

MAREK KRUPA, KAZIMIERZ STOIŃSKI, WŁADYSŁAW PASZEK

GiG-Katowice

Instytut Metrologii i Maszyn Elektrycznych

UKŁAD ODWZOROWANIA WEWNĘTRZNEGO NAPIĘCIA WIRNIKA SILNIKA ASYNCHRONICZNEGO

Streszczenie. Układ odwzorowania wewnętrznego napięcia wirnika silnika asynchronicznego przeznaczony jest do sterowania tyrystorowymi przemiennikami stosowanymi do regulacji prędkości silnika asynchronicznego sterowanego od strony wirnika. Przy jego zastosowaniu uzyskuje się napięcie o stałej amplitudzie, a częstotliwości i fazie zgodnej z wewnętrznym napięciem wirnika silnika asynchronicznego. Układ wykonano w oparciu o półprzewodniki krzemowe oraz selsyn transformatorowy.

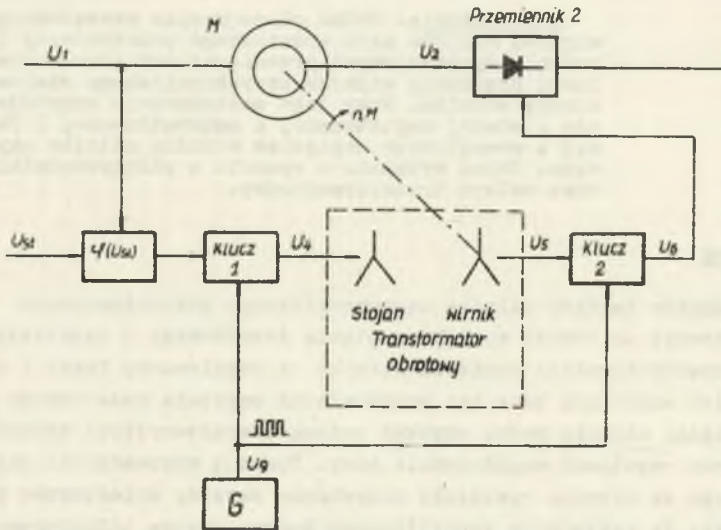
1. Wstęp

Działanie kaskady silnika asynchronicznego pierścieniowego polega na wprowadzeniu do obwodu wirnika napięcia dodatkowego o częstotliwości zgodnej z częstotliwością napięcia wirnika a regulowanej fazie i amplitudzie. Regulując amplitudę oraz kąt przesunięcia napięcia dodatkowego w stosunku do napięcia wirnika można uzyskać zmianę charakterystyki mechanicznej silnika oraz regulować współczynnik mocy. Funkcję wprowadzenia napięcia dodatkowego do wirnika spełniały dotychczas maszyny kolektorowe prądu przemiennego. Ze względu na skomplikowaną budowę maszyn kolektorowych prądu przemiennego układy kaskadowe stosowane są do chwili obecnej w ograniczonym zakresie. Rozwój sterowanych prostowników półprzewodnikowych dużych mocy - tyrystorów stworzył możliwości zastąpienia maszyn kolektorowych prądu przemiennego przez statyczne przetworniki tyrystorowe częstotliwości. Synchronizacji częstotliwości i fazy napięcia przetwornicy tyrystorowej z napięciem wewnętrznym w wirniku silnika asynchronicznego nie można dokonać bezpośrednio, ponieważ przy zbliżaniu się do prędkości synchronicznej napięcie w wirniku silnika asynchronicznego zdąża do zera. Zaistniała zatem potrzeba opracowania układu odwzorowania wewnętrznego napięcia wirnika silnika asynchronicznego co do częstotliwości i fazy a stałej amplitudzie, niezbędnego dla synchronizacji przetwornicy częstotliwości współpracującej z wirnikiem silnika asynchronicznego.

