

Tadeusz GLINKA

Instytut Elektrotechniki  
Teoretycznej i Przemysłowej  
Politechniki Śląskiej

SPRZEŻENIE ELEKTROMAGNETYCZNE UZWOJEŃ OBWODU TWORNIKA  
Z UZWOJENIEM WZBUDZENIA W SILNIKACH PRĄDU STAŁEGO  
W STANACH NIEUSTALONYCH

**Streszczenie.** W eksploatacji silników prądu stałego występują różnego typu zaburzenia, np.:

- wyłączenie szybkie prądu twornika,
- chwilowe zwarcie zwojowe na uzwojeniu kompensacyjnym, wywołane siłami elektrodynamicznymi,
- chwilowe zwarcie komutatora przez łuk okrężny.

Zaburzenia te przenoszą się na uzwojenie wzbudzenia, powodując działanie zabezpieczeń w tym obwodzie. Prąd wzbudzenia przy tego typu zaburzeniach może osiągnąć wartości kilkakrotnie większe od wartości znamionowej - rys. 8. Przenoszenie się zaburzeń z obwodu twornika na obwód wzbudzenia odbywa się poprzez nasycenie oraz zezwoje kontaktowe.

W tablicy 1 zamieszczono wyniki badań tych zaburzeń przeprowadzonych na silniku modelowym o mocy znamionowej 7,5 kW.

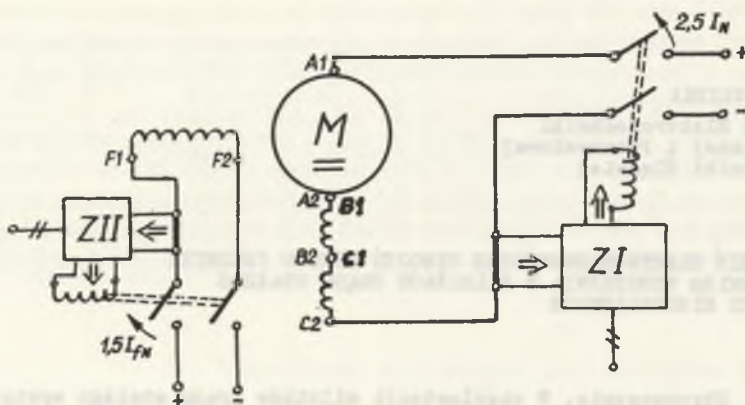
1. UWAGI O DZIAŁANIU ZABEZPIECZEŃ W SILNIKACH WALCOWNICZYCH PRĄDU STAŁEGO

Silniki prądu stałego, w szczególności silniki walcownicze, posiadają zabezpieczenia zarówno w obwodzie twornika, jak i w obwodzie wzbudzenia. Zabezpieczenia te działają na wyłączniki szybkie zainstalowane w tych obwodach - rys. 1.

Charakterystyka działania zabezpieczeń prądu twornika jest na ogół złożona i obejmuje zarówno przeciążenia termiczne, jak i dynamiczne. Działanie zabezpieczeń przy przeciążeniach dynamicznych jest najczęściej uzależnione od wartości chwilowej prądu i od pochodnej prądu.

Im szybciej narasta prąd twornika, tym wartość chwilowa prądu wyzwalająca działanie zabezpieczeń jest mniejsza. Chodzi o to, aby w czasie od pobudzenia zabezpieczenia do przerwania prądu, prąd nie narósł do zbyt dużej wartości.

Maksymalna wartość chwilowa prądu twornika wyzwalająca działanie zabezpieczeń jest najczęściej nastawiana na wartość  $2,5I_N$ , a dla prądu wzbudzenia na  $1,5 I_{FM}$ .



Rys. 1. Silniki prądu stałego posiadają zabezpieczenia zarówno w obwodzie twornika jak i w obwodzie wzbudzenia

Fig. 1. Direct-current motors are protected against short circuit in the armature as well as in the field winding

Zabezpieczenia te nie tylko chronią silnik przed możliwością uszkodzenia go w przypadku dużych przeciążeń prądowych oraz przed przegrzaniem uzwojeń, lecz także minimalizują uszkodzenia silnika spowodowane np. zwarcieciem na jednym z uzwojeń lub przez łuk okrężny na komutatorze.

