

Zygmunt SZYMAŃSKI

WPŁYW ZMIAN CZĘSTOTLIWOŚCI IMPULSOWANIA TYRYSTOROWEGO PRZERYWCZA  
PRĄDU STAŁEGO NA PARAMETRY RUCHOWE SILNIKA TRAKCYJNEGO

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono analizę obwodu elektromagnetycznego silnika trakcyjnego zasilanego z przerywacza prądu stałego. Analizę przeprowadzono dla 3 przypadków aproksymacji charakterystyki magnesowania blach silnika: linearyzacji odcinkowej, aproksymacji wielomianowej oraz aproksymacji funkcją:  $\Phi = A \arctg(B \cdot I)$ . Celem określenia wpływu zmian częstotliwości pulsowania na wybrane parametry elektromagnetyczne i elektromechaniczne silnika podano relacje umożliwiające analityczne określenie tych zmian. W końcowej części zamieszczono wyniki badań laboratoryjnych wykonanych na silniku szeregowym prądu stałego o mocy znamionowej 2 kW. Pomiarów przeprowadzono dla różnych wartości częstotliwości pulsowania przerywacza  $f_1 \in (0-350)$  Hz przy zmianach współczynnika wypełnienia:  $\xi_1 \in (0,5-1)$ . Wyniki pomiarów przedstawiono na charakterystykach ruchowych silnika.

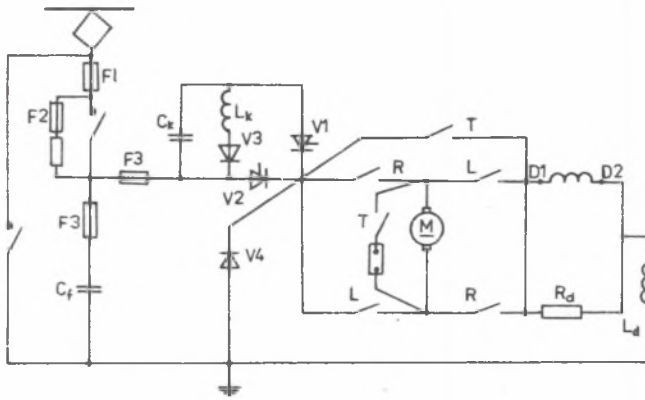
## 1. WSTĘP

Rozwój techniki oraz technologii produkcji tyrystorów mocy, układów scalonych różnych generacji oraz procesorów i mikroprocesorów spowodował zmiany w sposobach zasilania sieci trakcyjnych oraz w układach zasilania i sterowania lokomotyw elektrycznych. Coraz częściej stosuje się układy przekształtnikowe umożliwiające cyfrowe sterowanie silników trakcyjnych. Nowe układy zasilania lokomotyw elektrycznych umożliwiają: ograniczenie energii elektrycznej pobieranej podczas rozruchu i jazdy ustalonej lokomotywy, bezłukowe przerywanie obwodów elektrycznych, realizację sterowania układu "tandem", zastosowanie układów centralnego systemu zdalnego sterowania przy wykorzystaniu procesorów.

W kopalnianej trakcji elektrycznej stosuje się aktualnie dwa podstawowe układy zasilania lokomotyw:

- układ przekształtnikowy przetwarzający napięcie stałe na napięcie pulsowe o regulowanej wartości średniej,
- układ przekształtnikowy przetwarzający napięcie przemienne na napięcie wyprostowane o regulowanej wartości średniej.

W kopalnianej trakcji podziemnej stosuje się przeważnie pierwszy typ układu zasilania. W układach tych zmianę wartości średniej napięcia wyjściowego realizuje się za pomocą zmiany względnego czasu wysterowania przerywacza (wsp. wypełnienia):  $\xi_1 = t_1/T_1$ ; przy stałej lub skokowo zmiennej częstotliwości pulsowania  $f_1$ . Zakres stosowanych zmian współczynnika



Rys. 1. Schemat ideowy układu zasilania lokomotywy przewodowej typu LGB-22, firmy ASEA

Fig. 1. Schematic diagram of feed system of mining wirely locomotive type LGB-22, ASEA

wypełnienia:  $\epsilon_1 \in (0,1)$  oraz częstotliwości pulsowania:  $f_1 \in (30-600)\text{Hz}$ . W literaturze światowej spotyka się szereg publikacji dotyczących zastosowania przekształtnikowych układów do zasilania i sterowania lokomotyw elektrycznych: [1], [2], [3], [4], [5], [6]. Na rys. 1 przedstawiono przykładowo schemat ideowy układu zasilania lokomotywy przewodowej firmy ASEA: LGB-22.