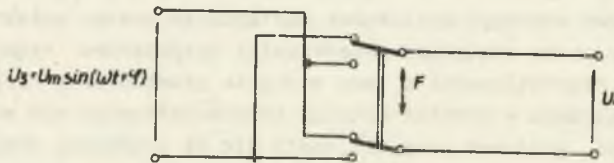
Przedmiotem niniejszego opracowania jest układ odwzorowania wewnętrznego napięcia wirnika silnika asynchronicznego spełniający wyżej wymienione wymagania.

2. Podstawy teoretyczne

Podstawowym elementem układu odwzorowania wewnętrznego napięcia wirnika jest trójfazowy transformator obrotowy, którego stojan i wirnik są trwale złączone z silnikiem asynchronicznym M. Napięcie zasilające stojan silnika asynchronicznego zasila równocześnie poprzez przesuwnik fazowy oraz układ taktujący stojan trójfazowego transformatora obrotowego. Napięcie wyjściowe z transformatora obrotowego poddawane jest ponownemu taktowaniu i otrzymujemy napięcie, którego częstotliwość i faza zgodna jest z napięciem w wirniku silnika asynchronicznego, a amplituda stała niezależna od prędkości obrotowej. Dla tak przyjętych założeń na rys. 1 przedstawiono



Rys. 1. Schemat blokowy układu odwzorowania wewnętrznego napięcia wirnika



Rys. 2. Schematyczne przedstawienie układu taktującego

wiono schemat blokowy układu. Napięcie zasilające stojan silnika asynchronicznego dla fazy R ma postać $U_1(t) = U_m \sin \omega t$, a po przejściu przez przesuwnik sterowany będzie miało postać $U_3(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi)$. Wyjściowe napięcie z przesuwnika fazowego zostaje taktowane z częstotliwością F generatora G w układzie schematycznie przedstawionym na rys. 2. Taktowanie napięcia $U_3(t)$ przebiegiem z generatora G przedstawiono graficznie na rys. 3; możemy to zapisać jako mnożenie, a więc:

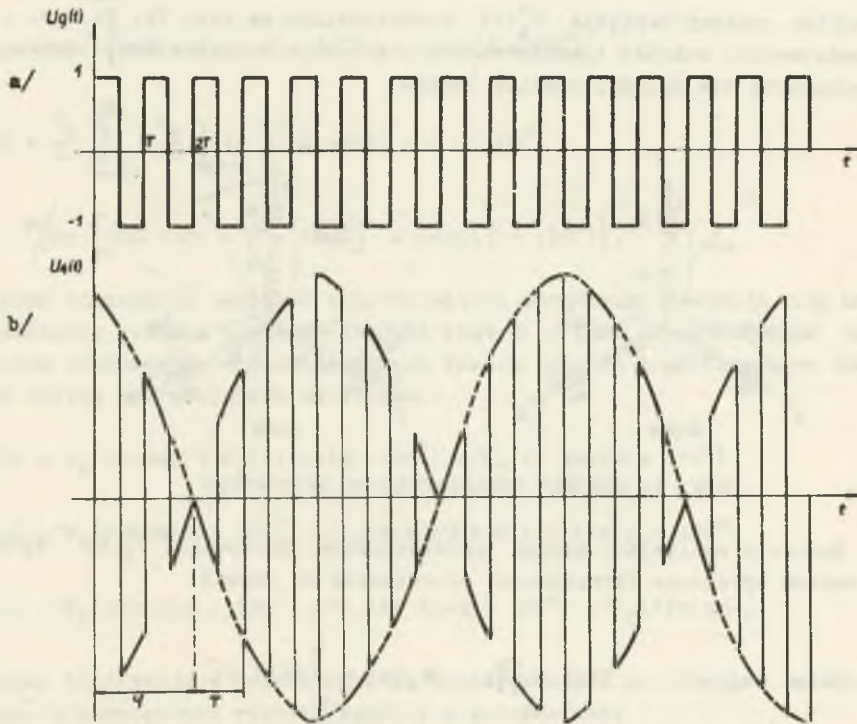
$$U_4(t) = U_3(t) U_g(t).$$

Przedstawiony graficznie na rys. 3a przebieg sygnału taktującego można zapisać następująco:

$$U_g(t) = 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n H(t - n \frac{T}{2})$$

dla $t \geq 0$,

przy czym $H(t)$ - funkcja jednostkowa.



