

ZYGMUNT GOGOLEWSKI

Katedra Maszyn Elektrycznych

WIESŁAW GABRYŚ

Katedra Napędu Elektrycznego

BADANIE ODDZIAŁYWANIA MAGNETYCZNEGO
WIRUJĄCEGO UZWOJENIA KLATKOWEGO
PRZY POMOCY UZWOJENIA PRĄDU STAŁEGO

Streszczenie. Opisano metodę wyznaczania wartości oraz przestrzennego usytuowania osi magnetycznej strumienia wzbudzonego przez wirujące uzwojenie klatkowe w oparciu o pomiar SEM rotacji dodatkowego uzwojenia prądu stałego, nawiniętego na ten sam wirnik. Podano wyniki pomiarów wykonanych na modelu doświadczalnym oraz wskazano możliwości praktycznego wykorzystania metody.

1. W s t ę p

Doświadczalne wyznaczenie osi i wartości strumienia oddziaływania uzwojenia zwartego, wirującego w polu stałym stwarza podstawę do wyjaśnienia przebiegu charakterystyk mechanicznych silników asynchronicznych zwartych pracujących w układzie hamowania dynamicznego, bądź też przy zasilaniu trójfazowym ze źródła prądowego, a także do wyznaczania momentu poślizgowych sprzęgieł magnetycznych. Postawione zagadnienie można by rozwiązać różnymi metodami pomiarowymi np. badając rozkład pola magnetycznego wzdłuż podziałki biegunowej przez wprowadzenie do szczeliny odpowiednich czujników, reagujących na natężenie pola magnetycznego (np. strumieniomierz z czujnikiem w postaci cewki bizmutowej, bądź też płytki Halla).

W przypadkach małych szczelin pomiary tego rodzaju natrafiają na trudności związane z wprowadzeniem czujnika w głąb wąskiej szczeliny wirującej maszyny, a niezależnie od tego otrzymane krzywe wymagają planimetrowania dla uzyskania wartości całkowitego strumienia.

Posłużenie się jako "detektorem strumienia" dodatkowym uzwojeniem prądu stałego może w niektórych przypadkach dać rezultaty pewniejsze i dokładniejsze od pomiaru indukcji magnetycznej w szczelinie i to zarówno co do usytuowania osi jak i wartości strumienia magnetycznego.

2. Opis metody

Doświadczenie wykonujemy na modelu z żłobkowanym równomiernie stojanem i wirnikiem, tak, jak w normalnym silniku asynchronicznym.

W żłobkach stojana umieszczamy cewki uzwojenia prądu stałego o poskoiku zbliżonym do średnicowego, bądź też zasialamy prądem stałym normalne uzwojenie trójfazowe w jednym z układów, stosowanych przy hamowaniu dynamicznym.

W żłobkach wirnika umieszczamy badane uzwojenie klatkowe oraz dodatkowe uzwojenie prądu stałego o rozpiętości zezwojów, odpowiadającej liczbie biegunów uzwojenia stojana (badania przedstawione w niniejszym referacie przeprowadzono na modelu dwubiegunowym).

Wyznaczenie osi i wartości strumienia przeprowadzamy na podstawie pomiarów SEM rotacji, indukowanych w uzwojeniu prądu stałego pomiędzy parą ruchomych szczotek, rozmieszczonych na obwodzie komutatora w stałym odstępnie, odpowiadającym podziałce biegunowej.

Wartość SEM rotacji jest proporcjonalna do iloczynu rzeczywistej wartości nieruchomego strumienia w obwodzie magnetycznym przez pewną funkcję $f(\beta)$ kąta β zwartego między osią szczotek i osią tego strumienia. Funkcja ta zależy od rozkładu indukcji magnetycznej $B = f(x)$ wzdłuż obwodu wirnika (np. przy $B = \text{const.}$ $f(\beta)$ ma charakter sinusoidalny).

Przesuwając układ obu nieruchomych względem siebie szczotek wzdłuż obwodu wirującego komutatora i mierząc między nimi napięcie dla każdego kolejnego położenia wyznaczamy krzywą SEM rotacji w funkcji kąta α położenia szczotek (kąt α mierzymy w działkach komutatora począwszy od dowolnego położenia przyjętego jako początkowe).

