

JERZY KUBEK, TADEUSZ GLINKA

Instytut Metrologii  
i Maszyn Elektrycznych

#### UNIWERSALNY SILNIK KOMUTATOROWY MAŁEJ MOCY Z GŁADKIM WIRNIKIEM

Streszczenie. W artykule przedstawiono konstrukcję i charakterystyki silnika KASB 70/30 z gładkim wirnikiem, który jest wykorzystany do napędu mechanizmów stycznika AP50, ponadto przeprowadzono porównanie parametrów i charakterystyk elektromechanicznych silnika KASB 70/30 z wirnikiem żłobkowym i wirnikiem gładkim.

#### 1. Charakterystyczne cechy maszyn prądu stałego z gładkim wirnikiem

Zainteresowanie maszynami prądu stałego z gładkim wirnikiem, dzięki ich doskonałym własnościom, jakich nie posiadają maszyny w wykonaniu normalnym z wirnikiem żłobkowym jest coraz to większe. Pomysł stosowania tego rodzaju maszyn był znany od dawna [1], został jednak zarzucony głównie z powodu trudności mocowania i izolowania uzwojeń na gładkim cylindrze wirnika. Nowe wymagania stawiane maszynom prądu stałego, znajdującym zastosowanie w układach automatycznej regulacji odnośnie szybkości działania, zakresu i dokładności regulacji prędkości obrotowej oraz niezawodności pracy ze względu na komutację, jak również rozwój technologii materiałów izolacyjnych (włókna szklane, masy plastyczne, lakiery epoksydowe itp.) umożliwiających klejenie uzwojenia na wirniku, spowodował ponowne zainteresowanie się zapomnianym już pomysłem maszyny prądu stałego z gładkim wirnikiem.

- Rozwój maszyn elektrycznych tego typu zapoczątkowała firma japońska Yasakawa, która wypuściła na rynek całą serię maszyn prądu stałego małej mocy z gładkim wirnikiem typu Minertia [2], [3], [4] (tabela 1).

Za Japonią poszło cały szereg firm w ZSRR, USA i krajach Europy Zachodniej budując już maszyny znacznie większej mocy—do 1200 kW [5]. Również i w Polsce, w Zakładach Konstrukcyjno-Doświadczalnych Przemysłu Maszyn Elektrycznych KOMEL były prowadzone próby z maszyną tego typu średniej mocy [6].

Tablica 1

Typ	MM-3EM	MM-6EM	MM-19EM	MM-25M	MM-0	MM-100	MM-200
$P_n$ kW	0,09	0,18	0,39	0,75	1,5	3,0	6,0
$n_n$ obr/min	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
$M_n$ Nm	0,29	0,58	1,24	2,4	4,8	9,6	19
$U_n$ V	25	34,5	63	83	146,5	106,5	108
$I_n$ A	5,7	7,1	7,8	10,8	11,8	31,8	61,1
$I_t$ mA	0,16	0,21	0,59	0,44	0,44	0,67	0,46
$GD^2$ kGom <sup>2</sup>	2,45	6,25	16	31	76,3	172	530
$T_{elmech}$ ms	4,9	4,4	4,9	4,0	4,4	4,4	4,9
$\eta$ %	63	73,5	79	84	87,4	88,4	91
masa kg	10	18	26	32	50	75	115
U w a g i	bez wentylacji			z wentylacją			

Główną zaletą maszyn z gładkim wirnikiem jest bardzo mała elektromechaniczna stała czasowa ( $T_{elmech} < 5$  ms) oraz duża przeciążalność momentem dochodząca do  $10 M_N$ . Gładki wirnik stwarza możliwość konstruowania maszyn o mniejszej objętości wirnika przy znacznie mniejszym stosunku jego średnicy do długości bez obawy pogorszenia warunków komutacji. Zmniejszenie średnicy obniża w sposób zasadniczy moment bezwładności maszyny, a tym samym i elektromechaniczną stałą czasową.

Wydłużenie wirnika spowodowałoby w maszynie o normalnym wykonaniu pogorszenie własności komutacyjnych wskutek zwiększenia indukcyjności zezwojów komutujących.

W maszynie z gładkim wirnikiem indukcyjność zezwojów komutujących z powodu braku zębów jest jednak bardzo mała, dzięki czemu strefa beziskrowej komutacji jest 2-4 razy szersza niż u maszyn z wirnikiem żółbkowym [7]. W tych warunkach względy komutacyjne nie limitują długości twornika. Dobre własności komutacyjne umożliwiają dopuszczenie dużych przeciążeń maszyny.

