ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1969
Seria: ELEKTRYKA z. 25 Nr Kol.239

WIESŁAW GABRYŚ, ZYGMUNT KUCZEWSKI
ZBIGNIEW MANTORSKI
Katedra Napędu Elektrycznego

MODEL ANALOGOWY UKŁADU NAPĘDOWEGO DO NASTAWY WALCÓW WALCARKI BLACHY GRUBEJ

Streszczenie. Przedstawiono układ napędowy do nastawy walców walcarki blachy grubej, a następnie jego model analogowy. W oparciu o przebiegi dynamiczne prądu w obwodzie głównym i prędkości obrotowej silników zdjęte w układzie rzeczywistym i na modelu przeprowadzono krótką jakościową analizę i ocenę dokładności z jaką przedstawiony tu model analogowy odzwierciedla własności układu rzeczywistego.

1. Wstęp

Badanie modeli analogowych układów napędowych jest obecnie jedną z najnowocześniejszych metod analizowania stanów przejściowych tych układów. W związku z tym maszyny analogowe znajdują coraz częściej zastosowanie przy projektowaniu zautomatyzowanych układów napędowych, szczególnie przy doborze elementów korekcji i przy optymalizacji tych układów.

Przy analizie zautomatyzowanych układów napędowych na maszynie analogowej o wartości otrzymanych wyników decyduje właściwe zamodelowanie układu, to znaczy takie, przy którym przebiegi otrzymane z maszyny analogowej jak i przebiegi rzeczywiste nie będą się różnić między sobą w istotny sposób.

W niniejszym opracowaniu przedstawiono model analogowy układu napędowego do nastawy walców walcarki blachy grubej zrealizowany przy pomocy maszyny analogowej MA-2 produkcji Zakładów Optyki i Mechaniki Precyzyjnej Politechniki Śląskiej

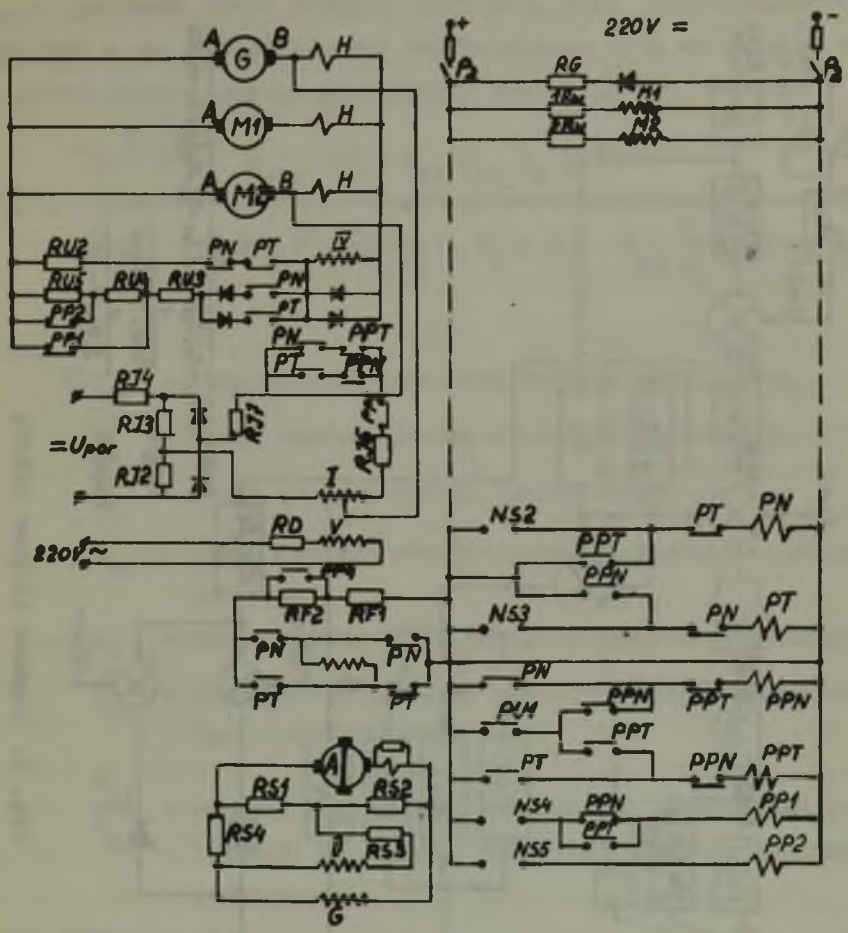
Przy pomocy tego modelu uzyskano przebiegi dynamiczne prędkości obrotowej silników napędowych oraz prądu w obwodzie głównym, następnie porównano je z przebiegami rzeczywistymi w celu stwierdzenia czy przedstawiony tu model w wystarczająco dokładny sposób odpowiada układowi rzeczywistemu.

