

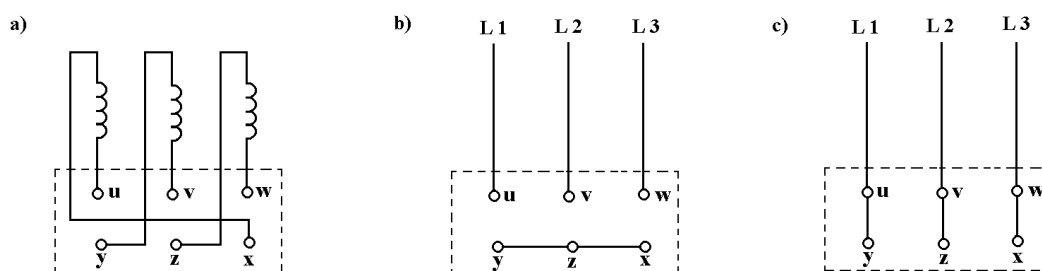
## Ćwiczenie 9

### SILNIK TRÓJFAZOWY ZWARTY

#### 1. Wiadomości ogólne

##### 1.1. Ogólna budowa

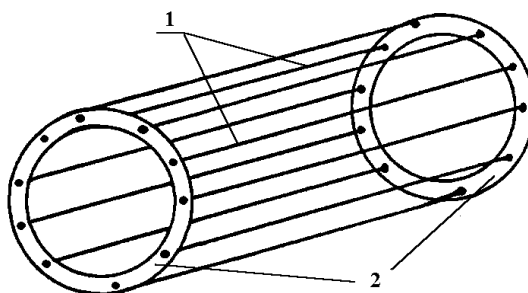
Silniki asynchroniczne trójfazowe, dzięki swoim zaletom ruchowym, prostocie konstrukcji, łatwej obsłudze są powszechnie stosowane w napędach przemysłowych i rolniczych. Silnik taki składa się ze stojana i ułożyskowanego wirnika. Stojan to sprasowany pakiet blach ze stali elektrotechnicznej prądnicowej uformowany w postaci wydrążonego walca z wyciętymi na wewnętrznej części żłobkami i osadzony sztywno w kadłubie silnika najczęściej odlewany z żeliwa. W żłobkach umieszczone są trzy uzwojenia fazowe, rozmieszczone symetrycznie na obwodzie. Początki U, V, W i końce x, y, z poszczególnych uzwojeń fazowych wyprowadzone są na tabliczkę zaciskową. Odpowiednie rozmieszczenie początków i końców na tabliczce zaciskowej silnika (rys.9.1) ułatwia skojarzenie uzwojeń fazowych stojana w gwiazdę „ $\star$ ” lub w trójkąt „ $\Delta$ ”.



Rys.9.1. Tabliczka zaciskowa silnika asynchronicznego trójfazowego:

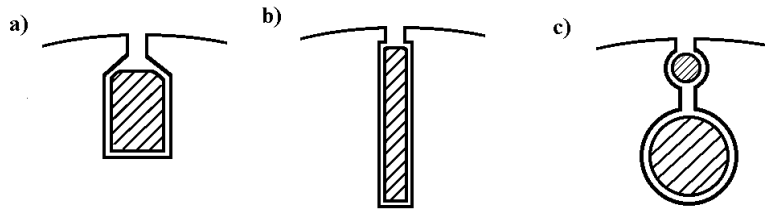
- rozmieszczenie na tabliczce początków i końców uzwojeń stojana,
- przyłączenie silnika do sieci przy skojarzeniu uzwojeń w gwiazdę,
- przyłączenie silnika do sieci przy skojarzeniu uzwojeń w trójkąt

Wirnik silnika to również odpowiednio sprasowany i osadzony sztywno na wale pakiet blach prądnicowych z naciętymi na zewnętrznej części żłobkami. Żłobki wirnika i połączenia czołowe są zazwyczaj zalewane aluminium. Pręty w żłobkach 1 połączone pierścieniami 2 tworzą tzw. klatkę - rys.9.2 stąd też nazwa silnik asynchroniczny zwarty (pręty w żłobkach są trwale zwarte pierścieniami czołowymi).



