ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1984

Seria: AUTOMATYKA z. 73 Nr kol. 798

Krystian KUSIDŁO

O PEWNYCH NOWYCH SPOSOBACH KSZTAŁTOWANIA CHARAKTERYSTYKI NAPĘDOWEJ ELEKTROMAGNESU PRĄDU STAŁEGO

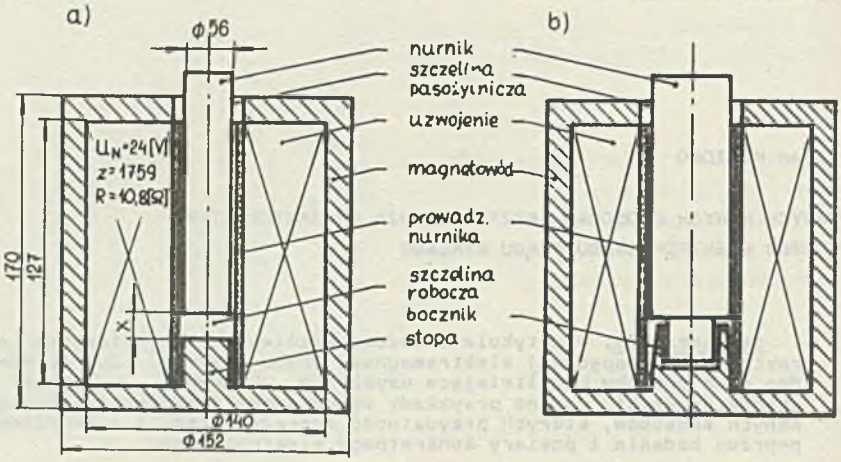
Streszczenie. W artykule omówiono możliwości kształtowania charakterystyki napędowej elektromagnesu prądu stałego. Zaproponowano dwa nowe sposoby umożliwiające uzyskanie dowolnego przebiegu tej charakterystyki. Podano przykłady technicznej realizacji zaproponowanych sposobów, których przydatność została wstępnie zweryfikowana poprzez badania i pomiary konkretnego elektromagnesu.

1. WSTĘP

Przez charakterystykę napędową będziemy rozumieć zależność rozwijanej przez elektromagnes siły pochodzenia elektrycznego od długości roboczej szczeliny powietrznej. Powszechnie przyjmuje się, że przebieg ten jest typu hiperbolicznego z małymi możliwościami modyfikacji. Pogląd ten ogranicza stosowanie tanich, prostych i niezawodnych elektromagnesów, ponieważ często jest wymagany inny przebieg charakterystyki napędowej, np. przy współpracy z obciążeniem grawitacyjnym lub też przy pracy proporcjonalnej elektromagnesu. Przedstawione w artykule propozycje kształtowania charakterystyki napędowej zostały zweryfikowane na drodze badań i pomiarów konkretnego elektromagnesu [1].

2. SPOSOBY KSZTAŁTOWANIA CHARAKTERYSTYKI NAPĘDOWEJ

Tradycyjne sposoby kształtowania charakterystyki napędowej elektromagnesów bazują na określonym doborze geometrii magnetowodu w okolicy roboczej szczeliny powietrznej [2], [3], [4]. W szczególności dobiera się geometrię takich elementów magnetowodu, jak: stopa, nurnik, boczniki magnetyczne mogące pracować jako nasycone lub nienasycone. Wszystkie wymienione elementy zostały pokazane na rys. 1. Żaden z tych sposobów nawet w przybliżeniu nie zapewnia otrzymania dowolnego z góry założonego przebiegu charakterystyki napędowej. Ponadto w miarę wzrostu złożoności kształtu wymienionych elementów magnetowodu następuje znaczna komplikacja opisu procesów fizycznych występujących podczas pracy elektromagnesu, co prowa-



Rys. 1. Rozwiązanie konstrukcyjne elektromagnesu
a) z płaską stopą i nurnikiem, b) z nasyconym bocznikiem magnetycznym

dzi do coraz mniejszej dokładności obliczeń. Z uwagi na ważność zastosowania danego elektromagnesu tworzy się w tych przypadkach interdyscyplinarne zespoły specjalistów, mających do dyspozycji nowoczesne urządzenia informatyki, których zadaniem jest opracowanie dokładnych metod obliczeniowych. Metody te pozwalają skonstruować elektromagnes o założonym przebiegu charakterystyki napędowej [5]. Należy zaznaczyć, że ze względu na obecny stan rozwoju sprzętu, programów i metod informatycznych problem ten daje się efektywnie rozwiązać tylko w przypadku, kiedy elektromagnes jest bryłą obrotową (rys. 1). Dodatkowo należy zaznaczyć, że w przypadku stosowania nasyconych boczników magnetycznych nie istnieją do tej pory jakiekolwiek, w pełni sformalizowane, metody obliczania elektromagnesów [6]. Wszystko to jest powodem, że praktyczne zastosowanie omówionych wyżej metod jest bardzo ograniczone, a do poszukiwanej konstrukcji dochodzi się metodą wielokrotnych i kosztownych badań. W dalszej części artykułu zostaną zaproponowane dwa nowe sposoby kształtowania charakterystyki napędowej elektromagnesu.

