ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1978

Seria: ELEKTRYKA z. 62 Nr kol. 573

Andrzej KULESZA, Zbigniew MANTORSKI
Czesław MYRCIK, Jacek T. TOPORKIEWICZ

Politechnika Śląska
Instytut Podstawowych Problemów
Elektrotechniki i Energoelektroniki

ANALIZA DYNAMIKI UKŁADU NAPĘDOWEGO WALCARKI BLACHY GRUBEJ

Streszczenie. W artykule przedstawiono metodę analizy dynamiki układu napędowego walcarki uwzględniającą występujące w nim nieliniowości. Uzyskane wyniki są podstawą do skorygowania struktury regulacyjnej pracującej w istniejącym układzie przemysłowym.

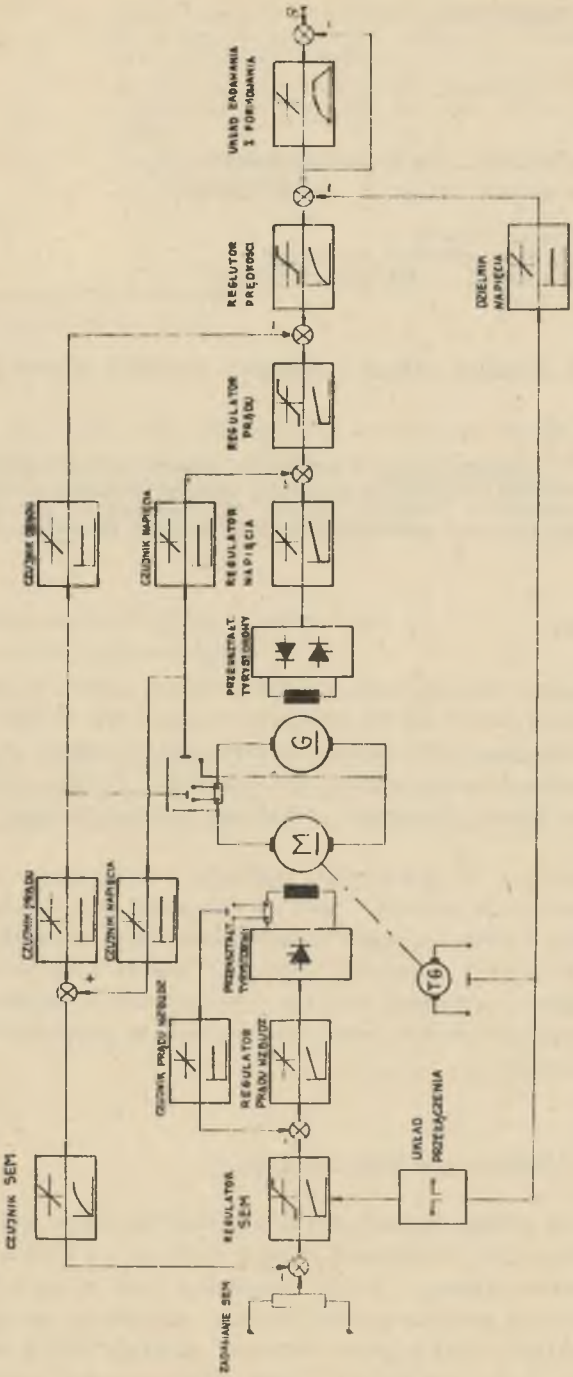
1. Wstęp

W czasie eksploatacji walcarki blachy grubej w jednej z hut zaobserwowano pewne niekorzystne zjawiska w pracy jej napędu głównego występujące zwłaszcza przy prędkościach walcowania większych od 55 obr/min., to jest w obszarze II strefy regulacji prędkości napędu, przy stałym napięciu zasilania obwodu głównego i obniżonym prądzie wzbudzenia silników napędowych.