Rys.9.2. Klatka wirnika silnika asynchronicznego zwanego

Silniki asynchroniczne z wirnikiem zwartym o żłobkach normalnych (rys.9.3a) charakteryzują się dużymi prądami rozruchowymi  $I_r = 5,5 \div 7,5 I_n$  oraz posiadają stosunkowo małe momenty rozruchowe ( $M_r \approx 0,8 M_n$ ) i dlatego budowane są na małe moce (do kilku kilowatów). Przy większych mocach wirniki tych silników są zaopatrzone w głębokie żłobki - silnik głębokożłobkowy (rys.9.3b) lub w dwie klatki - silnik dwuklatkowy (rys.9.3c) przez co uzyskuje się zmniejszenie prądu rozruchowego i powiększenie momentu rozruchowego.



Rys.9.3. Żłobki wirnika silnika klatkowego: a) żłobek normalny; b) żłobek głęboki; c) żłobek dwuklatkowy

## 1.2. Zasada działania

Trójfazowe uzwojenie stojana skojarzone w gwiazdę lub w trójkąt zasilane z sieci trójfazowej wytwarza wirujące pole magnetyczne, którego prędkość obrotowa względem stojana wyraża się wzorem

$$n_s = \frac{60f_1}{p} \quad (9.1)$$

gdzie:  $f$  - częstotliwość napięcia zasilającego, Hz,  
 $p$  - liczba par biegunów magnetycznych uzwojeń stojana,  
 $n_s$  - obroty pola wirującego, obr/min.

Wirujące pole magnetyczne przecinające pręty klatki wirnika indukuje w nich siły elektromotoryczne  $E_2$  (reguła prawej dłoni), które powodują przepływ przez te pręty prądu (pręty wirnika poprzez pierścienie czołowe tworzą obwody zamknięte). Wzajemne oddziaływanie prądu  $I_2$  w prętach klatki i wirującego pola magnetycznego na siebie, daje moment napędowy (reguła lewej dłoni), który powoduje obrót wirnika w kierunku wirowania pola magnetycznego.

$$M = C_M \Phi I_2 \cos \varphi_2 \quad (9.2)$$

gdzie:  $C_M$  - stała wynikająca z danych konstrukcyjnych,  
 $\varphi_2$  - opóźnienie prądu wirnika  $I_2$  względem  $E_2$ ,  
 $\Phi$  - strumień magnetyczny,  
 $I_2$  - prąd w prętach klatki wirnika.

Wartość strumienia  $\Phi$  jest warunkowana wartością napięcia fazowego uzwojeń stojana

$$\Phi \approx \frac{U_{1f}}{4,44 f z_1 k_{q1}} \quad (9.3)$$

gdzie:  $k_{q1}$  - wypadkowy współczynnik uzwojeń stojana.

Moment elektromagnetyczny wytwarzany przez silnik jest w przybliżeniu proporcjonalny do kwadratu napięcia zasilającego:

$$M \approx CU^2 \quad (9.4)$$

Silnik asynchroniczny wytwarza moment napędowy tylko wówczas, jeśli obroty wirnika  $n$  są mniejsze od obrotów pola wirującego  $n_s$ . Wówczas występuje przecinanie prętów klatki wirnika przez wirujące pole magnetyczne i pojawia się w prętach wirnika  $E_2$  a pod jej wpływem  $I_2$ .

Opóźnianie się wirnika względem wirującego pola magnetycznego nazywa się poślizgiem, który wyraża się zależnością

$$s_{\%} = \frac{n_s - n}{n_s} 100\% \quad (9.5)$$

Poślizg w silnikach asynchronicznych w warunkach znamionowych zasilania i obciążenia wynosi kilka procent. Prędkość obrotowa wirnika w zależności od poślizgu;

$$n = n_s (1 - s) = \frac{60f_1}{p} (1 - s) \quad (9.6)$$

### 1.3. Rozruch silnika

Pierwszy moment włączenia silnika do sieci a więc początek rozruchu ( $n = 0$ ) charakteryzują;

$I_r$  - prąd rozruchowy,

$M_r$  - moment rozruchowy.

Prąd rozruchowy powinien być możliwie mały by poprzez chwilowe obniżenie napięcia w sieci nie zakłócić pracy innych odbiorników, szczególnie wrażliwych na zmiany napięcia. Moment rozruchowy powinien być możliwie duży, większy od momentu oporowego maszyny napędzanej, aby w ogóle silnik ruszył z jednej strony, z drugiej zaś by czas rozruchu był możliwie najkrótszy.

Powszechnie stosowane są dwa rodzaje rozruchów silników z wirnikiem zwartym;

- rozruch bezpośredni,
- rozruch za pomocą przełącznika  $\sphericalangle / \Delta$ .