W maszynach prądu stałego z gładkim wirnikiem praktycznie nie występują pulsacje strumienia, a tym samym i momentu. Posiada to szczególnie duże znaczenie dla pracy silnika przy małej prędkości obrotowej, kiedy zależy na dokładnym ustawieniu twornika w dowolnym położeniu.

Duża szczelina w maszynach z gładkim wirnikiem powoduje z jednej strony małe zniekształcenia pola pod biegunami głównymi wskutek oddziaływania twornika, z drugiej jednak strony wymaga dużego przepływu magnesującego

stojana  $\Theta_w$ , znacznie większego niż w maszynach z wirnikiem żłobkowym. W konsekwencji tego zmniejszenie pola pod biegunami głównymi jest niewielkie. Maksymalne napięcie międzywycinkowe jest o około 20% mniejsze niż u maszyn w normalnym wykonaniu.

Wskutek bardziej równomiernego rozłożenia potencjału na komutatorze oraz dzięki lepszym własnościom komutacyjnym zakres regulacji prędkości obrotowej w maszynach z gładkim wirnikiem jest większy.

Wiele zjawisk występujących w maszynach prądu stałego z gładkim wirnikiem różni się od analogicznych zjawisk zachodzących w maszynach z wirnikiem żłobkowym. Przy ich projektowaniu natrafia się więc na następujące zagadnienia, które wymagają jeszcze odpowiedniego rozpracowania:

- a) wybór najbardziej odpowiedniego sposobu i technologii wykonania uzwojenia,
- b) zabezpieczenia mechanicznej wytrzymałości uzwojenia ułożonego na gładkim wirniku,
- c) uwzględnienie niejednorodności przytworznikowego pola magnetycznego w strefie międzybiegunowej na straty dodatkowe w miedzi uzwojenia twornika,
- d) wybór optymalnej geometrii wirnika (długości i średnicy),
- e) obliczanie indukcyjności zwojów komutujących i zaprojektowanie przepływu biegunów pomocniczych.

Z podanego krótkiego przeglądu niektórych własności maszyn prądu stałego wynika celowość stosowania tego rodzaju konstrukcji w maszynach małej mocy głównie z powodu uzyskania dobrych własności dynamicznych, umożliwiających stosowanie ich w układach automatycznej regulacji, a w maszynach dużej mocy z powodu zasadniczej poprawy ich własności komutacyjnych.

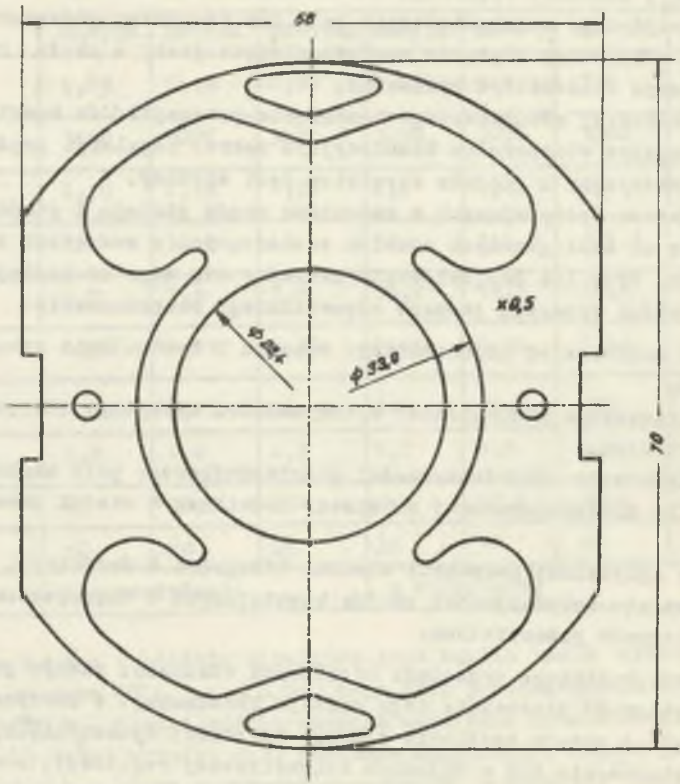
Przedstawiono sposoby zmian własności maszyny przez zastosowanie gładkiego wirnika zamiast żłobkowego na przykładzie silnika komutatorowego uniwersalnego o szeregowym połączeniu uzwojeń wzbudzenia i twornika, zastosowanego do napędu stycznika APU50. Stosowany dotychczas do tego celu silnik typu KASB 70/30, produkcyj Zakładu BESEL w Grzegu, nie spełniał już warunków dotyczących czasu załączania stycznika.