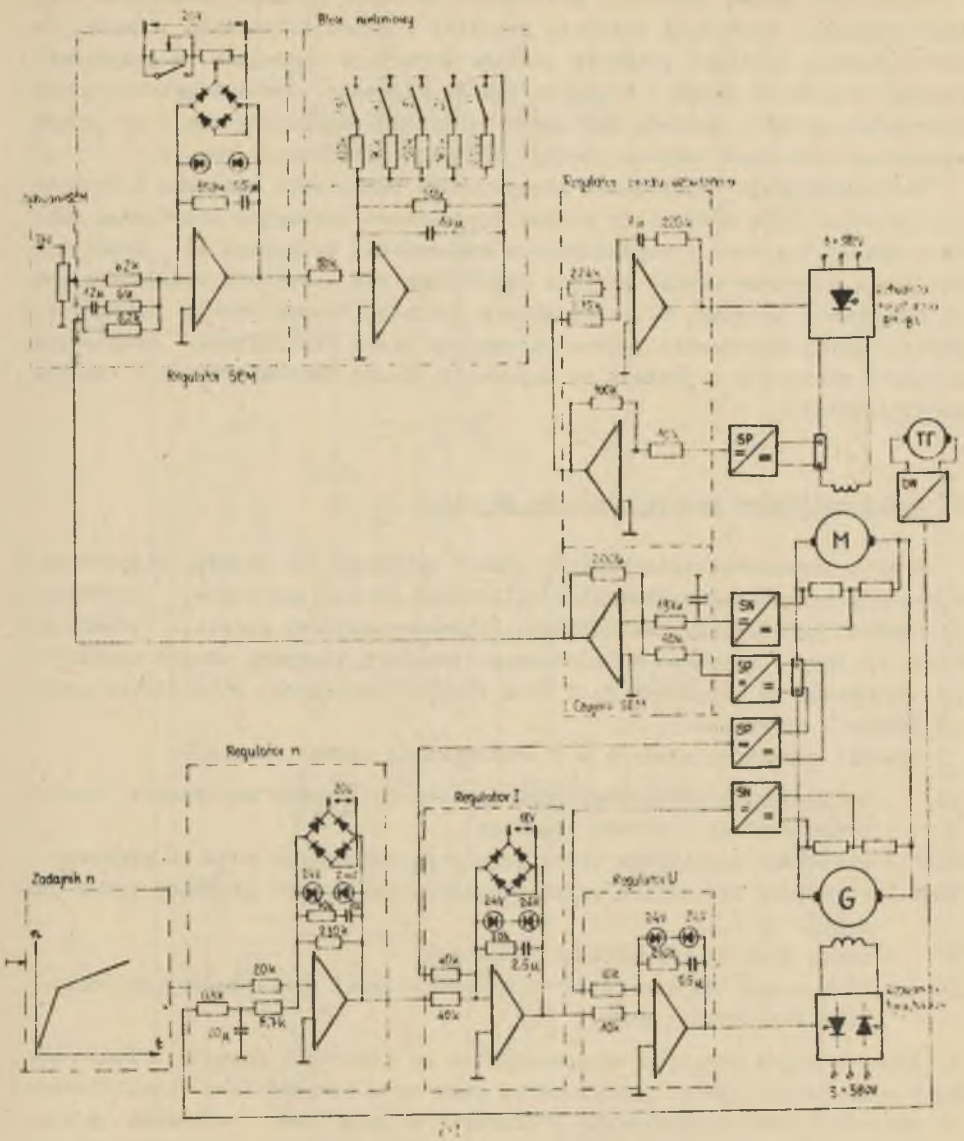
Trudności eksploatacyjne wynikały z nadmiernego wzrostu prądu w obwodzie twornikow silników oraz ze znacznego przeregulowania napięcia obwodu głównego w przejściowych stanach pracy przy odwzbudzeniu silników napędowych (II strefa regulacji prędkości napędu). Wynika stąd konieczność przeprowadzenia dokładnej analizy dynamiki układu napędowego walcarki. W niniejszym opracowaniu przedstawiono metodę prowadzenia analizy oraz uzyskane wyniki.

2. Opis napędu głównego walcarki

Napęd główny walcarki stanowią silniki prądu stałego pracujące w układzie Leonarda. Wzbudzenia maszyn zasilane są z układów tyrystorowych. Każdy z walców (górny i dolny) napędzany jest dwoma silnikami o mocy 3250 kW i prędkości znamionowej 55 obr/min, osadzonymi na wspólnym wale. Do analizy stanów przejściowych walcarki przyjęto układ uproszczony do napędu jednego walca, obejmujący jeden silnik i jedną prądnicę. Schemat strukturalny takiego układu podano na rys. 1.



Rys. 1. Uproszczony schemat strukturalny napędu głównego walcarki



Rys. 2. Schemat ideowo-strukturalny przyjętego do analizy napędu głównego walcarki (SN - separator napięcia; SP - separator prądu; DN - dzielnik napięcia)

Struktura układu regulacji prędkości obrotowej zawiera niezależne obwody sterujące wartością napięcia prądnicy i prądu wzbudzenia silnika. Obwód regulacji napięcia prądnicy posiada strukturę szeregową o podporządkowanej regulacji prądu i napięcia obwodu głównego. Obwód regulacji prądu wzbudzenia silnika zawiera szeregowo połączone regulatory sem i prądu wzbudzenia silnika. Opisane obwody regulacji przedstawia rys. 2.

Dokładniejszego wyjaśnienia wymaga układ regulatora sem wraz z blokiem nieliniowym. Blok nieliniowy stanowiący element inercyjny pierwszego rzędu o stałej czasowej i współczynniku wzmocnienia zależnych od prędkości obrotowej włączono między wyjście regulatora sem a wejście regulatora prądu wzbudzenia silnika. Celem uzyskania stałości transmitancji obwodu regulacji prądu wzbudzenia zmiana parametrów bloku nieliniowego odbywa się w sposób dyskretny i pozwala na uzyskanie stałej transmitancji z pewnym przybliżeniem.

