

Romuald Grzenik  
Politechnika Śląska, Gliwice

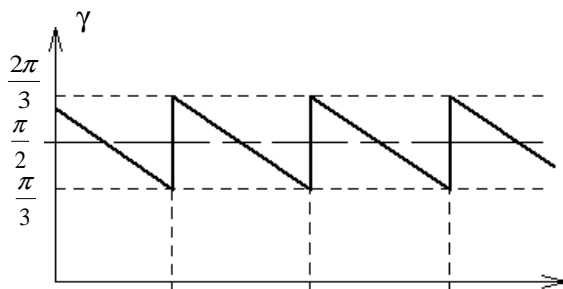
## BADANIE WPŁYWU POŁOŻENIA CZUJNIKÓW NA PRACĘ SILNIKA O STEROWANYM TRAPEZOWYM PM BLDC

### INVESTIGATION OF INFLUENCE OF SENSOR POSITIONING ON PM BLDC MOTOR WITH TRAPEZOID CONTROL OPERATION

**Abstract:** Synchronous motors excited with permanent magnets (BLDC) require rotor position sensors in order to operate properly. Usually Hall sensors are used. A serious problem is posed here: how to place the sensors so that their operation might not be disrupted by coil end windings field. One possible way to minimise the interference is to place the sensors in slots cut in pole pieces teeth. Still, the accuracy of this solution is limited by slot pitch length. Influence of sensor position deviation on motor operation is presented in the paper. The conducted measurements show that motor may operate if deviation from the correct sensor position is less than 15 deg el.

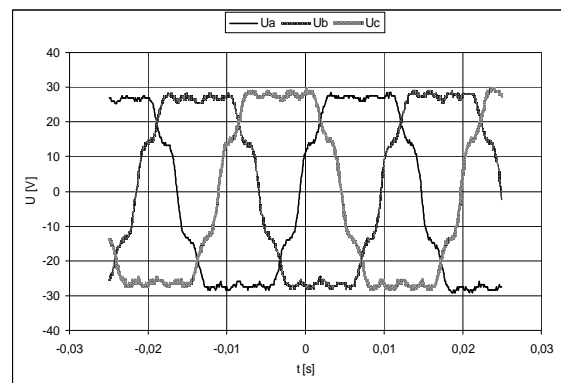
#### 1. Wstęp

Silniki synchroniczne wzbudzenie magnesami trwałymi znajdują coraz szersze zastosowanie. Najprostszą konstrukcją mają silniki o sterowaniu trapezowym z magnesami naklejonymi na powierzchni wirnika. Do prawidłowej pracy silnik potrzebuje czujników położenia wirnika. Wykorzystując trzy czujniki możemy określić położenie wirnika z dokładnością do  $60^\circ$  elektrycznych Kąt  $\gamma$  pomiędzy siłą magnetomotoryczną uzwojeń stojana  $\Theta_a$  i siłą magnetomotoryczną wirnika  $\Theta_f$  powinien się zawierać w przedziale  $60^\circ \leq \alpha \leq 120^\circ$  - rys. 1.

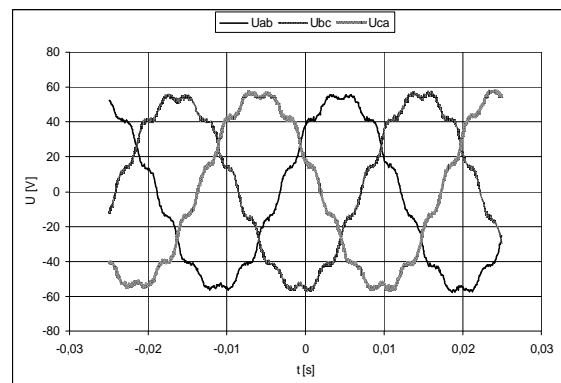


Rys. 1. Kąt  $\alpha$  pomiędzy siłą magnetomotoryczną stojana  $\Theta_a$  i siłą magnetomotoryczną wirnika  $\Theta_f$

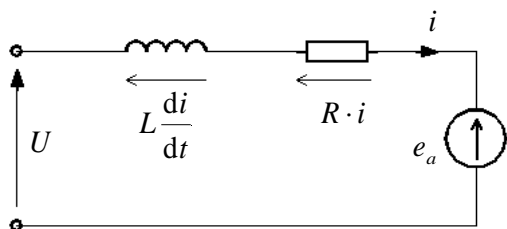
Oscylogramy napięć fazowych i międzyfazowych przedstawiono na rysunku 2 i 3. Znając napięcie indukowane w silniku i parametry schematu zastępczego można wyznaczyć prąd płynący w obwodzie silnika – rys.4.