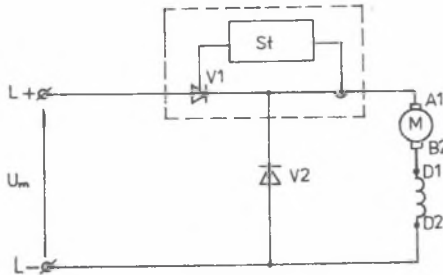
## 2. METODY ANALIZY OBWODU ELEKTROMAGNETYCZNEGO SILNIKA SZEREGOWEGO PRĄDU STAŁEGO ZASILANEGO Z PRZERYWACZA PRĄDU STAŁEGO

Silnik szeregowy prądu stałego jest przetwornikiem elektromechanicznym z nieliniowym obwodem elektrycznym - szeregowo uzwojenie wzbudzenia, oraz magnetycznym - zmienne nasycenie biegunów głównych. Dodatkowo silnik trakcyjny może być zasilany napięciem odkształconym. Do analizy stanów dynamicznych pracy silnika można stosować tylko metody przybliżone: modelowania cyfrowego lub analogowego, linearyzacji układu równań różniczkowych (I metoda Lapunowa) lub metodę skończonego przekształcenia Laplace'a. Do analizy obwodu elektromagnetycznego silnika szeregowego prądu stałego zasilanego z przerywacza prądu stałego zastosowano metody: linearyzacji, równań układu, skończonego przekształcenia Laplace'a oraz modelowania cyfrowego [2], [3], [6].

### 2.1. Analiza obwodu elektromagnetycznego silnika szeregowego metodą linearyzacji układu równań różniczkowych

Analizę przeprowadzono dla układu zasilania silnika szeregowego jak na rys. 2. Do analizy stanów dynamicznych silnika przyjęto następujące założenia:

- pomija się przepływ oddziaływania twornika,
- pomija się strumienie rozproszenia uzwojeń: twornika i wzbudzenia,
- rezystancje oraz indukcyjności własne uzwojenia biegunów pomocniczych oraz uzwojenia kompensacyjnego dodaje się do rezystancji i indukcyjności uzwojenia wzbudzenia,
- pomija się straty w żelazie i straty mechaniczne,
- pomija się zmiany prędkości obrotowej silnika spowodowane zmianami napięcia zasilania ( $\omega \approx \text{const}$ ), w okresie pulsacji,
- zakłada się liniowy obwód magnetyczny ( $\mu \approx \text{const}$ ),
- rezystancja tyrystora głównego dla stanu zaworowego jest nieskończenie wielka, dla stanu przewodzenia jest pomijalnie mała, czas przełączania tyrystora jest pomijalnie mały w stosunku do okresu pulsowania.



Rys. 2. Schemat połączeń silnika szeregowego prądu stałego zasilanego z tyrystorowego przerywacza prądu stałego

Fig. 2. Coupling scheme of d.c. series motors supplied with d.s. thyristor breaker

Układ równań różniczkowych opisujących elektromagnetyczny i elektro-mechaniczny stan pracy silnika można przedstawić w postaci:

$$u = U_m = R i_1 + L \frac{d i_1}{d t} + c \Phi_1 \omega \quad \text{dla } t \in (0; t_1)$$

$$0 = R i_2 + L \frac{d i_2}{d t} + c \Phi_2 \omega \quad \text{dla } t \in (t_1; T_1)$$

$$\Phi_1 = c_1 i_1 \quad \Phi_2 = c_1 i_2$$

$$M - N_{\text{obc}} = J_z \frac{d \omega}{d t}$$

$$M = c i_1,$$

(1)

gdzie:

- $U_m$  - amplituda napięcia zasilania,
- $R = R_w + R_{tw}$  - rezystancja uzwojeń silnika,
- $L = L_w + L_{tw}$  - indukcyjność własna uzwojeń silnika,
- $i_1, i_2$  - wartości chwilowe prądu silnika,
- $t_1$  - czas załączenia tyrystora głównego,
- $T$  - okres pulsowania,
- $\alpha_2$  - zastępczy moment bezwładności spowodowany na wał silnika.