#### 1.3.1. Rozruch bezpośredni

Do uzwojeń stojana doprowadza się napięcie znamionowe. Silnik w tym przypadku wytwarza największy moment rozruchowy, ale pobiera z sieci największy prąd rozruchowy, który w zależności od budowy wirnika może wynosić od  $4 \div 7,5 I_n$ .

W sieciach odbiorczych, z uwagi na spadek napięcia, dopuszcza się rozruch bezpośredni silników o mocy do 4 kW.

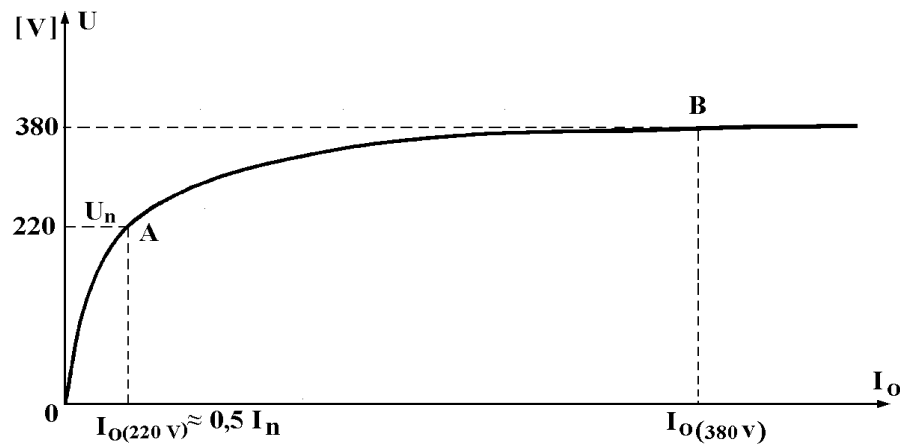
W sieciach wewnątrzzakładowych, bezpośrednio mogą być uruchamiane silniki o większych mocach, gdyż moce transformatorów są duże a odcinki sieci elektrycznej krótkie.

### 1.3.2. Rozruch za pomocą przełącznika $\star/\Delta$

Rozruch silnika asynchronicznego zwartego za pośrednictwem przełącznika  $\star/\Delta$  może być stosowany przy spełnieniu następujących kryteriów:

1.  $U_{f\text{silnika}} = U_{p\text{sieci}}$ ,
2.  $M_{r\star} > M_{op}$

Pierwszy warunek oznacza, że napięcie znamionowe uzwojenia fazowego silnika (z uzwojeniami połączonymi w trójkąt) odpowiada napięciu przewodowemu sieci zasilającej. W warunkach przemysłowych są zazwyczaj sieci trójfazowe o napięciu 380/220 V. Silnik o napięciu 380 V -  $\Delta$  w takiej sieci może być uruchamiany przez przełącznik  $\star/\Delta$ , natomiast silnik o napięciu 220/380 V może pracować tylko przy skojarzeniu uzwojeń stojana w gwiazdę a więc nie może być uruchamiany przez przełącznik  $\star/\Delta$ .



Rys.9.4. Charakterystyka napięciowo-prądowa biegu jałowego silnika asynchronicznego zwartego

Prąd magnesujący potrzebny na wytworzenie strumienia odpowiadającego zwiększonemu napięciu do 380 V (9,3) zgodnie z rys.9.4 przekroczy kilkunastokrotną wartość prądu znamionowego.

Przez zastosowanie przełącznika gwiazda-trójkąt uzyskuje się trzykrotne zmniejszenie prądu rozruchowego pobieranego z sieci, ale jednocześnie maleje trzykrotnie moment rozruchowy. Stosowanie rozruchu za pomocą przełącznika  $\star/\Delta$  umożliwia stosowanie silników o większych mocach. Np., dla zabezpieczenia o prądzie bezpiecznika  $I_{bn} = 20$  A możliwy jest rozruch bezpośredni silników o mocach do 4 Kw, natomiast do 7,5 kW z zastosowaniem przełącznika  $\star/\Delta$ .

