

Tadeusz GLINKA

Instytut Maszyn i Urządzeń Elektrycznych
Politechniki Śląskiej

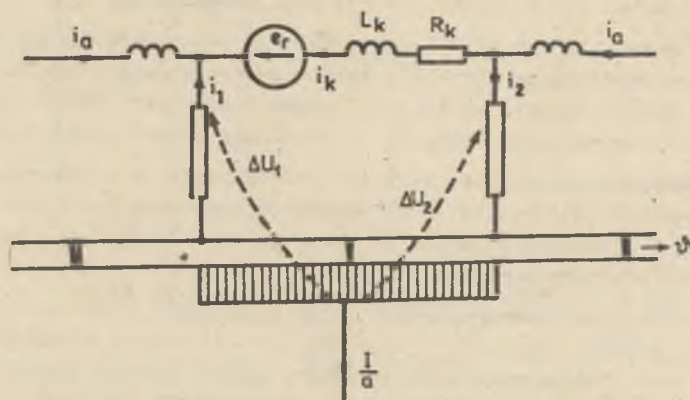
Karol KLAPCIŃSKI

Branżowy OBR Maszyn Elektrycznych w Katowicach

PROBLEMY KOMUTACYJNE W SILNIKACH PRĄDU STAŁEGO
PRACUJĄCYCH PRZY OSŁABIONYM POLU WZBUDZENIA

Streszczenie. W silnikach prądu stałego pracujących przy prędkościach obrotowych większych od znamionowych uzyskiwanych przez osłabione pole wzbudzenia występują problemy związane z przyspieszeniem komutacji. Przedstawiono przyczyny powstawania komutacji przyspieszonej i propozycje układu korygującego przepływ biegunów pomocniczych i zapewniającego komutację beziskrową.

W silnikach prądu stałego pracujących przy prędkościach obrotowych większych od znamionowych, uzyskiwanych przez osłabienie pola wzbudzenia, występują problemy związane z przyspieszeniem komutacji. Zjawisko to z jednej strony stanowi zagrożenie dla iskrzenia szczołek, a z drugiej strony przepływ zezwojów komutujących przy komutacji przyspieszonej powoduje odwzbudzenie silnika, co zagraża stabilności charakterystyki mechanicznej silnika (silnik rozbiega się). Czynniki te determinują dopuszczalny zakres odwzbudzania silnika [1].



Rys. 1. Schemat zastępczy zezwoju komutującego

Przyczyny powstawania komutacji przyspieszonej można przeanalizować w oparciu o równanie obwodu komutującego, którego schemat zastępczy podano na rys. 1. W oparciu o rys. 1 można napisać równanie

$$L_k \frac{di_k}{dt} + R_k i_k + \Delta U_1(j_{1sz}) - \Delta U_2(j_{2sz}) = e_r, \quad (1)$$

gdzie:

- $L_k; R_k$ - indukcyjność i rezystancja zezwoju komutacyjnego
- $\Delta U_1(j_{1sz}); \Delta U_2(j_{2sz})$ - spadek napięcia na nabiegającej i zbiegającej krawędzi szczotki,
- e_r - napięcie rotacji indukowane w zezwoju komutującym.

Jeżeli założyć, że przy znamionowej prędkości obrotowej silnika, przebieg prądu w zezwoju komutującym ma charakter w przybliżeniu liniowy, to z teorii komutacji wynika, że jest spełniony warunek równości wartości średnich napięć

$$\frac{1}{T_k} \int_0^{T_k} \left[L_k \frac{di_k}{dt} \right] dt = \frac{1}{T_k} \int_0^{T_k} e_r dt, \quad (2)$$

gdzie:

T_k - czas komutacji.