Rys. 3. Przebiegi czasowe sygnałów:

a) taktującego, b) napięcia wyjściowego z układu taktującego

Dla łatwiejszego wykonania przeliczeń sygnał taktujący rozkładamy na szereg Fouriera, a więc $U_g(t)$ będzie miało postać:

$$U_g(t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin n \Omega t,$$

gdzie

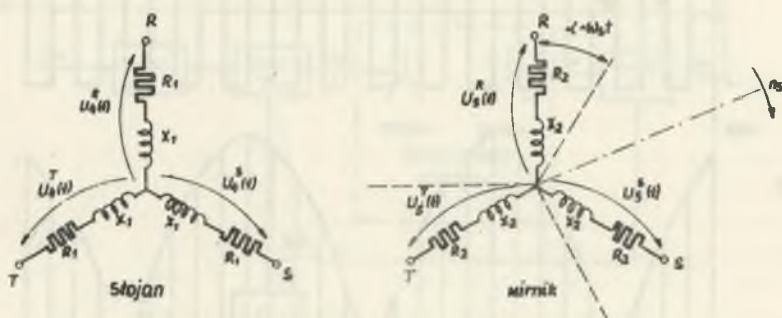
$$a_n = \frac{2}{\pi n} [1 + (-1)^{n+1}]$$

$$\Omega = \frac{2\pi}{T}$$

Mając tak przygotowany sygnał taktujący dokonujemy mnożenia i uzyskujemy napięcie wejściowe na stojan transformatora obrotowego dla fazy R w postaci:

$$U_4^R(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi) \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin n \Omega t.$$

Przebieg czasowy napięcia $U_4^R(t)$ przedstawiono na rys. 3b. Na rys. 4 przedstawiono schemat transformatora obrotowego z naniesionymi napięciami niezbędnymi dla dalszej analizy układu.



Rys. 4. Schemat transformatora obrotowego

Napięcie zasilające stojan transformatora obrotowego $U_4^R(t)$ wytwarza strumień sprzężony (liniozwoje) odpowiednio do równań:

$$U(t) = \frac{d\psi}{dt}; \quad \psi_R(t) = \int_0^t U(t) dt.$$

Dla fazy R liniozwoje stojana transformatora obrotowego:

$$\psi_R(t) = U_m \int_0^t \left[\sin(\omega t + \varphi) \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin n \Omega t \right] dt.$$

Po obliczeniu całki i założeniu, że $\Omega \gg \omega$ otrzymamy wyrażenie na liniozwoje fazy R

$$\Psi_R(t) = \frac{U_m}{2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_n}{n\Omega} \left\{ \sin[(n\Omega - \omega)t - \varphi] - \sin[(n\Omega + \omega)t + \varphi] + 2\sin\varphi \right\}.$$

Przeprowadzając analogiczne obliczenia dla fazy S i T uzyskamy następujące wyrażenia na liniozwoje stojana

$$\Psi_S(t) = \frac{U_m}{2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_n}{n\Omega} \left\{ \sin[(n\Omega - \omega)t - \varphi + 120^\circ] - \right. \\ \left. - \sin[(n\Omega + \omega)t + \varphi - 120^\circ] + 2\sin(\varphi - 120^\circ) \right\}$$

$$\Psi_T(t) = \frac{U_m}{2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_n}{n\Omega} \left\{ \sin[(n\Omega - \omega)t - \varphi - 120^\circ] - \right. \\ \left. - \sin[(n\Omega + \omega)t + \varphi + 120^\circ] + 2\sin(\varphi + 120^\circ) \right\}.$$

