ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1994
Seria: ELEKTRYKA z.139 Nr kol.1247

Barbara KULESZ

Wojciech KOCHANOWSKI

OBCIĄŻENIA CHWILOWE SILNIKA TRAKCYJNEGO PRĄDU STAŁEGO LTa-220 TRAMWAJU 105Na

Streszczenie. W artykule przedstawiono metodykę pomiarów obciążeń chwilowych silnika trakcyjnego szeregowego prądu stałego. Zaprezentowano metodę obliczeniową pozwalającą wyznaczyć obciążenie silnika na podstawie zmierzonych wielkości. Zamieszczono również przykładowe przebiegi momentu silnika, prędkości i przyspieszenia tramwaju w wybranym cyklu pracy.

WORKING LOAD OF LTa-220 D.C.SERIES TRACTION MOTOR OF 105Na TRAMWAY DRIVE

Summary. A method of measurement and calculation of working load of series d.c. traction motor has been presented in this paper. The courses of motor torque, velocity and acceleration of tramway car during one duty cycle have been shown.

КРАТКОВРЕМЕННЫЕ НАГРУЗКИ ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ТИПА LTa-220 ТРАМВАЯ 105Na

Резюме. В статье представлена методика измерений и расчёта кратковременных нагрузок тягового двигателя с последовательным возбуждением. Приведены примерные характеристики момента, скорости и ускорения трамвая в рабочим цикле двигателя.

1. WSTĘP

Nowoczesne pojazdy trakcyjne w coraz większym stopniu wykorzystują do napędu silniki indukcyjne zasilane przez układy umożliwiające płynną regulację prędkości jazdy bez strat energii w rozrusznikach oporowych, jak występuje to w klasycznym napędzie trakcyjnym prądu stałego. W Polsce tego typu układy jeszcze nie są produkowane.

Obecnie w Zakładzie Trakcji Elektrycznej Politechniki Śląskiej jest opracowywany napęd tramwaju złożony z silnika indukcyjnego zasilanego z falownika sterowanego przy użyciu sterownika mikroprocesorowego.

Prowadzone prace mają na celu zaprojektowanie i wykonanie wraz ze zmontowaniem w wozie tramwajowym typu 105Na kompletnego układu napędowego spełniającego rolę układu stosowanego dotychczas, tzn. silnika szeregowego prądu stałego typu LTa220 zasilanego poprzez rozrusznik z oporami rozruchowymi.

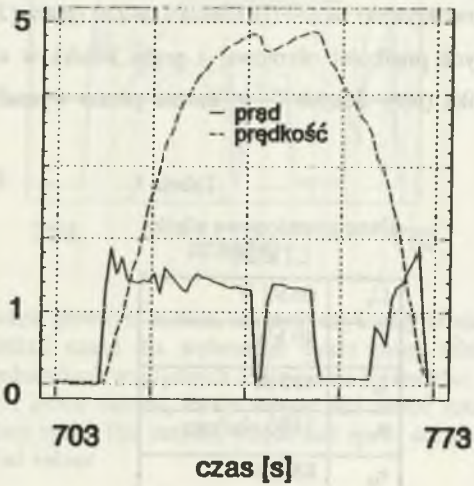
Ze względu na brak innych krajowych rozwiązań układu napędowego tego typu, ważną sprawą stało się określenie warunków stawianych układowi silnik - falownik podczas eksploatacji. Na potrzeby symulacji komputerowej takiego układu określono przyspieszenie i siłę pociągową tramwaju występujące w czasie jazdy. Pomiary wykonano na linii nr 11, łączącej Rudę Chebzie z centrum Katowic, obsługiwanej przez wozy tramwajowe typu 105Na. Trasa tramwaju przebiega w gęsto zabudowanym terenie, a zatem warunki jazdy można uznać za typowe dla dużej aglomeracji miejskiej, z częstymi postojami i rozruchami. Celem pomiarów było określenie chwilowych obciążeń (moment silnika w funkcji czasu) silnika trakcyjnego w warunkach eksploatacyjnych. Wyniki przeprowadzonych pomiarów i obliczeń przedstawionych w artykule wykorzystano do symulacji komputerowej warunków zasilania silnika indukcyjnego klatkowego typu STD 200 L4, który ma zastąpić obecnie stosowany silnik LT200. Wyniki symulacji zostały zamieszczone w pracy [1].

