

UNIWERSYTET TECHNOLOGICZNO-PRZYRODNICZY W BYDGOSZCZY  
WYDZIAŁ INŻYNIERII MECHANICZNEJ  
INSTYTUT EKSPLOATACJI MASZYN I TRANSPORTU  
**ZAKŁAD STEROWANIA**



## **ELEKTROTECHNIKA I ELEKTRONIKA**

ĆWICZENIE: **E17**

### **BADANIE INDUKCYJNEGO SILNIKA KLATKOWEGO**

Piotr Kolber, Daniel Perczyński  
Bydgoszcz 2011

## 1. Wprowadzenie

Najbardziej rozpowszechnionymi maszynami elektrycznymi są trójfazowe silniki indukcyjne zwane również asynchronicznymi. Charakteryzują się one prostą budową, łatwą obsługą i łatwą konserwacją, dużą pewnością ruchu i niskim kosztem budowy. Moc tych silników jest różna i waha się w granicach od ułamka kilowata do tysięcy kilowatów.

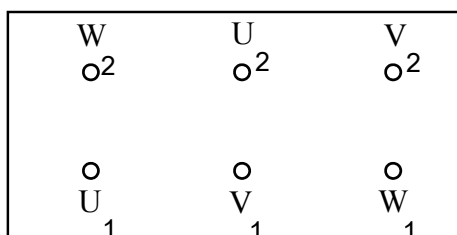
## 2. Budowa silników indukcyjnych

Głównymi częściami silnika indukcyjnego są:

- nieruchomy stojan w kształcie cylindra,
- ruchomy wirnik w kształcie walca.

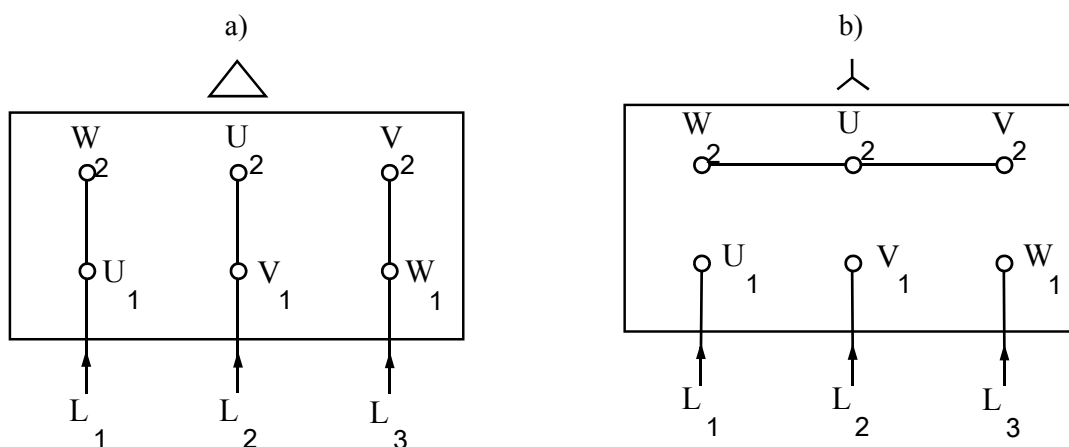
Zarówno stojan jak i wirnik są wykonane z pakietu blach magnetycznych izolowanych i sprasowanych dla zmniejszenia strat mocy w stali.

W stojanie równoległe do osi obrotu silnika, znajdują się żłobki, w których rozłożone jest trójfazowe uzwojenie, składające się z trzech cewek - faz rozmieszczonych symetrycznie na obwodzie stojana. Końce każdej cewki (fazy), razem sześć końcówek, dołączone są do tabliczki zaciskowej znajdującej się na obwodzie silnika, co zostało przedstawione schematycznie na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat tabliczki zaciskowej

Z przedstawionego na rysunku 1 schematu wynika, że chcąc połączyć uzwojenie stojana silnika indukcyjnego w trójkąt, należy wykonać połączenia zacisków na tabliczce zaciskowej wg schematu przedstawionego na rysunku 2a, a w przypadku połączenia w gwiazdę - wg rys. 2b



Rys. 2. Połączenie uzwojenia stojana silnika indukcyjnego na tabliczce zaciskowej:  
a) w trójkąt b) w gwiazdę.

$U_1, V_1, W_1$  – początki faz uzwojenia stojana,  $U_2, V_2, W_2$  – końce faz uzwojenia stojana.

Połączenie uzwojenia stojana silnika indukcyjnego w trójkąt lub w gwiazdę zależy od wartości napięć podanych na tabliczce znamionowej silnika indukcyjnego i od napięcia sieci. Napięcie zasilające silnik musi być tak dobrane, aby nie przekraczało napięcia, na jakie zbudowano uzwojenia fazowe.

Przykładowo, najczęściej stosowane oznaczenia na silnikach oraz odpowiadające napięcia pracy dla poszczególnych rodzajów połączeń przedstawiono tablicy 1.