### 1.4. Bieg jałowy

Uzwojenie stojana jest zasilane napięciem znamionowym, natomiast wał silnika jest nieobciążony. Silnik pobiera z sieci prąd  $I_0$  nazywany prądem biegu jałowego, który z uwagi

na dużą szczelinę powietrzną pomiędzy stojanem a wirnikiem jest dość znaczny i wynosi około  $0,5 I_n$ . Moc czynna  $P_o$  pobierana przez silnik z sieci pokrywa straty mechaniczne, straty w stali obwodu magnetycznego i straty w uzwojeniach. Obroty wirnika przy biegu jałowym są tylko nieznacznie niższe od obrotów pola wirującego (poniżej 0,2%).

### 1.5. Obciążenie silnika

Uzwojenie stojana zasilane jest napięciem znamionowym, wał silnika obciążony momentem oporowym. Przy zmianach obciążenia na wał silnik samoczynnie dostosowuje moment napędowy do momentu oporowego poprzez zmianę prędkości obrotowej wirnika. Silnik pobiera z sieci moc pozorną  $S$ :

$$S = \sqrt{3} UI , \quad (9.7)$$

która decyduje o stopniu obciążenia linii zasilającej silnik. Składowa czynna  $P_1$  mocy pozornej  $S$ :

$$P_1 = S \cos \varphi = \sqrt{3} UI \cos \varphi \quad (9.8)$$

pokrywa zapotrzebowanie na moc  $P$  na wał silnika oraz straty mocy  $\Delta P$  w samym silniku. Moc  $P$  na wał silnika w zależności od momentu  $M$  i prędkości obrotowej  $n$  wynosi:

$$P = \omega M = 2\pi n M \quad (9.9)$$

gdzie:  $P$  - W;  $M$  - N·m;  $n$  - obr/s ;  $\omega$  - rad/s .

Moc bierna  $Q$ :

$$Q = S \sin \varphi = \sqrt{3} UI \sin \varphi, \quad (9.10)$$

charakteryzuje wytwarzane w silniku pole magnetyczne warunkujące jego pracę. Moc bierna nieznacznie wzrasta wraz ze wzrostem obciążenia silnika. Dlatego współczynnik mocy  $\cos \varphi$ :

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{S} = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q^2}}, \quad (9.11)$$

jest warunkowany przede wszystkim stopniem obciążenia silnika. Najmniejszą wartość posiada przy biegu jałowym ( $\cos \varphi_0 = 0,1 \div 0,3$ ). Należy zatem unikać pracy silnika biegnącego luzem lub pracującego z niewielkim obciążeniem, gdyż to powoduje zmniejszenie stopnia wykorzystania urządzeń przesyłowych i zwiększenie strat sieciowych. Sprawność silnika jako stosunek mocy na jego wał do mocy czynnej pobieranej z sieci

$$\eta = \frac{P}{P_1} \quad (9.12)$$

zależy również od obciążenia. Przy biegu jałowym  $\eta = 0$ .

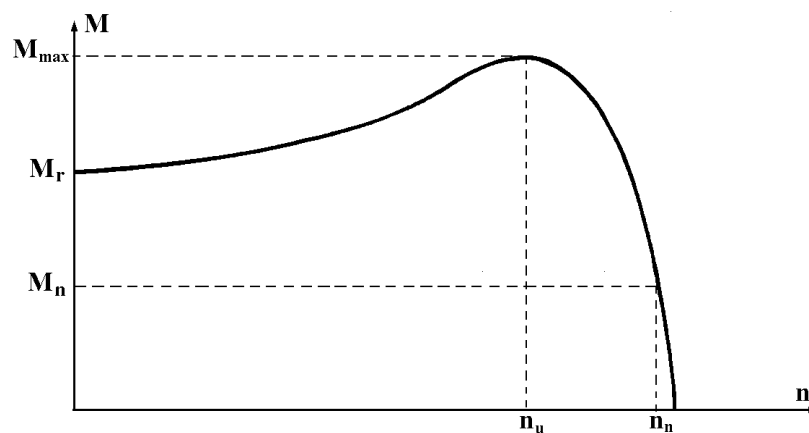
Podstawową charakterystyką ruchową silnika jest charakterystyka mechaniczna przedstawiająca zależność momentu napędowego  $M$  w funkcji prędkości obrotowej wirnika  $n$ :  $M = f(n)$ , przy znamionowym napięciu zasilania (rys.9.5).

Moment maksymalny  $M_{\max}$  jaki silnik jest w stanie wytworzyć jest znacznie większy od momentu znamionowego  $M_n$ , którym silnik może być długotrwale obciążony.