2. METODYKA POMIARÓW

Moment użyteczny silnika trakcyjnego oraz przyspieszenie tramwaju można oszacować mając dane tylko dwie wielkości wejściowe: prąd w obwodzie głównym silnika oraz prędkość liniową tramwaju. Do pomiaru prądu wykorzystano: bocznik prądowy 600 A/60 mV

włączony szeregowo w obwód jednego z silników trakcyjnych. Napięcie z bocznika było podawane na rejestrator RCUf-4, który umożliwia odczyt napięcia wejściowego co 1 sekundę i zapis zmierzonej wartości do pamięci. W czasie wstępnej synchronizacji rejestratora z komputerem typu IBM PC został ustawiony jego zegar wewnętrzny. Po dokonaniu pomiarów zawartość rejestrów pamięci rejestratora została przekazana poprzez złącze RS232C do komputera IBM PC.

Do pomiaru prędkości tramwaju wykorzystano miernik METEX wyposażony w interfejs szeregowy, podłączony na stałe do komputera typu notebook Compaq Contura 3/20. Oprogramowanie miernika umożliwia bezpośrednie przesyłanie do komputera zmierzonej wartości, przy czym pomiary dokonywane były również co 1 s. Wejście miernika zostało podłączone do wyjścia analogowego przetwornika prędkości tramwaju, stała przetwarzania była równa 10 km/h/1 V. Poza mierzonymi przez oba przyrządy napięciami (proporcjonalnymi odpowiednio do prądu i prędkości) był również rejestrowany w komputerze czas pomiaru. Pozwoliło to na synchronizację przebiegów prądu i prędkości. Fragment pomierzonych przebiegów pokazano na rys.1. Całkowity czas pomiarów wyniósł ok. jedną godzinę.



Rys.1. Przebieg prądu w obwodzie głównym silnika i prędkości liniowej tramwaju dla wybranego cyklu pracy tramwaju. Prąd odniesiono do wartości znamionowej, prędkość w (km/h) ∗10

Fig.1. The courses of motor current and linear speed of the tramway during one duty cycle. The current is given in relation to its rated value, the velocity in (km/h) ∗10

3. OBLICZENIA

Ze względu na powtarzalność cyklu pracy tramwaju do dalszej analizy wybrano część pomiarów obejmującą 1300 s. Wybrany fragment pomiarów podzielono na 25 cykli obejmujących: postój i mogącą się kilkakrotnie powtórzyć sekwencję jazda - wybieg - hamowanie aż do kolejnego postoju. Prędkość obrotową silnika obliczono z zależności:

$$n = v\frac{1}{0.1885}\cdot\frac{1}{D}i \qquad (1)$$

gdzie

i - przełożenie przekładni zębatej, i=7,375,

D - średnica koła napędnego, D=0,654 m.

Analizując przebieg prędkości i prądu silnika trakcyjnego, określono rodzaj pracy silnika w każdej chwili czasowej (praca silnikowa, praca hamulcowa, wybieg, postój). Mając dane prędkość obrotową i prąd silnika w funkcji czasu, jak również znając charakter pracy silnika w każdej chwili, obliczono przebieg momentu użytecznego silnika. Przyjęto przy tym następujące założenia upraszczające:

1) Mając dane charakterystyki M,n=F(I) silnika Lta-220 (patrz [2] i tabela 1) można na podstawie pomierzonych prędkości obrotowej i prądu silnika w czasie pracy silnikowej określić moment silnika (przy danych I i n można prosto wyznaczyć stopień osłabienia wzbudzenia).

