ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1972

Seria: ELEKTRYKA z. 38 Nr kol. 357

TADEUSZ RODACKI
JANUSZ NOWAK

Instytut Podstawowych Problemów
Elektrotechniki i Energoelektroniki

ZASTOSOWANIE TECHNIKI ANALOGOWEJ DO BADANIA STATYKI I DYNAMIKI SILNIKA PRĄDU STAŁEGO ZASILANEGO Z PRZEKSZTAŁTNIKA TYRYSTOROWEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiono możliwości badania statyki i dynamiki silnika prądu stałego asilanego z przekształtnika tyrystorowego przy użyciu maszyny analogowej. Na przykładzie układu jednofazowego podano metodę modelowania oraz schemat maszyny dla wielkości chwilowych.

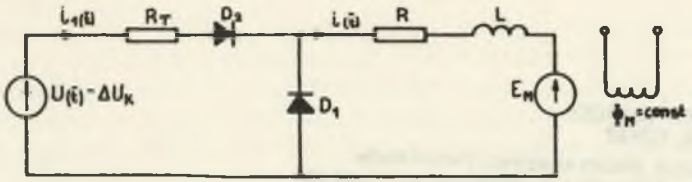
1. Wstęp

Badanie statyki, a w szczególności dynamiki silnika prądu stałego zasilanego z przekształtnika tyrystorowego stwarza duże trudności. Ścisła analiza uwzględniająca wartości chwilowe napięcia zasilania, prądu i momentu silnika jest bardzo skomplikowana, a uzyskane tą drogą wzory ze względu na swą złożoną postać są mało przydatne w praktyce. Dlatego też w tym przypadku najczęściej wykonuje się obliczenia posługując się wartościami średnimi i przyjmując cały szereg założeń upraszczających. Takie postępowanie w sposób stosunkowo prosty pozwala badać charakterystyki układu w stanach ustalonych w strefie prądów ciągłych.

Przydatność tej metody jest jednak problematyczna zarówno przy określaniu charakterystyk statycznych w strefie prądów przerywanych, jak i przy analizie dynamiki takich układów.

Szerokie możliwości badania tyrystorowego układów napędowych daje zastosowanie maszyny analogowej iteracyjnej lub hybrydowej. Na takiej maszynie można zbadać analogowy model układu dla wartości chwilowych, który pozwala analizować wartości statyczne i dynamiczne układu rzeczywistego przy różnych parametrach i przy dowolnych zaburzeniach. Poniżej przedstawiono metodę modelowania i analizy układów tyrystorowych, które można sprowadzić do schematu zastępczego przedstawionego na rys. 1.

Schemat ten uwzględnia rezystancję transformatora i w sposób przybliżony komutacyjny spadek napięcia. Dioda D_2 realizuje właściwości układu uniemożliwiając przepływ prądu pod wpływem dodatniej SEM silnika. Dioda D_1 jest diodą rozładowczą dla energii elektromagnetycznej obwodu twornika.



Rys. 1. Schemat zastępczy analizowanego układu tyrystorowego

Na schemacie z rys. 1 oznaczono:

$\bar{t} = \frac{t}{\frac{T}{2}}$ – czas względny

T – okres napięcia zasilania

R_T – sumaryczna rezystancja sieci i transformatora sprowadzona na stronę prądu wyprostowanego

R – sumaryczna rezystancja w obwodzie twornika

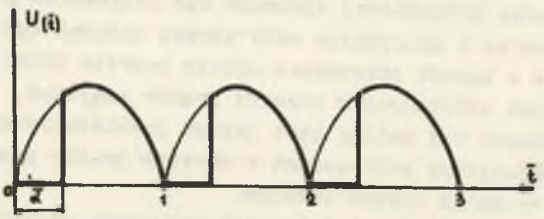
L – sumaryczna indukcyjność w obwodzie twornika