Wyrażenie

$$p_m = \frac{M_{\max}}{M_n} \quad (9.13)$$

nazywa się przeciążalnością mechaniczną która dla silników zwartych wynosi  $1,8 \div 3$ . Zapas momentu napędowego zapewnia silnikowi stabilną pracę w przypadku pojawienia się chwilowych przeciążeń. Długotrwała jednak praca silnika przy momencie większym od momentu znamionowego jest niedopuszczalna z uwagi na możliwość przegrzania izolacji uzwojeń i uszkodzeń termicznych silnika.



Rys.9.5. Charakterystyka mechaniczna silnika asynchronicznego

### 1.6. Praca nienaturalna

Uzwojenia stojana połączone w gwiazdę są zasilane napięciem znamionowym odpowiadającym połączeniu tych uzwojeń w trójkąt a wał silnika jest obciążony takim momentem oporowym, który nie powoduje przeciążenia prądowego uzwojeń (przełącznik  $\Delta / \triangle$  pozostawiony w pozycji  $\triangle$ ). Napięcie fazowe silnika w takim przypadku jest  $\sqrt{3}$  razy mniejsze od napięcia znamionowego. Zgodnie z zależnością (9.3) w takim samym stopniu maleje wartość strumienia magnetycznego  $\Phi$ . Zakładając wykorzystanie prądowe uzwojeń, zgodnie z zależnością

$$M = C_M \Phi I_2 \cos \varphi_2$$

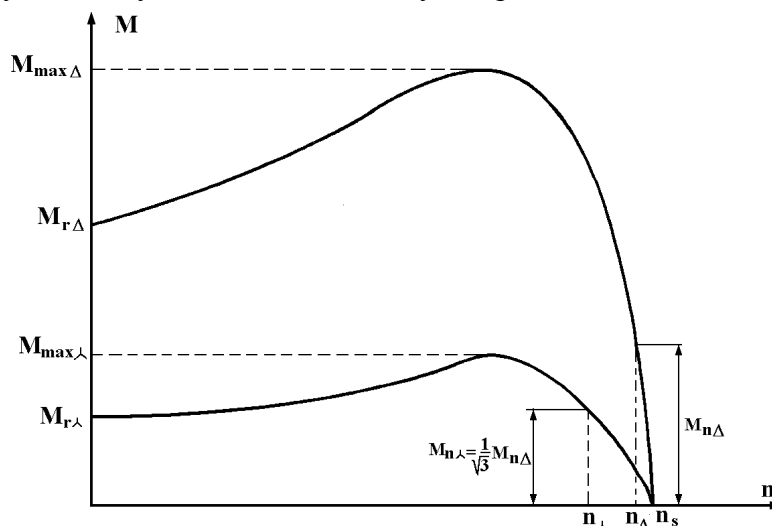
moment wytwarzany przez silnik będzie również  $\sqrt{3}$  razy mniejszy w porównaniu z momentem znamionowym. Charakterystykę mechaniczną tak pracującego silnika uwzględniając związek (9.4) przedstawiono na rys.9.6.

Moc na wale silnika:

$$P = 2 \pi n_{\triangle} M_{\triangle}, \quad (9.14)$$

uwzględniając nieznaczne zmniejszenie prędkości obrotowej wirnika (rys.9.6) maleje do około połowy mocy znamionowej. W takiej samej proporcji maleje moc bierna  $Q$  pobierana przez silnik z sieci, co korzystnie wpływa na współczynnik mocy  $\cos\varphi$  i obciążalność linii zasilającej silnik.

Ten rodzaj pracy silnika jest często stosowany w napędach obrabiarkowych, jak też powinien być stosowany w napędach rolniczych, gdzie na ogół jeden silnik jest wykorzystywany do napędu szeregu maszyn różniących się bardzo znacznym zapotrzebowaniem mocy.



Rys.9.6. Praca nienaturalna silnika asynchronicznego zwartego na tle jego charakterystyki mechanicznej naturalnej