2. Schemat ideowy i blokowy badanego układu

Analizowany układ napędowy do nastawy walców, którego schemat ideowy przedstawiono na rysunku 1 składa się z dwóch silników napędowych prądu stałego o mocy 150 kW każdy, sprzężonych ze sobą mechanicznie. Twornikі tych silników są połączone równolegle i zasilane są z oddzielnego generatora prądu stałego.

Wzbudzenie silników jest stałe i równe znamionowemu. Generator wzbudzany jest przy pomocy amplidyny, której cztery uwzojenia sterujące zostały wykorzystane jako wejścia dla sygnału zadającego oraz jako wejścia dla następujących sprzężeń zwrotnych: ujemnego sprzężenia napięciowego, ujemnego sprzężenia prądowego z ograniczeniem, dodatniego sprzężenia prądowego i ujemnego sprzężenia różniczkującego, obejmującego tylko samą amplidynę. Regulacja prędkości obrotowej silników odbywa się skokowo (trzy stopnie prędkości) poprzez zwieranie oporności włączonych w szereg z uzwojeniami sterującymi amplidyny: z uzwojeniem zadającym i z uzwojeniem ujemnego sprzężenia zwrotnego napięciowego. Oba sprzężenia prądowe działają na to samo uzwojenie sterujące amplidyny, każde na inną jego połówkę, przy czym sprzężenie prądowe dodatnie działa tylko na pierwszym najniższym stopniu prędkości.