$U_k = \frac{m}{2\pi} X_T I_d$

X_T – sumaryczna reaktancja sieci i transformatora

I_d – średnia wartość prądu wyprostowanego

Dla układu jednofazowego napięcia $U(\bar{t})$ ma przebieg przedstawiony na rys.2



Rys. 2. Napięcie $U(\bar{t})$ dla układu jednofazowego

2. Analogowy model układu jednofazowego dla wartości chwilowych

Na podstawie schematu zastępczego (rys. 1) przy stałym strumieniu można napisać ogólne równanie silnika w postaci:

$$\frac{1}{t_e}\frac{di}{d\bar{t}} = \frac{1}{R}\left[U(\bar{t}) - \Delta U_k - R_T\, i_1(\bar{t})\right] - i(\bar{t}) - t_m \int\left[i(\bar{t}) - \frac{M_m}{K}\right] d\bar{t}$$

$$\omega(\bar{t}) = \frac{R}{K}\, t_m \int\left[i(\bar{t}) - \frac{M_m}{K}\right] d\bar{t},$$

gdzie

$t_e = \frac{T_{e1}}{R}$ – względna układu

$t_m = \frac{T_{e1} J R}{K^2}$ – względna elektromechaniczna układu

K – stała konstrukcyjna silnika

$i(\bar{t})$ – prąd twornika

$\omega(\bar{t})$ – prędkość kątowa twornika

J – moment bezwładności układu mechanicznego

M_m – moment obciążenia na wale silnika

$i_1(\bar{t}) = i(\bar{t})$ dla $\bar{t} \in [n + \bar{\alpha}, n + 1]$

$i_1(\bar{t}) = 0$ dla $\bar{t} \in [n, n + \bar{\alpha}]$

$n = 0, 1, 2, 3 \ldots$

Na podstawie tych równań przyjęto strukturę układu modelowego przedstawioną na rys. 3. W układzie tym poszczególne bloki spełniają następujące funkcje:

1,2 – sumatory

3 – nieliniowy blok całkujący zrealizowany w układzie podanym na rys 4. Blok ten uwzględnia zmianę parametrów układu w zależności od znaku prądu twornika

4 – blok nieliniowy wprowadzony w celu wyeliminowania błędów wnoszonych przez rzeczywistą charakterystykę diody użytej w bloku poprzednim

5 – sumator

6 – blok całkujący

7,8 – inwertory

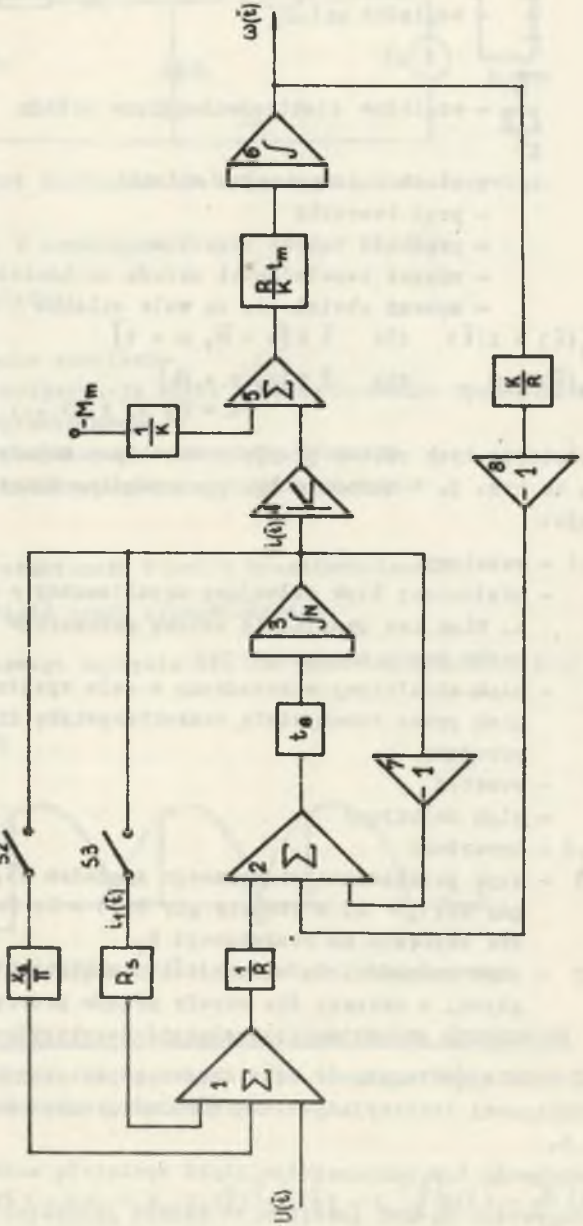
$\overline{S3}$ – styk przekaźnika sterowanego sygnałem $\overline{S3}$, który jest zamknięty, gdy $U(\bar{t}) > 0$, a otwarty gdy $U(\bar{t}) = 0$. Pozwala to uwzględnić spadek napięcia na rezystancji R_T