3. Model analogowy napędu głównego walcarki

W celu przeprowadzenia analizy stanów dynamicznych układu napędowego, w warunkach możliwie najbardziej zbliżonych do rzeczywistych, posłużono się metodą modelowania analogowego. Schemat maszynowy modelu, przedstawiony na rys. 3 uzyskano na podstawie struktury blokowej układu napędowego, pokazanej na rysunkach 1, 2 oraz danych liczbowych, opisujących obwody główne i sterujące.

Schemat maszynowy złożony z 5 zasadniczych części obejmuje:

OG - Strukturę odwzorowującą stan dynamiczny obwodów wzbudzenia maszyn prądu stałego i obwodu głównego,

URWM - strukturę symulującą układ regulacji wzbudzenia silnika głównego,

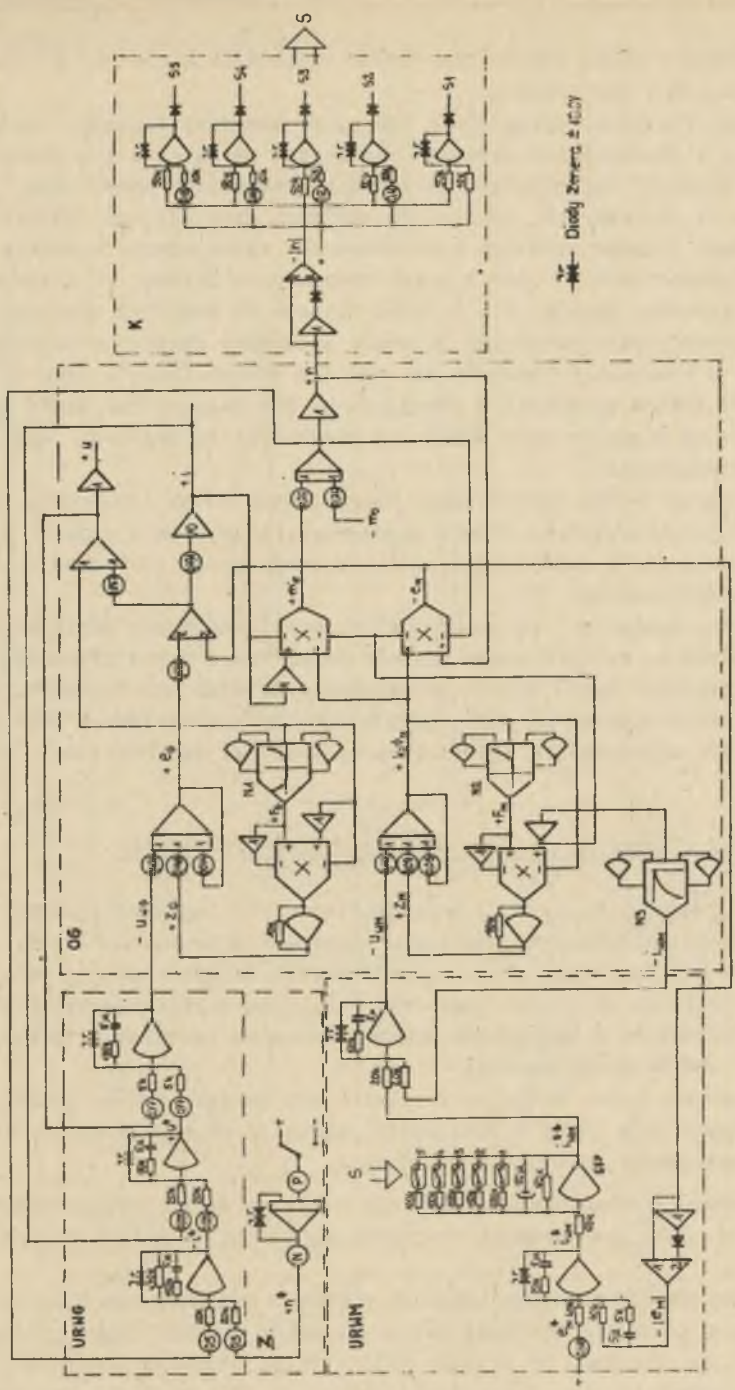
URWG - strukturę symulującą układ regulacji wzbudzenia prądnicy prądu stałego,

Z - model zadajnika prędkości obrotowej,

K - blok elementów nieliniowych (komparatorów) sterujących przełącznikami stykowymi w URWM.