W tych przypadkach szybkie wyłączenie napięcia twornika i prądu wzbudzenia chroni silnik przed rozszerzeniem się uszkodzenia i minimalizuje rozmiary awarii. Obserwując przez kilka lat zaburzenia w pracy silników walcowniczych o mocach znamionowych 6, 5 i 3 MW stwierdzono, że zawsze występuje działanie obu zabezpieczeń: w obwodzie twornika i w obwodzie wzbudzenia bez względu na to, gdzie leżała przyczyna wyłączenia silnika. Ponieważ każdy układ zabezpieczający jest wyposażony w sygnalizację kolejności działania zabezpieczeń, stwierdzono, że w większości przypadków pierwszym wyłącznikiem działającym był wyłącznik prądu wzbudzenia, mimo że, jak się okazało po wyjaśnieniach, przyczyna działania zabezpieczenia pochodziła z obwodu twornika.

Jeżeli zaburzenie wystąpi w obwodzie wzbudzenia silnika, to wyłączenie prądu wzbudzenia spowoduje zanik strumienia wzbudzenia i w konsekwencji, przy stałym napięciu zasilania, wystąpi nagły wzrost prądu twornika, który uruchamia zabezpieczenie nadmiarowe prądu twornika. W przypadku odwrotnym, gdy pierwszy reaguje wyłącznik szybki prądu twornika, dochodzi również do zaburzenia prądu wzbudzenia, powodując znaczną zmianę jego wartości, co w konsekwencji uruchamia zabezpieczenie w tym obwodzie. Przy pewnych zaburzeniach w obwodzie twornika, np. przy zwarcieciu uzwojenia biegunów pomocniczych, zwarcieciu uzwojenia kompensacyjnego jak również przy zwarcieciu komutatora przez łuk okrężny, jest regułą, że pierwsze działa zabezpieczenie

w obwodzie wzbudzenia, a następnie zabezpieczenie w obwodzie twornika. Zjawisko przenoszenia się zaburzeń elektromagnetycznych z uzwojeń obwodu twornika na uzwojenie wzbudzenia jest przedmiotem rozważań.

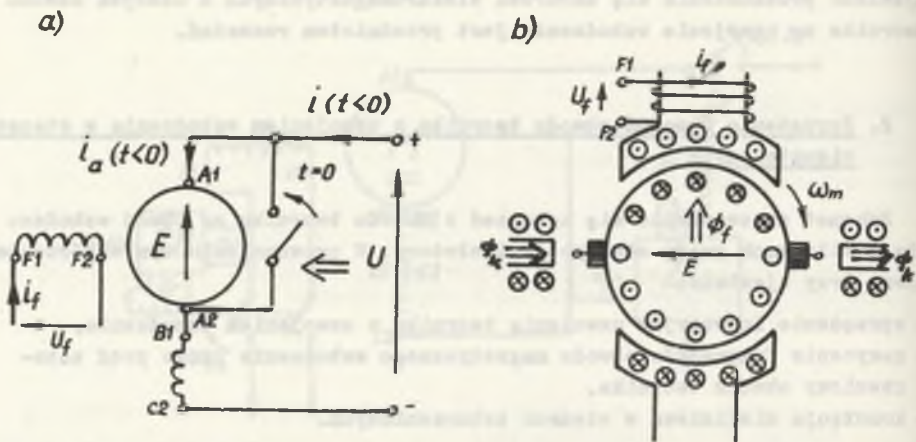
## 2. Sprzężenia uzwojeń obwodu twornika z uzwojeniem wzbudzenia w stanach nieustalonych

Schemat przenoszenia się zaburzeń z obwodu twornika na obwód wzbudzenia w silnikach prądu stałego jest złożony. W przenoszeniu tym współuczestniczą trzy zjawiska:

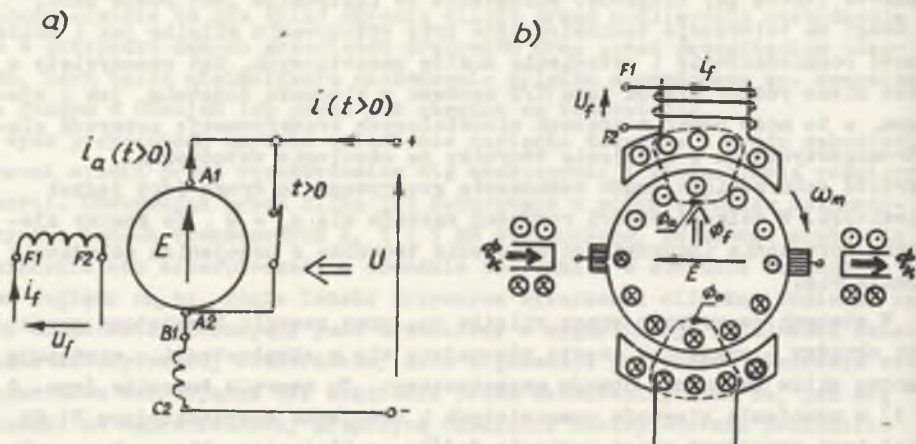
- sprzężenie indukcyjne uzwojenia twornika z uzwojeniem wzbudzenia,
- nasycenie fragmentów obwodu magnetycznego wzbudzenia przez prąd zaburzeniowy obwodu twornika,
- komutacja nieliniowa w stanach zaburzeniowych.