3. NOWE SPOSOBY KSZTAŁTOWANIA CHARAKTERYSTYKI NAPĘDOWEJ

Do badań został wybrany jednouzwojeniowy elektromagnes prądu stałego z rdzeniem wciąganym, zasilany bocznikowo (rys. 1a). Elementarny model matematyczny został określony przy założeniu, że w rzeczywistym elektromagnesie można pominąć [7]:

- nieliniowości materiałowe (linearyzacja krzywej magnesowania);
- zniekształcenia linii pola magnetycznego wokół szczelin;

- rozproszenia linii pola magnetycznego;
- reluktancję obwodu magnetycznego.

Dla stanu ustalonego siła pochodzenia elektrycznego rozwijana przez nurnik może być określona następującym wyrażeniem:

$$f_e = 0,5 \left(\frac{uz}{R}\right)^2 \frac{dG_m(x)}{dx}, \qquad (1)$$

gdzie:

- u - napięcie zasilające [V],
- z - liczba zwojów uzwojenia magnesującego,
- R - rezystancja uzwojenia magnesującego [Ω],
- $G_m(x)$ - wypadkowa permeancja wszystkich szczelin powietrznych na drodze strumienia magnetycznego [Wb/A].

Z zależności (1) wynika, że istnieją dwa podstawowe sposoby kształtowania charakterystyki napędowej. Pierwszy polega na odpowiednim doborze geometrii magnetowodu w celu uzyskania określonego przebiegu permeancji $G_m(x)$ w czasie ruchu nurnika. Jeżeli dobór geometrii magnetowodu ogranicza się tylko do okolicy roboczej szczeliny powietrznej, to mamy do czynienia z jednym z wcześniej omówionych sposobów opisanych w literaturze. Jeżeli natomiast będziemy kształtować geometrię pasożytniczej szczeliny powietrznej (rys. 1), to uzyskamy pewne nowe możliwości wpływu na charakterystykę napędową elektromagnesu.

Drugi sposób polega na znalezieniu takiej konstrukcji elektromagnesu, która zapewni uzależnienie wartości napięcia zasilającego uzwojenie magnesujące od bieżącej wartości położenia nurnika. Dobierając odpowiednie $u(x)$ można uzyskać dowolny przebieg charakterystyki napędowej.

Dla przyjętych założeń, po prostych przekształceniach zależności (1), możemy napisać, że siła pochodzenia elektrycznego rozwijana przez elektromagnes przedstawiony na rys. 1a jest wyrażona następującym wzorem [8], [1]:

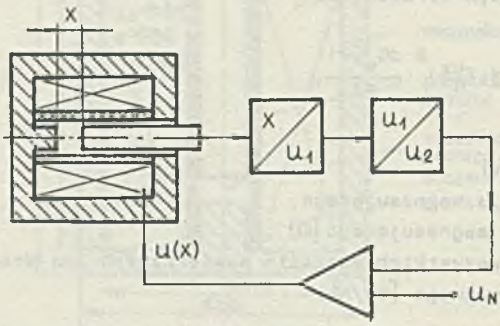
$$f_e = \frac{z^2 \mu_0 s}{2 R^2} \left[\frac{u(x)}{x}\right]^2 \ [N], \qquad (2)$$

gdzie:

- $u(x)$ - napięcie zasilające uzwojenie magnesujące, zależne od bieżącego położenia nurnika [V];
- μ_0 - przenikalność magnetyczna próżni [H/m];
- s - pole powierzchni przekroju roboczej szczeliny powietrznej [m^2].