S2 – styk przekaźnika, który jest zamknięty dla strefy prądów ciągłych, a otwarty dla strefy prądów przerywanych. Pozwala to w sposób przybliżony uwzględnić komutacyjny spadek napięcia.

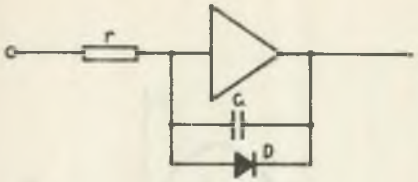
Układ modulujący napięcie $U(\bar{t})$ zbudowano wykorzystując właściwości maszyny analogowej iteracyjnej. Schemat maszynowy tego układu przedstawia rys. 5.

Na schemacie tym poszczególne bloki spełniają następujące funkcje:

- integratory 9,10 i inwertor 11 tworzą generator napięcia sinusoidalnego którego częstotliwość można regulować potencjometrami A9 i A10
- sumator 12 wraz z diodami wejściowymi spełnia rolę elementu prostowniko-wego



Rys. 3. Struktura układu modelowego



Rys. 4. Blok nieliniowy

- potencjometr A13 służy do regulacji napięcia wyprostowanego
- inwertor 13, sumator 14 i styk sterowany sygnałem S3 pozwalają uzyskać napięcie $U(\bar{t})$
- komparatory 15, 18 oraz integratory iteracyjne 16, 17 wypracowują sygnał sterujący S3 przy pomocy którego zmieniamy kąt $\bar{\alpha}$ i napięciu $U(\bar{t})$

Integratory iteracyjne pracują w tym układzie w dwu stanach:

WARUNKI POCZĄTKOWE i LICZ w zależności od sygnału sterującego Z

Z = 1 WARUNKI POCZĄTKOWE
Z = 0 LICZ.

Zasadę działania tego układu zilustrowano na rys. 6, który przedstawia przebiegi poszczególnych sygnałów w funkcji czasu.

