

Tadeusz Glinka
Ryszard Kajca

Zakład Maszyn Elektrycznych
Politechniki Śląskiej

MUTACJE KONSTRUKCYJNE SILNIKÓW UNIWERSALNYCH

Streszczenie. Omówiono zagadnienie konstrukcji mutacji silników uniwersalnych na bazie wykroju blachy silnika licencyjnego typu RH 5500 firmy Hitachi. Zmieniając długość pakietu blach z 13 mm na 24 mm uzyskuje się nowe mutacje silnika o mocy znamionowej od 250 W do 500 W. Silnik licencyjny, jak i jego mutacje, cechuje duży stopień wykorzystania materiałów czynnych oraz praktycznie beziskrowa komutacja.

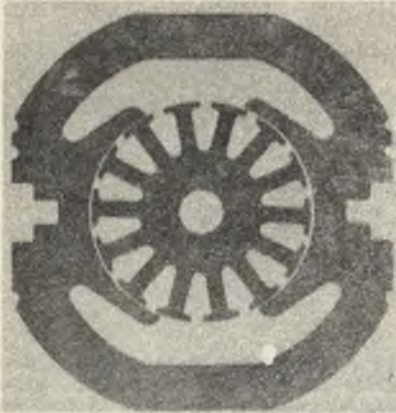
1. Porównanie parametrów silników uniwersalnych produkowanych przez polski przemysł

Wraz z budową Fabryki Silników Elektrycznych Małej Mocy SIILMA w Zagórze i zakupem licencji kilkunastu linii technologicznych silników małej mocy polski rynek wzbogacił się o cały szereg różnych typów silników małej mocy. Z ciekawszych rozwiązań na szczególną uwagę zasługują silniki komutatorowe uniwersalne typu RH-5500 przeznaczone do agregatów ssących, silniki prądu stałego z magnesami trwałymi oraz silniki undukcyjne z kondensatorem pracy.

Porównanie parametrów silników licencyjnych, w szczególności mocy silnika w jednostce masy z parametrami silników dotychczas wytwarzanych przez polski przemysł szczególnie korzystnie klasyfikuje silnik RH 5500. Porównanie takie przedstawia tabela 1.

Tabela 1

Typ silnika	Moc P_n	Mo- ment M_n	Prę- kość obrot. n_n	U_n	I_n	Masa G	$k_p = \frac{P_n}{G}$	$k_m = \frac{M_n}{G}$
	W	10^{-2} Nm	obr/min	V	A	kg	W/kg	10^{-2} Nm/kg
SIK 125 SIK 126 SIK 128	230	18,3	12000	220	1,73	1,9	121	9,65
KASO 87/50/6	350	33,5	10000	220	2,5	3,0	117	11,17
KASB 70/30/4a	120	8,2	14000	220	1,1	0,95	126	8,65
RH 5500	350	18,7	18000	220	2,54	1,55	226	12



Rys. 1. Blacha pakietu stojana i wirnika silnika RH 5500

blach, a parametrami zmiennymi była długość pakietu oraz dane nawojowe stojana i wirnika. Krótkie przedstawienie wyników tych prac jest celem tego artykułu.

2. Mutacje konstrukcyjne silnika RH 5500

Mutacje konstrukcyjne silników określa zależność między długością pakietu (przy stałej średnicy) i mocą znamionową (mocą użyteczną). Użyteczna moc znamionowa P_n i moc wewnętrzna P_w silnika uniwersalnego są związane zależnością

$$P_w = E_n I_n = U_n I_n - R I_n^2 - \Delta U_{sz} I_n = \frac{P_n}{\eta_n} - \sum \Delta P_R \quad (1)$$

gdzie:

E_n - znamionowa wartość sem rotacji indukowanej w uzwojeniu twornika,

U_n, I_n - napięcie i prąd znamionowy silnika,

ΔU_{sz} - spadek napięcia na styku szczotka komutator,

η_n - znamionowa sprawność silnika,

R - rezystancja uzwojenia silnika,

$\sum \Delta P_R$ - sumaryczne straty mocy czynnej w obwodzie prądowym silnika.