Amplituda otrzymanej w ten sposób krzywej jest miarą wartości całkowitego strumienia jednej pary biegunów a kąt α_0 ustawienia osi szczotek przy którym SEM rotacji jest równa zero określa nam położenie osi prostopadłej do osi magnetycznej tegoż strumienia (zakładamy tu, że sekcje uzwojenia prądu stałego mają symetryczne połączenia czołowe).

Bezwzględna wartość strumienia możemy wyliczyć (znając dane uzwojenia prądu stałego) z wzoru

$$\bar{\phi} = \frac{60 a E_{r \max}}{N p n} \quad [\text{V sek}] \quad (1)$$

gdzie oznaczają:

- E_{\max} - SEM rotacji w woltach (wartość maksymalna)
- p - liczba par biegunów
- a - liczba par gałęzi uzwojenia p.s.
- N - liczba prętów uzwojenia p.s.
- n - prędkość wirowania w obr/min.

Należy zauważyć, że zarówno maksymalna wartość $E_{r \max}$ SEM rotacji jak i wartość kąta α_0 , określającego położenie osi strumienia nie zależą od kształtu pola w szczelinie, a więc i od omówionej poprzednio funkcji $f(\beta)$.

Należy również podkreślić, że pomiar wartości strumienia kwalifikuje się do metod "typu ekstremalnego" a pomiar kąta osi do metod "typu zerowego", Obie metody zaliczają się więc do klasy metod dokładnych, co przemawia na ich korzyść.

Dokładność pomiaru kąta α_0 można zwiększyć zagęszczając punkty pomiarowe dodatniej i ujemnej wartości SEM rotacji w pobliżu zera i następnie wyznaczając graficznie punktu przejścia krzywej $E_r = f(\alpha)$ przez zero.

W praktyce nie interesuje nas położenie osi badanego strumienia w przestrzeni, natomiast w zagadnieniach poruszonych na wstępie podstawowe znaczenie ma ustalenie wzajemnego położenia osi strumienia wypadkowego oraz strumieni składowych wzbudzonych oddzielnie przez przepływ stojana i przepływ klatki.

W tym celu należy wykonać dwa kolejne pomiary: jedno przy rozwartym (lub niezakończonym) uzwojeniu klatkowym (pomiar strumienia stojana $\bar{\phi}_0$), a drugi w niezmienionych wa-

runkach wzbudzenia i prędkości przy zwartym uzwojeniu klatkowym (pomiar strumienia wypadkowego $\Phi_0 \hat{=} \Phi_{kl}$).

W założeniu, że obwód magnetyczny jest nienasycony możemy z kolei wykreślić przebieg krzywej dla określenia strumienia oddziaływania klatki Φ_{kl} , odejmując od siebie rzędne obu krzywych zdjętych pomiarowo.

Na podstawie otrzymanych krzywych można sporządzić przestrzeny wektorowy wykres strumieni (amplitudy krzywych są proporcjonalne do modułów wektorów, a odległości między punktami zerowymi - do kątów między wektorami, współczynnik proporcjonalności dla modułów określamy z wzoru 1).

W przypadku maszyny dwubiegunowej i przy założeniu, że rozkłady pól w szczelinie są sinusoidalne (co jest w przybliżeniu prawdziwe dla rozłożonego uzwojenia stojana) otrzymany wykres wektorowy można traktować jako czasowo-przestrzeny wykres wskazowy, z którego odczytujemy wprost kąt φ przesunięcia fazowego między SEM i prądem w pręcie uzwojenia klatkowego. Jest to mianowicie mniejszy z kątów pomiędzy wektorem Φ_{kl} strumienia klatki i prostą prostopadłą do wektora $(\Phi_0 \hat{=} \Phi_{kl})$ strumienia wypadkowego (patrz rys. 1, 2, 3).