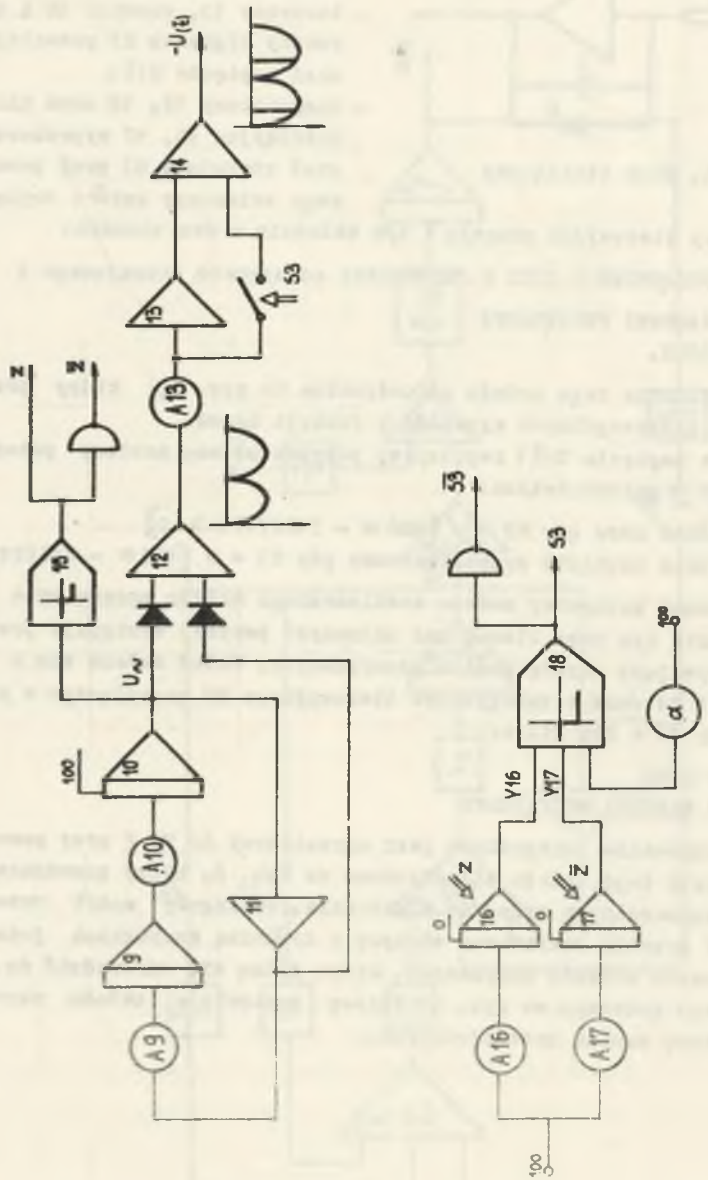
Kąt $\bar{\alpha}$ w napięciu $U(\bar{t})$ regulujemy poprzez zmianę nastawy potencjometru zgodnie z zależnościami:

$U(\bar{t})$ równe zeru gdy S3 = 1 $\left[100\,\alpha - Y16(Y17) > 0\right]$
$U(\bar{t})$ równe napięciu wyprostowanemu gdy S3 = 0 $\left[100\,\alpha - Y16(Y17) < 0\right]$