Tablica 1

Oznaczenie na tabliczce znamionowej	Napięcie zasilające dla połączeń w trójkąt	Napięcie zasilające dla połączeń w gwiazdę
400 V	400 V	690 V
230 V	230 V	400 V
230/400 V	230 V	400 V
400/690 V	400 V	690 V

### Przykład

Jeżeli na tabliczce znamionowej silnika indukcyjnego podane są dwa napięcia np. *230/400 V*, to oznacza, że jedna faza uzwojenia stojana silnika indukcyjnego jest zaprojektowana na dolną wartość napięcia, czyli *230 V*; mając w sieci napięcie  $3 \times 400 V$  trzeba silnik połączyć w gwiazdę, natomiast w przypadku napięcia w sieci  $3 \times 230 V$  trzeba silnik połączyć w trójkąt (cewka – faza uzwojenia tego silnika musi być zawsze pod napięciem *230 V*).

Obracająca się część silnika indukcyjnego (wirnik) posiada uzwojenie, podobnie jak stojan w żłobkach.

Rozróżnia się następujące rodzaje silników indukcyjnych:

- silniki indukcyjne z wirnikiem fazowym (silniki pierścieniowe),
- silniki indukcyjne z wirnikiem zwartym (silniki klatkowe).

W silnikach klatkowych (zwartych) uzwojenie wirnika wykonane jest w postaci aluminiowych lub miedzianych prętów wypełniających żłobki. Wystające ze żłobków końce wszystkich prętów są połączone ze sobą (stąd wzięła się nazwa „silnik zwarty”). Jeśli takie uzwojenie zostałoby wydzielone z wirnika, to miałyby kształt klatki cylindrycznej (stąd pochodzi nazwa „silnik klatkowy”).

W zależności od konstrukcji klatki wirnika rozróżnia się następujące rodzaje silników:

- jednoklatkowe (zwykłe),
- głębokożłobkowe,
- dwuklatkowe.

Uzwojenie wirnika w silnikach indukcyjnych nie jest elektrycznie (galwanicznie) połączone z uzwojeniem stojana, a energia jest przenoszona przez pole magnetyczne za pomocą indukcji

elektromagnetycznej (z tego powodu silniki te nazywa się „silnikami indukcyjnymi”). Jeżeli trójfazowe uzwojenie stojana silnika zostanie zasilone trójfazowym napięciem przemiennym o częstotliwości  $f$ , to pod jego wpływem popłyną prądy przemiennie w każdej fazie.

Każdy z tych prądów wytwarza pole magnetyczne pulsujące, zmienne w czasie lecz nieruchome w przestrzeni. W wyniku superpozycji tych pól powstaje wirujące pole magnetyczne mające zmienność czasową i przestrzenną. Prędkość obrotowa wirowania tego pola po obwodzie stojana zależy od częstotliwości  $f$  napięcia zasilającego oraz liczby par biegunów silnika i określona jest poniższą zależnością:

$$n_o = \frac{60f}{p}$$

lub prędkość kątowną:

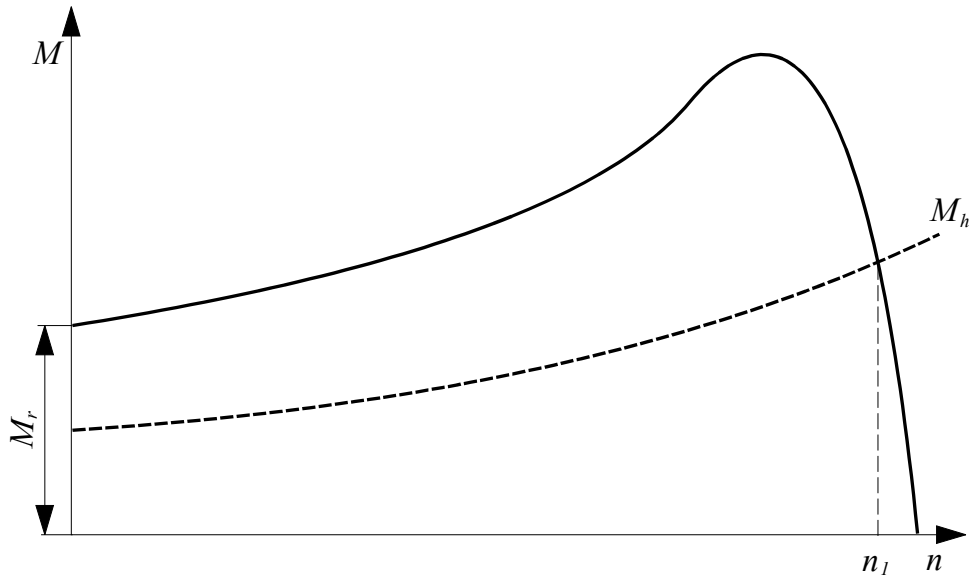
$$\omega_o = 2\pi \cdot \frac{f}{p}$$

Jest to tzw. prędkość synchroniczna

Wirujące pole magnetyczne „przecina” pręty wirnika i powoduje indukowanie w nich siły elektromotorycznej (SEM). Pod wpływem tej SEM w uzwojeniach wirnika płyną prądy. Na skutek oddziaływania pola wirującego na prądy w prętach wirnika powstają siły powodujące powstawanie momentu obrotowego i obrót wirnika, osadzonego w łożyskach, w kierunku wirowania pola. Prędkość wirowania wirnika jest zawsze mniejsza od prędkości wirowania pola  $n_o$ . Gdy silnik osiągnął prędkość synchroniczną  $n_o$ , to wtedy jego prędkość obrotowa względem wirującego z prędkością  $n_o$  pola magnetycznego stojana byłaby równa zero (pole wirujące stojana nie „przecinałoby” wówczas uzwojeń wirnika) i nie indukowałyby się w uzwojeniach wirnika SEM. Nie powstałby ani prąd w wirniku, ani moment obrotowy. Różnica między prędkości synchroniczną  $n_o$ , a prędkością wirnika  $n$  odniesiona do prędkości synchronicznej  $n_o$  nazywa się poślizgiem  $s$  wyrażonego zależnością:

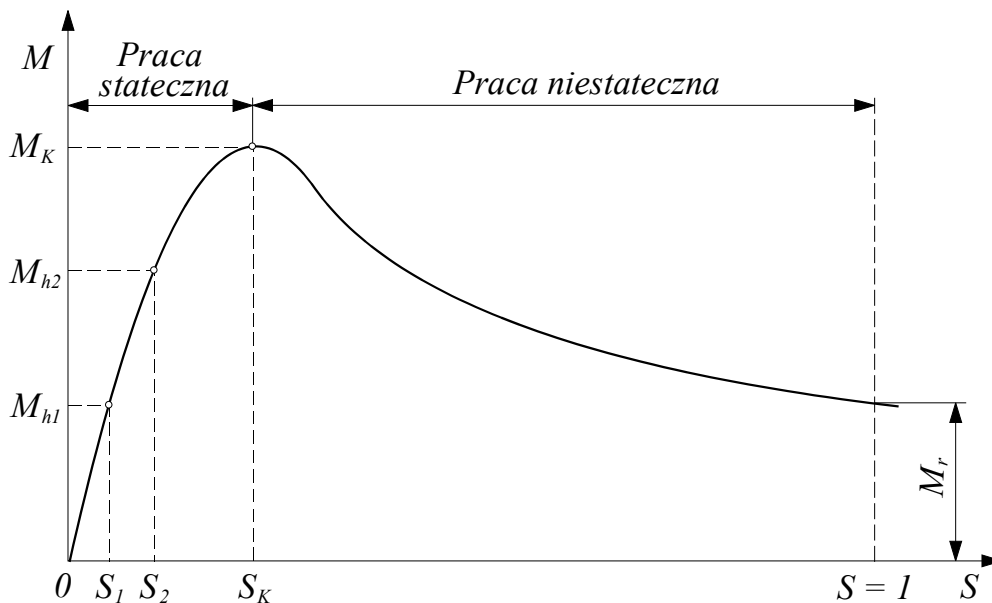
$$s = \frac{n_o - n}{n_o}$$

Z powyższego wzoru wynika, że jeśli wirnik silnika indukcyjnego jest zahamowany tzn. jeżeli jego prędkość obrotowa jest równa zero ( $n = 0$ ), to poślizg jest wówczas równy jedności ( $s = 1$ ). Prędkość wirowania silnika zależy od jego obciążenia (momentu hamującego  $M_h$ ). Prędkość obrotowa ustala się gdy następuje zrównanie wartości momentu napędowego  $M$  oraz hamującego  $M_h$ . Odpowiednie wykresy  $M = f(n)$  i  $M_h = f(n)$ , gdzie  $n$  oznacza obroty silnika przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Charakterystyki momentu napędowego w funkcji prędkości obrotowej  $M = f(n)$  oraz momentu hamującego w funkcji prędkości obrotowej  $M_h = f(n)$

Należy zwrócić uwagę, że uruchomienie silnika jest możliwe jedynie w przypadku, gdy moment hamujący (obciążenia lub oporowy)  $M_h$ , jest mniejszy od momentu rozruchowego. Zależność momentu od poślizgu  $M = f(s)$  nazywamy charakterystyką mechaniczną silnika (rys. 4).



Rys. 4. Charakterystyka mechaniczna silnika

### 3. Praca stateczna i niestateczna silnika indukcyjnego

Maksymalnej wartości momentu  $M_{\max}$ , zwanym również momentem krytycznym  $M_k$ , odpowiada poślizg krytyczny  $s_k$ . W każdym punkcie charakterystyki mechanicznej silnika

indukcyjnego w zakresie poślizgu  $0 < s < s_k$  praca silnika indukcyjnego jest **stateczna** (stabilna). Polega to na tym, że moment obrotowy silnika indukcyjnego samorzutnie dopasowuje się do zmian wartości momentu hamującego obciążającego go.

Silnik indukcyjny obciążony momentem hamującym  $M_{h1}$  rozwija moment obrotowy  $M_1$  równy co do wartości momentowi hamującemu przy poślizgu  $s_1$ . Jeżeli teraz moment hamujący wzrośnie do wartości  $M_{h2} > M_{h1}$ , to silnik zostanie przyhamowany i jego prędkość obrotowa zmniejszy się, a poślizg wzrośnie ( $s_2 > s_1$ ). Ze względu na to, że siła elektromotoryczna indukowana w uzwojeniu wirnika jest proporcjonalna do poślizgu, więc jej wartość wzrośnie wraz ze wzrostem wartości poślizgu. To z kolei spowoduje wzrost wartości prądu w wirniku, co pociąga za sobą wzrost momentu obrotowego silnika indukcyjnego.