Z doświadczeń wiadomo, że straty w obwodzie głównym silników uniwersalnych $\sum \Delta P_R$ stanowią w przybliżeniu połowę wszystkich strat mocy czynnej w maszynie

$$\sum \Delta P_R \approx \frac{1}{2} \sum \Delta P = \frac{1}{2} P_n \frac{1-\eta}{\eta} \quad (2)$$

Po uwzględnieniu zależności (2) w równaniu (1), związek między mocą wewnętrzną i mocą użyteczną silnika

$$P_w = \frac{1+\eta}{2\eta} P_n. \quad (3)$$

Moc wewnętrzna

$$P_w = E_n I_n, \quad (4)$$

przy czym siła elektromotoryczna E_n jest proporcjonalna do prędkości obrotowej silnika - n , liczby zwojów uzwojenia twornika ($z_2 = \frac{N}{4a}$) oraz strumienia magnetycznego Φ :

$$E_n = \frac{p n}{60} \frac{N}{a} \frac{\Phi}{\sqrt{2}}$$

Ponieważ $\Phi = B q_F$ oraz $I_n = j_n q_p$, to moc wewnętrzna

$$P_w = \frac{p B j_n}{\sqrt{2} 60 a} n q_F N q_p,$$

gdzie:

q_F, q_p - przekrój rdzenia, przekrój przewodu uzwojenia twornika.

Całkowity przekrój miedzi uzwojenia twornika $q_{Cu} = N q_p$. Ponieważ przekroje q_F i q_{Cu} są proporcjonalne do kwadratu wymiaru liniowego 1:

$$q_F \sim l^2; \quad q_{Cu} \sim l^2,$$

wobec tego

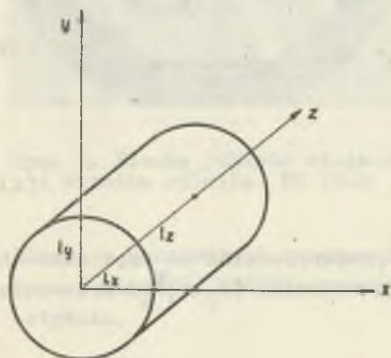
$$P_w \sim B j_n n l^4.$$

Uwzględniając, że sprawność silników uniwersalnych η w pewnym przedziale mocy jest praktycznie stała, to moc znamionowa silnika

$$P_n = C B j_n n l^4, \quad (6)$$

gdzie:

C - współczynnik proporcjonalności.



Rys. 2. Cylinder wirnika w prostokątnym układzie współrzędnych

Ponieważ bryła twornika silnika, jest cylindrem posiadającym w przestrzennym układzie współrzędnych $x; y; z$ wymiary l_x, l_y, l_z (rys. 2), to

$$l^4 \sim l_x^{4/3} l_y^{4/3} l_z^{4/3} \quad (7)$$

Mutacje konstrukcyjne silnika posiadają ten sam wykrój blachy ($\frac{1}{4}\pi D^2 = \text{const}$), a więc wymiary l_x i l_y dla wszystkich odmian silników są te same.

Porównując zatem dwie mutacje silnika o różnych mocach znamionowych (równanie 6) oraz równych wartościach indukcji B i gęstości prądu j_n otrzymuje się zależność między długościami pakietu wirnika i mocami znamionowymi silników

$$l_{z2} = l_{z1} \frac{P_{n2}}{P_{n1}} \frac{n_1}{n_2}^{3/4} \quad (8)$$

Na bazie równania (8) obliczono długości pakietów mutacji silnika RH 5500 o mocach znamionowych 250 W; 420 W; 500 W. Dane obliczeń zestawiono w tabeli 2. Ze względów technicznych (pomieszczenie uzwojenia w tych samych żłobkach oraz znormalizowane wielkości przewodów nawojowych) zaszła konieczność zmiany gęstości prądu w poszczególnych mutacjach.