Na rys. 2 przedstawiono schemat blokowy układu realizującego praktycznie omawiany sposób kształtowania charakterystyki napędowej. Przesunięcie nurnika jest przetwarzane przez czujnik pomiarowy na sygnał elektryczny, który jest następnie przetworzony (zgodnie z żądaną zależnością funkcyjną

u(x)) przez odpowiedni układ przekształcający. Ostatnim etapem jest podanie uzyskanego napięcia na węzeł sumujący, jego wzmocnienie i doprowadzenie do uzwojenia magnesującego elektromagnesu. Techniczna realizacja czujnika pomiarowego i układu przekształcającego może być dowolna. Na ogół będziemy dążyć do tego, aby oba bloki tworzyły funkcjonalną całość. W najprostszym przypadku można zastosować potencjometr suwakowy, sprzężony z poruszającym się nurnikiem i wbudowany w prosty zasilacz prądu stałego jako element regulujący jego napięcie wejściowe. Uzyskany przebieg charakterystyki napędowej będzie ściśle zależał od charakterystyki zastosowanego potencjometru i od charakterystyki regulacyjnej zasilacza. Ze względu na to, że istnieją potencjometry o różnej zależności oporu wyjściowego od przesunięcia suwaka oraz że istnieje wiele sposobów kształtowania charakterystyki regulacyjnej zasilacza, można uzyskiwać dużą różnorodność przebiegu napięcia u(x) w zależności od bieżącego położenia nurnika.

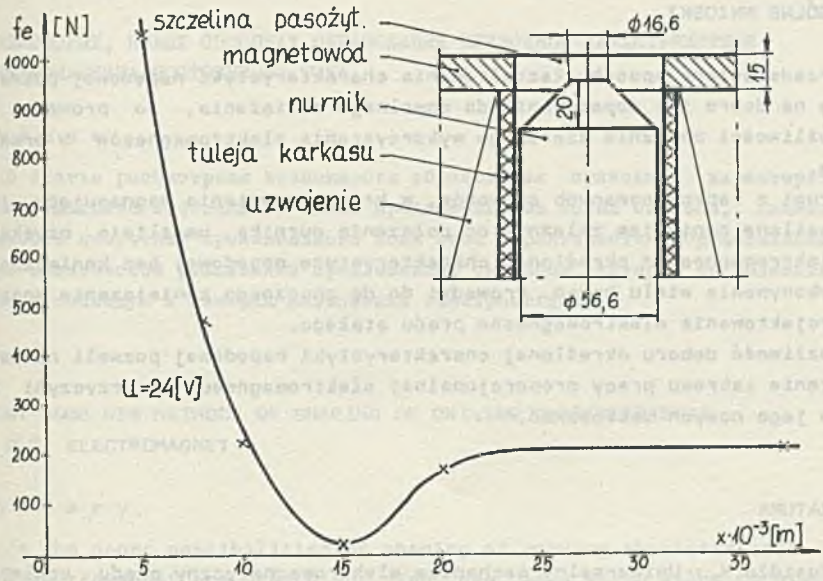


Rys. 2. Schemat blokowy układu realizującego uzależnienie napięcia zasilającego uzwojenie elektromagnesu od położenia nurnika

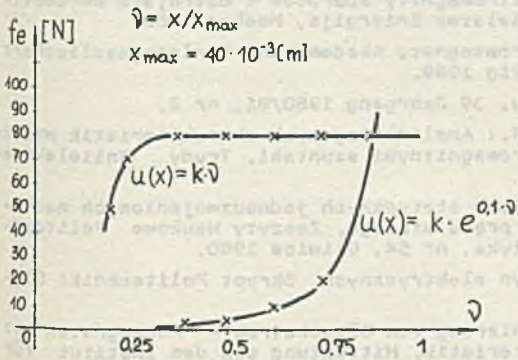
2.2. Wyniki badań i pomiarów

Badania elektromagnesu przedstawionego na rys. 1a zostały przeprowadzone na specjalnie do tego celu skonstruowanym stanowisku pomiarowym [1]. Pozwala ono na cyfrowy odczyt wartości siły rozwijanej przez nurnik elektromagnesu, wartości napięcia zasilającego uzwojenie magnesujące oraz długości roboczej szczeliny powietrznej. Celem przeprowadzonych badań było potwierdzenie przydatności dwóch zaproponowanych sposobów pod kątem możliwości uzyskiwania jakościowo odmiennych charakterystyk napędowych. Na rys. 3 przedstawiono otrzymany przebieg charakterystyki napędowej dla elektromagnesu z celowo wykorzystaną szczeliną pasożytniczą. Na rysunku tym przedstawiono również fragment magnetowodu w okolicy tej szczeliny wraz z istotnymi wymiarami. Natomiast na rys. 4 przedstawiono otrzymane charakterystyki w przypadku zastosowania drugiego sposobu przy wykorzystaniu potencjometrów suwakowych i zasilacza o wypadkowej charakterystyce $u(x) = k\vartheta$ i $u(x) = ke^{0,1\cdot\vartheta}$ ($k = 1$ [V], $\vartheta = X/X_{max}$).