Po uwzględnieniu założeń upraszczających do układu równań (1) otrzymuje się układ równań różniczkowych liniowych. Układ równań liniowych rozwiązano metodą operatorową. Po zastosowaniu prostej i odwrotnej transformacji Laplace'a do układu równań (1) otrzymuje się następujące relacje prądów silnika:

$$i_1(t) = \frac{U_m}{\omega L} \left[ 1 - \frac{1 - \exp[-(T_1 - t_1)/T]}{1 - \exp(-T_1/T)} \exp(-t/T) \right], \quad (2)$$

$$i_2(t) = \frac{U_m}{\omega L} \frac{1 - \exp(-t_1/T)}{1 - \exp(-T_1/T)} \exp(-t/T), \quad (3)$$

gdzie:

$$T = \frac{L}{\omega L} - \text{stała czasowa silnika.}$$

Przyjmując  $T_1 \ll T$ , można określić uproszczoną wartość średnią prądu silnika:

$$I_{sr} = \frac{1}{T} \left[ \int_0^{t_1} i_1(t) dt + \int_{t_1}^T i_2(t) dt \right] \approx \frac{\varepsilon U_m}{\omega L}, \quad (4)$$

gdzie:

$$\varepsilon = \frac{t_1}{T} - \text{wsp. pulsowania.}$$

Wartość średnią momentu elektromagnetycznego obliczamy z relacji:

$$M_{sr} = \frac{1}{T} \left[ \int_0^{t_1} M_1(t) dt + \int_{t_1}^T M_2(t) dt \right] \approx c_1 \Phi(I_2) I_{sr} + c_2 I_{sk}^2 \quad (5)$$

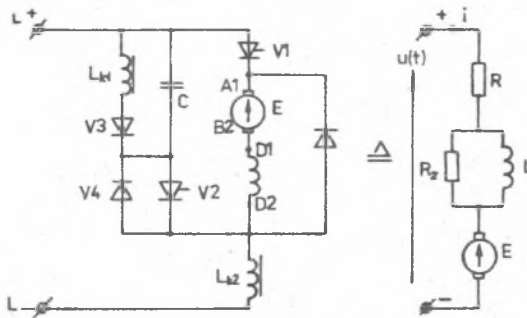
Metoda ta umożliwia przeprowadzenie w sposób przybliżony analizy własności ruchowych silnika szeregowego w stanach quasi-ustalonych.

## 2.2. Analiza obwodu elektromagnetycznego silnika szeregowego prądu stałego metodą skończoną przekształcenia Laplace'a [2]

Analizę przeprowadzono przy następujących uproszczeniach:

- napięcie zasilania silnika ma kształt ciągu impulsów prostokątnych,
- pomija się zmiany prędkości obrotowej silnika, spowodowane zmianami napięcia zasilania ( $\omega \approx \text{const}$ ), w okresie pulsacji,
- charakterystyki elementów półprzewodnikowych są idealne,
- zakłada się liniowy obwód magnetyczny.

Obliczenia wykonano dla układu zasilania silnika przedstawionego na rys. 3.