Tabela 1

Dane znamionowe silnika LTa220

U_n	660/2 V
P_n	40 kW
I_n	150 A
n_n	1890 obr/min
η_n	88,8%
M_n	201 N·m
n_{max}	4200 obr/min
β_n	100; 78; 63%
p_n	2,5

2) Przy wybiegu przyjęto M=0.

3) W czasie pracy hamulcowej przyjęto, że hamowanie odbywa się cały czas przy pełnym wzbudzeniu. Moment w czasie hamowania obliczono jako

$$M_H = \frac{1}{\eta_s^2} M_s \tag{2}$$

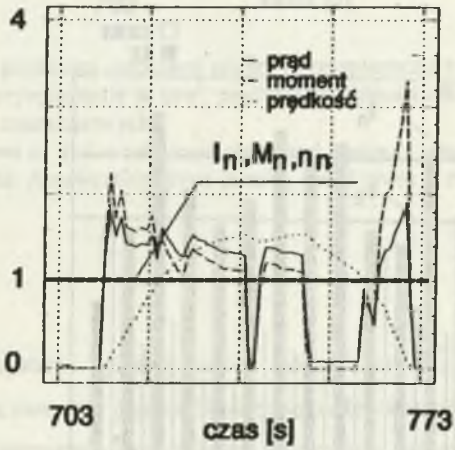
gdzie:

M_s - moment na wale silnika,

η_s - sprawność silnika w funkcji prądu, przyjęto za pozycją [2].

4) Pominięto (za pracą [3]) wpływ oporów ruchu.

Przebieg prądu, prędkości obrotowej i momentu użytecznego silnika pokazano na rys.2.



Rys.2. Prąd w obwodzie głównym silnika, moment użyteczny silnika, prędkość obrotowa silnika w funkcji czasu dla wybranego cyklu pracy silnika. Prąd, moment i prędkość w jednostkach względnych (odniesiono do wartości znamionowych)

Fig.2. The courses of motor current, motor torque and motor rotational speed vs. time during one duty cycle. The current, torque and speed are given in relation to their respective rated values

Dla wszystkich kolejnych cykli pracy tramwaju (od 1-25) obliczono:

a) długość cyklu (czas trwania) w s,

b) prąd zastępczy silnika zdefiniowany jako:

$$I_z = \sqrt{\frac{1}{\sum \Delta t_i} \sum \left(I_i^2 \, \Delta t_i \right)} \tag{3}$$

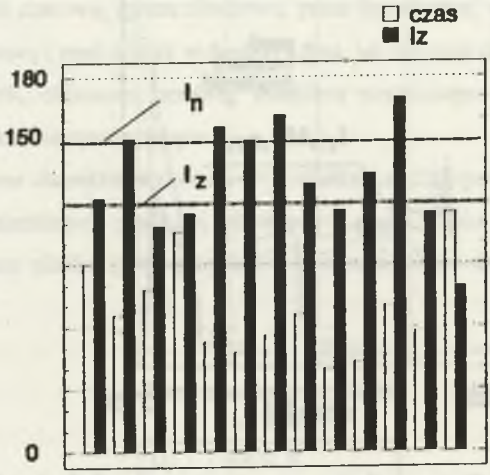
gdzie: $\Delta t_i = 1$ s, I_i - zmierzona wartość prądu.

Wyznaczono również prąd zastępczy dla całego odcinka jazdy (ok.1300 s), wyniósł on 121 A.

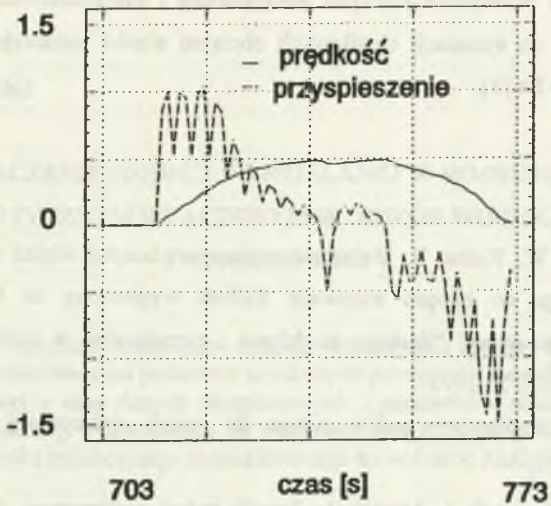
Czasy jazdy i prądy zastępcze poszczególnych cykli pokazano na rys.3.