Obliczone liniozwoje stojana transformatora obrotowego powodują przy zmianie położenia wirnika względem stojana (kąt α z rys. 4) wytworzenie wypadkowych liniozwojów w poszczególnych fazach wirnika transformatora obrotowego według następujących zależności:

$$\Psi_R^*(t) = \Psi_R(t)\cos\alpha + \Psi_S(t)\cos(\alpha - 120^\circ) + \Psi_T(t)\cos(\alpha + 120^\circ)$$

$$\Psi_S^*(t) = \Psi_R(t)\cos(\alpha + 120^\circ) + \Psi_S(t)\cos\alpha + \Psi_T(t)\cos(\alpha - 120^\circ)$$

$$\Psi_T^*(t) = \Psi_R(t)\cos(\alpha - 120^\circ) + \Psi_S(t)\cos(\alpha + 120^\circ) + \Psi_T(t)\cos\alpha.$$

Obliczone liniozwoje w fazach wirnika transformatora obrotowego indukują napięcie w uzwojeniach wirnika zgodnie z zależnością:

$$U_5(t) = \frac{d\Psi^*(t)}{dt}.$$

Podstawiamy do wzoru na $U_5(t)$ wyrażenia na Ψ_R^* , Ψ_S^* , Ψ_T^* , przyjmując, że kąt $\alpha = \omega_s t$ oraz zakładając, że $\Omega \gg \omega$, ω_s . Po obliczeniu wyrażenia na napięcia wyjściowe wirnika transformatora obrotowego będą miały postać:

$$U_5^R(t) = \frac{3}{4} U_m \frac{z_2}{z_1} \sin [(\omega - \omega_s) t + \varphi] \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n H(t - n \frac{T}{2}) \right]$$

$$U_5^S(t) = \frac{3}{4} U_m \frac{z_2}{z_1} \sin [(\omega - \omega_s) t + \varphi - 120^\circ] \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n H(t - n \frac{T}{2}) \right]$$

$$U_5^T(t) = \frac{3}{4} U_m \frac{z_2}{z_1} \sin [(\omega - \omega_s) t + \varphi + 120^\circ] \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n H(t - n \frac{T}{2}) \right].$$

Ponieważ $\omega - \omega_s = \omega$ widzimy, że uzyskaliśmy przebieg czasowy napięcia podobny do przebiegu napięcia $U_4(t)$ z tym, że obwiednia napięcia $U_5(t)$ posiada okres $T_s = \frac{2\pi}{\omega_s}$. Wyjściowe napięcia wirnika transformatora obrotowego zostają podane na identyczne układy taktujące opisane wcześniej, które wykonują powtarzane mnożenie napięcia wyjściowego przez sygnał taktujący. Dla fazy R uzyskamy zatem:

$$U_6^R(t) = \frac{3}{4} U_m \frac{z_2}{z_1} \sin(\omega t + \varphi) \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n H(t - n \frac{T}{2}) \right]^2,$$

ponieważ wyrażenie $\left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n H(t - n \frac{T}{2}) \right]^2 = 1$

oraz przyjmując, że $U_m' = \frac{3}{4} U_m \frac{z_2}{z_1}$ napięcia wyjściowe po drugim układzie taktującym będą miały postać:

$$U_6^R(t) = U_m' \sin(\omega t + \varphi)$$

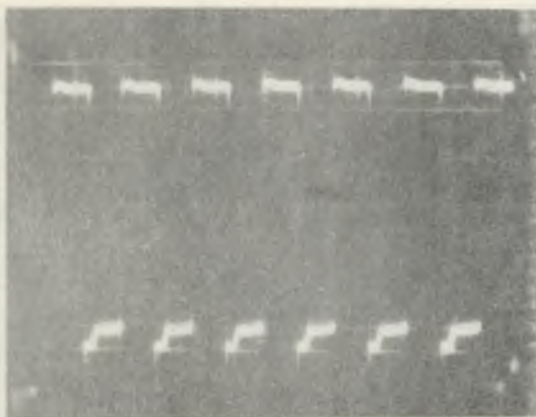
$$U_6^S(t) = U_m' \sin(\omega t + \varphi - 120^\circ)$$