Rys. 3. Układ zasilania silnika trakcyjnego

Fig. 3. Feed system of traction motors

Układ równań różniczkowych opisujących elektromagnetyczny stan nieustalony silnika przedstawiono w relacji:

$$u(t) = e + R i + L \frac{di_2}{dt}$$

$$i = i_1 + i_2$$

$$e = c \Phi_w \omega$$

$$i_1 R_z = L \frac{di_2}{dt}$$

$$u(t) = U_m \delta(t); \text{ gdzie } \delta(t) = \begin{cases} 1 & \text{dla } t \in (0, t_1) \\ 0 & \text{dla } t \in (t_1, T_1) \end{cases}$$

(6)

Po zastosowaniu metody skończonego przekształcenia Laplace'a do układu równań (6) rozwiązaniu liniowego układu równań i przejściu na postać zespoloną, wykorzystując transformację odwrotną do skończonego przekształcenia

Laplace'a, otrzymuje się relacje (7) i (8) określające prąd pobierany ze źródła zasilania  $i(t)$  oraz prąd silnika  $i_2(t)$

$$i(t) = \frac{U_m}{R} \delta(t) - \frac{E}{R} - \frac{U_m R_z}{R(R+R_z)} \frac{1}{1-\exp(-\frac{\beta}{\alpha} T_1)} \times$$

$$\times \begin{cases} \exp(-\frac{\beta}{\alpha} t) - \exp\left[-\frac{\beta}{\alpha}(t+T_1-t_1)\right] & \text{dla } t \in (0, t_1) \\ \exp(-\frac{\beta}{\alpha} t) - \exp\left[-\frac{\beta}{\alpha}(t-t_1)\right] & \text{dla } t \in (t_1, T_1) \end{cases} \quad (7)$$

$$i_2(t) = \frac{U_m \delta(t) - E}{R} - \frac{U_m}{R[1-\exp(-\frac{\beta}{\alpha} T_1)]} \times \begin{cases} \exp(-\frac{\beta}{\alpha} t) - \\ - \exp\left[-\frac{\beta}{\alpha}(t+T_1-t_1)\right] & \text{dla } t \in (0, t_1) \\ - \exp\left[-\frac{\beta}{\alpha}(t-t_1)\right] & \text{dla } t \in (t_1, T_1) \end{cases} \quad (8)$$

Maksymalne wahania wartości prądów  $i(t)$  oraz  $i_2(t)$  wynoszą odpowiednio:

$$\Delta i_{\max} = \frac{U_m}{R} - \frac{2U_m R_z}{R(R+R_z)} \frac{\exp(-\frac{\beta}{\alpha} \frac{T_1}{2})}{1+\exp(-\frac{\beta}{\alpha} \frac{T_1}{2})} \approx \frac{U_m}{4T_1 L} \quad (9)$$

$$\Delta i_{2\max} = \frac{U_m}{R} \frac{1-\exp(-\frac{\beta}{\alpha} \frac{T_1}{2})}{1+\exp(-\frac{\beta}{\alpha} \frac{T_1}{2})} \quad (10)$$

gdzie:

$$\alpha = L(R+R_z); \quad \beta = RR_z.$$

Metoda skończona przekształcenia Laplace'a jest szczególnie przydatna do analizy elektromagnetycznych stanów nieustalonych występujących w silnikach trakcyjnych słabo obciążonych ( $M_{\text{obc}} \leq M_n$ ), zasilanych z układów przerywaczy prądu stałego.

### 2.3. Analiza obwodu elektromagnetycznego silnika szeregowego metodą modelowania cyfrowego

Analizę przeprowadzono przy następujących założeniach:

pomija się:

- wpływ prądów wirowych na strumień wzbudzenia silnika,
- przepływ oddziaływania twornika,

- indukcyjność własną uzwojenia twornika  $L_{tw} \approx 0$ ,
- straty w żelazie oraz straty mechaniczne silnika,
- zakłada się jednoznaczny charakterystykę magnesowania silnika, aproksymowaną funkcją:  $\Phi = A \arctg(B \cdot i)$ .