Model obwodów głównych OG sporządzono na podstawie równań różniczkowych opisujących pracę tych obwodów, przy czym uwzględniono nieliniowości charakterystyk magnesowania prądnicy i silnika oraz związaną z nimi zmienność stałych czasowych obwodów wzbudzenia. Układy regulacji obwodów wzbudzenia maszyn zamodelowano uwzględniając rzeczywiste struktury regulatorów oraz wartość ich poziomów nasycenia.

Występujący w obwodzie URWM blok nieliniowy odwzorowano układem o zmiennej transmitancji, którego struktura narzucona jest przez układ kluczy sterowanych pięcioma sygnałami $S_1 \div S_5$, pochodzącymi z bloku komparatorów K. Komparatory zawarte w tym bloku sterowane są sygnałem modułu prędkości obrotowej $|n|$, wytworzonym przez układ modułowy.



Rys. 3. Model analogowy napędu głównego walcarki

W trakcie badań modelu prowadzono obliczenia w obecności bloku nieliniowego jak i bez niego.

Przekształtniki tyrystorowe sterujące obwodami wzbudzeń przedstawiono łącznie z odpowiednimi układami regulacji, zakładając ich liniowość i ciągłość napięcia wyjściowego. Pominięcie dyskretnego charakteru pracy prostowników sterowanych, ich czasów martwych oraz pulsacji napięć wyjściowych jest jedynym istotnym uproszczeniem, występującym w modelu analogowym. Uproszczenie to jest w pełni umotywowane faktem, że stałe czasowe obwodów wzbudzeń maszyn są o 3 rzędy większe od średnich opóźnień wnoszonych przez przekształtniki. Podobnie pulsujący charakter napięcia sterującego w obwodach wzbudzenia nie wywiera zauważalnego wpływu na kształt i wartość prądów płynących w uzwojeniach. Tym samym można uznać strumienie w obwodach magnetycznych maszyn za niezależne od wartości chwilowych napięć sterujących.

Pomijając wpływ wymienionego uproszczenia można stwierdzić, że dynamiczne charakterystyki układu napędowego, otrzymane w modelu analogowym, odwzorowane są z dużą dokładnością, odpowiadającą dokładności posiadanych danych wyjściowych.

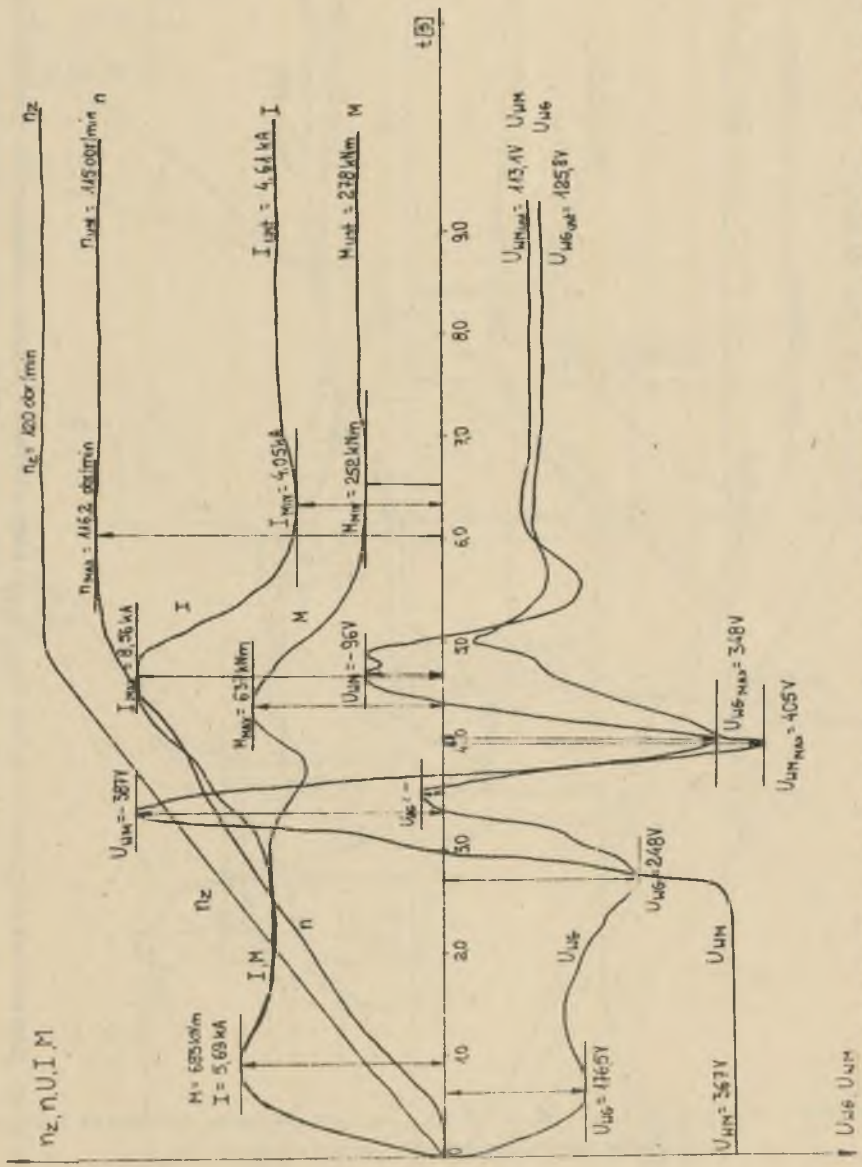
Należy zaznaczyć, że przedstawiony model analogowy zawiera 21 członów nieliniowych, wskutek czego wiernie odwzorowuje układ napędowy. Otrzymanie rozwiązań równań układu którąkolwiek z metod analitycznych, a tym samym badanie zachowania się napędu w stanach nieustalonych jest nieosiągalne bez zastosowania elektronicznej techniki obliczeniowej.