Sprzężenie indukcyjne uzwojenia twornika z uzwojeniem wzbudzenia można w zasadzie pominąć, gdyż w porównaniu z dwoma pozostałymi zjawiskami jest bardzo małe. Sprzężenie to zależy od kąta skręcenia osi szczotek względem osi wzbudzenia  $\alpha_m$ . Przy kącie elektrycznym  $\alpha_e = p \alpha_m = \pi/2$  (gdzie  $p$  oznacza liczbę par biegunów) sprzężenie to faktycznie jest równe zero. Z uwagi na tolerancje technologiczne przy wykonywaniu silnika jak i dokładność rozmieszczenia i ustawienia mostów szczotkowych, kąt rzeczywisty  $\alpha_e$  może nieco różnić się od kąta  $\pi/2$  zarówno w kierunku dodatnim, jak i ujemnym, a to może dawać w stanach nieustalonych transformację zaburzeń elektromagnetycznych z uzwojenia twornika na uzwojenie wzbudzenia. Wartość zaburzeniowa prądu wzbudzenia generowana tą drogą jest jednak niewielka. W dalszej części rozważań zakłada się  $\alpha_e = \frac{\pi}{2}$ , to znaczy zjawisko sprzężenia indukcyjnego uzwojenia twornika z uzwojeniem wzbudzenia pomija się.

W stanach awaryjnych pracy silnika np. przy zwarciu komutatora przez łuk okrężny - przypadek często zdarzający się w eksploatacji - występuje bardzo silne nasycenie obwodu magnetycznego. Po zwarciu twornika (rys. 2 i 3) w uzwojeniu biegunów pomocniczych i uzwojeniu kompensacyjnym B1 C2 prąd jest wymuszany przez napięcie źródła zasilającego, kierunek przepływu prądu jest zgodny z kierunkiem, który był przed wystąpieniem zwarcia (rys. 2), a wartość prądu bardzo szybko narasta do wartości zwarciowej. W uzwojeniu twornika A1 A2, po jego zwarciu, kierunek prądu ulega zmianie, gdyż przed zwarcie był wymuszony przez napięcie źródła zasilającego  $U$ , a po zwarciu przez napięcie rotacji wirnika  $E$  (rys. 3). Wartość prądu twornika narasta do wartości zwarciowej.



Rys. 2. Kierunki przepływu prądu w uzwojeniach silnika przed zwarcieniem  
 Fig. 2. Current directions in d-c motor windings before short circuit



Rys. 3. Kierunki przepływu prądu w uzwojeniach silnika  
 po zwarceniu uzwojenia twornika

Fig. 3. Current directions in d-c motor windings  
 after short circuit of armature winding

Przed zwarcieniem, tzn. w stanie normalnej pracy, prądy płynące wytwarzają przepływy, które w strefie biegunów głównych nawzajem kompensują się, a w strefie biegunów pomocniczych wytwarzają strumień komutacyjny  $\Phi_k$  - rys. 2. Po zwarceniu uzwojenia twornika przepływ twornika zmienia znak, stąd przepływy uzwojeń A1 A2 i B1 C2 dodają się - rys. 3, i wzbudzają strumień od-

działywania  $\Phi_g$  zamykający się poprzez nabiegunki biegunów głównych, szczególnie powietrzną, zęby i jarzmo wirnika. Strumień  $\Phi_g$  bardzo silnie nasycza zęby wirnika i zęby nabiegunków biegunów głównych, a więc elementów obwodu magnetycznego wzbudzenia. Tym samym reluktancja obwodu magnetycznego wzbudzenia  $R_{mf}$  gwałtownie rośnie. Zmiana strumienia magnetycznego wzbudzenia  $\Phi_f(t)$  z uwagi na bezwładność magnetyczną, zachodzi wolno w porównaniu do opisanych przebiegów zwarciovych.

$$\Phi_f(t) = \frac{i_f z_f}{R_{mf}(t)} \approx \text{const.} \quad (1)$$

gdzie:

$i_f$  - prąd wzbudzenia,

$z_f$  - liczba zwojów uzwojenia wzbudzenia.

Przy prawie skokowym narastaniu prądów w uzwojeniach A1 A2 i B1 C2, spowodowanym np. łukiem okrężnym na komutatorze, zachodzi szybka zmiana reluktancji  $R_{mf}(t)$ , (reluktancja  $R_{mf}$  zmienia się jednak nieco wolniej od prądów zwarciovych uzwojeń z uwagi na inercyjne działanie prądów wirowych sprzężonych ze strumieniem  $\Phi_g$ ).