Układ równań różniczkowych opisujących dynamikę silnika można przedstawić w postaci układu równań (11):

$$\begin{aligned}
 u(t) &= R_i + z_w \frac{d\Phi_w}{dt} + c\Phi_w \omega, \\
 M - M_{obc} &= J_z \frac{d\omega}{dt}, \\
 M &= c\Phi_w i, \\
 \Phi_w &= A \arctg(B \cdot i)
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

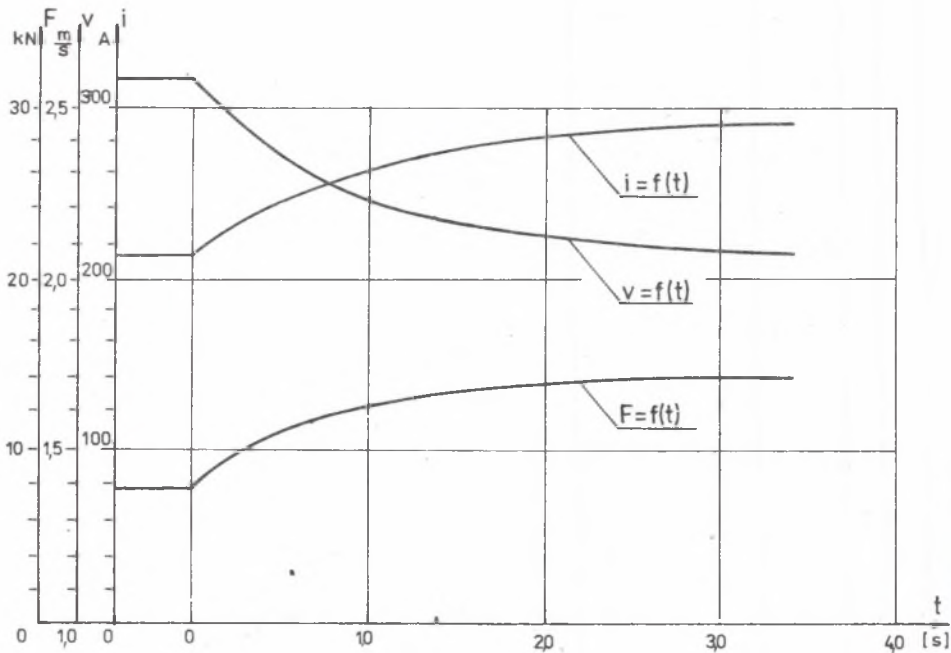
gdzie:

$$u(t) = U_m \delta(t) = \begin{cases} U_m & \text{dla } t \in (kT_1; t_1 + kT_1) \\ 0 & \text{dla } t \in [t_1 + kT_1; (k+1)T_1] \end{cases};$$

$$k = 0, 1, 2, \dots,$$

$\Phi_w$  - strumień wzbudzenia.

Do aproksymacji rzeczywistej charakterystyki magnesowania silnika zastosowano funkcję  $\Phi_w = A \arctg(B \cdot i)$ . Współczynniki A i B funkcji aproksymującej wyznaczono metodą minimalizacji błędów średniokwadratowego. Układ równań różniczkowych (11) rozwiązano w sposób numeryczny metodą Rungego-Kutty IV rzędu. Dla sprawdzenia prawidłowości oraz dokładności poszczególnych metod analizy przeprowadzono obliczenia numeryczne dla różnych typów silników trakcyjnych: LDs05a, LDs243, LDs327a. Na rys. 4 przedstawiono przykładowo przebieg zmian prądu silnika, prędkości jazdy oraz siły pociągowej lokomotywy LeaBM 12T napędzanej silnikiem LDs 245, przy skokowo zmienianej sile oporów ruchu. Porównując wyniki obliczeń z pomiarami wykonanymi na rzeczywistym obiekcie stwierdzono poprawność proponowanych metod i ich przydatność do komputerowej analizy stanów dynamicznych lokomotyw.



Rys. 4. Przebieg zmian prądu silnika, prędkości jazdy oraz siły pociągowej lokomotywy LeabM-12T przy skokowo zmienianej sile oporów ruchu

Fig. 4. Time running of current, tractive effort and linear speed for stepping changes of total resistance force of locomotive LeabM-12T