Równowaga między nowym momentem hamującym, a nowym momentem obrotowym ustali się samorzutnie, ale już przy większym poślizgu tzn. przy nieco mniejszej prędkości obrotowej.

W zakresie  $s_k < s < 1$  praca silnika jest **niestateczna** (niestabilna). Na tej części charakterystyki mechanicznej silnika indukcyjnego wzrost wartości momentu hamującego spowoduje wzrost poślizgu i zmniejszenie się momentu obrotowego silnika, co doprowadzi do zatrzymania się silnika.

#### 4. Wpływ napięcia zasilania na pracę silnika

Moment obrotowy silnika indukcyjnego jest proporcjonalny do kwadratu napięcia zasilającego uzwojenie stojana.

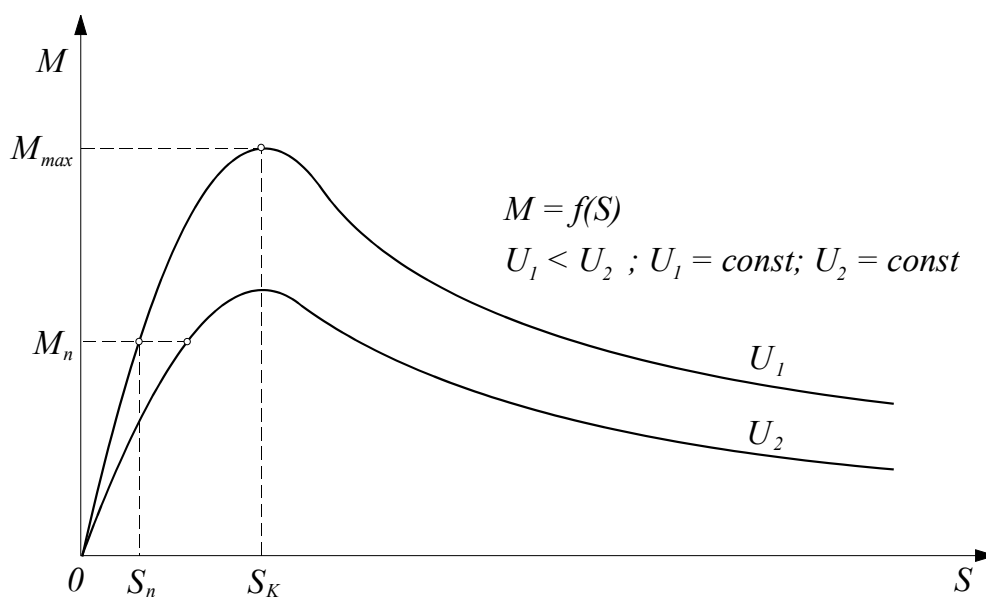
$$M = c \cdot U_1^2$$

gdzie:

$c$  - stała konstrukcyjna,

$U_1$  - napięcie przyłożone do jednej fazy uzwojenia stojana.

Wypływa stąd wniosek, że obniżenie napięcia zasilania znacznie zmniejsza wartość momentu obrotowego i stwarza groźbę zatrzymania się silnika (rys. 5).

Rys. 5. Charakterystyka momentu obrotowego w funkcji poślizgu  $M = f(S)$ 

### 5. Praca silnika przy przerwie w jednej fazie

Niekiedy podczas pracy silnika może nastąpić przerwa w jednej fazie spowodowana awarią. Obciążony silnik pobiera wówczas za pomocą dwóch pracujących faz większy prąd niż przy pracy normalnej, a jego prędkość obrotowa nieco się zmniejsza. Zwiększenie się wartości prądu pobieranego przez silnik przy przerwie w jednej fazie może spowodować uszkodzenie izolacji uzwojeń.

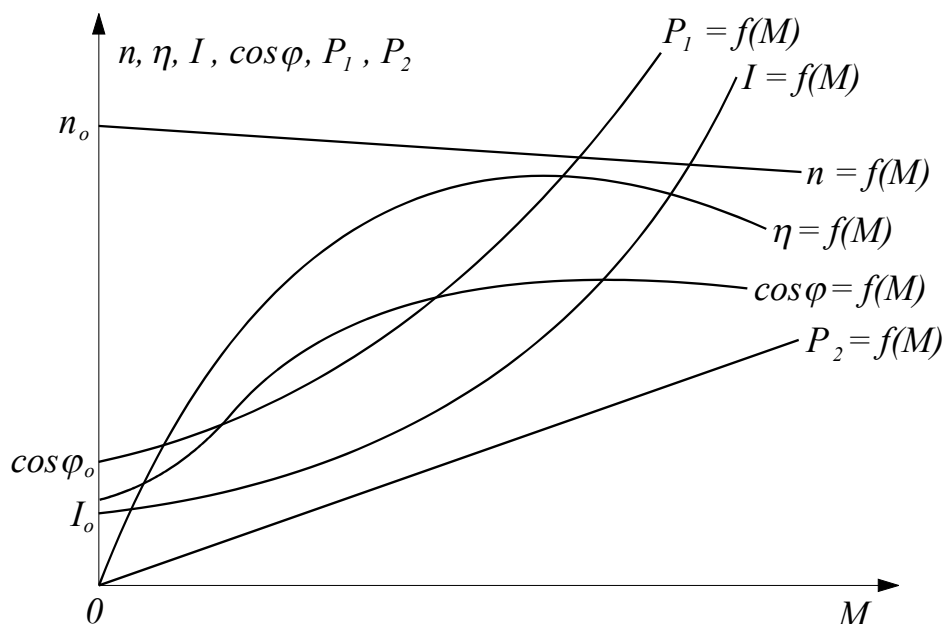
Stan pracy silnika z przerwana fazą można łatwo rozpoznać po tym, że obciążony silnik ma tendencję do zatrzymania się i pracuje głośniejsze niż normalnie. Jeżeli przerwa w fazie nastąpiła przed uruchomieniem silnika i jeśli ten silnik zostanie włączony do sieci, to nie wytwarza on momentu rozruchowego, pobiera z sieci duży prąd i „buczy”. Należy wówczas wyłączyć napięcie zasilające i usunąć awarię.