Z równania (1) widać, że szybka zmiana reluktancji  $R_{mf}(t)$  wymusza zmianę prądu wzbudzenia  $i_f$ .

Wartość zaburzeniową prądu wzbudzenia  $i_f$  można obliczyć analitycznie metodą podaną przez prof. B. Dubickiego [1].

W metodzie tej opracowanej dla stanów ustalonych pomija się prądy wirowe sprzężone ze strumieniami  $\Phi_g$  i  $\Phi_f$ , zatem otrzymuje się wartość zaburzeniową prądu  $i_f$  wyższą niż rzeczywista. W obliczeniach maszyn skompensowanych należy uwzględnić przepływ uzwojenia kompensacyjnego, który jest równy w przybliżeniu przepływowi twornika.

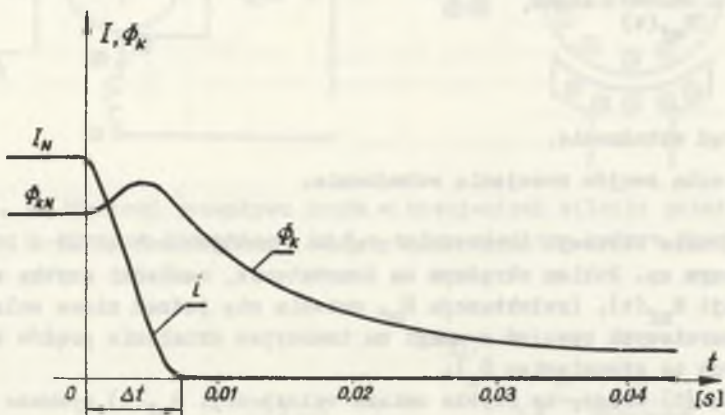
Na drodze pomiarowej zaburzenia te można badać przy zatrzymanej maszynie, a więc w warunkach, kiedy nie występuje oddziaływanie komutacyjne. Badając to zjawisko, należy odwrócić uzwojenie A1 A2, aby przepływy wytworzone przez uzwojenia A1 A2, B1 B2 i C1 C2 dodawały się, co odwzorowuje warunki zwarciove na komutatorze.

Komutację prądu twornika przy zwarciu łukowym na komutatorze determinują dwa zjawiska:

- dodawanie się przepływów uzwojeń B1 C2 i A1 A2,
  - inercyjne zmiany strumienia komutacyjnego  $\Phi_k$  w stosunku do zmian prądu
- rys. 4 spowodowane prądami wirowymi.

Przepływ uzwojeń biegunów pomocniczych i kompensacyjnych  $\Theta_{B1} C2$  działający w strefie komutacyjnej w czasie zwarcia nie tylko, że nie kompensuje przepływu twornika  $\Theta_{A1} A2$ , lecz jeszcze go wzmacnia, co wzbudza niepożądaną wartość strumienia komutacyjnego

$$\Phi_k(t) = \frac{\Theta_{B1} C2(t) + \Theta_{A1} A2(t)}{R_{mq}(t)} \quad (2)$$



Rys. 4. Prądy wirowe indukowane w obwodzie magnetycznym powodują opóźnienie zmiany strumienia komutacyjnego ( $\Phi_k$ ) w stosunku do zmian prądu

Fig. 4. The eddy-currents in solid parts of the magnetic circuit cause a delay in the change of the commutation flux ( $\Phi_k$ ) in relation to the change of the current

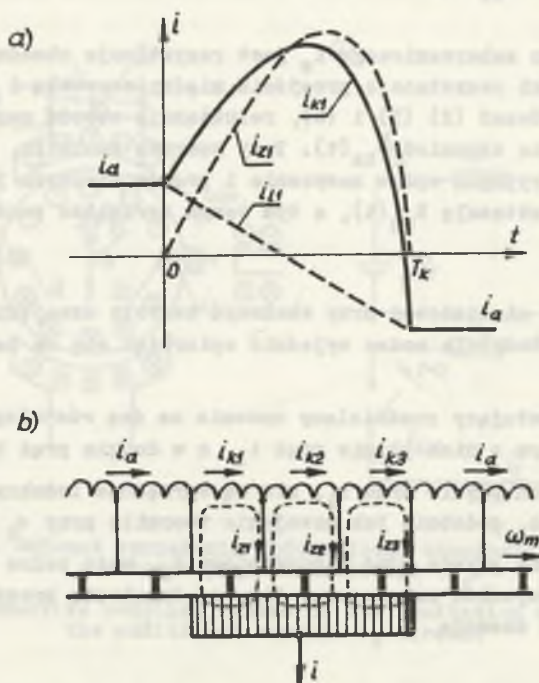
Reluktancja obwodu magnetycznego poprzecznego  $R_{mq}(t)$  zależy od stopnia nasycenia i od prądów wirowych wzbudzanych w elementach litych [2]. Jak widać z równania (2), strumień  $\Phi_k$  może uzyskiwać wartości bardzo duże w stosunku do wartości znamionowych.