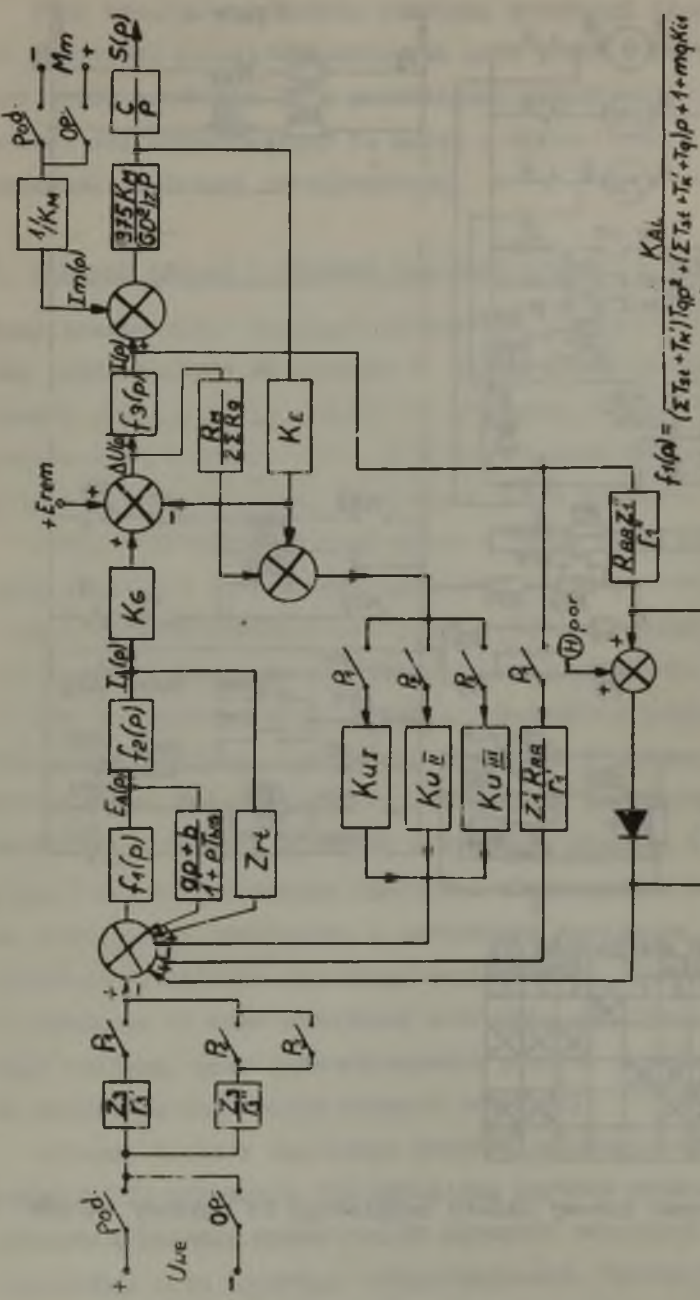
Schemat blokowy opisanego powyżej układu przedstawiono na rysunku 2. Na schemacie tym amplidyna została przedstawiona z uwzględnieniem istnienia wewnętrznych sprzężeń zwrotnych ujemnego proporcjonalnego oraz ujemnego różniczkującego. Oprócz tego w schemacie blokowym uwzględniono stopień skompensowania amplidyny



Program sterownika NS

Nr stuku	Wtut				Naprzód		
	3	2	1	0	1	2	3
NS1				X			
NS2					X	X	X
NS3	X	X	X				
NS4	X	X				X	X
NS5	X						X

Rys. 1. Schemat ideowy układu napędowego do nastawy walców



Rys. 2. Schemat blokowy układu

(z_{rt} - resztkowe zwoje reakcji twornika). Siła elektromotoryczna amplidyny w osi podłużnej przy uwzględnieniu tych wszystkich oddziaływań będzie opisana przy pomocy następującego równania

$$E_A(p) = \frac{K_{Ai} \sum_{stx} \frac{z_{stx}}{R'} U_{stx}(p) - K_{Ai}\, z_{rt}\, I_A(p)}{(\sum T_{st} + T'_k) T_q\, p^2 + (\sum T_{st} + T'_k + T_q + T_{mq} \frac{K'_{i1}}{k'_m}) p + (1 + m_q k_{i1})}$$

gdzie:

$\sum T_{st}$ - suma stałych czasowych obwodów sterujących,

T'_k - stała czasowa obwodu strojenia kompensacji,

T_q - stała czasowa obwodu poprzecznego,

T_{mq} - stała czasowa obwodów zwartych stojana w osi poprzecznej,

m_q - współczynnik wewnętrznego sprzężenia zwrotnego,

K_{Ai} - wypadkowe nachylenie charakterystyki magnesowania amplidyny idealnej,

$\frac{K'_{i1}}{k'_m}$ - współczynnik uwzględniający indukowanie SEM transformacji od obwodów zwartych stojana w uzwojeniach sterujących,

$\sum \frac{z_{st}}{R_{stx}} U_{stx}(p)$ - suma przepływów sterujących amplidyny.