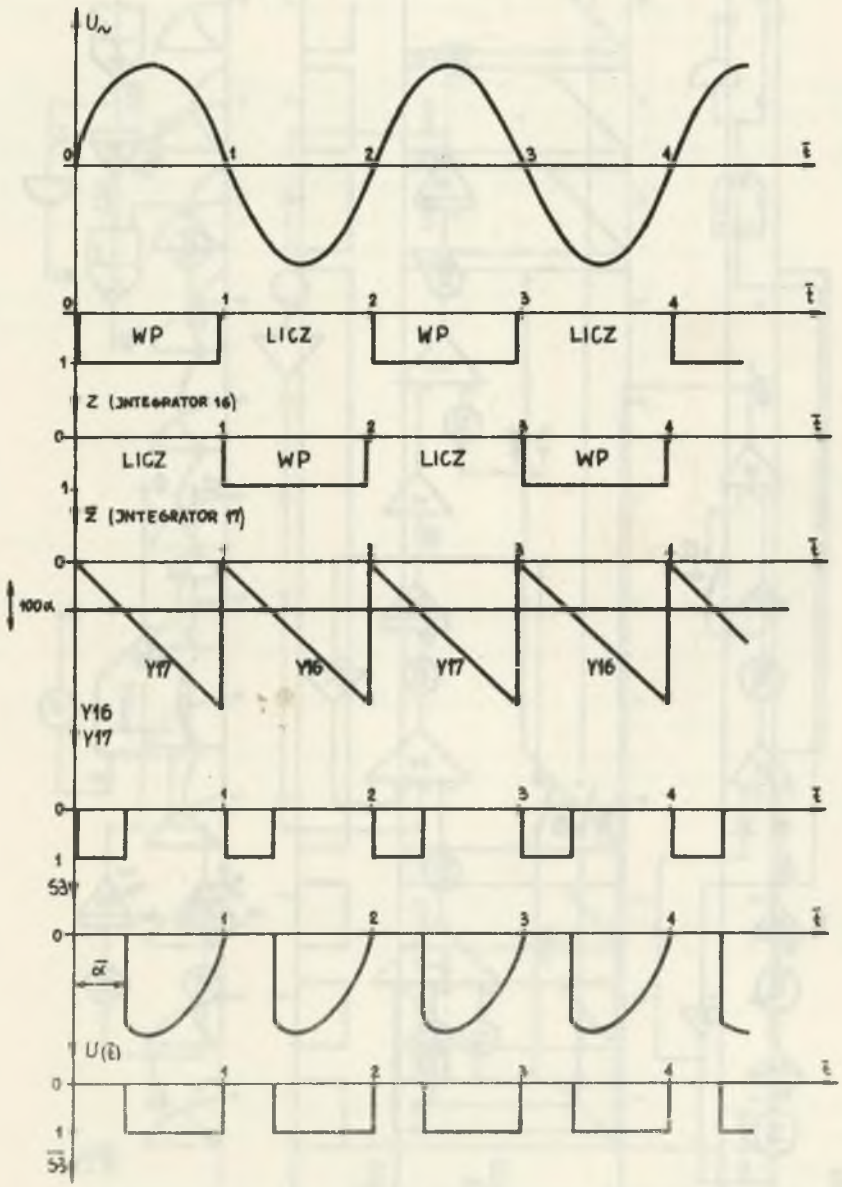
Pełny schemat maszynowy modelu analizowanego układu przedstawia rys. 7. Na schemacie tym poza elementami opisanymi powyżej występuje jeszcze układ wykrywający strefę prądów przerywanych. Układ składa się z komparatorów 19 i 21 oraz z integratora iteracyjnego 20 pracującego w zależności od sygnału $\overline{Z1}$ w dwu stanach