Wartość znamionowa strumienia wynosi

$$\Phi_{KN} = \frac{(\Theta_{B1} C2)_N - (\Theta_{A1} A2)_N}{(R_{mq})_0} \quad (3)$$

Licznik równania (2) z uwagi na stan zwarcia i znak (+) jest około 100 razy większy od licznika równania (3). Czynnikiem ograniczającym strumień  $\Phi_k$  przy zwarciu komutatora jest nasycenie obwodu magnetycznego i prądy wirowe, czyli reluktancja  $R_{mq}(t)$ .

Strumień  $\Phi_k(t)$  wzbudza w zewzwojach komutujących uzwojenia twornika prąd  $i_k$ , który myślowo można rozdzielić na dwie składowe: składową liniową  $i_1$  oraz składową zaburzeniową  $i_2$  - rys. 5.



Rys. 5. Nieliniowy prąd komutacyjny ( $i_k$ ) może być wyrażony jako suma dwóch prądów: prądu liniowego ( $i_1$ ) i prądu dodatkowego ( $i_2$ )

Fig. 5. The non-linear current ( $i_k$ ) may be represented as a sum of the two currents: linear current ( $i_1$ ) and additional current ( $i_2$ )

$$i_k = i_1 + i_2 \quad (4)$$

Za komutację składowej liniowej prądu  $i_1$  jest odpowiedzialny składowy strumień komutacyjny

$$\Phi_{k1}(t) = \frac{\Theta_{B1C2}(t) - \Theta_{A1A2}(t)}{(R_{mq})_0} \quad (5)$$

Prąd zaburzeniowy  $i_z$  płynie w obwodzie zamkniętym przez szczotki i nie wypływa na zewnątrz. Obwód zamykania się prądu  $i_z$  zaznaczono na rys. 5b linią przerywaną. Przebieg czasowy prądu  $i_z$  zależy od składowego strumienia komutacyjnego

$$\Phi_{kz}(t) = \Phi_k(t) - \Phi_{k1}(t). \quad (6)$$

Ograniczeniem prądu zaburzeniowego  $i_z$  jest rezystancja obwodu elektrycznego w szczególności rezystancja przejścia między szczotką i komutatorem oraz, co widać z równań (2) (5) i (6), reluktancja obwodu magnetycznego  $R_{mq}(t)$  ograniczająca strumień  $\Phi_{kz}(t)$ . Przy zwarciu twornika, a podobnie w innych stanach awaryjnych wpływ nasycenia i prądów wirowych jest korzystny, gdyż powiększa reluktancję  $R_{mq}(t)$ , a tym samym ogranicza prąd zaburzeniowy  $i_z$ .

Wpływ komutacji nieliniowej przy skokowym zwarciu uzwojenia twornika silnika na prąd wzbudzenia można wyjaśnić opierając się na następującym modelu:

- każdy zeswój komutujący rozdzielamy umownie na dwa równoległe zeswoje, przy czym w jednym z nich płynie prąd  $i_1$ , a w drugim prąd  $i_2$ ,
- zeswoje, w których płynie prąd  $i_1$ , nie są sprzężone indukcyjnie z uzwojeniem wzbudzenia, podobnie jak uzwojenie twornika przy  $\alpha_0 = \pi/2$ ,
- zeswoje, w których płynie prąd zaburzeniowy  $i_2$ , mają pełne sprzężenie indukcyjne z uzwojeniem wzbudzenia, tzn. oś działania przepływu wytworzonego przez te zeswoje