3. Wyniki pomiarów

Pomiary wykonano na modelu o następujących danych:
Stojan:

Szczelina: 0,4 mm

Średnica wytoczenia: 178 mm

Długość: 150 mm

Liczba żłobków: 28

Uzwojenie wzbudzające dwubiegunowe: dwie cewki skupione po 27 zwojów o rozpiętości $y_2 = 11$

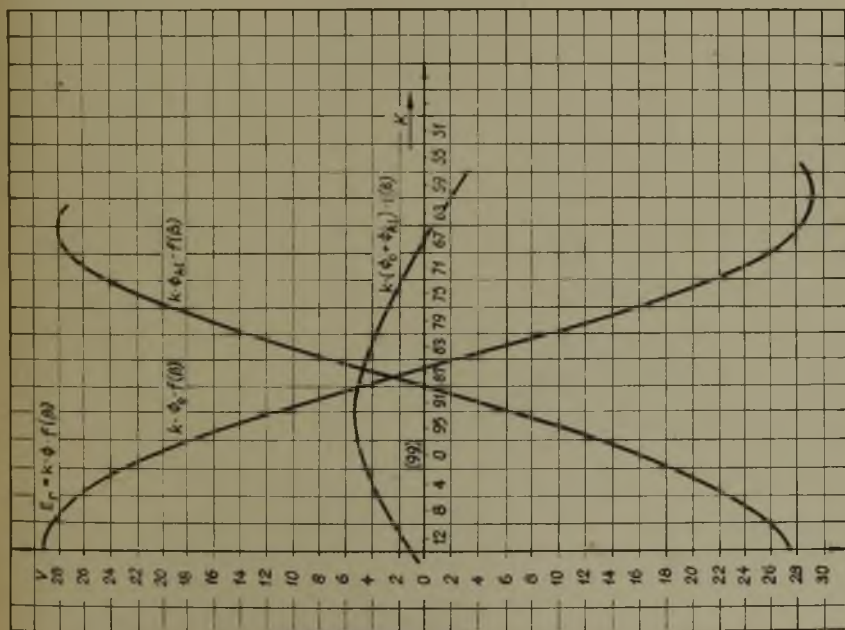
Wirnik:

Średnica 177,2 mm

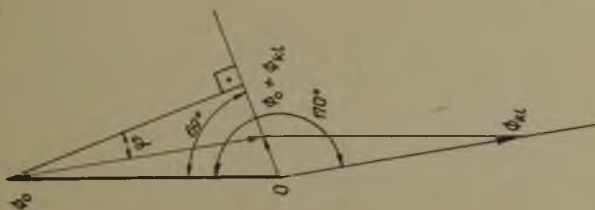
Długość: 150 mm

Liczba żłobków: 33

Uzwojenie prądu stałego: pętlicowe proste, $a_p = 1$, $N = 1188$, $K = 99$, $z = 6$, $y_2 = 15$.

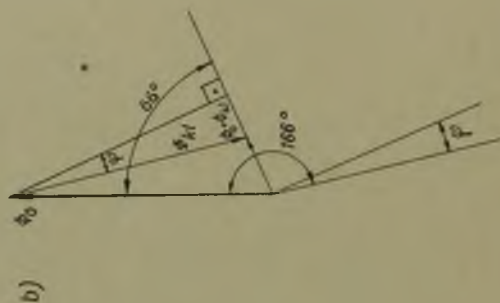
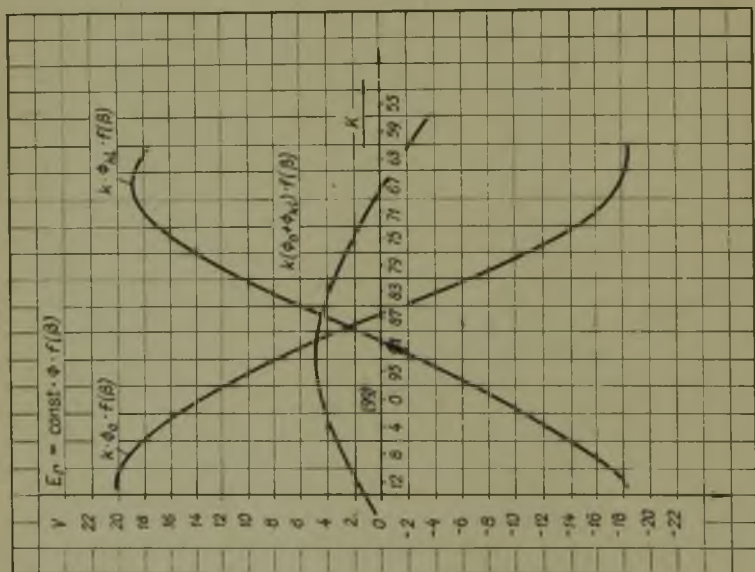


a)