Prąd amplidyny będzie wynosic:

$$I_A(p) = \frac{E_A(p)}{R'_{wG}(1 + p\, T_{wG})}$$

gdzie:

R'_{wG} - zastępcza oporność obwodu wzbudzenia generatora,

T'_{wG} - zastępcza stała czasowa obwodu wzbudzenia generatora

Amplidynę obejmuje zewnętrzne sprzężenie zwrotne różniczkujące z sygnałem stałym zrealizowane przy pomocy niezrównoważonego mostka dynamicznego. Funkcja przejścia tego sprzężenia jest opisana następującym równaniem:

$$K^{*}_{ra}(p) = \frac{ap + b}{1 + p\,T_{wG}}$$

przy czym współczynniki a i b są wielkościami zależnymi od oporności i indukcyjności występujących w mostku dynamicznym

Współczynniki przejścia obwodu ujemnego sprzężenia zwrotnego K_{uI}, K_{uII} i K_{uIII} są funkcjami nieliniowymi w związku z istnieniem w tym obwodzie elementów nieliniowych (prostowniki selenowe).

Oprócz wymienionych powyżej, na schemacie blokowym zostały uwzględnione następujące wielkości:

E_{rem} - napięcie remanentu

K_G - nachylenie charakterystyki magnesowania generatora,

$\sum R_g$ - suma oporności czynnych obwodu głównego,

R_M - całkowita oporność twornika jednego silnika,

T - stała czasowa obwodu głównego,

K_M - stała momentu silnika,

K_E - stała siły elektromotorycznej silnika,

GD^2_{zast} - zastępczy moment zamachowy układu,

$K_{I(+)}$ i $K_{I(-)}$ - współczynnik przejścia w obwodach prądowych sprzężeń zwrotnych,

θ_{por} - przepływ porównawczy.

Przedstawiony na rysunku 2 schemat blokowy uwzględnia również wszystkie trzy stopnie regulacji prędkości obrotowej. Stopniom tym odpowiadają odpowiednio załączone wyłączniki, a więc pierwszemu stopniowi odpowiada załączony wyłącznik P1, drugiemu P2 i trzeciemu P3.

Zależnie od tego czy rozpatrywane przebiegi będą miały miejsce przy podnoszeniu czy też przy opuszczaniu walców będą załączone wyłączniki "Pod" dla podnoszenia lub "Op" dla opuszczania walców.