$$\Theta_z = z_k i_z \quad (7)$$

pokrywa się z osią "d" uzwojenia biegunów głównych,

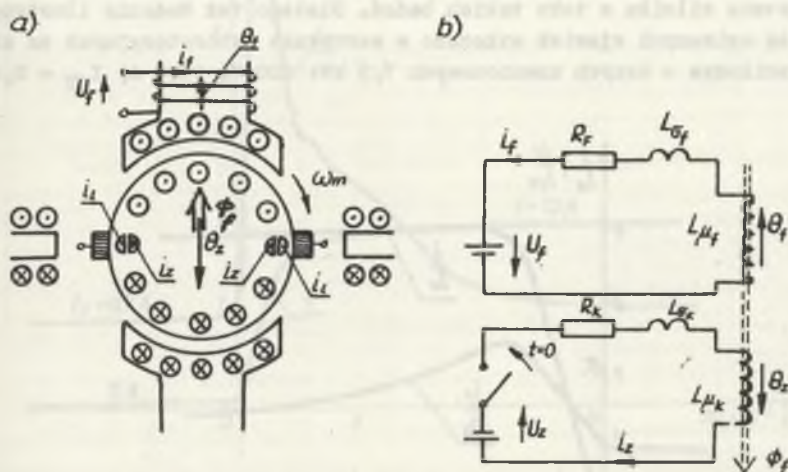
- przepływ  $\Theta_z$  osłabia przepływ wzbudzenia  $\Theta_r$ , gdyż prąd  $i_z$  jest składową zaburzeniową opóźnionego prądu komutującego przy pracy prądnicowej (prąd twornika jest wymuszony przez napięcie rotacji),
- wpływ prądów wirowych sprzężonych ze strumieniem wzbudzenia  $\Phi_r$  na przebieg prądu wzbudzenia  $i_r$  uwzględnia się za pomocą reluktancji tego obwodu  $R_{mr}(t)$ .

W modelu tym (rys. 6) szybka zmiana prądu  $i_z$ , poprzez załączenie na uzwojenie napięcia stałego, wymusza zmianę prądu wzbudzenia  $i_r$  zgodnie z równaniem

$$\Phi_r(t) = \frac{z_r i_r - z_k i_z}{R_{mr}(t)} \approx \text{const}, \quad (8)$$



gdzie:

 $n_k$  - liczba zwojów ze zwoju komutującego.

Rys. 6. Schemat sprzężenia indukcyjnego uzwojenia wzbudzenia z obwodem prądu dodatkowego ( $i_z$ )

Fig. 6. Inductive coupling scheme of the excitation winding with the additional current  $i_z$  circuit

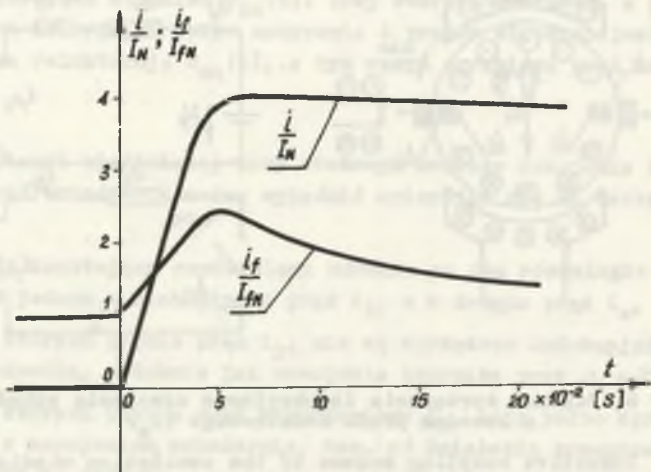
Z równania (8) widać, że nagłe pojawienie się prądu  $i_z$  wymusza zmianę prądu wzbudzenia  $i_f$ . Gdyby stan zaburzeniowy pracy silnika ustalił się i trwał długo, wówczas prąd wzbudzenia powróciłby do swojej pierwotnej wartości, a strumień wzbudzenia ustaliłby się na nowej wartości wynikającej z równania (8).

Przy innego typu zaburzeniach w silniku np. przy bardzo szybkim narastaniu prądu twornika (praca silnikowa), komutacja jest opóźniona, przepływ  $\Phi_z$  wzmacnia przepływ wzbudzenia  $\Phi_f$ , a zatem zgodnie z równaniem (8) prąd wzbudzenia  $i_f$  zmniejszy się.

W eksploatacji maszyn prądu stałego zachodzą różnego typu zaburzenia w obwodzie twornika. O zmianie prądu wzbudzenia  $i_f$  pod wpływem tych zaburzeń decydują w każdym przypadku dwa zjawiska, to jest zmiana reluktancji obwodu magnetycznego wzbudzenia  $R_{\mu f}(t)$  pod wpływem przepływu twornika oraz przebieg nieliniowy prądu  $i_k$  w zwojach komutujących. Wpływ tych zjawisk na zaburzenie prądu  $i_f$  zależy od uzwojenia kompensacyjnego oraz od rodzaju zaburzenia.