$$U_6^T(t) = U_m' \sin(\omega t + \varphi + 120^\circ).$$

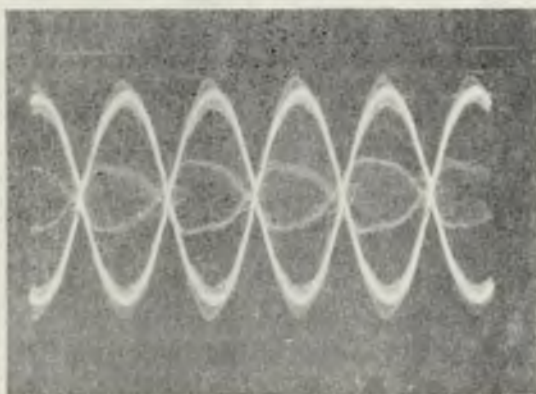
Uzyskaliśmy zatem założony na wstępie przebieg napięcia, którego amplituda jest stała, niezależna od prędkości obrotowej silnika asynchronicznego a częstotliwość i faza są zgodne z częstotliwością i fazą wewnętrznego napięcia wirnika.

3. Wyniki badań modelu układu

Zgodnie z opisanym sposobem wykonano układ odwzorowania wewnętrznego napięcia wirnika silnika asynchronicznego w oparciu o technikę tranzystorową, jako transformator obrotowy użyto selsyn różnicowy typ SR-2. Częstotli-