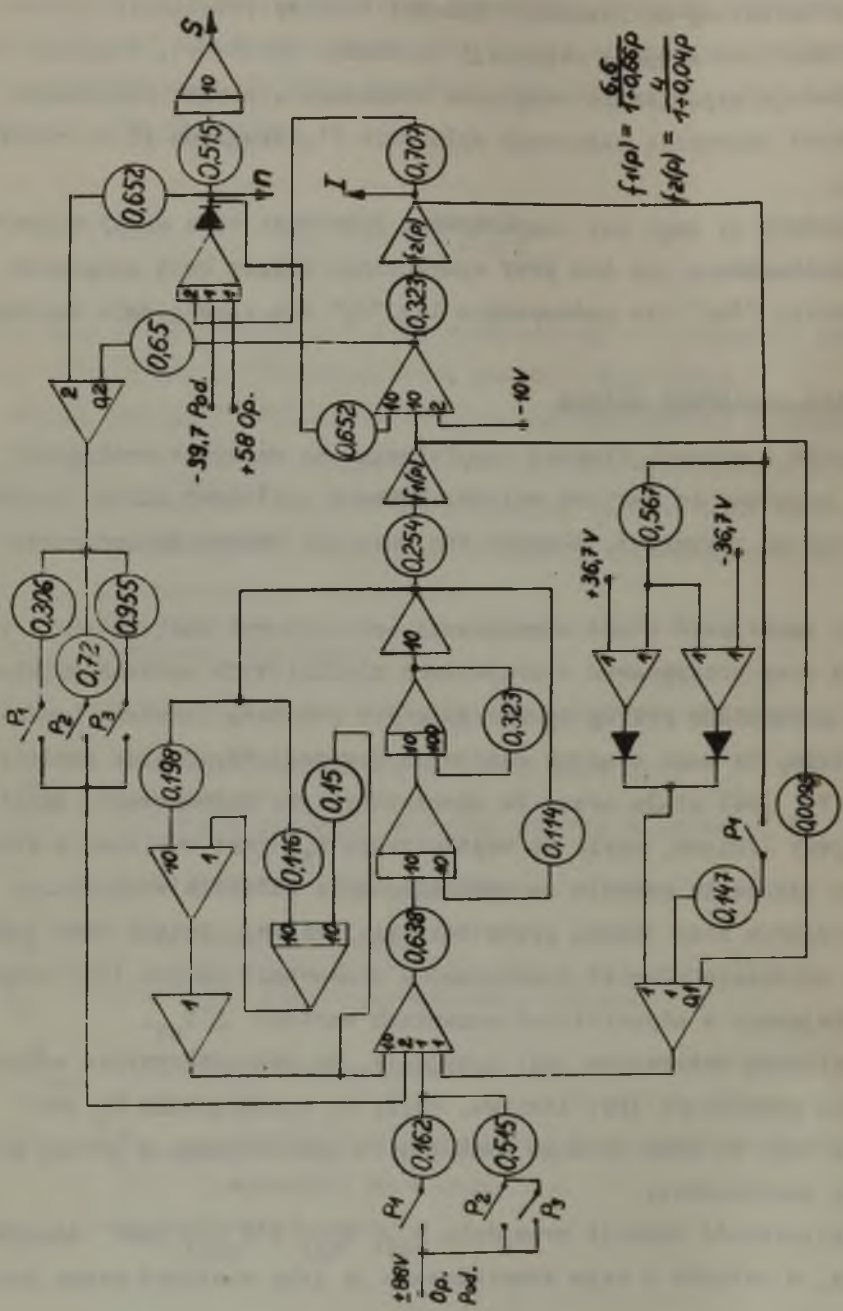
3. Model analogowy układu

W oparciu o schemat blokowy zamodelowano na maszynie analogowej układ napędowy do nastawy walców. Schemat analogowy układu przedstawiono na rysunku 3. Schemat ten jest już schematem uproszczonym.

Aby zmniejszyć ilość wzmacniaczy operacyjnych zastosowanych w modelu oraz zrezygnować z przystawek nieliniowych podczas modelowania poczyniono szereg upraszczających założeń. Założono przede wszystkim, że suma stałych czasowych uzwojeń sterujących amplidyny $\sum T_{st}$ jest stała oraz, że charakterystyka magnesowania amplidyny jest liniowa, czyli że współczynnik K_{Ai} jest wielkością stałą. To założenie pozwala na wyeliminowanie czterech wzmacniaczy operacyjnych oraz jednej przystawki nieliniowej. Dzięki temu założeniu uniknięto również konieczności stosowania układu logicznego zmieniającego w odpowiednich momentach wartość $\sum T_{st}$.

Następnym założeniem jest przyjęcie, że charakterystyka magnesowania generatora jest liniowa, czyli że współczynnik K_G jest stały. Daje to zysk jednego wzmacniacza operacyjnego i jednej przystawki nieliniowej.

Nieliniowość funkcji przejścia K_{uI}, K_{uII} i K_{uIII} jest niezbyt wielka, w związku z czym zamodelowano ją jako wielkość stałą przy



Rys. 3. Schemat analogowy układu

pomocy potencjometrów, a nie przy pomocy przystawek nieliniowych i wzmacniaczy operacyjnych.

Dzięki powyższym założeniom zmniejszono o osiem liczbę wzmacniaczy operacyjnych i nie zastosowano ani jednej przystawki nieliniowej. Przedstawiony na rysunku 3 model składa się jedynie z 16 wzmacniaczy operacyjnych.

Moment obciążenia na modelu został przedstawiony jako wielkość stała inna dla podnoszenia, inna dla opuszczania walców. W rzeczywistości moment jest nieco zależny od prędkości obrotowej silników.