### 3. Badania eksperymentalne

Badania eksperymentalne przenoszenia się różnego typu zaburzeń z obwodu twornika na obwód wzbudzenia w silnikach walcowniczych w warunkach eksploatacyjnych jest trudne do wykonania, a ponadto istnieje niebezpieczeństwo uszkodzenia silnika w toku takich badań. Dlatego też badania ilustrujące przebieg opisanych zjawisk wykonano w warunkach laboratoryjnych na silniku bocznikowym o danych znamionowych 7,5 kW; 220 V; 39,2 A,  $I_{fN} = 0,675$  A.

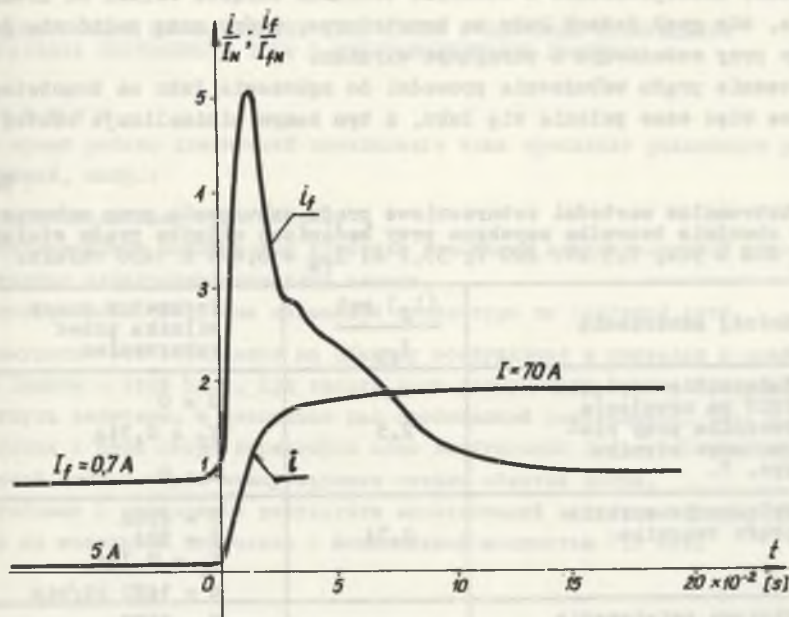


Rys. 7. Przebiegi prądu twornika ( $i$ ) oraz prądu wzbudzenia ( $i_f$ ) w silniku prądu stałego podczas rozruchu  $\omega_m = 0$

Fig. 7. Transient state armature current ( $i$ ) and field current ( $i_f$ ) of the d-c motor during starting  $\omega_m = 0$

Na rys. 7 przedstawiono oscylogramy prądu twornika i prądu wzbudzenia przy załączeniu napięcia stałego przy zatrzymanym silniku (stan rozruchu  $\omega_m = 0$ ), a na rys. 8 te same przebiegi prądu przy zwarceniu uzwojenia twornika A1 A2.

Wyniki uzyskane z oscylogramów przy różnego typu zaburzeniach zestawiono w tabelicy 1. Jak widać z tabelicy 1, przy pełnym zwarceniu na komutatorze, zaburzenie prądu wzbudzenia przekracza 5-krotnie prąd znamionowy wzbudzenia, są to wartości bardzo duże. Należy zdawać sobie sprawę, że wyników badań wykonanych na silniku modelowym 7,5 kW bez uzwojenia kompensacyjnego z litym jarzmem stojana nie można wprost przenosić na silniki dużej mocy wyposażone w uzwojenie kompensacyjne z pakietowanym jarzmem stojana. Niemniej uzyskane wyniki dowodzą, że przy różnego typu zaburzeniach w obwodzie twornika silnika prądu stałego może dochodzić do bardzo dużych i szybkich zmian prądu wzbudzenia.



Rys. 8. Przebieg prądu pobieranego z sieci ( $i$ ) oraz prądu wzbudzenia ( $i_f$ ) po skokowym zwarciu komutatora. Prąd zwarcia sieci był ograniczony rezystancją  $2,8 \Omega$ .

Fig. 8. Transient state supply current ( $i$ ) and field current ( $i_f$ ) after the commutator's shorting. Circuit of the supply current has got a resistance equal  $2,8 \Omega$ .

W silnikach prądu stałego wzbudzonych magnesami trwałymi zwarcie na komutatorze najczęściej powoduje rozmagnesowanie magnesów trwałych. Bezpośrednią przyczyną tego rozmagnesowania jest przepływ zezwojów komutujących  $\theta$ , który jest przeciwnie skierowany do siły magnetomotorycznej magnesów trwałych - równanie (8).