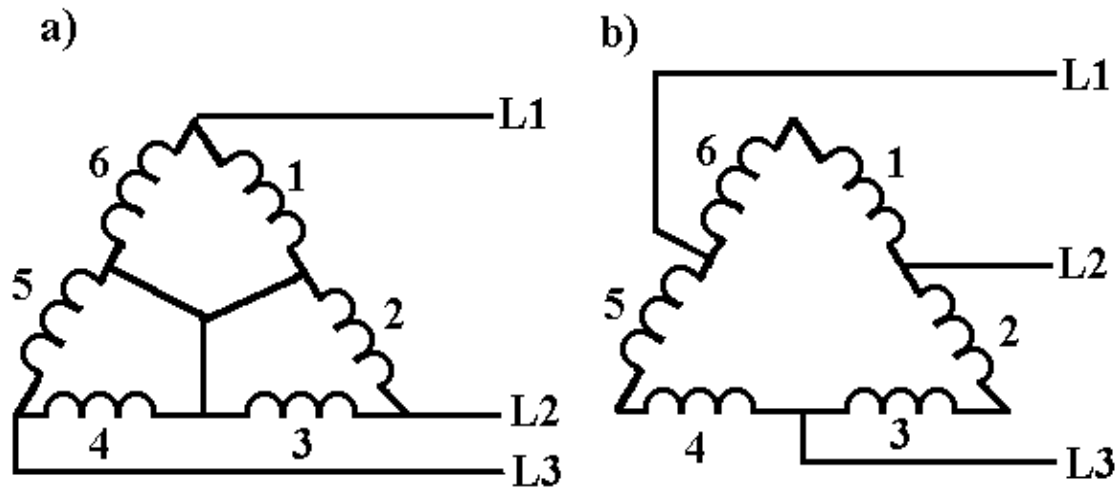
Praca nienaturalna może być stosowana jeżeli moc maszyny roboczej nie przekracza połowy mocy znamionowej silnika.

### 1.7. Regulacja prędkości obrotowej

W silnikach asynchronicznych zwartych zgodnie z (9.6) obroty wirnika można regulować przez:

- 1) zmianę częstotliwości napięcia zasilającego,
- 2) zmianę liczby par biegunów magnetycznych uzwojenia stojana.

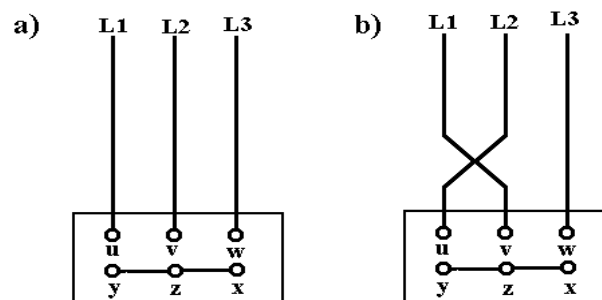
Z uwagi na stałą częstotliwość sieciową (50 Hz) do regulacji obrotów przez zmianę częstotliwości wykorzystuje się przetwornice maszynowe a ostatnio coraz częściej przetwornice tyrystorowe (falowniki). W drugim sposobie regulacji obrotów, uzwojenie stojana wykonuje się jako przełączalne na dwie różne liczby par biegunów. Uzwojenie każdej fazy składa się z dwóch połówek, które można łączyć szeregowo lub równoległe (rys.9.7). Przy połączeniu równoległym uzyskuje się skojarzenie w tzw. podwójną gwiazdę - obroty większe, przy połączeniu szeregowym uzyskuje się skojarzenie w trójkąt - obroty mniejsze.



Rys.9.7. Uzwojenia stojana silnika dwubiegunowego: a) podwójna gwiazda - szybkie obroty; b) trójkąt - wolne obroty.

### 1.8. Zmiana kierunku obrotów

Zmianę kierunku wirowania wirnika w silnikach asynchronicznych trójfazowych uzyskuje się przez skrzyżowanie dwóch przewodów fazowych zasilających uzwojenie stojana (rys.9.8).



Rys.9.8. Zasilanie silnika asynchronicznego: a) dla obrotów w prawo; b) dla obrotów w lewo.

W przypadku stosowania do rozruchu silnika przełącznika  $\star / \Delta$  nie wolno krzyżować przewodów pomiędzy silnikiem a przełącznikiem, natomiast można na zasileniu do przełącznika.

### 1.9. Dane znamionowe silnika

Na tabliczkach umieszczanych na silnikach produkcji krajowej podawane są następujące dane: typ - np. SZJe 24b, moc na wale - np. 2,2 kW, napięcie znamionowe - np. 220/380 V, prąd znamionowy - np. 8,6/5 A, prędkość obrotowa wirnika  $n$ , sprawność  $\eta$  i współczynnik mocy  $\cos\phi$  odpowiadające znamionowym warunkom pracy, częstotliwość, rodzaj pracy (ciągła, dorywcza, przerywana), wytwórca i numer fabryczny. Z katalogów silników można uzyskać ponadto takie dane jak:  $I_r / I_n$ ;  $M_r / M_n$  oraz przeciążalność momentem  $M_{max} / M_n$ .