4. Badanie dynamiki układu. ocena dokładności obliczeń

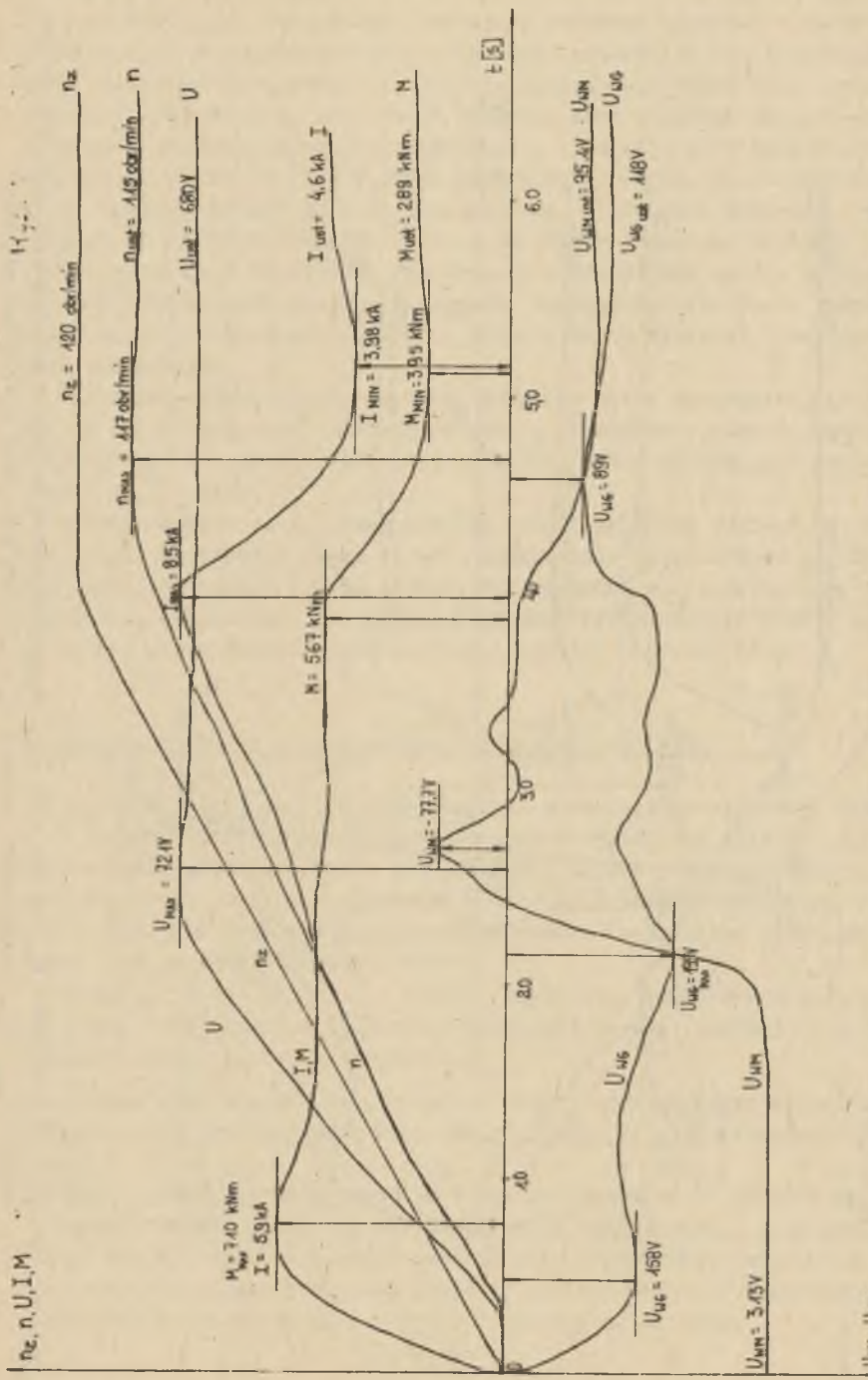
Na rysunkach 4, 5, 6, 7 przedstawiono przebiegi przejściowe podstawowych wielkości charakteryzujących własności dynamiczne układu. Dla większości analizowanych stanów przejściowych napędu głównego walcarki otrzymane przebiegi prędkości obrotowej n silnika napędowego wykazują charakter oscylacyjny z niewielkim przeregulowaniem (maksymalne przeregulowanie wynosi 10% wartości zadanej).