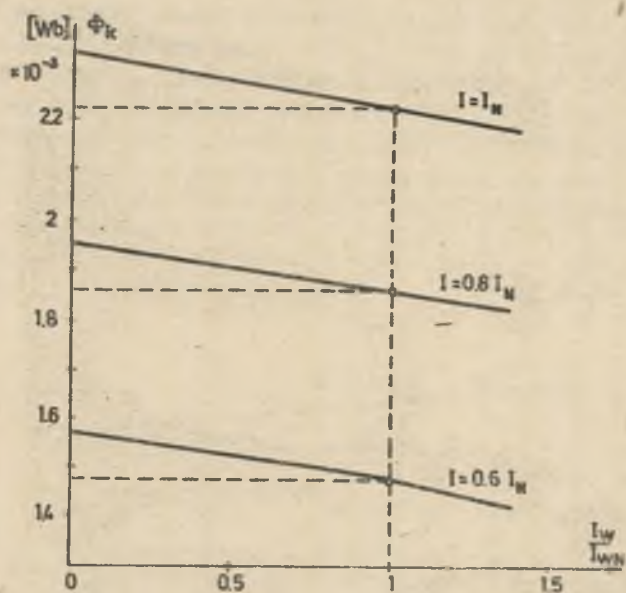
Natomiast przy odzwudnianiu silnika, jak wiadomo z praktyki, komutacja staje się przyspieszona, a więc warunek (2) przechodzi w nierówność

$$\frac{1}{T_k} \int_0^{T_k} e_r dt > \frac{1}{T_k} \int_0^{T_k} \left(L_k \frac{di_k}{dt} \right) dt. \quad (3)$$

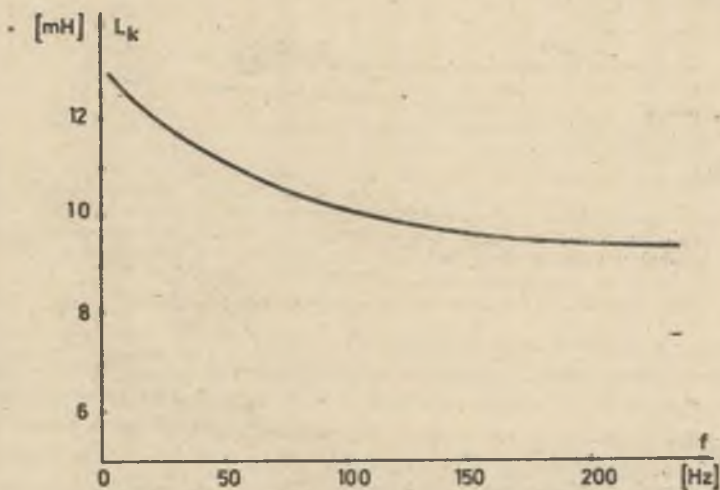
Zmiana równości (2) w nierówność (3) jest spowodowana:

- zmianą nasycenia jarzma stojana i wirnika przy odzwudnianiu silnika, co powoduje wzrost permeacji dla obwodu magnetycznego biegunów pomocniczych, daje to przy niezmiennym prądzie twornika wzrost strumienia biegunów pomocniczych (rys. 2), a tym samym wzrost napięcia rotacji e_r ,
- zależnością indukcyjności zezwojów komutujących od częstotliwości (czasu komutacji T_k) rys. 3. Czas komutacji zmniejsza się wraz ze wzrostem prędkości obrotowej wirnika, co powoduje zmniejszenie się również indukcyjności zezwojów komutujących L_k .

Z rys. 2. wynika, że zmniejszenie prądu wzbudzenia z wartości I_{WN} do 0,5 I_{WN} przy prądzie twornika $I = \text{const}$, powoduje około 2% wzrost strumienia biegunów komutacyjnych. W tym samym stopniu wzrasta napięcie rotacji e_r indukowane w zezwoju komutującym. Indukcyjność zezwojów komutujących przy wzroście częstotliwości ze 100 Hz do 200 Hz zmniejsza się około 6%.