### 6. Zmiana kierunku obrotów silnika

Jeżeli zmieni się między sobą miejscami (skrzyżuje się) dwa dowolne przewody zasilające silnik, to zmienione zostanie w ten sposób następstwo faz trójfazowego napięcia zasilającego silnik. W tym przypadku wirujące pole magnetyczne wiruje w kierunku przeciwnym niż poprzednio, a więc i wirnik silnika zmieni kierunek wirowania na przeciwny.

## 7. Charakterystyki obciążeniowe silnika indukcyjnego

Charakterystyki obciążeniowe indukcyjnego silnika klatkowego są to zależności:  $n = f(M)$ ,  $\eta = f(M)$ ,  $I = f(M)$ ,  $\cos \varphi = f(M)$ ,  $P_1 = f(M)$ ,  $P_2 = f(M)$  przy stałej wartości zasilania  $U_1 = U_{1n} = const$  (rys. 6)



Rys. 6. Charakterystyki obciążeniowe silnika indukcyjnego

Przebieg charakterystyki  $I = f(M)$  można wytłumaczyć następująco:

Przy biegu jałowym silnik pobiera z sieci głównie prąd bierny - indukcyjny, który potrzebny jest do wytworzenia wirującego pola magnetycznego. Jeżeli silnik zostanie obciążony, to pobiera wtedy z sieci dodatkowo moc czynną, a więc i prąd czynny. Zakrzywienie charakterystyki  $I = f(M)$  tłumaczy się tym, że prąd czynny i bierny dodają się wektorowo.

Współczynnik mocy  $\cos \varphi$  w uzwojeniu stojana silnika indukcyjnego zwiększa swą wartość wraz ze wzrostem obciążenia i osiąga zazwyczaj wartość maksymalną dla obciążenia znamionowego.

W stanie jałowym silnik pobiera z sieci prąd, który stanowi 20÷50% prądu znamionowego. Jest to prąd (głównie magnesujący), którego składowa bierna jest dużo większa od składowej czynnej.

Niewielka składowa czynna prądu jałowego biegu silnika indukcyjnego jest potrzebna silnikowi na wykonanie oporów mechanicznych ruchu wirnika, niedużych strat elektrycznych w uzwojeniach i strat w rdzeniu. Współczynnik mocy  $\cos \varphi$ , jako stosunek wartości prądu czynnego do pozornego, jest więc w stanie biegu jałowego niewielki.

Wraz ze wzrostem obciążenia wartość składowej czynnej prądu pobieranego przez silnik z sieci rośnie, a wartość składowej biernej, czyli prąd magnesujący, zostaje prawie niezmieniony i dlatego



współczynnik mocy  $\cos \varphi$  wraz ze wzrostem obciążenia rośnie do wartości rzędu: 0,1÷0,8, a nawet 0,9.

Przebieg krzywej sprawności w zależności od momentu hamującego  $\eta = f(M)$  jest podobny do przebiegu sprawności wszystkich maszyn elektrycznych.

W stanie biegu jałowego sprawność silnika jest równa zero, gdyż podczas biegu jałowego silnik nie rozwija mocy użytecznej na wale.

W silniku indukcyjnym rozróżnia się dwa rodzaje strat mocy:

a) Straty jałowe  $\Delta P_o$ ,

Do strat jałowych zalicza się straty w rdzeniu  $\Delta P_{Fe}$  (głównie stojanie) oraz straty mechaniczne  $\Delta P_m$ . Straty te opisuje zależność:

$$\Delta P_o = \Delta P_{Fe} + \Delta P_m$$

b) Straty obciążeniowe  $\Delta P_{obc}$ .

Są to straty w uzwojeniach stojana  $P_{Cu1}$  i wirnika  $P_{Cu2}$ .

$$\Delta P_{obc} = \Delta P_{Cu1} + \Delta P_{Cu2}$$

Sprawność silnika określona jest stosunkiem mocy mechanicznej  $P_2$  rozwijanej przez silnik na wale do mocy elektrycznej  $P_1$  pobieranej z sieci.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} = \frac{P_1 - (\Delta P_o + \Delta P_{obc})}{P_1}$$

gdzie moc doprowadzona do stojana (elektryczna)  $P_1$  wynosi:

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi$$

Przy niewielkim obciążeniu decydujący wpływ na wartość sprawności mają prawie stałe straty jałowe i dla tego sprawność jest niewielka.