## 2. Konstrukcja silnika z gładkim wirnikiem oraz porównanie charakterystyk z silnikiem w wykonaniu klasycznym

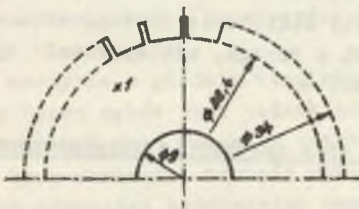
Konstrukcję silnika z gładkim wirnikiem - z uwagi na jego przeznaczenie - oparto na silniku KASB 70/30. Jego elementy takie jak: stojan, komutator, tarcze łożyskowe, wałek, łożyska determinowały więc główne wymiary silnika. Można było zmieniać jedynie długość szczeliny, a tym samym i średnicę wirnika.

Na rys. 1 podano wymiary blach stojana i wirnika nowego silnika.

- Do obydwu stron pakietu wirnika doklejono uzłobkowane krążki tekstolitowe (rys. 2), które izolowały wyjście osi uzwojenia od pakietu blach wirnika, a jednocześnie stanowiły rodzaj szablonu do układania uzwojenia.



Rys. 1. Blacha stojana i wirnika silnika KASB 70/30 z wirnikiem gładkim

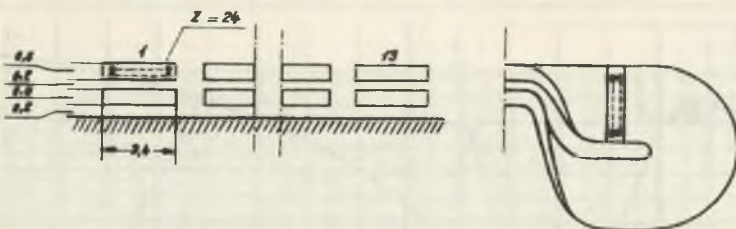


Rys. 2. Żłobkowany preszpan służący jako szablon do ułożenia uzwojenia wirnika ●

Uzwojenie twornika zostało przyklejone do warstwy izolacyjnej o grubości 0,2 mm nałożonej na gładkim cylindrze wirnika. Rozmieszczenie uzwojenia na obwodzie wirnika i ukształtowanie ozół podano na rys. 3. Zdjęcie uzwojonego wirnika przed zabandażowaniem przedstawiono na rys. 4. Na uzwojony wirnik nałożono 3 warstwy bandaży szklanego o łącznej grubości 0,6 mm. W celu porównania właściwości silnika KASB 70/30 w wykonaniu klasycznym i z

gładkim wirnikiem wykonano cały szereg pomiarów laboratoryjnych, z których wynikają następujące wnioski:

1. Elektromagnetyczna stała czasowa uzwojenia twornika zmniejszyła się po zastosowaniu wirnika gładkiego z 2,7 ms do 0,6 ms.