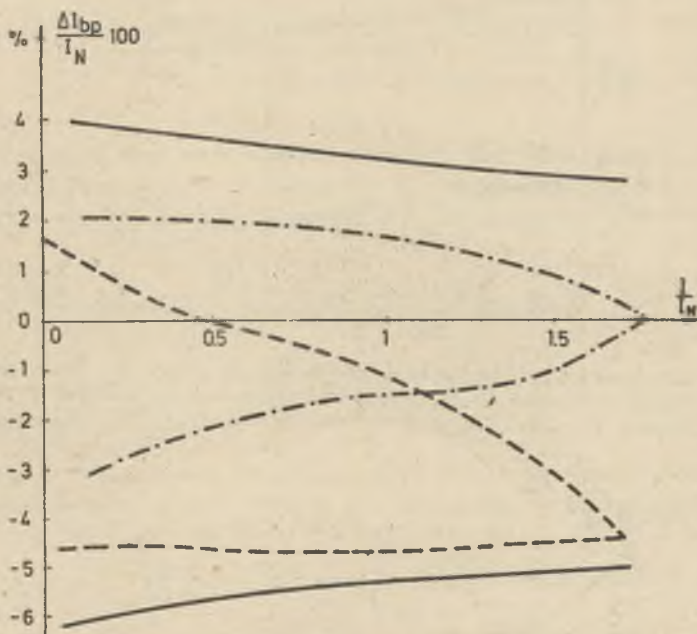


Rys. 2. Zależność strumienia biegunów komutacyjnych Φ_k od prądu wzbudzenia I_w przy stałym prądzie twornika pomierzona na silniku typu PZMO δ 54b 5,5 kW; 220 V; 28,6 A; 1500 + 3.500 obr/min.; $U_{wN} = 220$ V; $I_{wN} = 0,665$ A



Rys. 3. Zależność indukcyjności zewzwojów komutujących od częstotliwości pomierzona na silniku o danych takich jak na rys. 2

W tym samym stopniu zmniejsza się napięcie samoindukcji ($L_k \frac{di_k}{dt}$). W wyniku tego, przy dwukrotnym wzroście prędkości obrotowej, statyczny obszar komutacji beziskrowej przesuwa się około 3% w kierunku ujemnych wartości prądu $\Delta I\%$ (rys. 4). Zatem przy zwiększonej prędkości obrotowej wirnika dla uzyskania komutacji liniowej - należy osłabić przepływ biegunów pomocniczych o wartość około 3%. Osłabienia takiego można dokonywać, bocznikując uzwojenie biegunów pomocniczych rezystancją o regulowanej wartości w funkcji prędkości obrotowej lub w funkcji prądu wzbudzenia.

