 = i_0 z_1$$
 (10)

sprowadzimy parametry strony 2 na stronę 1 oraz uwzględnimy (5) i (6) dla x = T/2 to otrzymamy układ równań

$$u_1 = r_1 i_1 + L_{s1} \frac{di_1}{dt} + L_{g1} \frac{di_0}{dt} [V]$$
 (11)

$$u_2 = -r_2 i_2 - L_{s2} \frac{di_2}{dt} - L_{g1} \frac{di_0}{dt} [V]$$
 (12)

$$i_0 = i_1 - i_2$$
 [A] (13)

Równaniom tym odpowiada schemat zastępczy podany na rys. 5. Dla przebiegów sinusoidalnie zmiennych równania (11) do (13) przyjmą postać:

$$\hat{\mathbf{U}}_{1} = \mathbf{r}_{1} \hat{\mathbf{I}}_{1} + j \omega \mathbf{L}_{s1} \hat{\mathbf{I}}_{1} + j \omega \mathbf{L}_{g1} \hat{\mathbf{I}}_{o}$$
 [V] (14)

$$\hat{U}_{2} = -r_{2} \hat{I}_{2} - j\omega L_{s2} \hat{I}_{2} - j\omega L_{g1} \hat{I}_{0} \quad [V] \quad (15)$$

$$\hat{1}_{0} = \hat{1}_{1} - \hat{1}_{2}^{\prime}$$
 [A] (16)





lub

$$\hat{U}_{1} = \hat{Z}_{1} \hat{I}_{1} + \hat{E}_{1} \qquad [V] \qquad (17)$$
$$\hat{U}_{2}' = -\hat{Z}_{2}'\hat{I}_{2}' - \hat{E}_{2}' \qquad [V] \qquad (18)$$

Analiza statyczna indekcyjnego przetwornika kąta

W równaniu (17) i (18) siły elektromotoryczne wynoszą:

$$\hat{\mathbf{E}}_{1} = \mathbf{j} \boldsymbol{\omega} \boldsymbol{\psi}_{g1} \qquad [\mathbf{v}] \qquad (19)$$
$$\hat{\mathbf{E}}_{2}^{*} = -\mathbf{j} \boldsymbol{\omega} \boldsymbol{\psi}_{g2}^{*} \qquad [\mathbf{v}] \qquad (20)$$



Jeżeli schemat zastępczy przetwornika z rys. 5 patrząc od strona zacisków A'X' przedstawimy jak na rys. 6 i uwzględnimy dównania (5)...(9) wówczas odpowiednie zależności dla sem przyjmą postać

Rys. 5. Uproszczony schemat zastępczy przetwornika

$$\hat{\mathbf{E}}_{1} = j\omega(2\hat{\mathbf{I}}_{1} \ \mathbf{z}_{\mathbf{I}}^{2} \wedge \mathbf{T} - 4 \ \hat{\mathbf{I}}_{2} \ \mathbf{z}_{\mathbf{I}} \ \mathbf{z}_{\mathbf{II}} \wedge \mathbf{x}) \ [\nabla] \ (21)$$

$$\mathbf{E}_{2} = -j\omega(2\hat{\mathbf{I}}_{2} \ \mathbf{z}_{\mathbf{II}}^{2} \wedge \mathbf{T} - 4 \ \hat{\mathbf{I}}_{1} \mathbf{z}_{\mathbf{I}} \ \mathbf{z}_{\mathbf{II}} \wedge \mathbf{x}) \ [\nabla] \ (22)$$
Disać w innej postaci a mianowicie:

Równanie (21) możemy zapisać w innej postaci a mianowicie:

$$\hat{E}_{1} = \hat{Z}_{w} \hat{I}_{1},$$
 [V] (23)

gdzie:

Z_w - oporność równoważna całego obwodu z rys. 5 widziana od strony zacisków A' X'.

Z równości (21) i (23) wynika

 $\hat{z}_{w} \hat{i}_{1} = 2 j \omega \hat{i}_{1} z_{I}^{2} \Lambda \tau - 4 j \omega \hat{i}_{2} \cdot z_{I} z_{II} \Lambda x [V] (24)$ Wartość prądu w obwodzie wtórnym I₂ obliczyć możemy z zależności

$$\hat{1}_2 = \frac{E_2}{Z_2}$$
 [A] (25)

gdzie:

 $\hat{z}_2 = \hat{z}_{s2} + \hat{z}_{ob}$

Podstawiając równanie (22) do (25) otrzymujemy

$$\hat{I}_{2} = \frac{4j\omega \hat{I}_{1} z_{I} z_{II} \Lambda x}{\hat{Z}_{2} + 2j\omega z_{II}^{2} \Lambda t}$$
 [A] (26)