3. Wyniki badań silników modelowych

W oparciu o dane obliczeń zestawione w tabeli 2, wykonano 12 sztuk modeli silników (po 3 sztuki z każdej mutacji). Na rys. 3 przedstawiono silnik RH 5500 mutacji podstawowej 350 W przygotowany do badań to jest z na-

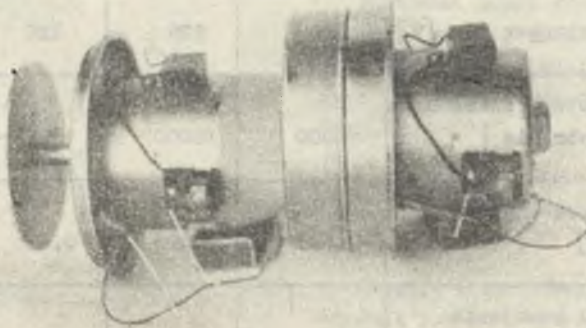
Tabela 2

Parame tr	Silnik licencyjny RH 5500	Mutacja I	Mutacja II	Mutacja III
Moc znamionowa P_n [W]	350	250	420	500
Prąd znamionowy I_n [A]	1,81	2,54	2,87	3,28
Napięcie znamionowe U_n [V]	220	220	220	220
Prędkość obrotowa znamionowa n_n [obr/min]	18000	18000	18000	18000
Indukcja w szczelinie B [T]	0,695	0,695	0,695	0,695
Gęstość prądu uzwojenia stojana j_1 [$\frac{A}{mm^2}$]	13	11,4	11,5	11,6
Gęstość prądu uzwojenia wirnika j_2 [$\frac{A}{mm^2}$]	10,1	8,9	9,9	9,05
Obliczona długość pakietu blach l_z [mm]	18	13,8	20,5	23,7
Przyjęta długość pakietu w budowanych modelach l_z [mm]	18	13	20	24
Liczba zwojów uzwojenia stojana	225	312	207	176
Liczba zwojów zezwoju uzwojenia wirnika	21	30	20	17

służoną na wał tarczą hamującą i z połączeniem tunelowym w obieg wentylacyjny z dodatkowym agregatem ssącym. Modele podano gruntownym badaniom, z których najważniejsze to:

1) pomiar charakterystyk elektromechanicznych,

2) ustalenie dopuszczalnych parametrów pracy silnika w zależności od warunków chłodzenia, przy których przyrost temperatury uzwojeń odpowiada wartości dopuszczalnej $\Delta v_{\text{dop}} = 75 \text{ deg}$ (określona metodą "rezystancyjną").



Rys. 3. Model silnika RH 5500 przygotowany do badań, to jest z założoną tarczą hamującą i z wentylacją obcą od dodatkowego agregatu ssącego

Przykładowy przebieg charakterystyk elektromechanicznych mutacji 500 W podano na rys. 4.

Ustalając parametry znamionowe poszczególnych mutacji według kryterium maksymalnej sprawności η_{max} wykonano wykres mocy użytecznej silnika P_n w zależności od długości pakietu blach stojana i wirnika (rys. 5).

Przyrost temperatury uzwojeń odpowiadający znamionowym parametrom pracy silników jest silnie zależny od warunków chłodzenia. Przyrost temperatury uzwojeń przy zdjętych turbinkach ssących (dodatkowy agregat ssący wyłączony) odpowiadają w przybliżeniu przyrostom dopuszczalnym (tabela 3), natomiast przy intensywnym chłodzeniu (strugą powietrza dodatkowego agregatu ssącego) przyrosty temperatury uzwojeń są niewiele mniejsze $\Delta v \approx \frac{1}{2} \Delta v_{\text{dop}}$. W warunkach intensywnego chłodzenia dopuszczalne obciążenie silników można znacznie zwiększyć (tabela 4).