Maksimum sprawności zachodzi wtedy, gdy straty obciążeniowe  $\Delta P_{obc}$  są równe stratom jałowym  $\Delta P_o$ .

Straty w uzwojeniu stojana wyznacza się za pomocą zależności:

$$\Delta P_{Cu1} = 3 \cdot I_1^2 \cdot R_1$$

gdzie:

$R_1$  - rezystancja jednej fazy uzwojenia stojana.

Straty w uzwojeniu wirnika określone są zależnością:

$$\Delta P_{Cu2} = 3 \cdot I_2^2 \cdot R_2$$

Silnik projektuje się tak, aby sprawność osiągała swoją największą wartość dla obciążenia około 80% obciążenia znamionowego. Jest to korzystne ze względów praktycznych, gdyż silniki indukcyjne są najczęściej niedociążone.

Przebieg mocy rozwijanej na wale silnika w zależności od momentu obrotowego  $P_2 = f(M)$  jest liniowy, gdyż moc na wale silnika jest równa:

$$P_2 = \frac{2\pi \cdot M \cdot n}{60} = 0,105 \cdot Mn$$

gdzie:

$M$  - moment obrotowy w [Nm],

$n$  - prędkość obrotowa w [obr/min],

$P_2$  - moc na wale silnika w [W] i przy nieznaczących zmianach prędkości obrotowej proporcjonalna do momentu hamującego.

Zależność mocy doprowadzonej do uzwojenia stojana silnika indukcyjnego od prądu w uzwojeniu stojana  $I_1$  i od współczynnika mocy w uzwojeniu stojana.

### 8. Wyznaczanie charakterystyki mechanicznej z danych katalogowych silnika.

W katalogach silników elektrycznych oprócz podstawowych danych znamionowych: mocy na wale  $P_n$  [kW], napięcia zasilającego  $U_n$  [V], prędkości obrotowej  $N_n$  [obr/min] podają przeciążalność momentem, czyli stosunek momentu maksymalnego (krytycznego) do momentu znamionowego  $\lambda$  ( $\lambda = 1,6 + 3$ ).

$$\lambda = \frac{M_{\max}}{M_n}$$

oraz stosunek momentu rozruchowego do momentu znamionowego:

$$\delta = \frac{M_r}{M_n}$$

Znamionowy moment obrotowy silnika indukcyjnego wyrażony w [Nm] oblicza się za pomocą zależności:

$$M_n = \frac{9550 \cdot P_n}{n_n}$$

Z równania Klossa:

$$\frac{M}{M_k} = \frac{2}{\frac{s_k + s}{s} + \frac{s}{s_k}}$$

gdzie:

$s$  - poślizg,

$s_k$  - poślizg krytyczny.

Możemy znaleźć wartość  $s_k$  stosując powyższy wzór dla pracy znamionowej.

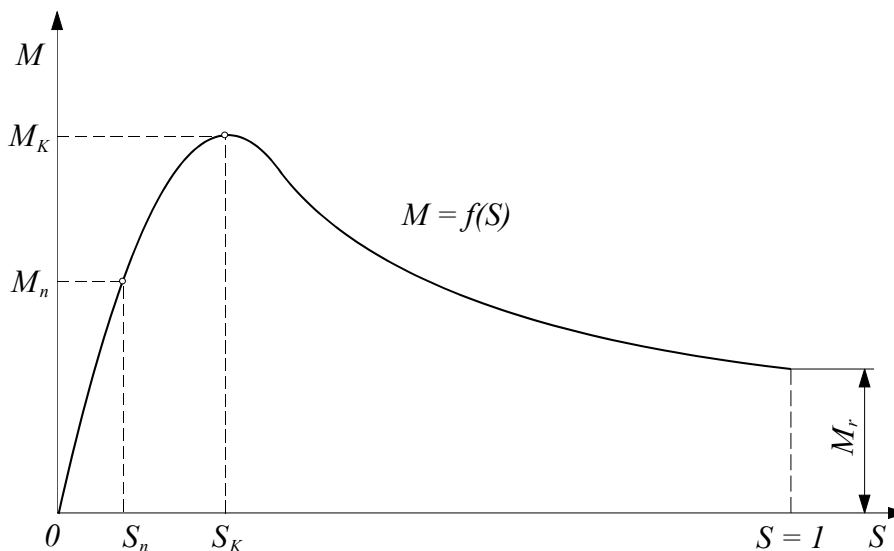
$$\frac{M_n}{M_k} = \frac{1}{\lambda} = \frac{2}{\frac{s_k + s_n}{s_n} + \frac{s_n}{s_k}}$$

gdzie:

$s_n$  - poślizg znamionowy, który można obliczyć ze wzoru:

$$s_n = \frac{n_o - n}{n_o}$$

Znając moment krytyczny  $M_k$  ( $M_{\max}$ ) oraz poślizg krytyczny  $s_k$  można za pomocą wzoru Klossa znaleźć wartość  $M$  dla dowolnego poślizgu  $s$  i wyznaczyć charakterystykę  $M = f(n)$  lub  $M = f(s)$ . Została ona przedstawiona na rysunku 7.