Zaś po uwzględnieniu równań (24) i (26) dostaniemy

$$\hat{z}_{w} = 2j\omega z_{I}^{2} \wedge (\tau - \frac{8j\omega z_{II}^{2} \wedge x^{2}}{\hat{z}_{2} + 2j\omega z_{II}^{2} \wedge \tau}) \qquad [\Omega] \quad (27)$$

Jeżeli przetwornik znajdzie się w położeniu wyjściowym (x = 0), wówczas jak wynika z równania (27) oporność zastępczą zastępczą stanowi tylko oporność magnesowania obwodu, czyli

$$\hat{z}_{w\mu} = 2j\omega z_{I}^{2} \Lambda T = 2j x_{\mu}$$
 [2] (28)

Wyrażenie (28) jest prawdziwe również przy obciążeniu przetwornika opornością $Z_{ob} = \infty$, dla x \neq 0. Korzystając z proporcji

$$\frac{x}{\frac{1}{2}} = \frac{\alpha}{90}$$
 (29)

równanie (27) piszemy w postaci

$$\hat{z}_{w} = 2j x_{\mu} \left[1 - \frac{2 j x_{\mu}}{\hat{z}_{2}' + 2 j x_{\mu}} \left(\frac{\alpha}{90} \right)^{2} \right] \quad [\Omega] \quad (30)$$

Możemy więc teraz narisać równanie koła napięć przetwornika patrząc od strony zacisków AX

$$\hat{U}_1 = (\hat{Z}_{s1} + \hat{Z}_w) \hat{I}_1$$
 [V] (31)

gdzie:

$$\hat{z}_{s1} = r_1 + j X_{s1}$$
.

Obliczając I₁ z równania (31) i podstawiając go do (26) przy równoczesnym uwzględnieniu (27) otrzymujemy zależność wyjściową w postaci

$$\hat{U}_{2} = \frac{\hat{U}_{1}}{\sqrt[d]{2}} \frac{(\frac{d}{90})}{(\frac{\hat{Z}_{s1}}{2jX_{\mu}} + 1)(\frac{\hat{Z}_{s2}}{\hat{Z}_{ob}} + 1) + \frac{\hat{Z}_{s1}}{\hat{Z}_{ob}} + \frac{2jX_{\mu}}{\hat{Z}_{ob}} \left[1 - (\frac{d}{90})^{2}\right]}$$
(32)

Analiza statyczna indukcyjnego przetwornika kąta...

Z otrzymanego równania (32) wynika, że napięcie \hat{U}_2 będzie wzrastać liniowo ze zmianą kąta obrotu α przy stałym kącie ℓ_2 , tylko przy biegu jałowym ($Z_2 = \infty$). Wówczas błędy amplitudowofazowe będą równe zeru.

Jeżeli teraz przetwornik obciążymy opornością \hat{Z}_{ob} , to w mianowniku równania (32) pojawi się człon ze współczynnikiem α^2 , który wprowadzi nieliniowość do przebiegu $U_2 = f(\alpha)$. Wpływ obciążenia będzie tym nniejszy im większa będzie oporność obciążenia w porównaniu z opornością przetwornika widzianą od strony zacisków wyjściowych. Rów ież, co łatwo wykazać, wyrażenia na \hat{I}_1 oraz \hat{Z}_w nie zależą od kąta obrotu wirnika tylko przy biegu jałowym, natomiast zmieniają się ze zmianą α przy obciążeniu.

5. Bledy amplitudowo-fazowe

Napięcie wyjściowe przetwornika podane równaniem (32) można przedstawić zależnością:

$$\hat{v}_2 = \frac{\hat{v}_1}{N} \frac{\hat{v}_2}{M(\alpha)}$$
 [V] (33.)

gdzie:

$$M(\alpha) = (\frac{\hat{Z}_{s2}}{\hat{Z}_{ob}} + 1) \left(\frac{\hat{Z}_{s1}}{2jX_{\mu}} + 1\right) + \frac{\hat{Z}_{s1}}{\hat{Z}_{ob}} + \frac{2jX_{\mu}}{\hat{Z}_{ob}} \left[1 - (\frac{\alpha}{90})^2\right] \quad (34)$$

Zakładając, że przetwornik jest idealny, bez strat, zachowujący stałą wartość kąta przesunięcia fazowego φ_2 przy peł-



Rys. 7. Charakterystyka wyjściowa

nym obrocie kąta od zera do 90°, możemy przedstawić jego charakterystykę wyjściową jako prostą 1 na rys. 7, Wówczas maksymalne napięcie wyjściowe wystąpi przy kącie $\alpha = \alpha_m =$ = 90°.