### 3. WPŁYW ZMIAN CZĘSTOTLIWOŚCI IMPULSOWANIA PRZERYWACZA PRĄDU STAŁEGO NA WŁASNOŚCI SILNIKA TRAKCYJNEGO

Zasilanie silnika trakcyjnego napięciem pulsującym z przerywacza prądu stałego powoduje powstanie pulsacji prądu twornika, prędkości obrotowej oraz wpływa na wartość strat w żelazie i na sprawność silnika. Wahania prądu silnika  $\Delta i$ , określone jako różnica maksymalnej i minimalnej wartości prądu silnika, można obliczyć z relacji:

$$\Delta i(t) = \lim_{t \rightarrow t_1^-} I(t) - \lim_{t \rightarrow t_1^+} I(t) = \frac{U_m}{R} \frac{\exp(-\frac{\beta}{\alpha} t_1) + \exp[-(\frac{\beta}{\alpha} T_1 - t_1)]}{1 - \exp(-\frac{\beta}{\alpha} T)} - \frac{-2\exp(-\frac{\beta}{\alpha} T_1)}{1 - \exp(-\frac{\beta}{\alpha} T)} \quad (12)$$

$$\Delta i_{\max} = \frac{U_m}{R} \frac{1 - \exp(-\frac{\beta}{\alpha} \frac{T_1}{2})}{1 + \exp(-\frac{\beta}{\alpha} \cdot \frac{T_1}{2})} \quad (13)$$



Przyjmując  $T_i \ll \frac{L}{R}$  oraz zastępując funkcje wykładnicze dwoma pierwszymi wyrazami rozwinięcia w szereg Maclaurina, otrzymuje się wzory przybliżone:

$$\Delta i \approx c_1 U_m \frac{8(1-\epsilon)}{T_i \cdot f_i} \quad T \approx \frac{L}{c\omega + R} \quad (14)$$

$$\Delta i_{\max} \approx \frac{U_m}{4L \cdot f_i} \quad (15)$$

Amplitudę pulsacji prędkości obrotowej silnika można obliczyć w sposób przybliżony z relacji [1]:

$$\Delta \omega \approx \frac{1}{8} \frac{c \Delta i}{J_z \cdot f_i} \quad (16)$$

Całkowite straty w żelazie  $\Delta P_{Fe}$ , występujące przy zasilaniu silnika napięciem pulsującym, składają się z dwóch elementów  $\Delta P_{Fe-}$  - wywołanego składową stałą strumienia wzbudzenia oraz  $\Delta P_{Fe\sim}$  - wywołanego składową pulsującą.

Składową stałą  $\Delta P_{Fe-}$  można obliczyć z relacji:

$$\Delta P_{Fe-} \approx (c_h B^2 \omega + c_w B^2 \omega) G_{Fe} \quad (17)$$

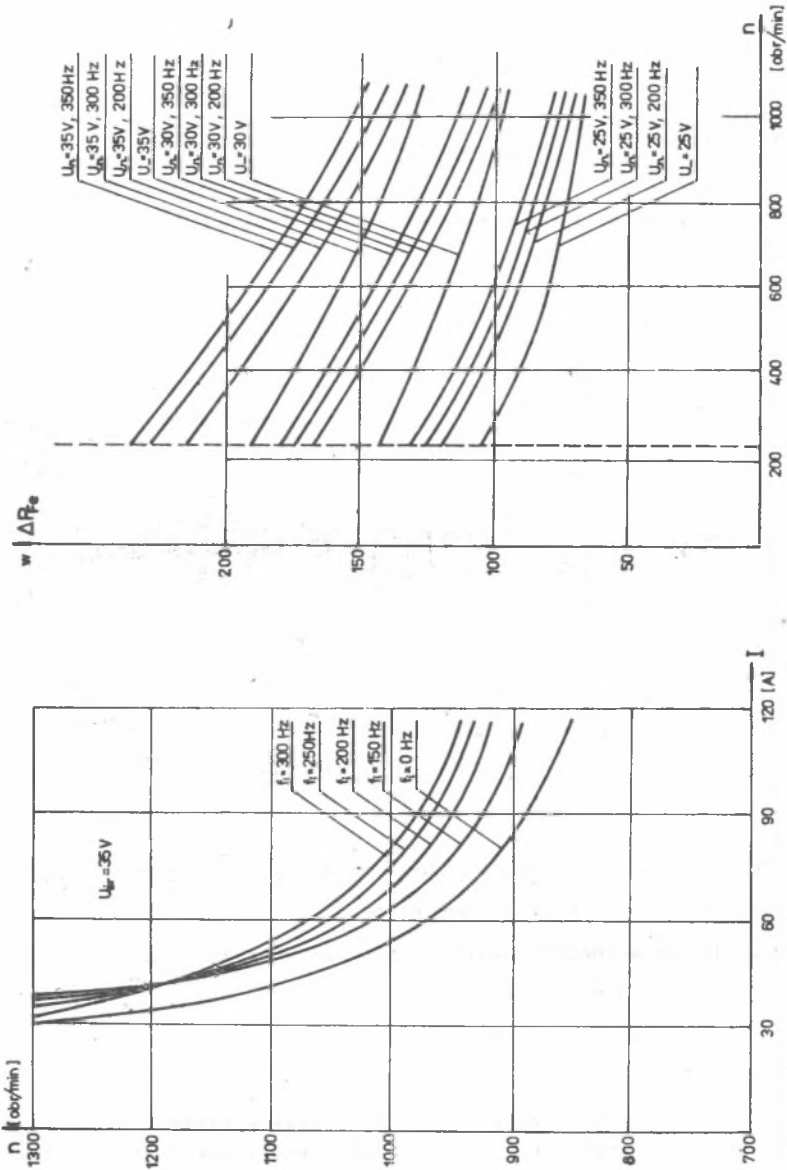
Natomiast straty mocy w ferromagnetyku znajdującym się w pulsującym polu magnetycznym można obliczyć z relacji [2]:

$$\Delta P_{Fe\sim} = \Delta P_{Fe\sim h} + \Delta P_{Fe\sim w} = \pi f_i \mu_p H_m^2 \operatorname{tg} \varphi + \frac{1}{8} \pi d^2 \mu_p^2 H_m^2 f_i^2 \quad (18)$$

gdzie:

- $H_m$  - amplituda podstawowej harmonicznej natężenia pola magnetycznego,
- $\mu_p$  - pulsacyjna przenikalność magnetyczna,
- $\varphi$  - kąt przesunięcia fazowego między składowymi zmiennymi  $b(t)$  i  $h(t)$ ,
- $d$  - grubość arkusza blachy ferromagnetyka,
- $\pi$  - konduktywność blachy magnetycznej,
- $f_i$  - częstotliwość pulsowania.

Celem empirycznego określenia wpływu częstotliwości pulsowania  $f_i$  przerywacza na straty w żelazie silnika trakcyjnego przeprowadzono badania laboratoryjne silnika trakcyjnego w układzie obcowzbudnym. Straty w żelazie wyznaczono zmodyfikowaną metodą strat poszczególnych. Wyniki pomiarów przedstawiono przykładowo na rys. 5. Jak wynika z tego rysunku, ze wzro-



Rys. 5. Charakterystyka  $\Delta P_{Fe} = f(n)$  dla  $U_{gr} = \text{const}$ ;  $f_1 = \text{var}$

Fig. 5. Characteristic of  $\Delta P_{Fe} = f(n)$  for  $U_{gr} = \text{const}$  and  $f_1 = \text{var}$

Rys. 6. Charakterystyki  $n = f(I)$  silnika trakcyjnego dla  $f_1 = \text{var}$

Fig. 6. Characteristics of:  $n = f(I)$  for  $f_1 = \text{var}$  traction motor

stem częstotliwości pulsowania  $f_1$  straty w żelazie rosną w niewielkim stopniu.

Dla określenia wpływu częstotliwości pulsowania  $f_1$  przerywacza na własności ruchowe silnika trakcyjnego przeprowadzono pomiary charakterystyk zewnętrznych. Pomiary wykonano na silniku o danych znamionowych:

$P_n = 2,5$  kW,  $U_n = 40$  V,  $I_n = 73$  A,  $n_n = 900$  obr/min. Wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 6.