Rys. 7. Charakterystyka momentu w funkcji poślizgu  $M = f(s)$

Znajomość wartości momentu krytycznego  $M_k$  i rozruchowego  $M_r$  jest bardzo ważna dla oceny właściwości mechanicznych silnika indukcyjnego. Wartości momentu rozruchowego jest bardzo ważna dla oceny właściwości mechanicznych silnika indukcyjnego. Wartości momentu rozruchowego  $M_r$  decyduje o możliwości rozruchu zespołu napędowego (silnik + maszyna robocza).

Warunkiem możliwości rozruchu jest:

$$M_r > M_s$$

gdzie:

$M_s$  - statyczny moment hamujący maszyny roboczej w chwili rozruchu.

Wartość momentu krytycznego pozwala wnioskować o możliwości krótkotrwałej przeciążalności silnika, wiadomo bowiem, że przy momencie hamującym (obciążenia)  $M_h > M_k$  praca silnika nie jest możliwa.

## 9. Pomiary laboratoryjne

### 9.1. Uwagi wstępne.

Podczas ćwiczenia silnik obciążamy za pomocą hamulca indukcyjnego. Hamulec zastosowany w ćwiczeniu działa na zasadzie podobnej jak sprzęgła elektromagnetyczne indukcyjne wiropądowe. Cała energia hamowania jest zamieniana na ciepło na skutek przepływu prądów wirowych w tarczy hamulca. Ze względu na to, że temperatura tarczy wzrasta proporcjonalnie do mocy hamowania należy podczas przeprowadzania ćwiczenia zadbać o właściwe chłodzenie tarczy. Po każdym pomiarze należy dokonać chłodzenia tarczy poprzez zmniejszenie do zera prądu wzbudzenia hamulca indukcyjnego. Obciążenie silnika realizujemy poprzez zwiększenie prądu wzbudzenia hamulca za pomocą autotransformatora.

### **U W A G A !!!**

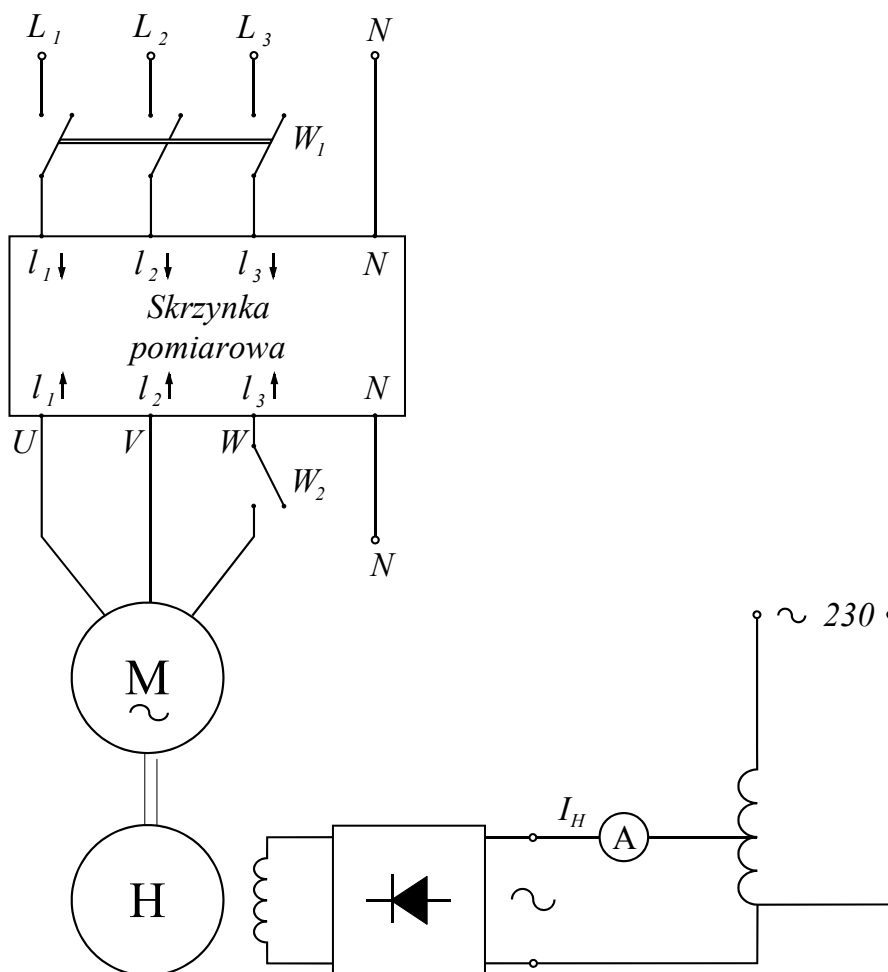
Pomiary należy rozpocząć przy zerowym położeniu pokrętła autotransformatora, tj. przy prądzie wzbudzenia hamulca równym zero.

### 9.2. Przeprowadzić oględziny badanego silnika zwracając uwagę na:

- a) budowę silnika,
- b) formę wykonania i sposób chłodzenia,
- c) treść tabliczki znamionowej i dane katalogowe niezbędne do obliczeń.