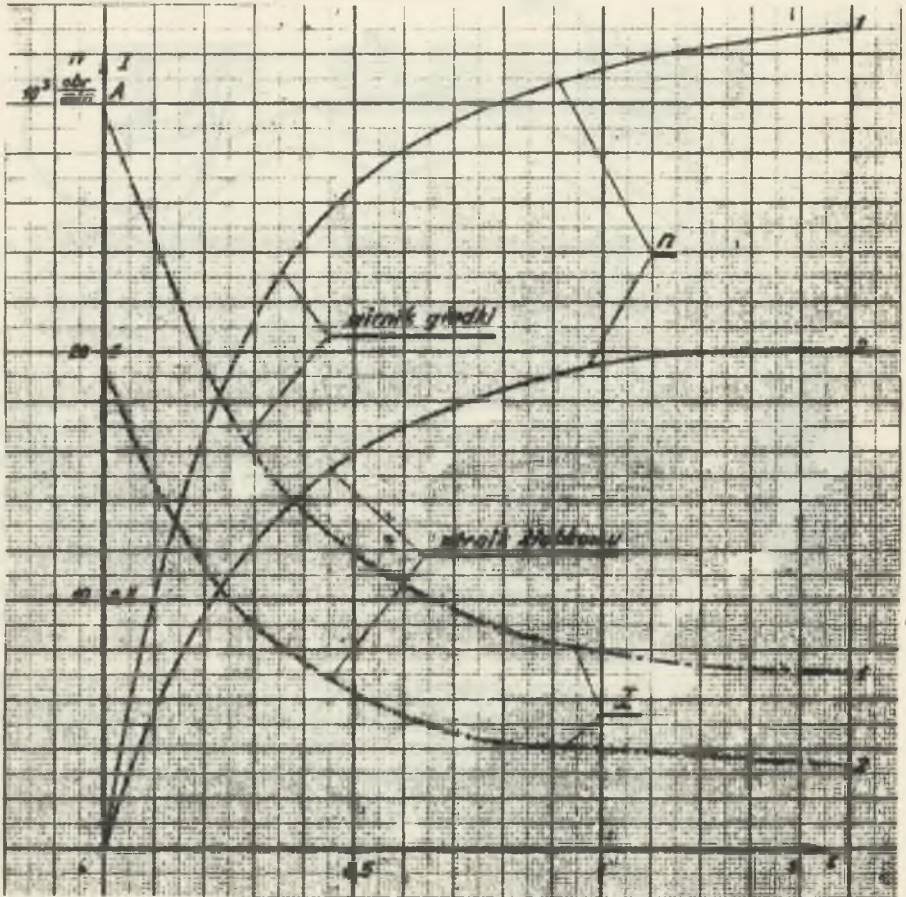


Rys. 3. Ukształtowanie uzwojeń na powierzchni wirnika

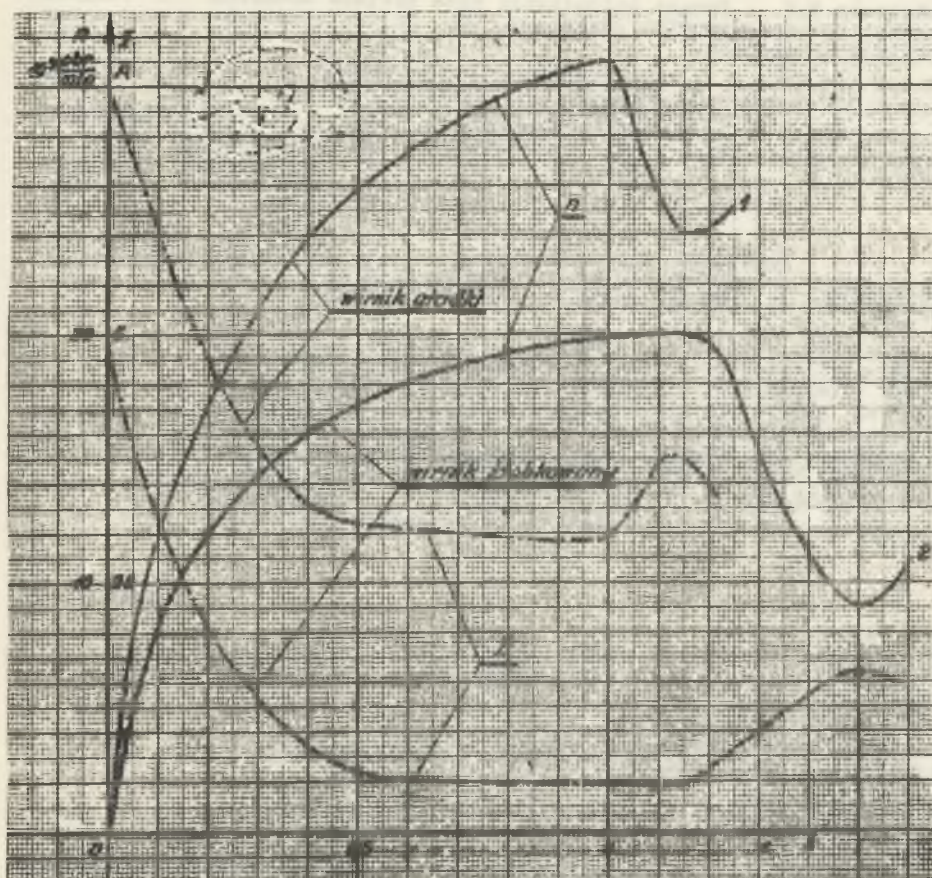
Rys. 4  
Uzwojony  
wirnik

2. Elektromagnetyczna stała czasowa uzwojenia stojana ( $z_w = 500$  zwojów  $R_w = 15,5 \Omega$ ) z wirnikiem żłobkowym wynosi  $9,4$  ms, a z wirnikiem gładkim  $3,2$  ms.
3. Moment rozruchowy silnika z gładkim wirnikiem wzrósł o około  $20\%$ . Wzrost ten spowodowany jest wzrostem prądu rozruchowego (o około  $55\%$ ) zmniejszeniem kąta przedunięcia fazowego między prądem twornika i strumienia wzbudzenia (zmniejszył się z  $30^\circ$  na  $3^\circ$ ). Przez zmniejszenie rezystancji uzwojenia wzbudzenia można uzyskać również wzrost momentu rozruchowego. I tak np. zmniejszenie rezystancji do połowy ( $R_w = 7,7 \Omega$ ) przy tej samej liczbie zwojów daje wzrost momentu rozruchowego o  $60\%$ .
4. Jak wynika z charakterystyk  $I(t)$  i  $n(t)$  zdjętych dla obydwu wykonń wirnika silnika nieobciążonego i obciążonego mechanizmem stycznika APU50 przy skokowym założeniu napięcia zasilania (rys. 5, 6), własności dynamiczne silnika z wirnikiem gładkim są znacznie lepsze. W rezultacie tego przez zastosowanie silnika z wirnikiem gładkim uzyskuje się skrócenie czasu założenia stycznika o około  $20\%$ .

W rezultacie tego przez zastosowanie silnika z wirnikiem gładkim uzyskuje się skrócenie czasu założenia stycznika o około  $20\%$ .



Rys. 5. Charakterystyki rozruchowe  $I(t)$  i  $n(t)$  przy zasilaniu napięciem przemiennym 220 V i przy silniku nieobciążonym. Charakterystyki dotyczą silnika o parametrach uzwojenia wzbudzenia  $z_w = 500$  zwojów;  $R_w = 15,5 \Omega$