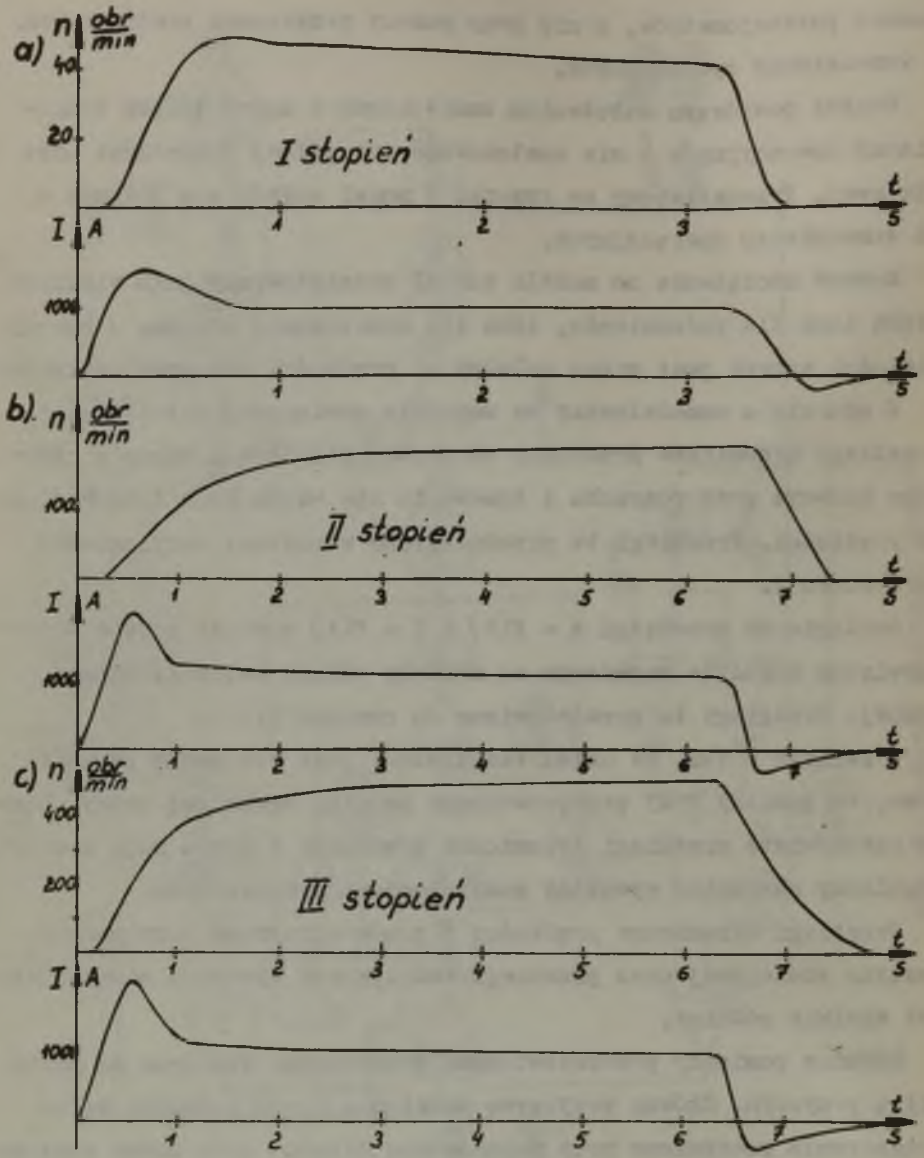
W oparciu o zamodelowany na maszynie analogowej układ zdjęto przebiegi dynamiczne prędkości obrotowej silników i prądu w obwodzie głównym przy rozruchu i hamowaniu dla wszystkich trzech stopni prędkości. Przebiegi te przedstawiono w postaci oscylogramów na rysunku 4.

Analogiczne przebiegi $n = f(t)$ i $I = f(t)$ zostały zdjęte w rzeczywistym układzie napędowym do nastawy walców walcarki blachy grubej. Przegiegi te przedstawiono na rysunku 5.