Rys. 2. Przebieg napięcia fazowego na zaciskach silnika przy pracy prądnicowej na biegu jałowym



Rys. 3. Przebieg napięcia międzyfazowego na zaciskach silnika przy pracy prądnicowej na biegu jałowym

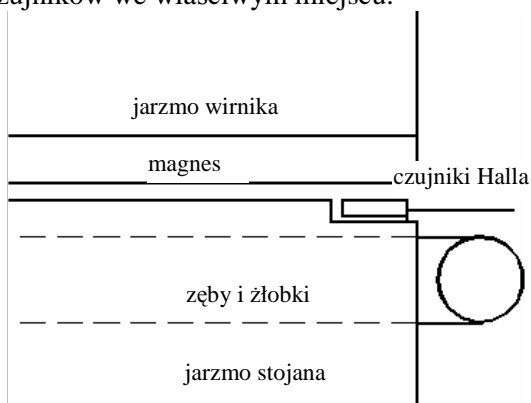


Rys. 4. Schemat zastępczy jednej fazy silnika

Indukcyjności uzwojeń ze względu na dużą zastępczą szczelinę powietrzną są małe. W badanym silniku indukcyjność międzyfazowa wynosiła około 2 mH, a rezystancja międzyfazowa 0,53  $\Omega$ .

Do kontroli położenia najczęściej wykorzystuje się czujniki Halla, jako całkowicie odporne na zanieczyszczenia mechaniczne i kurz.

Czujniki Halla powinny być umieszczone w takim miejscu, by uniknąć zakłóceń. Umieszczenie czujników na tarczy łożyskowej nie jest najlepszym rozwiązaniem, ze względu na oddziaływanie czoł uzwojeń. Można czujniki umieścić obok dodatkowej tarczy z magnesami, odsuniętej od zakłócających pól. Dobrym rozwiązaniem jest umieszczenie czujników w żłobkach stojana – rys. 5. W małych silnikach przy większej liczbie biegunów nie ma możliwości dokładnego umieszczenia czujników. W jednym z silników kolejne żłobki były oddalone od siebie o kąt elektryczny 30°, uniemożliwiało to ustawienie czujników we właściwym miejscu.



Rys. 5. Czujniki Halla umieszczone w żłobkach stojana

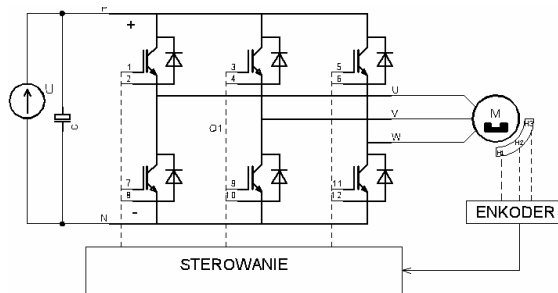
## 2. Pomiary

W celu określenia jak wpływa taki błąd położenia czujników na pracę silnika zbudowano układ pomiarowy w którym czujniki mogły być przemieszczane płynnie o dowolny kąt. Do pomiarów użyto silnika PMSg80-6B produkcji BOBRME Komel o danych znamionowych podanych w tabeli 1.