## 2. Wykonanie ćwiczenia

### 2.1. Dane znamionowe badanego silnika

Należy zapoznać się z tabliczką zaciskową oraz tabliczką danych znamionowych. Podstawowe dane silnika zestawień w tabeli 9.1. Moment znamionowy  $M_n$ , moc bierną  $Q$  oraz poślizg  $s_n$  dla znamionowych warunków pracy silnika obliczyć korzystając z zależności podanych w p.9.1.

Tabela 9.1.

Typ	P	U	I	n	$\cos\varphi$	$\eta$	$I_r/I_n$	$M_r/M_n$	$M_{mx}/M_n$	$M_n$	Q	$s_n$
	kW	V	A	obr/min	-	%	-	-	-	N·m	var	%

### 2.2. Próba zwarcia pomiarowego

Próba zwarcia ma na celu wyznaczenie prądu rozruchowego i momentu rozruchowego. Próbę przeprowadzamy dla obu układów połączeń uzwojeń stojana tj. w gwiazdę i w trójkąt, przy zahamowanym wirniku hamulcem Prony'ego przy obniżonych napięciach nastawianych autotransformatorem ale takich, przy których prądy uzyskują wartości znamionowe.

W tym i w następnych punktach ćwiczenia wykorzystamy układ pomiarowy przedstawiony na rys.9.9. Wyniki pomiarów i obliczeń zestawień w tabeli 9.2.

W obliczeniach korzystamy z zależności:

$$I_r = I_z \frac{U_n}{U_z}, \quad M_r = \frac{1}{2} D(F_1 - F_2) \left( \frac{U_n}{U_z} \right)^2$$

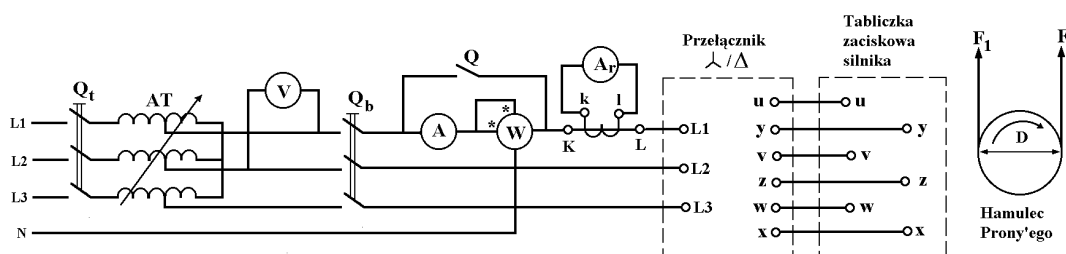
gdzie:  $U_n$ - napięcie znamionowe odpowiadające połączeniu uzwojeń stojana w trójkąt,

$U_z$  - napięcie zasilające silnik w czasie próby,

$I_z$  - prąd pobierany przez silnik w czasie próby,

$F_1, F_2$  - wskazania dynamometrów, (1 kG = 9,81 N),

$D$  - średnica koła pasowego hamulca.



$Q_t$  - wyłącznik tablicowy,

$Q_b$  - odłącznik bezpieczeństwa na stole laboratoryjnym.

Rys.9.9. Układ pomiarowy do badań silnika asynchronicznego zwartego

Tabela 9.2.

$$D = \dots\dots\dots \text{ m}; \quad U_{n\Delta} = \dots\dots\dots \text{ V}; \quad I_{n\Delta} = \dots\dots\dots \text{ A}$$

Połączenie uzwojeń stojana	Pomiary				Obliczenia					
	$U_Z$	$I_Z$	$F_1$	$F_2$	$I_r$	$M_r$	$I_{r\Delta}/I_{r\Delta}$	$I_{r\Delta}/I_n$	$M_{r\Delta}/M_{r\Delta}$	$M_{r\Delta}/M_n$
	V	A	kG	kG	A	N m	-	-	-	-
w gwiazdę										
w trójkąt										

### 2.3. Próba rozruchu bezpośredniego i zmiana kierunku wirowania

Próbe rozruchu bezpośredniego silnika przeprowadzamy dla obu skojarzeń uzwojeń stojana, przy napięciu znamionowym odpowiadającym połączeniu w trójkąt, przy odhamowanym wirniku. W tym celu nastawiamy na wyjściu autotransformatora wymaganą wartość napięcia. Przy zamkniętym wyłączniku Q (rys.9.9) bocznikującym amperomierz A i watomierz W, celem ochrony tych mierników przed przeciążeniem prądowym, wyłącznikiem  $Q_b$  podajemy napięcie na silnik. Pomiar powtórzyć 3-krotnie dla obu skojarzeń. Prąd rozruchowy odczytujemy z amperomierza  $A_r$  współpracującego z przekładnikiem prądowym w momencie gdy wskazówka miernika uzyska maksymalne odchylenie. Wyniki pomiarów i obliczeń zestawić w tabeli 9.3.