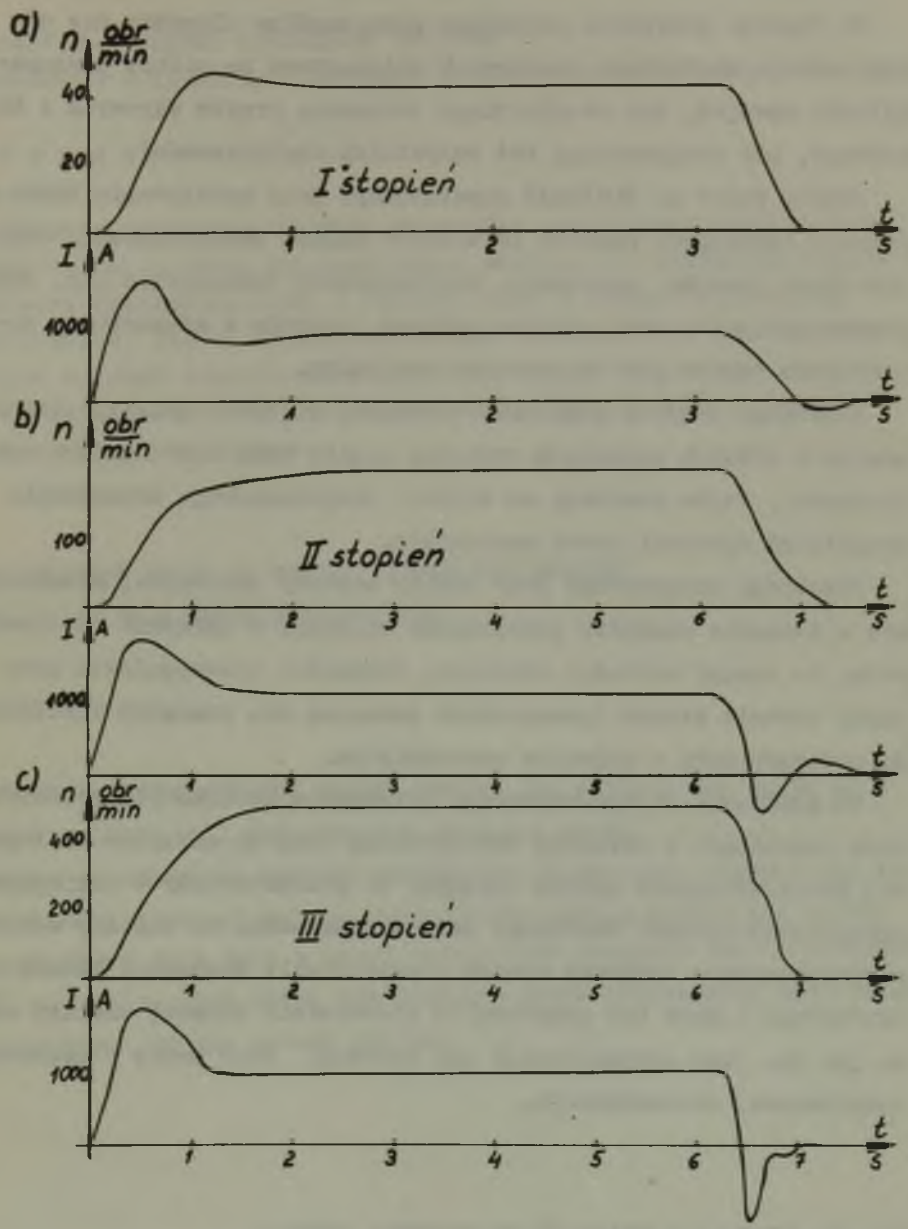
W związku z tym, że układ rzeczywisty jest sterowany ręcznie oraz, że pomiary były przeprowadzone podczas normalnej pracy układu rzeczywiste przebiegi dynamiczne prędkości i prądu mają niezbyt regularny charakter wywołany manipulacjami sterownikiem.