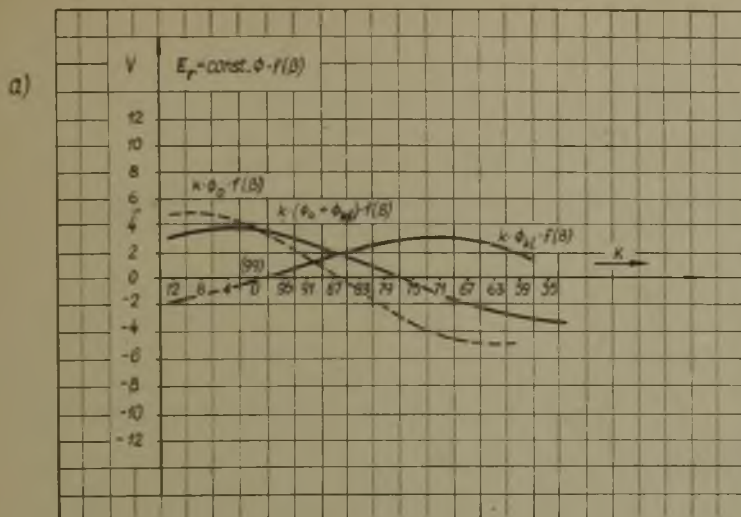


b)

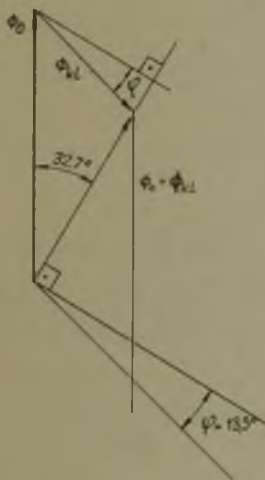
Rys. 1. Wyniki pomiarów strumienia oddziaływania uzwojenia klatkowego przy $n = 1500$ obr/min: a) przebiegi SEM rotacji w funkcji położenia szczotek na komutatorze b) wykres wektorowy strumieni. Oznaczenia i dane modelu w tekście, p. 3



Rys. 2. Wyniki pomiarów strumienia oddziaływania uzwojenia klatkowego przy $n = 1000$ obr/mih: a) przebiegi SEM rotacji w funkcji położenia szczotek na komutatorze, b) wykres wektorowy strumieni. Oznaczenia i dane modelu w tekście, p. 3



b)



Rys.3. Wyniki pomiarów strumienia oddziaływania uzwojenia klatkowego przy $n = 250$ obr/min: a) przebiegi SEM rotacji w funkcji położenia szczotek na komutatorze, b) wykres wektorowy strumieni. Oznaczenia i dane modelu w tekście, p.3

Uzwojenie klatkowe:

Liczba prętów: 33

Przekrój pręta: 10 mm^2

Długość pręta: 210 mm

Pręty umieszczono w żłobkach w miejsce usuniętych klinów. Pierścienie wykonano jako opaski z drutu miedzianego i przylutowano do prętów.

W celu uzyskania wartości i osi strumienia stojana wykonano wstępny pomiar z otwartą klatką (jedna opaska niezakończona). Po zamknięciu uzwojenia klatkowego powtórzono pomiary przy tym samym prądzie wzbudzenia, co w pomiarze wstępnym [$I_{st} = 0,25 \text{ A}$] i przy kilku prędkościach obrotowych ($n_{max} = 1500 \text{ obr/min}$, $f_{max} = 25 \text{ Hz}$, $n_{min} = 250 \text{ obr/min}$, $f_{min} = 4 \frac{1}{6} \text{ Hz}$). W ten sposób wyznaczono wartość i oś oddziaływania uzwojenia klatkowego w zależności od częstotliwości prądu.