$\overline{Z1}$ = 0 LICZ
$\overline{Z1}$ = 1 WARUNKI POCZĄTKOWE

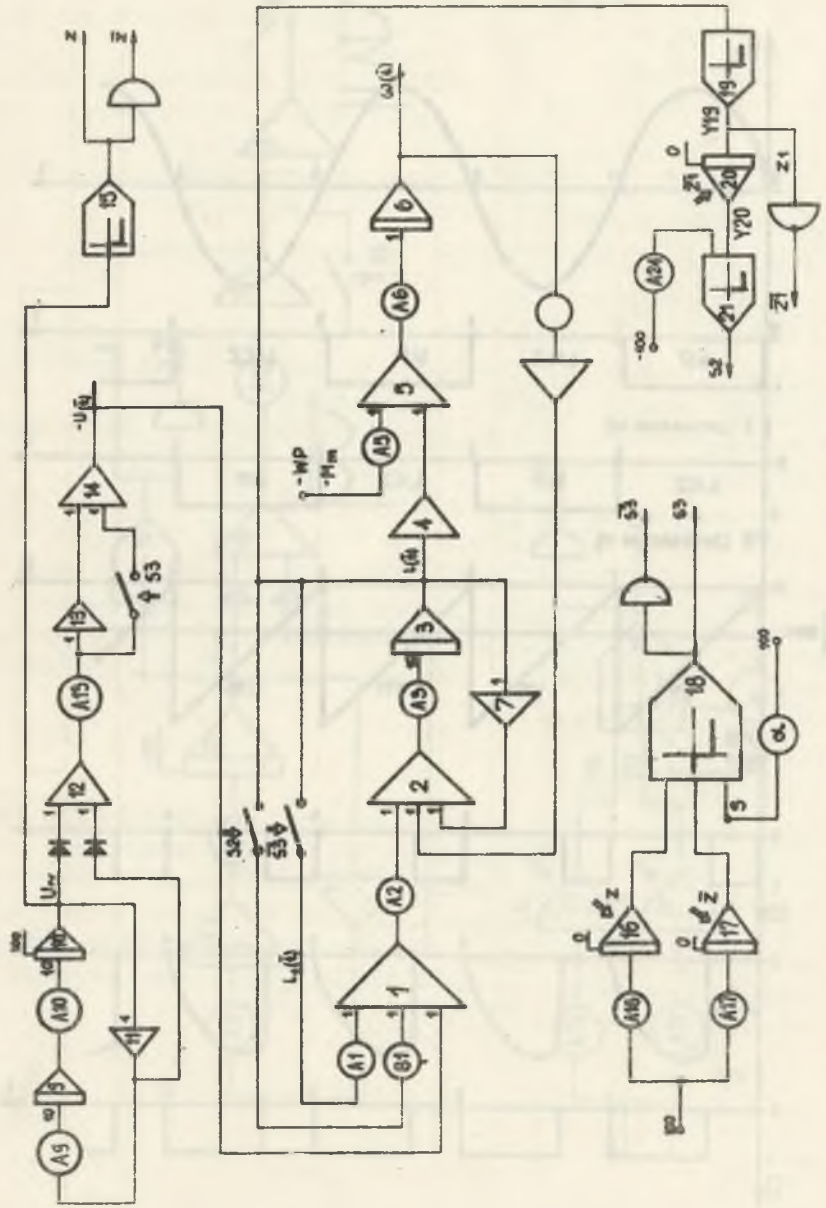
Poziom całkowania integratora jest ograniczony do 90 V przy pomocy diod. Zasadę pracy tego układu zilustrowano na rys. 8, który przedstawia przebiegi poszczególnych sygnałów w układzie. Analogowy model przedstawiony na rys. 7 pozwala analizować statykę i dynamikę wszystkich jednofazowych tyrystorowych układów napędowych, które dadzą się sprowadzić do schematu zastępczego podanego na rys. 1. Zmianę parametrów układu uzyskuje się przez zmianę nastaw potencjometrów.



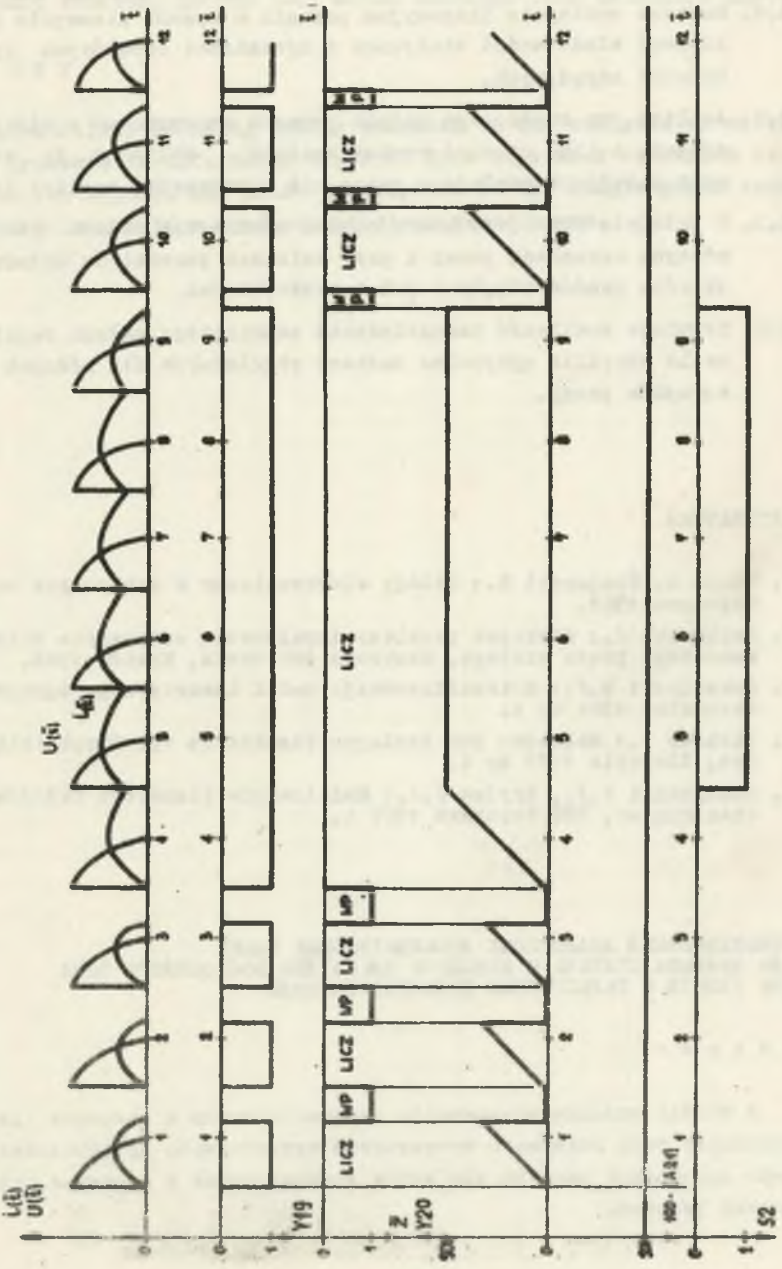
Rys. 5. Schemat maszynowy układu modelującego napięcie zasilające silnik