Przebiegi dynamiczne prędkości i prądu otrzymane przy pomocy maszyny analogowej oraz przebiegi rzeczywiste wykazują pewne niezbyt wielkie różnice.

Różnice pomiędzy przedstawionymi przebiegami wywołane są przez kilka przyczyn. Główną przyczyną powstania niedokładności są uproszczenia poczynione przy modelowaniu układu oraz przez samą matematyczną formę zapisu funkcji przejścia poszczególnych elementów układu, które tylko w przybliżony sposób odzwierciedlają własności rzeczywistego układu.



Rys. 4. Przebiegi dynamiczne prędkości obrotowej silników i prądu w obwodzie głównym zdjęte na modelu na maszynie nanalogowej



Rys. 5. Przebiegi dynamiczne prędkości obrotowej i prądu w obwodzie głównym zdjęte w układzie rzeczywistym

Te funkcje przejścia opisujące poszczególne elementy nie uwzględniają wszystkich wzajemnych oddziaływań na siebie poszczególnych uzwojeń, nie uwzględniają istnienia prądów wirowych i histerezy, nie uwzględniają też wszystkich nieliniowości.

Pewien wpływ na wielkość popełnionego przy modelowaniu błędu ma również dokładność pomiaru parametrów układu rzeczywistego, takich jak stałe czasowe, oporności, współczynniki wzmocnienia itp. Błąd popełniony przez samą maszynę podczas liczenia w stosunku do pozostałych błędów jest w zasadnie pomijalny.

Przebiegi prądu i prędkości obrotowej zdjęte w układzie rzeczywistym w różnych momentach wykazują między sobą dość znaczne rozbieżności, które powstają na skutek niejednakowego wykonywania wszystkich operacji przez maszynistę.

Przebiegi otrzymywane przy pomocy maszyny analogowej mieszczą się w zasadzie pomiędzy przebiegami zdjętymi w układzie rzeczywistym, to znaczy wartości ustalone, wielkości przeregulowań oraz czysy trwania stanów dynamicznych mieszczą się pomiędzy wartościami otrzymywanymi w układzie rzeczywistym.

Na podstawie przeprowadzonego porównania otrzymanych przeciętnych przebiegów w układzie rzeczywistym oraz na maszynie analogowej można wyciągnąć ogólny wniosek, że przedstawiony w niniejszym opracowaniu schemat analogowy układu napędowego do nastawy walców w wystarczająco dokładny sposób odzwierciedla własności układu rzeczywistego i może być podstawą do prowadzenia dalszej analizy układu jak np. jego optymalizacji czy korekcji oraz pracy w układzie kompleksowej automatyzacji.

Rękopis złożono w Redakcji we wrześniu 1968 r.

АНАЛОГОВАЯ МОДЕЛЬ ПРИВОДНОЙ СИСТЕМЫ
НАЖИМНОГО УСТРОЙСТВА ТОЛСТОЛИСТОВОГО ПРОКАТНОГО СТАНА

Р е з ю м е

Приведена приводная система нажимного устройства толстолистового стана, а далее ее аналоговая модель. На основании динамического протекания тока в главной цепи и скорости вращения двигателей, снятые в действительной системе и на модели, проведен краткий качественный анализ и оценка точности, с какой представленная здесь аналоговая модель отображает свойства действительной системы.

AN ANALOGUE MODEL OF MOTIVE SYSTEM FOR SETTING
THE ROLLS OF A PLATE ROLLING MILL

S u m m a r y

There was represented the motive system for setting the rolls of a plate rolling mill and then its analogue model.
Basing on dynamical current transients in the main circuit and the rotational speed of motors taken in the actual system and on the model, there were made a short qualitative analysis and an estimate of precision with which the analogue model represented here images properties of the actual system.