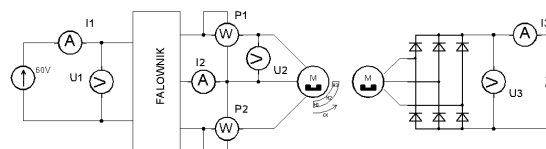
Tabela 1

Wielkość elektryczna	Wartość	Jednostka
Moc znamionowa	750	W
Napięcie znamionowe	60	V
Prąd znamionowy	8,2	A
Sprawność	88,2	%
Prędkość obrotowa znamionowa	1000	obr/min

Schemat układu pomiarowego przedstawiono na rysunkach 6 i 7. W silniku czujniki Halla były rozmieszczone co 60° elektrycznych, dla niektórych układów sterowania wymagających czujników rozmieszczonych co 120° elektrycznych konieczny jest enkoder. Pomiary wykonano dla obydwóch kierunków wirowania silnika. Dla biegu jałowego mierzono prąd zasilania falownika i prąd przewodowy silnika. W stanu obciążenia silnika, przy zmianach kąta  $\alpha$  ze względu na zmiany prędkości obrotowej napięcie na wyjściu prądnicy, a tym samym i moc obciążenia ulegały zmianom. Z tego względu przedstawiono zmiany sprawności silnika, przy zmianach kąta  $\alpha$  dla stałej wartości rezystancji obciążenia. Przeprowadzono pomiary dla kątów  $\alpha$  odchylenia od położenia prawidłowego o kąty elektryczne w zakresie -60° do +60°.



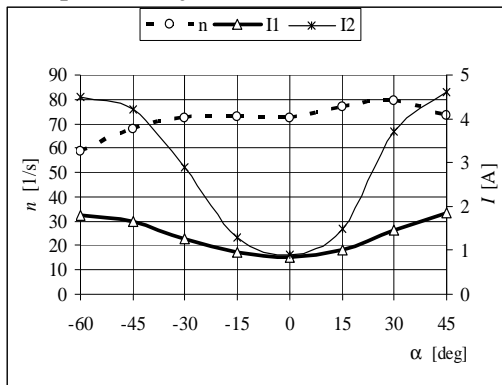
Rys. 6. Układ falownika zasilającego silnik



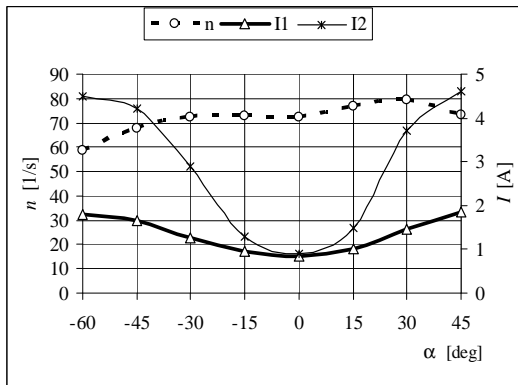
Rys. 7. Schemat układ pomiarowego

Jak wynika z przedstawionych pomiarów, przy odchyleniu czujników przeciwnie do kierunku wirowania silnika występuje pewien wzrost prędkości obrotowej spowodowany rozmagnesowaniem działaniem oddziaływania twornika. Ze względu na dużą zastępczą

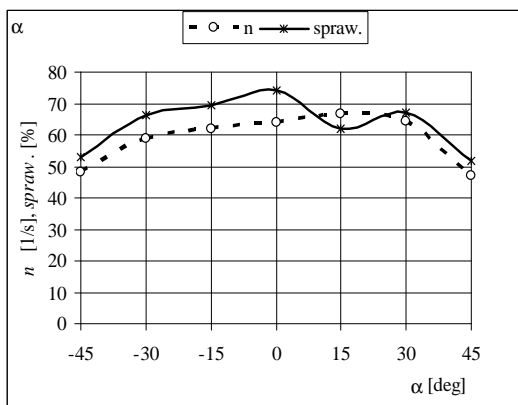
szczelinę powietrzną i silne magnesy z ziem rzadkich naklejone na powierzchni wirnika wzrost prędkości jest niewielki.