Rys. 6. Przebiegi sygnałów w układzie modelującym napięcie zasilające silnik



Rys. 7. Schemat maszynowy analogowego modelu



Rys. 8. Przebiegi sygnałów w układzie wykrywającym strefę prądów przerywanych

3. Wnioski i uwagi

3.1. Maszyna analogowa iteracyjna pozwala w sposób niezwykle dogodny analizować właściwości statyczne i dynamiczne niektórych tyrystorowych układów napędowych.

3.2. Analiza na analogowym modelu pozwala zrezygnować z niektórych uproszczeń, a więc uzyskać wyniki bardziej zbliżone do rzeczywistych przy mniejszym nakładzie pracy niż w przypadku analizy teoretycznej.

3.3. W układzie modelowym można zbadać zachowanie układu rzeczywistego w różnych warunkach pracy i przy zmianach parametrów układu zarówno w strefie prądów ciągłych jak i przerywanych.

3.4. Istnieje możliwość zamodelowania zamkniętego układu regulacji co pozwala określić optymalne nastawy regulatorów dla różnych wymagań i warunków pracy.

LITERATURA

1. Tunia H. Winiarski B.: Układy elektroniczne w automatyce napędowej, WNT Warszawa 1969.
2. Sęńkowski J.: Niektóre problemy impulsowego sterowania silnika obocowzbudnego prądu stałego, Rozprawa doktorska, Kraków 1968.
3. Jakubowski B.J.: Matematiczeskaja model inwertornogo agregata, Elektromechanika 1964 nr 4.
4. Büchner P.: Methoden zur analogen Simulation von Stromrichterstellgliedern, Elektrie 1971 nr 4.
5. Dunajewski S.J., Kryłow O.A.: Modelowanie elementów układów elektromechanicznych, WNT Warszawa 1970 r.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНАЛОГОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН
ДЛЯ АНАЛИЗА СТАТИКИ И ДИНАМИКИ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА
ПРИ РАБОТЕ С ТИРИСТОРНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

Р е з ю м е

В статье указана возможность анализа статики и динамики двигателя постоянного тока питаемого посредством тиристорного преобразователя. На примере однофазной системы дан метод моделирования и машинные схемы для мгновенных величин.

APLICATION OF THE ANALOG COMPUTER TO THE ANALYSIS OF STATIC AND DYNAMIC PROCESES IN THE D.C. MOTOR SUPPLIED FROM THYRISTOR CONVERTER

S u m m a r y

The possibility of using analog computer to the analysis of static and dynamic prooeses in D.C. motor supplied from thyristor converter is presented in the report. The short description of the single-phase converter the metod of simulation, and ouroit diagram are given.