Na podstawie otrzymanych charakterystyk napędowych można stwierdzić że szczególna zgodność z oczekiwaniami teoretycznymi występuje dla większych długości szczeliny roboczej. Jest to spowodowane mniejszym udziałem zjawisk zakłócających nie uwzględnionych w elementarnym modelu matematycznym



Rys. 3. Charakterystyka napędowa dla elektromagnesu z celowo wykorzystaną szczelinę pasożytniczą



Rys. 4. Charakterystyka napędowa dla elektromagnesu zasilanego napięciem uzależnionym od bieżącego położenia nurnika

(założenia upraszczające). Do zjawisk tych można zaliczyć występowanie efektu wybrzuszania się linii pola magnetycznego w wypadku małej długości szczeliny roboczej. Zwiększa się wtedy również znaczenie niewielkich szczelin powietrznych występujących przy połączeniach elementów magnetowodu oraz strumieni rozproszenia. Potwierdziła się również możliwość uzyskiwania dowolnych charakterystyk napędowych. Szczególnie obiecujący pod tym względem jest drugi z zaproponowanych sposobów. Bazujemy w tym przypadku na doborze teoretycznie i obliczeniowo opracowanej konstrukcji elektromagnesu z płaską stopę i nurnikiem [9]. Pozwala to oczekiwać dużej dokładności otrzymanych rozwiązań w odniesieniu do żądanych charakterystyk napędowych konstruowanego elektromagnesu.

3. OGÓLNE WNIOSKI

a) Przedstawione sposoby kształtowania charakterystyki napędowej pozwalają na dobre jej dopasowanie do dowolnego obciążenia, co prowadzi do możliwości znacznie szerszego wykorzystania elektromagnesów w praktyce.

b) Drugi z zaproponowanych sposobów, w którym uzwojenie magnesujące jest zasilane napięciem zależnym od położenia nurnika, umożliwia uzyskanie elektromagnesu o określonej charakterystyce napędowej bez konieczności wykonywania wielu badań. Prowadzi do do znacznego zmniejszenia kosztów projektowania elektromagnesów prądu stałego.

c) Możliwość doboru określonej charakterystyki napędowej pozwoli na zwiększenie zakresu pracy proporcjonalnej elektromagnesu, co przyczyni się do jego nowych zastosowań.

LITERATURA

[1] Kusidło K.: Uniwersalny mechanizm elektromagnetyczny prądu stałego - projekt, wykonanie, badania sprawdzające. Praca magisterska. Politechnika Śląska, Wydz. Automatyki, 1980.

[2] Kowalowski H.: Maszyny i napęd elektryczny. PWN, Warszawa 1975.

[3] Liubczik M.A.: Siłowyje elektromagnity aparatow i ustrojstw awtomatiki postojannowo toka. Izdetielstwo Eniergija, Moskwa 1968.

[4] Kallenbach E.: Der Gleichstrommagnet. Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K. - G. Leipzig 1969.

[5] PHILIPS Technische Rundschau. 39 Jahrgang 1980/81, nr 2.

[6] Liubczik M.A., Klimienko B.W.: Analiz tiagowych charaktieristik wtiaznych elektromagnitow z fierromagnitnymi szuntami. Trudy Wniielektroapparat, nr 1, 1967.

[7] Bortliczek Z.: O właściwościach statycznych jednouzwojeniowych mechanizmów elektromagnetycznych prądu stałego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Automatyka, nr 54, Gliwice 1980.

[8] Mizia W.: Laboratorium maszyn elektrycznych. Skrypt Politechniki Śląskiej nr 864, Gliwice 1979.

[9] Kallenbach E.: Zur Dimensionierung von Gleichstrom - Hubmagneten mit veranderter Hubkraft charakteristik. Mitteilung aus dem Institut für allgemeine und theoretische Elektrotechnik, HfE Ilmenau 1961.

Recenzent: Prof. dr inż. Zygmunt Bajorek

Wpłynęło do Redakcji: wrzesień 1983 r.

О НЕКОТОРЫХ, НОВЫХ СПОСОБАХ ОБРАЗОВАНИЯ ПРИВОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Р е з ю м е

В статье рассмотрены возможности образования приводной характеристики электромагнита постоянного тока. Предложены два новых способа, дающих возможность получения произвольного хода этой характеристики. Представлены примеры технической реализации предложенных способов, которых пригодность проверено исследуя и измеряя конкретный электромагнит.

ABOUT SOME NEW METHODS OF SHAPING OF DRIVING CHARAKTERISTIC IN D.C. ELECTROMAGNET

S u m m a r y

In the paper possibilities of shaping of driving characteristic in d. c. elekctromagnet are presented. Two new ways which allow to yield arbitral shape of this characteristic are proposed. Examples of technical realization are stated. Experimental results shown in paper, prove that presented methods are useful in practic.