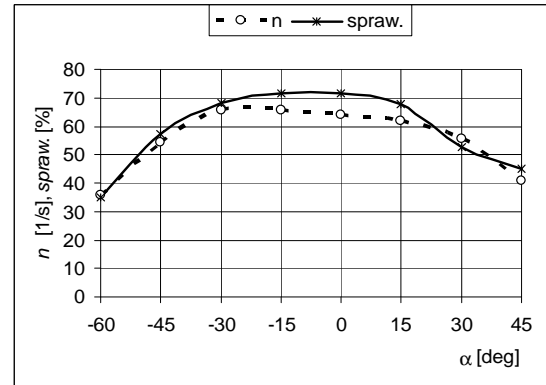
Rys. 8. Prąd zasilania falownika  $I_1$ , prąd fazowy silnika  $I_2$  i prędkość  $n$  dla biegu jałowego, kierunek wirowania w lewo w funkcji kąta  $\alpha$



Rys. 9. Prąd zasilania falownika  $I_1$  i prąd fazowy silnika  $I_2$  i prędkość  $n$  dla biegu jałowego, kierunek wirowania w prawo w funkcji kąta  $\alpha$



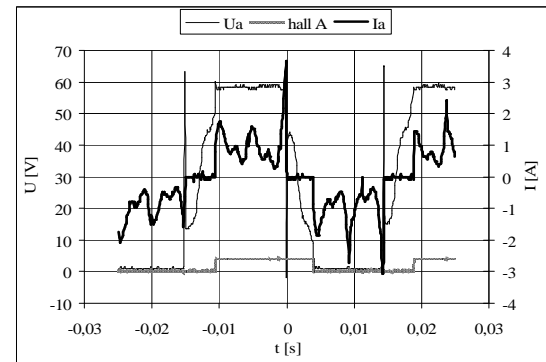
Rys. 10. Sprawność silnika i prędkość  $n$  dla stanu obciążenia, kierunek wirowania w lewo w funkcji kąta  $\alpha$



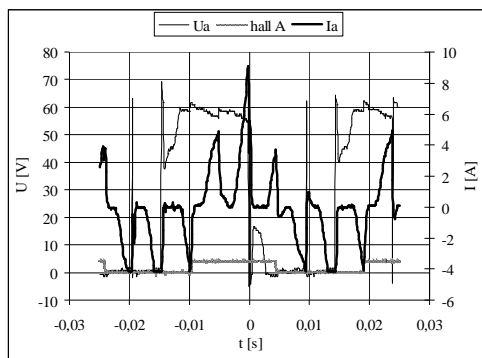
Rys. 11. Sprawność silnika i prędkość  $n$  dla stanu obciążenia, kierunek wirowania w prawo w funkcji kąta  $\alpha$

Dla zmian kąta  $\alpha$  w przedziale  $15^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$  parametry silnika są praktycznie stałe. Dopiero wyjście poza przedział  $\pm 15^\circ$  powoduje wyraźne pogorszenie parametrów silnika.

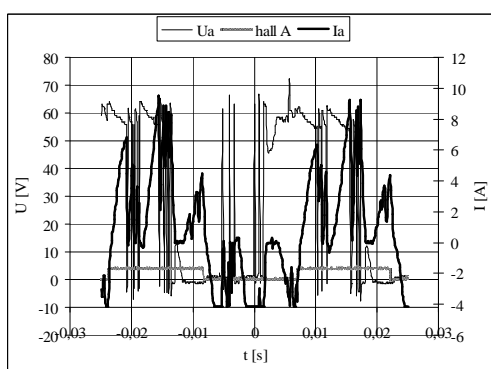
Na rysunkach 12÷16 przedstawiono oscylogramy prądu i napięcia jednej fazy silnika (ujemne wartości czasu wynikają z ustawienia punktu wyzwania na 50% skali czasu). Dla biegu jałowego przy kątach odchylenia czujników większych niż  $30^\circ$  widać działanie układu ograniczającego prąd (modulacja PWM). Przy obciążeniu układ ograniczający prąd działa już przy kątach odchylenia większych od  $15^\circ$