W rzeczywistym jednak przetworniku na skutek strat powstałych w obwodzie magnetycz-

nym, asymetrii geometrycznej tego obwodu, błędów technologicznych, zmieniającego się φ_2 przy zmianie kąta α , oddziaływania twornika itp. czynników, rzeczywista charakterystyka wyjścia różni się nieco od idealnej (krzywa 2 na rys. 7). Największe przy tym napięcie wyjściowe wystąpi przy kącie

Dlatego błąd bezwzględny napięcia wyjściowego $\Delta \hat{U}_2$ przy obrocie wirnika od $\alpha = 0$ do $\alpha = \alpha_0$ wyniesie

$$\Delta \hat{v}_2(\alpha) = \hat{v}_{20}(\alpha) - \hat{v}_2(\alpha) \qquad [v] \qquad (35)$$

Korzystając z równania (33) obliczamy

$$\hat{u}_{20}(\alpha') = \frac{\hat{u}_1}{N} \frac{\alpha'}{\mathbf{u}(\alpha'_0)} [v]$$
 (36)

$$\hat{U}_2(\alpha^*) = \frac{U_1}{\delta} \frac{\alpha^*}{\Pi(\alpha^*)} \qquad [\nabla] \qquad (37)$$

gdzie:

 $\alpha' = \frac{\alpha}{90}$ oraz ($0 \le \alpha' \le 1$).



Rys. 8. Wykres wektorowy napięcia wyjściowego

Podstawiając (36) i (37) do (35) po prostych przekształceniach otrzymujemy:

$$\Delta \hat{U}_{2}(\alpha') = \frac{U_{1}}{\sqrt[3]{2}} \frac{2JX_{\mu}}{Z_{ob}^{\prime}} \frac{\alpha'(\alpha_{o}^{\prime})^{2} - \alpha^{2}}{M(\alpha_{o}^{\prime})M(\alpha')} [V] (38)$$

Mianownik równania (32) przy obciążeniach czynnych zależy nieznacznie od kąta o, w związku z czym można w przybliżeniu przyjąć równość

$$\mathbf{M}(\alpha'_{\alpha}) \approx \mathbf{M}(\alpha') = \mathbf{M}$$
(39)

Analiza statyczna indukcyjnego przetwornika kąta ...

Równanie więc (38) przyjnie postać

$$\Delta \hat{U}_{2}(\alpha') = \frac{\hat{U}_{1}}{\sqrt[3]{2}} \frac{2JX_{\mu}}{\hat{Z}_{0b}} \frac{\alpha'(\alpha'_{0}^{2} - \alpha'^{2})}{M^{2}} [V] \quad (40)$$

45

Względny błąd amplitudowy wyniesie

$$\delta \hat{U}_{2a} = \frac{\Delta \hat{U}_{2}(\alpha')}{\hat{U}_{2m}}$$

gdzie:

$$\hat{\mathbf{U}}_{2\mathbf{m}} = \hat{\mathbf{U}}_2(\boldsymbol{\omega}_{\mathbf{m}}^*) = \frac{\mathbf{U}_1}{\boldsymbol{\vartheta}} - \frac{\boldsymbol{\omega}_{\mathbf{m}}^*}{\mathbf{M}} \qquad [\mathbf{V}] \qquad (41)$$

Przy małych wartościach kąta $\Delta \Psi$ pomiędzy napięciami $\hat{U}_{20}(\alpha')$ i $\hat{U}_{2}(\alpha')$ (rys. 8).

 $Ob \approx Oc$

a stad

$$\Delta U_2 = 0a - 0b = ab = \operatorname{Re} \left[\Delta \hat{U}_2(\alpha') \right].$$
 (42)

Zatem względny błąd amplitudowy

$$\delta U_{2a} = \operatorname{Re}\left[\frac{\Delta \hat{U}_{2}(\alpha')}{\hat{U}_{2m}}\right] = \frac{\alpha'(\alpha_{0}'^{2} - \alpha'^{2})}{\alpha'_{m}} \operatorname{Re}\left[\frac{2.1 \times \mu}{\hat{Z}_{0b}}\right]$$
(43)

Aby określić kąt d'dla którego wystąpi maksimum błędu, napiszmy równanie (43) w postaci

$$f(\alpha) = \delta U_{2a} = C \alpha'(\alpha_0^2 - \alpha'^2).$$
 (44)

Korzystając z warunków

$$f'(\alpha') = 0 \ i \ f''(\alpha') < 0$$
 (45)

otrzymamy równanie dla maksimum funkcji w otoczeniu punktu α_{ext}^{*} , które wyniesie

$$\alpha' = \alpha'_{\text{ext}} = \frac{\alpha'_{\text{o}}}{\sqrt{3}} . \tag{46}$$