### 9.3. Wyznaczenie charakterystyk obciążeniowych indukcyjnego silnika klatkowego.

- a) podłączyć układ wg schematu przedstawionego na rysunku 8,



Rys. 8. Schemat połączenia silnika

- b) załączyć silnik do sieci i przez zmianę prądu wzbudzenia hamulca  $I_h$  regulować obciążenie silnika od biegu jałowego do wartości znamionowej,
- c) wyniki pomiarów i obliczeń zanotować w tabelicy 1.

Tablica 1

Lp.	Pomiary							Obliczenia					
	$U_{I_f}$	$I_1$	$I_H$	$P_1$	$n$	$r$	$\alpha$	$M$	$P_2$	$\Delta P$	$\cos\varphi$	$\eta$	$s$
	V	A	A	W	Obr/min	m	st	Nm	W	W	-	%	-
1.													
2.													
.													
.													
.													

Do obliczeń zastosować poniższe zależności:

Średnie napięcie fazowe: 
$$U_{1f} = \frac{U_{L1} + U_{L2} + U_{L3}}{3}$$

Średni prąd obciążenia: 
$$I_1 = \frac{I_{L1} + I_{L2} + I_{L3}}{3}$$

Moment obrotowy: 
$$M = G \cdot r \cdot \sin \alpha$$
  
gdzie:

G - ciężar

Moc użyteczna (na wale): 
$$P_2 = 0,105 \cdot M_n$$

Straty mocy: 
$$\Delta P = P_1 - P_2$$

Sprawność: 
$$\eta = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \cdot 100\%$$

Sprawność: 
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%$$

Współczynnik mocy: 
$$\cos \varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_1 I_1}$$

Poślizg: 
$$s = \frac{n_o - n}{n_o}$$

- d) Na podstawie pomiarów i obliczeń wykreślić charakterystyki badanego silnika w stanie obciążenia:  $n = f(M)$ ,  $I_1 = f(M)$ ,  $\eta = f(M)$ ,  $P_1 = f(M)$ ,  $P_2 = f(M)$ ,  $\cos \varphi = f(M)$ ,

#### 9.4. Zmiana kierunku wirowania silnika klatkowego.

- zmianę kierunku wirowania silnika należy przeprowadzić zgodnie z instrukcją w stanie biegu jałowego,
- skrzyżowania przewodów dokonać tylko przy wyłączonym napięciu.

#### 9.5. Obserwacja pracy silnika klatkowego w przypadku przerwy w jednej fazie.

- uruchomić silnik tak jak w p. 3, a następnie obciążyć go do wartości równej około  $0,6 \cdot I_n$ ,
- dokonać przerwy w jednej fazie przez otwarcie wyłącznika  $W_2$ ,
- wyniki pomiarów zanotować w tablicy 2.

Tablica 2.

		Silnik klatkowy pracuje jako:	
		trójfazowy	Jednofazowy (przerwa w jednej fazie)
<i>I</i>	<i>A</i>		
<i>n</i>	<i>Obr/min</i>		

9.6. Na podstawie danych katalogowych i tabliczki znamionowej silnika wyznaczyć i wykreślić charakterystykę mechaniczną silnika  $M = f(n)$  lub  $M = f(s)$ .

9.7. Dyskusja wyników, pomiarów i obliczeń. Sformułowanie wniosków.

9.8. Podać numery i dane przyrządów użytych do pomiarów.

### 10. Zagadnienia do przygotowania

1. Rodzaje budowy, zagadnienia cieplne, oznaczenia maszyn elektrycznych.
2. Budowa i zasada działania asynchronicznego silnika klatkowego.
3. Moment obrotowy, moment rozruchowy i prąd rozruchowy, moc i sprawność silnika klatkowego.
4. charakterystyki robocze (obciążeniowe) silnika klatkowego.

### Literatura

1. Chęciński B., Ksycki P., Mierzbiczak J.: „Laboratorium elektrotechniki i elektroniki”, Wydawnictwo Uczelniane ATR, Bydgoszcz, 1978.
2. Kolber P., Kozłowska A., Perczyński D.: „Podstawy badań eksploatacyjnych maszyn elektrycznych”, Wydawnictwo Uczelniane ATR, Bydgoszcz, 2002.
3. Opydo W.: „Elektrotechnika i elektronika dla studentów wydziałów nieelektrycznych”, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2005.
4. Opydo W., Kulesza K., Twardosz G.: „Urządzenia elektryczne i elektroniczne przewodnik do ćwiczeń laboratoryjnych”, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2002.
5. Przeździecki F., Opolski A.: „Elektrotechnika i elektronika”, PWN, Warszawa, 1986.
6. Praca zbiorowa pod red. Hempowicz P.: „Elektrotechnika i elektronika dla nie elektryków”, WNT, Warszawa, 1995.
7. Praca zbiorowa pod red. Hickiewicz J.: „Maszyny i napęd elektryczny”, Poradnik Technika Elektrotechnika, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa, 1978.
8. Sawicki F., Piechocki J., Orliński J.: „Laboratorium z elektrotechniki dla mechaników”, Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, Olsztyn, 2001.