Rys. 5. Oscylogram napięcia taktującego $U_g(t)$

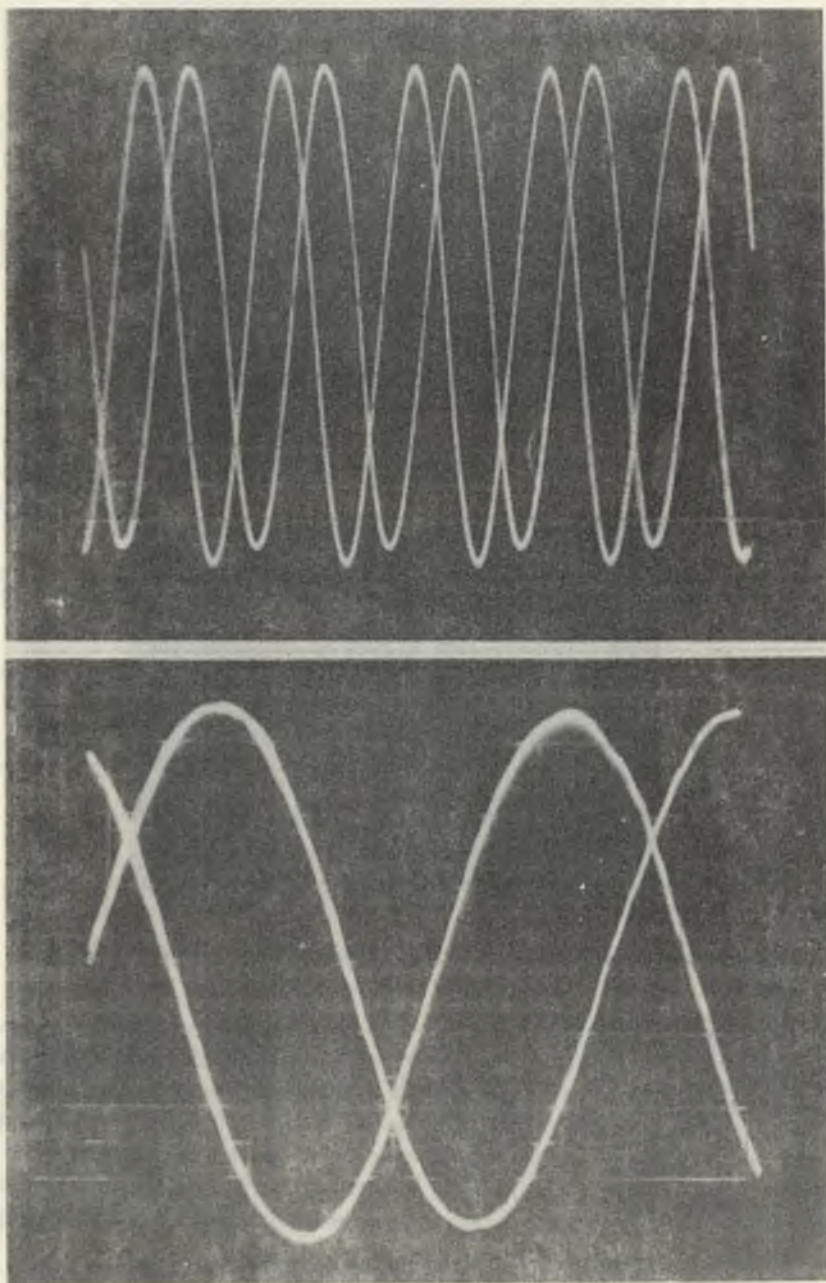


Rys. 6. Oscylogram napięcia zasilającego stojan selsyna $U_4(t)$

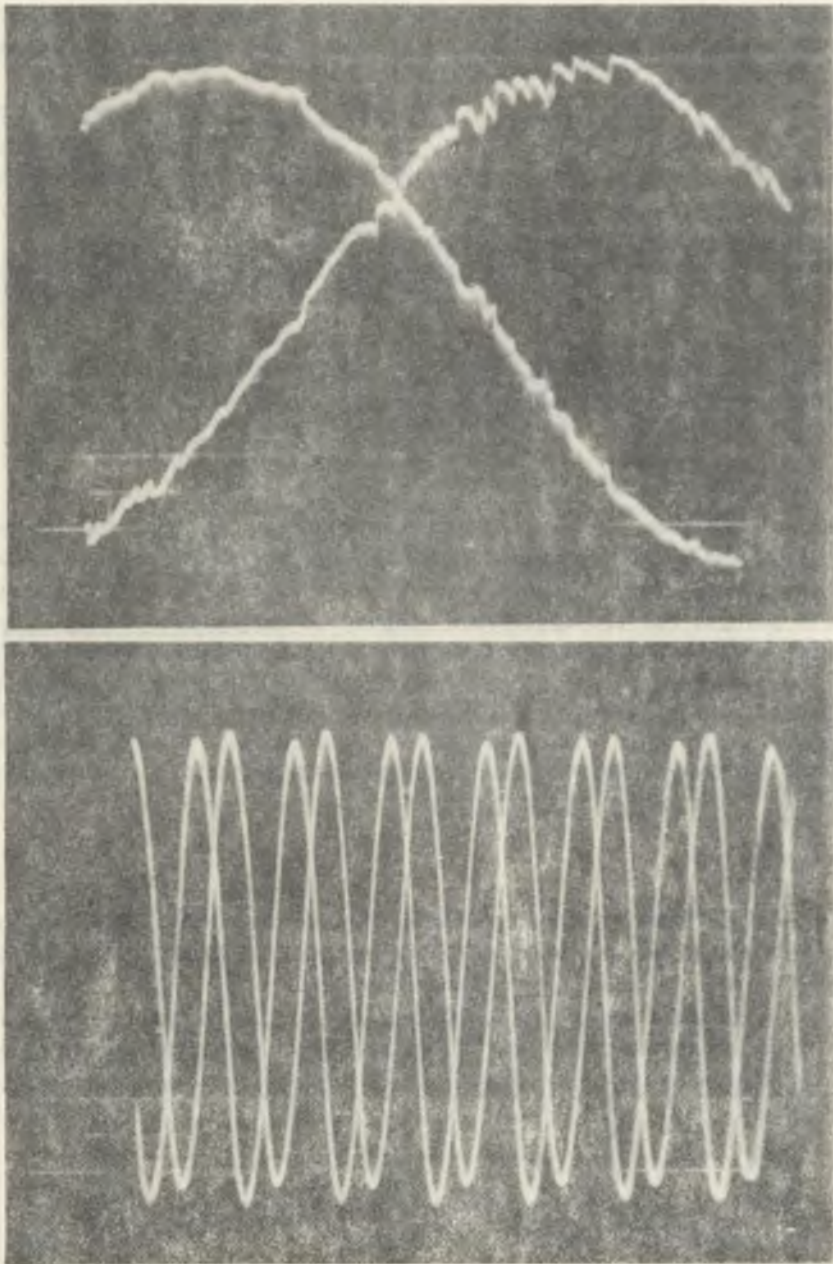
wość taktowania ustalono na około 4000 Hz w oparciu o charakterystykę przenoszenia selsyna. Przebiegi czasowe napięć oznaczono przy użyciu oscyloskopu dwustrumieniowego typu OKD-505 A. Rzeczywisty przebieg napięcia taktującego $U_g(t)$ przedstawiono na rys. 5.