Rzeczywista charakterystyka $U_2 = f(\alpha)$ (krzywa 2 na rys.7) powinna mieć taki przebieg względem charakterystyki idealnej $U_{20}(\alpha) = f(\alpha)$ (prosta 1 na rys. 7) aby spełniany był warunek

$$\delta U_{2a} (\alpha'_{ext}) = -\delta U_{2a}(\alpha'_{m}).$$
 (47)

Z warunku tego wynika równanie

$$2\alpha_{0}^{3} + 3\sqrt{3} \alpha_{0}^{2}\alpha_{m}^{2} - 3\sqrt{3}\alpha_{m}^{3} = 0.$$
 (48)

Rozwiązanie równania (48) względem o_o daje jeden rzeczywisty pierwiastek równy

$$\alpha'_{0} = 0,865 \alpha'_{m}$$
 (49)

Błąd fazowy napięcia wyjściowego

$$\Delta \Psi = \arg \hat{U}_{20}(\alpha') - \arg U_{2}(\alpha')$$
 (50)

Przy małych przesunięciach fazowych napięć $\hat{U}_{20}(\alpha')$ i $\hat{U}_{2}(\alpha')$ względem siebie

$$\sin \delta \varphi \approx \delta \varphi = \frac{bc}{0c} \,. \tag{51}$$

jeżeli ΔÜ2 jest małe (bliskie zeru) wówczas

$$Oc \approx Oa = 1$$
 (52)

Analiza statyczna indukcyjnego przetwornika kąta ...

zatem błąd kąta przesubięcia napięć

$$\Delta \Psi \approx \frac{bc}{0a} = bc = Im \left[\frac{\Delta \hat{U}_2(\alpha^{\prime})}{\hat{U}_2(\alpha^{\prime})} \right].$$
 (53)

47

Uwzględniając równania (40) i (37) otrzymujemy

$$\Delta \varphi = (\alpha_0^{\prime 2} - \alpha^{\prime 2}) \quad \text{Im} \; \frac{2 \mathbf{j} \mathbf{x}_{\mu}}{\hat{z}_{ob}^{\prime} \mathbf{M}} \;. \tag{54}$$

Stąd obliczyć możemy maksimum błędu, które wystąpi przy

$$\alpha_{\rm ext}^{\circ} = \frac{1}{2} \alpha_{\rm o}^{\circ}$$
 (55)

6. Przykład rozwiązania przetwornika

W oparciu o przedstawioną analizę teoretyczną został zaprojektowany i wykonany w Katedrze Konstrukcji Aparatów Automatyki model przetwornika indukcyjnego o danych:

	napięcie zasilania	25 V	
	napięcie wyjściowe	41 V	
-	częstotliwość znamionowa	8000 Hz	2
-	zakres liniowości: 0÷75°	_ 0,1%	5
	75÷85°	+ 2%	



Rys. 9. Rodzina charakterystyk wyjściowych

Wykonany model przetwornika z powodzeniem można wykorzystać w warunkach pracy znacznie odbiegających od podanych. Przykładowo przedstawiono na rys. 9. rodzinę charakterystyk $U_{wy} =$ = f(α) nieobciążonego przetwornika, przy częstotliwości zmieniającej się od 5 kHz do 40 kHz i napięciu zasilania 10V.

LITERATURA

- [1] Dąbrowa J.: "Bezstykowy indukcyjny przetwornik kąta obrotu na liniowy sygnał elektryczny (BIPL) dla układów automatyki. Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 20-24 czerwca 1967 r. Tom 6 str. 29-40.
- [2] Pulier J.M.: Indukcjonnyje elektromiechaniczeskije elementy wyczyslitielnych i distancjonno-sliediaszczich sister. Maszinostrojenie, Moskwa 1964 r.

СТАТИЧЕ СКИЙ АНАЛИЗ ИНДУКЦИОННОГ О ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ УГЛА ПСВОРОТА НА НАПРЯЖЕНИЕ

Резюме

010

23.6

Описано применение и действие индукционного преобразователя углаповорота в системах автоматического регулирования. Дано описание конструкции.

Проведено анализ работы преобразователя на основе пространственной электромагнитной схемы.

Сделан вывод относительно зависимости между выходным напряжением и углом оборота. Дан анализ амплитудно-фазовых ошибок.

Представлены результаты экспериментальных исследований.

Analiza statyczna indukcyjnego przetwornika kata ...

THE STATIC ANALYSIS OF THE ANGLE INDUCTION TRANSDUCER

Summary

The use and function of a induction transducer in the authomatic regulating system have been presented. The description of the construction has been added. The work of the transducer has been analized in connection with an electromagnetic spatial diagram.

A relation between the output voltage and the rotation angle in derived. The analysis of amplitude phase errors and the results of the experimental tests have been given.

Rękopis złożono v Redakcji w dniu 18.12.1967 r.