Przebiegi prądu twornika I silnika napędowego również wykazują przeregulowania. Przy pracy w II strefie regulacji napędu (powyżej 55 obr/min.) przeregulowanie występuje dwukrotnie:

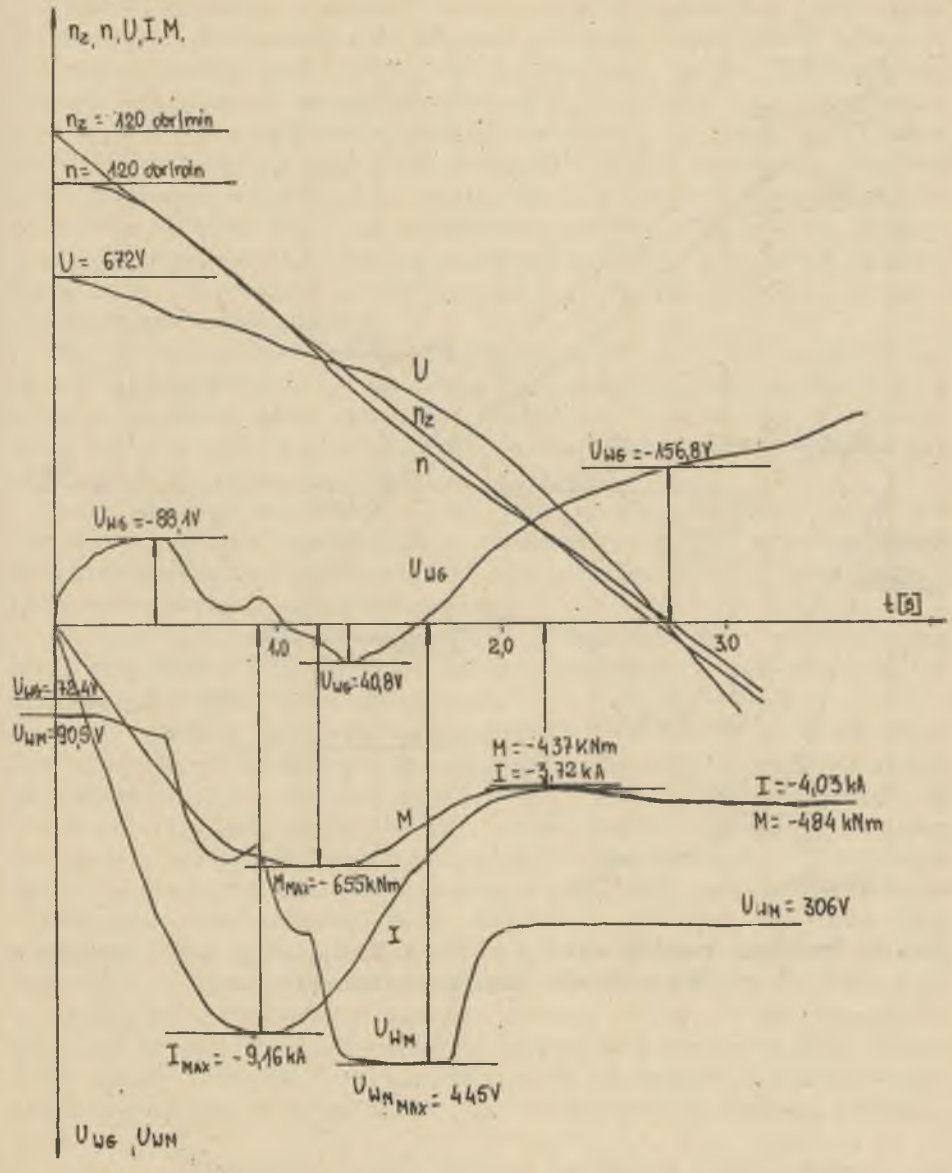
- pierwsze przeregulowanie powstaje w wyniku oscylacyjnego charakteru przebiegu prądu przy zmianach napięcia zasilania silnika (rozruch, hamowanie),
- drugie przeregulowanie powstaje w wyniku odwzbudzenia silnika po osiągnięciu prędkości większej niż 55 obr/min; wartość tego przeregulowania jest tym większa, im większy jest stopień odwzbudzenia silnika i w najniekorzystniejszym przypadku dochodzi do 180% wartości znamionowej przy obciążeniu odpowiadającym prądowi znamionowemu silnika.