W tabelach 3 i 4 zestawiono wartości średnie uzyskane z badań 3 sztuk silników w każdej mutacji.

Komutacja we wszystkich badanych modelach była praktycznie beziskrowa.

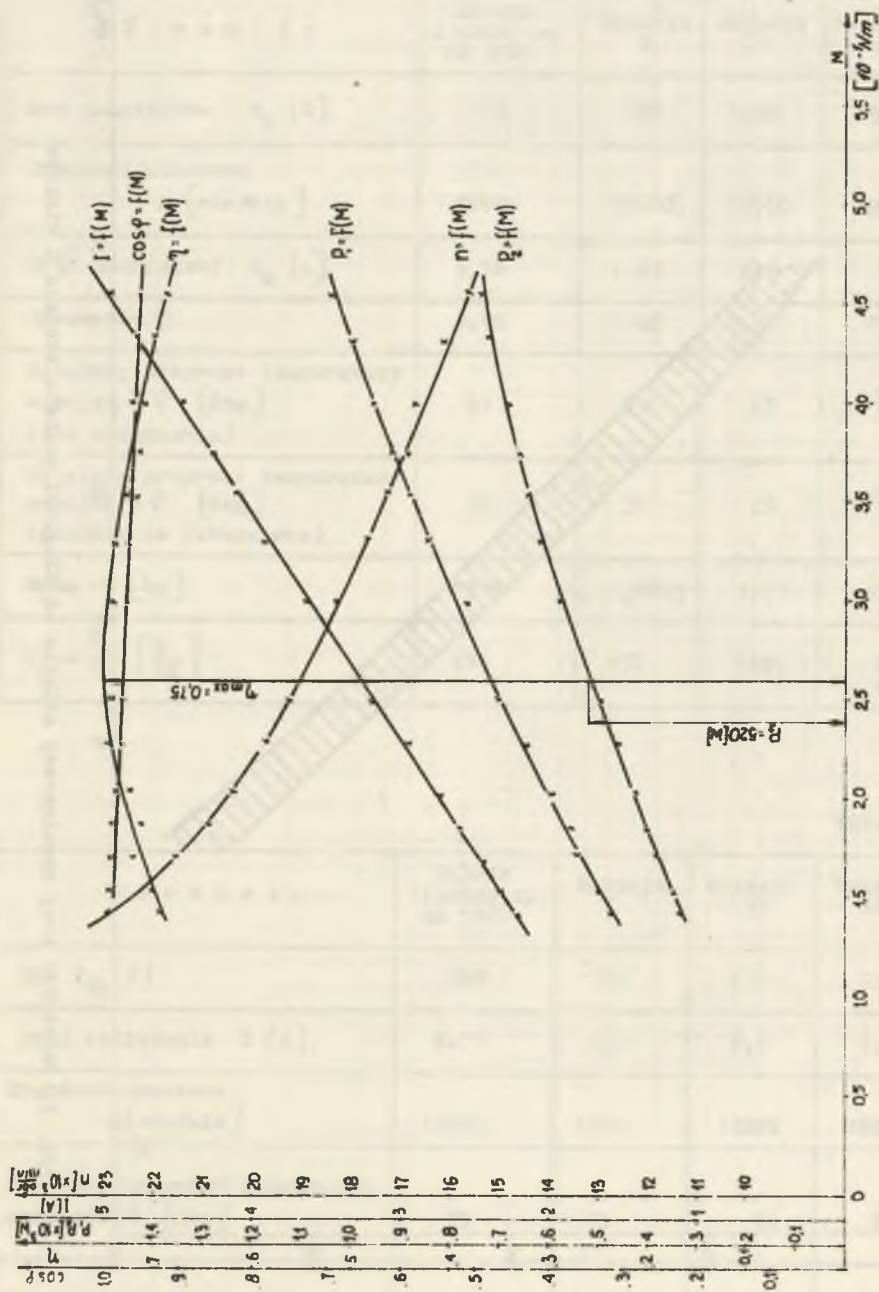
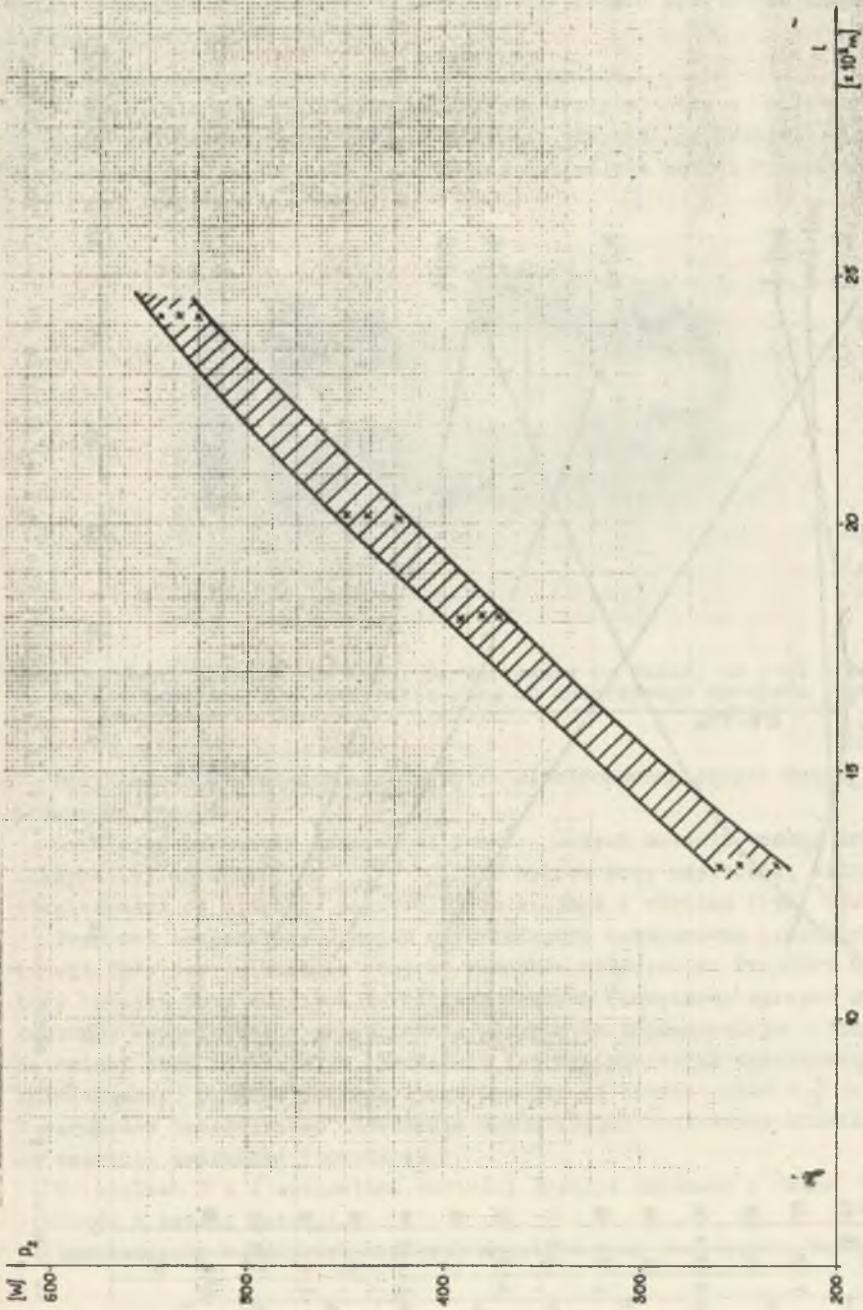