Na rys. 6 przedstawiono przebiegi czasowe napięcia zasilającego stojan selsyna $U_4(t)$. Napięcia wyjściowe układu $U_6(t)$ faz R1S dla różnych prędkości obrotowych wirnika selsyna przedstawiono na rys. 7 dla danych:

a - $n_s =$	0 obr/min	$s =$	1
b - $n_s =$	2160 obr/min	$s =$	0,28
c - $n_s =$	2900 obr/min	$s =$	0,03
d - $n_s =$	-1000 obr/min	$s =$	1,33



Rys. 7. Oscylogramy napięć wyjściowych $U_6(t)$
a) $n_s = 0$ obr/min $S = 1$ t



Rys. 7. Oscylogramy napięć wyjściowych $U_G(t)$

b) $n_S = 2160$ obr/min $S = 0,28$ c) $n_S = 2900$ obr/min $S = 0,03$, d) $n_S = -1000$ obr/min $S = 1,33$

Opisany układ odwzorowania wewnętrznego napięcia wirnika silnika asynchronicznego zastosowano z pełnym powodzeniem do sterowania przemiennikiem tyrystorowym współpracującym z wirnikiem silnika asynchronicznego kaskady tyrystorowej.

LITERATURA

1. Eiichi Ohno, Masahiko Ahamatsu, Speed control of induction motors using self - controlled thyristor inwertes, IFAC 1969 Warszawa.

СИСТЕМА ОТОБРАЖЕНИЯ ВНУТРЕННЕГО НАПРЯЖЕНИЯ РОТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В ТЫРИСТОРНОЙ КАСКАДЕ

Р е з ю м е

Система отображения внутреннего напряжения ротора асинхронного двигателя предназначена для управления тиристорными преобразователями, применяемыми для регулирования скорости асинхронного двигателя управляемого от стороны ротора. При его применении получается напряжение с постоянной амплитудой, а частоте и фазе совпадающей с внутренним напряжением ротора асинхронного двигателя. Система разработана на кремневых полупроводниковых приборах в трансформаторном сельсине.

DEVICE FOR INTERNAL ROTOR VOLTAGE REPRESENTATION OF THE INDUCTION MOTOR IN THYRISTOR CASCADE

S u m m a r y

The system of representation of the rotor asynchronmotor internal voltage is destined for thyristor converter controlling, used for speed regulation of the asynchron motor controlled from rotor side. Applying the above, a constant amplitude of voltage as well as frequency and phase according to the internal voltage of the asynchron motor rotor can be obtained. This system was made by using silicon semiconductors and transformer selsyn.