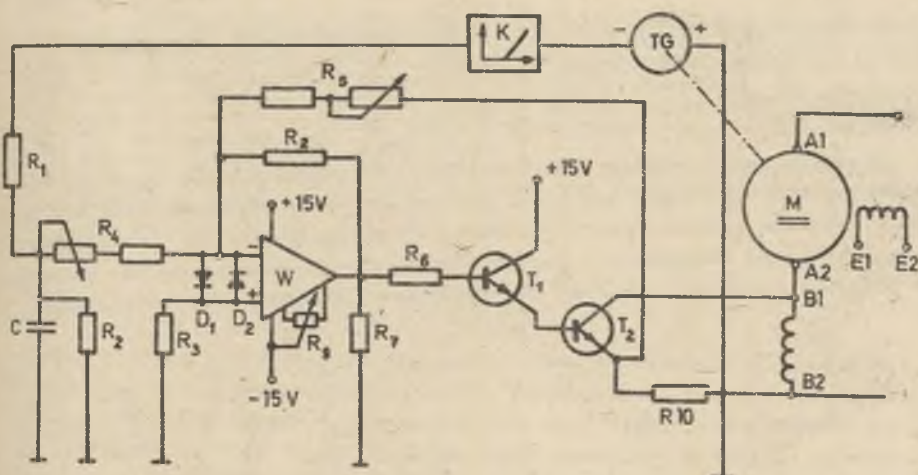


Rys. 4. Statyczne obszary komutacji beziskrowej silnika prądu stałego o danych takich jak na rys. 2. Linie ciągłe ograniczają obszar komutacji beziskrowej przy znamionowej prędkości obrotowej 1500 obr/min, linie przerywane przy prędkości obrotowej 3000 obr/min, linie punktowe przy prędkości obrotowej 3000 obr/min i przy pracującym układzie korekcyjnym prądu w uzwojeniu biegunów pomocniczych

Z kilku możliwych rozwiązań rezystancji o regulowanej wartości najprostszy jest układ tranzystorowy o ciągłej regulacji prądu [2]. Schemat ideowy układu pokazuje rys. 5. Układ powyższy nie daje pulsacji prądu w uzwojeniu biegunów pomocniczych, a tym samym nie wpływa w sposób niekorzystny na komutację. Wielkością zadaną jest sygnał prędkości obrotowej z tachogeneratorsa TG podawany poprzez układ nieliniowy K na wzmacniacz operacyjny W. Na ten sam wzmacniacz operacyjny W podawany jest również sygnał sprzężenia zwrotnego proporcjonalny do prądu ΔI wzięty z bocznika pomiarowego R_{10} . Różnica napięcia z tachogeneratorsa TG i bocznika pomiarowego jest

podawana, poprzez wzmacniacz operacyjny W i wtórnik emiterowy T_1 , na tranzystor wykonawczy T_2 . Tranzystor T_1 pełni funkcję elementu dopasowującego impedancję wzmacniacza W i tranzystora wykonawczego T_2 . Możliwe jest również sterowanie pracą układu sygnałem proporcjonalnym do napięcia na zaciskach uzwojenia wzbudzenia silnika lub sygnałem proporcjonalnym do prądu wzbudzenia.

Na rys. 4 liniami przerywanymi naniesiono obszary komutacji beziskrowej silnika przy załączonym układzie korekcyjnym. Z przedstawionych wykresów widać, że układ koryguje w sposób poprawny położenie obszarów komutacji beziskrowej, co zapewnia beziskrową pracę silnika w dużym przedziale odwzbudzenia.



Rys. 5. Schemat układu do korekcji prądu w uzwojeniu biegunów pomocniczych przy prędkości obrotowej silnika powyżej znamionowej

LITERATURA

- [1] Zarwie G.K.: Przemysłowe badania maszyn elektrycznych. PWT, Warszawa 1954.
- [2] Glinka T., Hącok A., Kureczek P., Kłapciński K.: Układ do korekcji przepływu biegunów pomocniczych w maszynach prądu stałego. Zgłoszenie patentowe nr P 135674.

Recenzent: doc. dr inż. Jerzy Hickiewicz

КОММУТАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ В ДВИГАТЕЛЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА,
РАБОТАЮЩИХ ПРИ УМЕНЬШЕНИИ ТОКА ВОЗБУЖДЕНИЯ

Р е з ю м е

В двигателях постоянного тока, работающих при скоростях вращения выше номинальных, получаемых способом уменьшения тока возбуждения, выступают вопросы связанные с ускорением коммутации. Представлены причины возникновения ускоренной коммутации и предлагается система корректирующая протекание тока в обмотке добавочных полюсов и обеспечивающая безискровую коммутацию.

THE COMMUTATIONAL PROBLEMS IN D.C. MOTORS OPERATING
AT THE ATTENUATED INDUCED FIELD

S u m m a r y

There are some problems with acceleration of commutation. In D.C. motors operating at rotational speed exceeding the rated speeds obtained by the attenuated induced field. The reasons for appearance of accelerated commutation are discussed. A proposal of a circuit correcting the interpole ampere - turns and ensuring the sparkless commutation is described.