Fig. 4. Charakterystyki elektromechaniczne i ; P_1 ; P_2 ; η ; $\cos \varphi = f(M)$ silnika RH 500 500 W (mutacji III)



Rys. 5. Zależność mocy znamionowej silnika od długości pakietu stojana i wirnika

Tabela 3

Parametr	Silnik licencyjny RH 5500	Mutacja I	Mutacja II	Mutacja III
Moc znamionowa P_n [W]	350	250	420	500
Prędkość obrotowa n [obr/min]	20000	18600	19700	18850
Prąd znamionowy I_n [A]	2,58	1,93	2,9	3,3
Sprawność η	0,69	0,60	0,715	0,75
Ustalony przyrost temperatury uzwojeń Δv [deg] (bez chłodzenia)	57	73	67	70
Ustalony przyrost temperatury uzwojeń Δv [deg] (chłodzenie intensywne)	35	30	25	32
Masa G [kg]	1,55	1,40	1,60	1,75
$k_p = \frac{P_n}{G} \left[\frac{W}{kg} \right]$	226	178	262	285

Tabela 4

Parametr	Silnik licencyjny RH 5500	Mutacja I	Mutacja II	Mutacja III
Moc P_2 [W]	550	350	630	730
Prąd obciążenia I [A]	4,75	3,5	5,2	5,5
Prędkość obrotowa n [obr/min]	12000	1000	13200	15000
Ustalony przyrost temperatury uzwojeń Δv [deg]	73	75	74	75
Sprawność η	0,55	0,475	0,625	0,65

4. Wnioski

Wyniki badań silników modelowych (tabela 3) w pełni zweryfikowały wykonane obliczenia. Większy przyrost temperatury uzwojenia twornika silnika mutacji I można wytłumaczyć skróceniem pakietu twornika w stosunku do wartości wynikającej z obliczeń.

Poprzez zmianę danych nawojonych poszczególnych mutacji istnieje możliwość zmiany prędkości obrotowej silnika. Dalsze badania dotyczące opracowania całej serii silników uniwersalnych będą dotyczyć innych wielkości mechanicznych (silniki o innych średnicach wirnika). Nowe wielkości mechaniczne można konstruować, zachowując podobieństwo geometryczne obwodu magnetycznego do obwodu silnika RH 5500. Prowadzenie tych badań jest uzależnione od zapotrzebowania przez polski przemysł elektromaszynowy.

LITERATURA

- [1] Paszek Wł., Glinka T.: Komutacja silników uniwersalnych. Zeszyty problemowe Komel-u nr 20, 1974.
- [2] Kubek J., Glinka T.: Uniwersalny silnik komutatorowy małej mocy z gładkim wirnikiem. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Elektryka z. 38, 1973.

Przyjęto do druku w czerwcu 1974 r.

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МУТАЦИИ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Р е з ю м е

Рассмотрены вопросы мутации конструкции универсальных двигателей на основе формы стали лицензионного двигателя RH 5500 фирмы Hitachi. Изменяя длину пакета железа с 13 мм до 24 мм, получаем новые мутации двигателя с номинальной мощностью от 250 Вт до 500 Вт. Лицензионный двигатель, равно как и его мутации, характеризуется высокой степенью использования активных материалов и практически безыскровой коммутацией.

CONSTRUCTIONAL MUTATIONS OF UNIVERSAL MOTORS

S u m m a r y

The problem of construction of several mutations of universal motors constructed on the basis of the motor steel sheets of the licenced type RH 5500 Hitachi motor was discussed. By changing the length of the sheet pack from 13 mm to 24 mm new motor mutations with the rated power from 250 W to 500 W were obtained. The licenced motor as well as its mutations are characterized by high degree utilization of active materials and practically sparkless commutation properties.