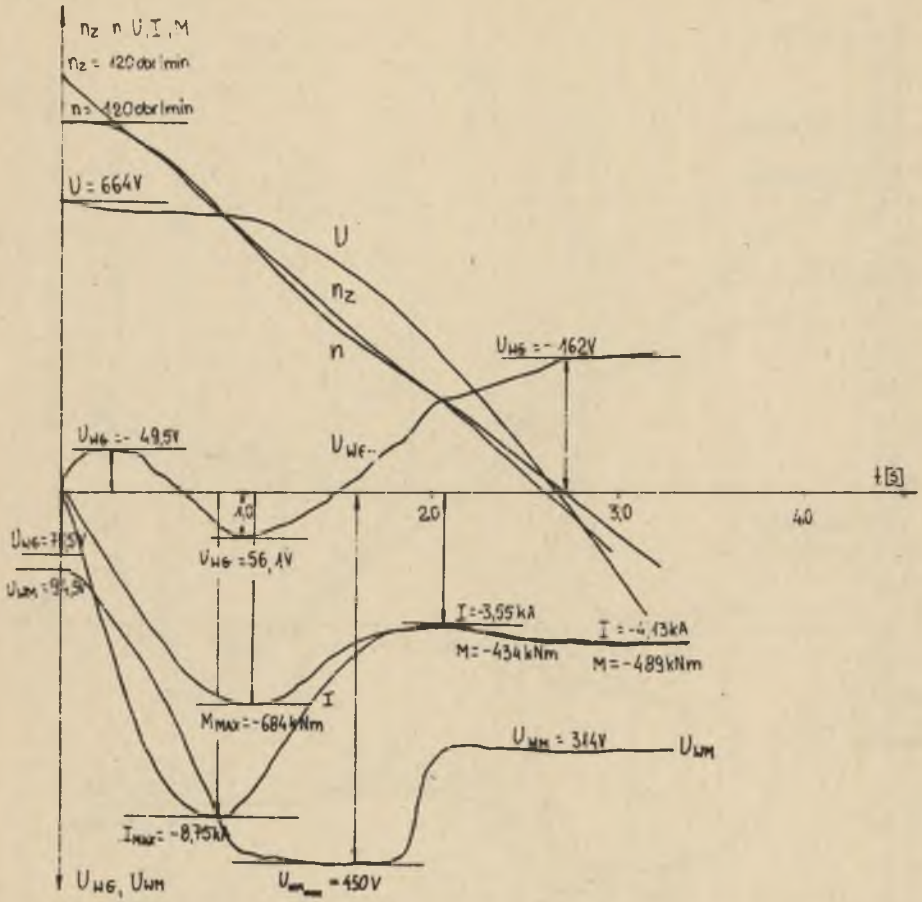
Rys. 4. Przebiegi przejściowe: n_z, n, U, I, M, U_{WG}, U_{WM}, przy rozruchu napędu głównego pod obciążeniem momentem M_{obc} I_n, do prędkości zadanej n_z = 120 obr/min. Blok nieliniowy włączony



Rys. 5. Przebiegi przejściowe: n_z, n, U, I, M, U_{WG}, U_{WM}, przy rozruchu napędu głównego pod obciążeniem momentem M_{obc} I_n, do prędkości zadanej n_z = 120 obr/min. Blok nieliniowy wyłączony



Rys. 6. Przebiegi przejściowe: n_z, n, U, I, M, U_{WG}, U_{WM}, przy hamowaniu na biegu jałowym. Blok nieliniowy włączony



Rys. 7. Przebiegi przejściowe: n_z, n, U, I, M, U_{WG}, U_{WM}, przy hamowaniu na biegu jałowym. Blok nieliniowy wyłączony

Przebiegi napięcia zasilania U silnika wykazują charakter oscylacyjny we wszystkich analizowanych na maszynie analogowej przypadkach. Maksymalne przeregulowanie wynosi 122% wartości ustalonej. Znaczne przeregulowanie wykazują napięcia wzbudzenia prądnicy U_{WG} i silnika U_{WM}. Szczególnie duże wartości przeregulowań występują w układzie z blokiem nieliniowym włączonym w obwód regulacji prądu wzbudzenia silnika napędowego. Przy prędkości walcowania 55 obr/min (I strefa regulacji walcarki) zarówno na biegu jałowym walcarki jak i pod obciążeniem odpowiadającym prądowi znamionowemu silnika przebiegi czasowe prędkości n, prądu I i napięcia zasilania silnika U nie zależą od użycia bloku nieliniowego w obwodzie regulacji prądu wzbudzenia silnika.