#### 4. Wnioski

W maszynach prądu stałego zaburzenia z obwodu twornika przenoszą się na obwód wzbudzenia poprzez nasycenie fragmentów obwodu magnetycznego wzbudzenia przez strumień magnetyczny twornika oraz poprzez zezwoje komutujące zaburzeniowy prąd twornika. Przy niektórych zaburzeniach, np. zwarcie na komutatorze przez łuk okrężny, może dochodzić do kilkukrotnego wzrostu prądu wzbudzenia. Zjawisko to można wykorzystać w zabezpieczeniach silników prądu stałego. Równoczesne wyłączenie prądu twornika i prądu wzbud-

dzenia w czasie różnego rodzaju zaburzeń np. zwarcie na komutatorze jest korzystne. Zabezpieczenie w obwodzie twornika odłącza silnik od źródła zasilania, nie gasi jednak łuku na komutatorze, który może palić się jeszcze długo przy wzbudzonym i wirującym wirniku.

Wyłączenie prądu wzbudzenia prowadzi do zgaszenia łuku na komutatorze, skraca więc czas palenia się łuku, a tym samym minimalizuje skutki awarii.

Tablica 1

Ekstremalne wartości zaburzeniowe prądu wzbudzenia przy zaburzeniach w obwodzie twornika uzyskane przy badaniach silnika prądu stałego POM b 54b, 7,5 kW: 220 V, 39,2 A:  $I_{fN} = 0,676$  A 1450 ob/min.

Rodzaj zaburzenia	$\frac{(I_f)_{ext}}{I_{fN}}$	Parametry pracy silnika przed zaburzeniem
Załączenie napięcia 220V na uzwojenie twornika przy nieruchomym wirniku Rys. 7.	2,5	$U = 0$ $I_f = 0,74A$ $n = 0$
Wyłączenie szybkie prądu twornika	0,74	$U = 220A$ $I = 50A$ $I_f = 0,73A$ $n = 1420$ ob/min
Skokowe zwiększenie napięcia zasilania silnika ze 180V do 220V	1,17	$U = 180V$ $I = 12A$ $I_f = 0,68A$ $n = 1200$ ob/min
Zwarcie twornika (A1A2) przez rezystancję 3,1 $\Omega$	2,0	$U = 220V$ $I = 21,5A$ $I_f = 0,58A$ $n = 1470$ ob/min
Pełne zwarcie twornika (A1A2) - rys. 8	5,2	$U = 220V$ $I = 5A$ $I_f = 0,7A$ $n = 1420$ ob/min

## LITERATURA

- [1] DUBICKI B.: Maszyny elektryczne, Tom I. Maszyny prądu stałego. PWN, Warszawa 1958, s. 217-230,
- [2] GLINKA T.: Analiza równania permeancji szeregowego obwodu magnetycznego ze szczeliną powietrzną przy uwzględnieniu prądów wirowych indukowanych w rdzeniu. Archiwum Elektrotechniki nr 4, 1979.

Recenzent: doc. dr hab. inż. Stanisław Szpilka

Wpłynęło do Redakcji dnia 15 stycznia 1989r.

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СВЯЗЬ ОБМОТКИ ЦЕПИ ЯКОРЯ С ОБМОТКОЙ ВОЗБУЖДЕНИЯ  
В ДВИГАТЕЛЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА В НЕУСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ****Р е з ю м е**

Во время работы двигателей постоянного тока происходят различного рода возмущения, напр.:

- быстрое отключение тока якоря,
- кратковременные межщитковые короткие замыкания компенсационной обмотки, вызванные электродинамическими силами,
- кратковременные короткие замыкания коллектора по окружной дуге.

Возмущения эти передаются на обмотку возбуждения и приводят к срабатыванию защиты в этой цепи. При такого рода возмущениях ток возбуждения может достигнуть величины, в несколько раз превышающей номинальную, рис. 8. Возмущения с цепи якоря передаются цепи возбуждения посредством насыщения магнитной цепи и через коммутирующие секции обмотки якоря.

В таблице 1 приводятся результаты исследований этих возмущений, проведенные на модельном двигателе с номинальной мощностью 7,5 кВт.

**ELECTRO-MAGNETIC COUPLING OF THE ARMATURE CIRCUIT WINDING WITH THE  
EXCITATION WINDING IN DIRECT-CURRENT MOTORS IN TRANSIENT STATES****S u m m a r y**

Under the operating conditions of the DC motors various perturbations occur, e.g.:

- sudden opening of the armature circuit,
- momentary turn-to-turn short-circuit in the compensating winding due to electrodynamic forces,
- instantaneous commutator short-circuit over the electric arc.

These perturbations pass into the field winding and consequently pause the operation of this circuit protection. The exciting current during these perturbations can be several times greater than its rated value - Fig. 8. The perturbations pass from the armature to the field circuit through magnetic saturation and the commutating coils.

Table 1 shows the characteristic data from investigations carried out in the DC model-motor of the rated power of 7,5 kW.