Na załączonych rysunkach 1, 2, 3 pokazano przebiegi krzywych oraz odpowiadające im wykresy wektorowe strumieni dla prędkości obrotowych 1500, 1000 i 250 obr/min.

Oznaczenia na rysunkach 1 do 3:

- ϕ_0 - strumień wzbudzony przepływem stojana
- ϕ_{kl} - strumień wzbudzony przepływem uzwojenia klatkowego
- $\phi_0 + \phi_{kl}$ - strumień wypadkowy
- E_r - SEM rotacji
- k - współczynnik proporcjonalności
- K - numer działki komutatora według nieruchomej skali, umieszczonej na tarczy łożyskowej.

Na wykresach wektorowych (b) zaznaczono również kąt przesunięcia fazowego φ między prądem i SEM w pręcie klatki, co ma oczywiście charakter umowny, zgodnie z zastrzeżeniami podanymi w poprzednim punkcie.

Rzędne krzywych ϕ_0 naniesiono na rys. 1, 2, 3 po przeliczeniu ich wartości w stosunku $\frac{n_x}{n_0}$, gdzie $n_0 = 1000 \text{ obr/min}$ jest prędkością obrotową przy pomiarze z otwartą klatką.

4. Wnioski

Opisana metoda daje w wyniku dokładne określenie wartości oraz usytuowania przestrzennego osi strumienia magnetycznego wzbudzanego przez wirujące uzwojenie klatkowe, a więc umożliwia doświadczalne sprawdzenie rozmagnesowującego działania klatki np. przy hamowaniu dynamicznym zwartych silników asynchronicznych lub w elektromagnetycznych sprzęgłach poslizgowych z wirnikami klatkowymi i to zarówno w zależności od prędkości obrotowej jak również w funkcji wstępnego nasycenia obwodu magnetycznego.

Przy sinusoidalnym rozkładzie pola w szczelinie pomiary pozwalają również na orientacyjne wyznaczenie przesunięcia fazowego między SEM i prądem w pręcie klatki.

Ponieważ oddziaływanie klatki zależy od względnej prędkości wirnika i pola magnetycznego, więc uzyskane wyniki są słuszne (oczywiście tylko w odniesieniu do strumienia klatki) również dla normalnego zasilania trójfazowego. Wyniki pomiaru wykonanego w nieruchomym polu stojana przy prędkości n są aktualne dla prędkości $(n_0 - n)$ w przypadku zasilania trójfazowego, przy czym n_0 oznacza prędkość synchroniczną. W przypadku rozpatrywania sprzęgła obowiązuje również analogiczna zależność między prędkościami z tym, że przez n_0 należy rozumieć prędkość magneśnicy sprzęgła.

Wadą metody jest konieczność wykonania specjalnego modelu. Metoda nie da się więc wykorzystać w badaniach przemysłowych gotowych silników zwartych. Można ją natomiast wprowadzić w laboratoriach badawczych zainteresowanych w pomiarach pól magnetycznych oraz charakterystyk mechanicznych klatkowych silników asynchronicznych.

Warto również podkreślić wartość dydaktyczną opisanych pomiarów. Mogą one być wzięte pod uwagę w programach prac studenckich kół naukowych specjalności maszyn elektrycznych.

ИСПЫТАНИЕ МАГНИТНОГО ВРАЩАТЕЛЬНОГО ПОЛЯ КОРОТКОЗАМКНУТОЙ ОБМОТКИ С ПОМОЩЬЮ ОБМОТКИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Дан метод определения величины и пространственного положения магнитной оси потока возбужденного вращающейся короткозамкнутой обмоткой с помощью вспомогательной обмотки постоянного тока. Даны результаты измерений и указаны практические использования метода.

ETUDE DU CHAMP MAGNÉTIQUE EXCITÉ PAR LES COURANTS DE L'ENROULEMENT COURT-CIRCUITÉ TOURNANT, À L'AIDE D'UN ENROULEMENT À COURANT CONTINU

On présente une méthode de déterminer la valeur d'un flux excité par les courants d'un enroulement à cage d'écureuil et la position de l'axe magnétique.

En appliquant cette méthode on utilise un enroulement additionnel à courant continu. Les résultats des essais sont été présentés et on a indiqué les diverses applications pratique.