Przy prędkościach walcowania powyżej 55 obr/min, tj. dla II strefy regulacji napędu walcarki, w układzie z istniejącym blokiem nieliniowym w obwodzie regulacji prądu wzbudzenia silnika występują znaczne przeregulowania napięcia zasilania silnika oraz bardzo znaczne przeregulowania napięć wzbudzenia generatora i silnika napędowego.

Czasy regulacji w układach z istniejącym oraz z wyłączonym blokiem nieliniowym w obwodzie regulacji prądu wzbudzenia silnika, w analogicznych warunkach zadawania i obciążenia osiągają mniejsze wartości w układzie z wyłączonym blokiem nieliniowym.

Przedstawiona analiza charakterystyk dynamicznych jak i obliczone przebiegi przejściowe charakteryzują się dużą dokładnością w stosunku do innych, uproszczonych metod analitycznyh.

Model analogowy odzwierciedla rzeczywiste własności układu z dokładnością odpowiadającą dokładności danych wejściowych, na bazie których został on zbudowany. Błędy statyczne jego elementów operacyjnych liniowych są pomijalne, jako nie większe niż 10^{-4} poziomu napięć operacyjnych maszyny analogowej. Błędy dynamiczne integratorów nie mają również mierzalnego wpływu na dokładność obliczeń, ponieważ w modelu nie występuje operacja całkowania w torze otwartym. Pewne, aczkolwiek niewielkie znaczenie mogą mieć błędy statyczne przekształtników nieliniowych w modelach obwodów wzbudzenia (w liczbie 3 przekształtników) oraz błędy elementów mnożących.

Wymienione człony modelu są jednak wysokiej klasy i ich maksymalne błędy nie przekraczają 0,005 wartości poziomu napięć operacyjnych. Sumarycznie można stwierdzić, że dowolny spośród obliczonych przebiegów dynamicznych może być obarczony błędem nie większym niż 5% wartości maksymalnej.

W stanach ustalonych zgodność obliczeń modelowych z teoretycznymi jest znacznie lepsza, błędy w dowolnych przebiegach są nie większe niż 1% poziomu napięć maszyny.

Można więc stwierdzić, że obliczenia odpowiadają przebiegom rzeczywistym występującym w analizowanym układzie w analogicznych warunkach obciążenia i przy tym samym przebiegu sygnału zadającego.

5. Uwagi końcowe

Zastosowana metoda analizy dynamiki układu napędowego umożliwiła szybkie i dokładne wyznaczenie przebiegów przejściowych w dowolnych stanach pracy jak i ocenę prawidłowości działania struktury regulacyjnej oraz doboru jej parametrów. Pomiary w układzie rzeczywistym wykazują zgodność przebiegów rzeczywistych z obliczonymi, co potwierdza poprawność stosowanej metody.

Z przeprowadzonej analizy zasadniczym wnioskiem o znaczeniu praktycznym jest stwierdzenie, że obecność istniejącego w pętli regulacji prądu wzbudzenia silnika bloku nieliniowego nie prowadzi do polepszenia własności dynamicznych układu ale przeciwnie, powoduje wzrost przeregulowań w prądzie i napięciu obwodu głównego, wzrost przeregulowań napięć wzbudzenia prądnicy i silnika oraz wydłużenia czasów regulacji napędu. W tym przypadku dążenie do uzyskania stałej transmitancji wymienionego obwodu przy pomocy dyskretnie pracującego bloku nieliniowego, który wprowadza dodatkową inercję w tor regulacji prądu wzbudzenia, nie jest celowe. Układ regulacji wzbudzenia silnika powinien charakteryzować się znaczną szybkością działania.

LITERATURA

[1] Praca zbiorowa: Modelowanie układów elektromechanicznych, skrypt nr 658 Politechniki Śląskiej, Gliwice 1976.

[2] Schwarz W.: Analogprogrammierung, Veb Fachbuchverlag, Leipzig 1974.

[3] Mędrzycki J.: Technika analogowa i hybrydowa, WNT, Warszawa 1974.

[4] Żur A.: Problemy dwustrefowej regulacji prędkości napędów przekształtnikowych prądu stałego, praca doktorska AGH, Kraków 1975.

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПРИВОДНОЙ СИСТЕМЫ ТОЛСТОЛИСТНОГО СТАНА

Р е з ю м е

В статье изложен метод анализа динамики приводной системы стана с учетом выступающих в ней нелинейности. Полученные результаты использовано при коррекции структуры регулировки действующей промышленной системы.

ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF THE PLATE MILL'S ELECTRIC DRIVE

S u m m a r y

The dynamics of the nonlinear plate mill's electric drive are analysed on the analog computer. The obtained results are used to the correction of the regulation structure of the existing industrial system.