Obliczono również przebieg przyspieszenia (opóźnienia) tramwaju w funkcji czasu. Przebieg ten jest pokazany na rys.4.

Maksymalne przyspieszenie rozruchu wyniosło ok. 1 m/s^2, maksymalne opóźnienie hamowania wyniosło ok. 1,5 m/s^2.



Rys.3. Czasy jazdy i prądy zastępcze silnika w poszczególnych cyklach jazdy tramwaju
Fig.3. Running times and equivalent motor currents in several duty cycles of the tramway



Rys.4. Przebieg prędkości obrotowej silnika i przyspieszenia tramwaju w wybranym cyklu pracy. Przyspieszenie w m/s^2, prędkość w jednostkach względnych (odniesiona do wartości znamionowych)

Fig.4. The courses of motor rotational speed and tramway acceleration vs. time during one duty cycle. Acceleration given in m/s^2, speed given in relation to its rated value

4. WNIOSKI

a) Przy wykorzystaniu opisanej metody można określić z wystarczającą dla praktyki dokładnością moment i prędkość trakcyjnego silnika szeregowego prądu stałego.

b) Moment użyteczny silnika wynikający z warunków ruchowych tramwaju jest znacznie większy w trakcie hamowania niż w czasie pracy silnikowej. Chwilowe maksymalne przeciążenie momentem w trakcie hamowania wyniosło 3,4 M_n.

c) Wyznaczono również przebieg obciążenia silnika w trakcie typowego cyklu pracy. Cykl pracy silnika trakcyjnego obejmuje:

jazda silnikowa - 30% całkowitego czasu pracy,
wybieg - 25% całkowitego czasu pracy,
praca hamulcowa - 24% całkowitego czasu pracy,
postój - 21% całkowitego czasu pracy,

d) Przedstawiony w artykule algorytm postępowania i zaprezentowane wyniki zostały wykorzystane do symulacji chwilowych obciążeń silnika indukcyjnego klatkowego typu STD 200 L4 [1].

LITERATURA

1. Kochanowski W., Kulesz B.: Badania symulacyjne obciążeń silnika asynchronicznego przeznaczonego do napędu tramwaju. Referat wygłoszony na Międzynarodowej Konferencji Naukowej "Badania modelowe i symulacyjne w trakcji elektrycznej". Warszawa, 18-20 XI 1993.
2. Katalog 41-M. Maszyny prądu stałego do trakcji elektrycznej. WPM WEMA, Warszawa 1970.
3. Podoski J., Kacprzak J., Myslek J.: Zasady trakcji elektrycznej. WKiŁ, Warszawa 1980 .

Recenzent: Prof.dr hab.inż. Zbigniew Stein

Wpłynęło do Redakcji 15 czerwca 1993 r.

Abstract

The scientists employed at the Department of Electric Traction of Silesian Technical University have been working on the design of new tramway drive system. The new drive will consist of an inverter-fed asynchronous cage motor with microprocessor controller. It has become important to determine the technical requirements of the inverter - motor unit under the typical operating conditions. The measurements of motor current and tramway car velocity have been executed. These tests have been run on the tramway car with existing drive system, i.e. type Lta220 d.c. series motor. The method of taking measurements and estimation of required motor torque has been presented. The courses of motor current and linear speed of the tramway car during one duty cycle have been shown in Fig.1. The courses of motor torque and motor rotational speed have been presented in Fig.2. Figure 3 shows running times and equivalent motor currents in several duty cycles.