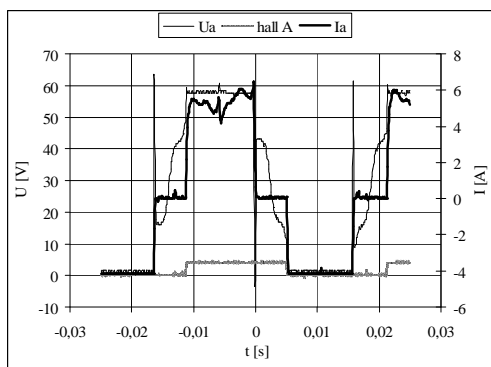
Rys. 12. Oscylogram prądu fazy  $I_a$ , napięcia fazowego  $U_a$  i sygnału z czujnika Halla, dla biegu jałowego dla kąta  $\alpha = 0^\circ$



Rys. 13. Oscylogram prądu fazy  $I_a$ , napięcia fazowego  $U_a$  i sygnału z czujnika Halla dla biegu jałowego, dla kąta  $\alpha = -30^\circ$

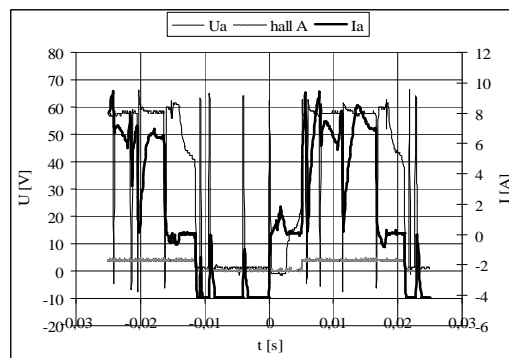


Rys. 14. Oscylogram prądu fazy  $I_a$ , napięcia fazowego  $U_a$  i sygnału z czujnika Halla dla biegu jałowego, dla kąta  $\alpha = -45^\circ$



Rys. 15. Oscylogram prądu fazy  $I_a$ , napięcia fazowego  $U_a$  i sygnału z czujnika Halla dla stanu obciążenia, dla kąta  $\alpha = 0^\circ$

Nawet dla prawidłowego położenia czujników, przy biegu jałowym widać duże tętnienia prądu spowodowane tętnieniem napięcia - rys. 1. Napięcie to powinno mieć kształt trapezu, co dla małych silników o większej liczbie par biegunów (dla badanego silnika  $2p = 3$ ) jest trudne do uzyskania.



Rys. 16. Oscylogram prądu fazy  $I_a$ , napięcia fazowego  $U_a$  i sygnału z czujnika Halla dla stanu obciążenia, dla kąta  $\alpha = 30^\circ$

Jak widać z przedstawionych pomiarów dla małych kątów odchylenia czujników od prawidłowej pozycji występuje niewielki wzrost prądu pobieranego i niewielki spadek sprawności silnika. Przy odchyłkach większych od  $15^\circ$  prąd pobierany na biegu jałowym gwałtownie zaczyna wzrastać. Dla stanu obciążenia nie widać tak dużego wzrostu prądu ze względu na działanie układu ograniczającego prąd.

### 3. Wnioski

Z przeprowadzonych pomiarów wynika, że praca dla odchylenia czujników od prawidłowego położenia o kąt mniejszy lub równy  $15^\circ$  elektrycznych jest możliwa. Silnik wykazuje wtedy różne prędkości przy wirowaniu w prawo i w lewo, ale różnice nie są duże.

### Literatura

- [1] Glinka T.: *Maszyny elektryczne wzbudzone magnesami trwałymi*. Wydawnictwo Pol. Śląskiej, 2002 r
- [2] Decner A., Glinka T., Jakubiec M., Polak A., Grzenik R.: *Bezsztukowy silnik prądu stałego - sposoby sterowania komutatorem elektronicznym*. Zeszyty Problemowe Maszyny Elektryczne nr 65, 2003, wyd. BOBRME Komel s. 1-6

### Autor

Dr inż. Romuald Grzenik, Politechnika Śląska, Instytut Elektrotechniki i Informatyki, Zakład Maszyn Elektrycznych i Inżynierii Elektrycznej w Transporcie, Gliwice ul. Akademicka 10a, tel: 32 237 2569 e-mail: romuald.grzenik@polsl.pl

### Recenzent

Prof. dr hab. inż. Ignacy Dudzikowski