#### 4. UWAGI KOŃCOWE

Analiza teoretyczna oraz wyniki badań laboratoryjnych silnika trakcyjnego potwierdziły dosyć istotny wpływ częstotliwości pulsowania przerywacza prądu stałego na własności ruchowe silnika. Ze wzrostem częstotliwości pulsowania  $f_1$  rosną straty w żelazie, rosną straty w uzwojeniach, maleje sprawność silnika, wzrasta temperatura poszczególnych elementów silnika. Powoduje to obniżenie mocy wydawanej silnika oraz obniżenie jego trwałości.

Nowe rozwiązania lokomotyw elektrycznych, w których stosuje się układy przerywaczy prądu stałego, powinny posiadać nowe konstrukcje silników trakcyjnych dostosowanych do zasilania napięciem pulsującym lub silniki z magnesami trwałymi o odpowiednio kształtowanych charakterystykach ruchowych.

#### LITERATURA

- [1] Szklarski L.: Teoretyczne zagadnienie trakcji elektrycznej. Trakcja elektryczna w górnictwie. PWN, Warszawa 1972.
- [2] Szklarski L.: Elektryczne napędy trakcyjne lokomotyw kopalnianych. PWN, Warszawa 1988.
- [3] Szklarski L., Jaracz K.: Sterowanie i regulacja w napędach elektrycznych. Automatyka napędów górniczych. Skrypt AGH nr 911, Kraków 1989.
- [4] Szczucki F.: Urządzenia energoelektroniczne w górnictwie. "Śląsk", Katowice 1984.
- [5] Popow A.N.: Analiticheskiy razchet perehodnykh procesov elektrodwigatelia posliedowatel'nogo wozburzhdienia. Promysliennaja Energetika nr 6, 1987.
- [6] Szymański Z.: Wpływ parametrów wyjściowych przerywacza prądu stałego na parametry elektromagnetyczne i elektromechaniczne silnika trakcyjnego. Zeszyty Naukowe AGH s. Elektrotechnika z. 12, Kraków 1988.

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕН ЧАСТОТЫ ИМПУЛЬСИРОВАНИЯ ТИРИСТОРНОГО ПЕРЕРЫВАТЕЛЯ  
ПОСТОЯННОГО ТОКА НА ДВИЖЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Р е з ю м е

В статье представлен анализ электромагнитной цепи тягового двигателя питаемого от тиристорного прерывателя постоянного тока. Анализ проведен для 3 случайности аппроксимации характеристики намагничивания листов двигателя: сегментовая аппроксимация, полиномная аппроксимация аппроксимирование функций:  $F = A \cdot \arctg(B \cdot i)$ .

Для определения влияния перемен частоты пульсирования на некоторые электромагнитные и электромеханические параметры двигателя, в статье представлены формулы делающие возможным определение этих перемен. В заключательной части замещены результаты лабораторных исследований проведенных на двигателе постоянного тока с последовательным возбуждением мощности 2 кв. Исследования проведено для разных частот пульсирования прерывателя:  $f_1 \in (0; 350) \text{Hz}$  и переменнах коэффициента выполнения:  $\xi_1 \in (0,5; 1,0)$ . Результаты исследований замещены на движенных характеристиках двигателя.

INFLUENCE OF CHANGES THE FREQUENCY OF IMPULSING d.c THYRISTOR  
BREAKER ON THE MOVING PARAMETERS OF RAILWAY MOTOR

S u m m a r y

In the paper there has been presented an analysis of electromagnetic circuit of the railway motor fed by the d.c. breaker. The analysis was conducted for 3 cases at the approximation of the magnetization curve of the motor: segmental linearization, multinomial approximation and at the approximation by function:  $\Phi = A \times \arctg(B \cdot i)$ . To define the influence of the frequency of impulsing d.c. breaker on selected the electromagnetic and electromechanical parameters of the motor, in the paper has been presented the formulæ, which enable of analitical designation that changes.

In the latter part has been presented the results of the laboratory measurements, which was maked on the d.c. series motor 2 kW power. The measurements have been conducted for different the frequency of impulsing of d.c. breaker:  $f_1 \in (0-350) \text{Hz}$  and filling coefficient:  $\xi \in (0,5-1,0)$ . The results measurements has been presented on the moving characteristics of the motor.

Recenzent: Doc. dr inż. Franciszek Szczudd