Rys. 6. Charakterystyki rozruchowe  $I(t)$  i  $n(t)$  przy zasilaniu napięciem przemiennym 220 V i przy silniku obciążonym mechanizmami styżownika APU50. Charakterystyki dotyczą silnika o parametrach uzwojenia wzbudzenia  $Z_w = 500$  zwojów,  $R_w = 15,5\Omega$

## LITERATURA

1. Arnold E., La Cour J.L.: - Gleichstrommaschine Dritte Auflage Verlag von Springer in Berlin 1927 r.
2. Serwomotory prądu stałego z bezżłobkowym wirnikiem. Minertia firmy Yaskawa, Moskwa 1952 r.
3. Fukuda Teryyuki: Minertia motor. Industr. Electr. 1963, nr 6.
4. Moteur Minertia - le moteur a  $GD^2$  extremement faible. Prospekt Brown-Boveri Baden 6, 1964, S. 1-9.

5. Файнштейн М.Б. - Машина постоянного тока большой мощности с гладким якорем. Диссертация КГН. Ленинград 1970, Научно исследовательский институт Электромеханики.
6. Roch P., Spyrka A.: Twornik maszyny prądu stałego z uzwojeniem umieszczonej na praktycznie gładkiej cylindrycznej powierzchni. Patent nr 5997.
7. Борушко В.С., Толкунов В.П., Элкенис В.И. - машины постоянного тока с немагнитным активным слоем. Электротехника 1966 № 1.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ КОЛЛЕКТРОНЫЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ  
МАЛОЙ МОЩНОСТИ С ГЛАДКИМ ЯКОРЕМ

Р е з ю м е

В статье представлены конструкция и характеристики двигателя малой мощности KASB 70/30 с гладким якорем, который используется для привода механизма выключателя АРУ-50. Кроме этого приведено сравнение электромеханических характеристик двигателя KASB 70/30 с гладким якорем и якорем с пазами.

THE UNIVERSAL SMALL COMMUTATOR MOTOR WITH SMOOTH ROTOR

S u m m a r y

Construction and characteristic of the KASB 70/30 motor with smooth rotor is presented in the paper. The motor is employed for driving АРУ 50 contactor mechanisms. Parameters and electro-mechanical characteristics of the KASB 70/30 motor with smooth rotor and slot rotor are compared.