Tabela 9.3.

$$U_{n\Delta} = \dots\dots\dots \text{ V}; \quad I_n = \dots\dots\dots \text{ A}$$

Lp.	Połączenie w $\Delta$				Połączenie w $\Delta$				$I_{r\Delta}$	$I_{r\Delta}$
	$I_{Ar}$	$\mathcal{G}_i$	$I_r$	$I_{r\Delta}$	$I_{Ar}$	$\mathcal{G}_i$	$I_r$	$I_{r\Delta}$	$I_{r\Delta}$	$I_{n\Delta}$
	A	-	A	A	A	-	A	A	-	-
1										
2										
3										

$\mathcal{G}_i = I_1 / I_2$  - przekładnia przekładnika prądowego.

Dla uzyskania zmiany kierunku wirowania, zgodnie z p. 1.8, skrzyżować dwa przewody fazowe na przełączniku  $\Delta/\Delta$ . Wykonać rozruch sprawdzający.

### 2.4. Porównanie wielkości charakteryzujących rozruch

Porównanie wyników charakteryzujących rozruch silnika, uzyskane z próby zwarcia pomiarowego i z próby rozruchu bezpośredniego z danymi znamionowymi zestawić w tabeli 9.4. Przeprowadzić dyskusję wyników uzyskanych z próby zwarcia pomiarowego i próby rozruchu bezpośredniego w odniesieniu do danych znamionowych. Zwrócić szczególną uwagę na odczyt prądu rozruchowego przy próbach rozruchu bezpośredniego silnika.

Tabela 9.4.

	$I_{r\Delta} / I_{r\Delta}$	$I_{r\Delta} / I_n$	$M_{r\Delta} / M_n$
Dane znamionowe	_____		
Próba zwarcia			
Próba rozruchu			_____

## 2.5. Charakterystyka napięciowo-prądowa biegu jałowego

Zmieniając napięcie zasilające silnik z uzwojeniami stojana połączonymi w trójkąt od  $U_{\min} \approx 100V$ , przy którym silnik już uzyskuje obroty ustalone, do  $U_{\max}$  przy którym prąd  $I_0 = 1,1 \div 1,2 I_n$ , dokonać około 8 punktów pomiarowych. Wyniki pomiarów zestawzić w tabeli 9.5.

Tabela 9.5.

U	V								
$I_0$	A								

Na podstawie wyników pomiarów wykreślić charakterystykę  $U = f(I_0)$ .

Z charakterystyki  $U = f(I_0)$  odczytać  $I_0$  dla napięcia  $U = U_n$  oraz wartość napięcia  $U'$ , przy którym  $I_0 = I_n$ . Obliczyć:

$$\text{dla } U_n - I_{0\%} = \frac{I_0}{I_n} 100\%$$

$$\text{dla } I_0 = I_n - U'_{\%} = \frac{U'}{U_n} 100\%$$

Przeprowadzić dyskusję otrzymanych wyników.

## 2.6. Próba obciążenia

Próbie obciążenia silnika przeprowadzić dla połączenia uzwojeń stojana w trójkąt, przy napięciu znamionowym nastawionym autotransformatorem. Zmieniając obciążenie silnika hamulcem Pronyego (hamulec taśmowy) w granicach od prądu  $I_0$  (bieg jałowy) do prądu  $I = 1,1 \div 1,2 I_n$  dokonać około 6 punktów pomiarowych. Wyniki pomiarów i obliczeń zestawzić w tabeli 9.6.

Poszczególne wielkości zamieszczone w tabeli 9.6 obliczać z zależności podanych w poprzednich p. ćwiczenia. Na podstawie wyników uzyskanych z pomiarów

i obliczeń należy na jednym rysunku wykreślić charakterystyki:  $I$ ,  $\cos\varphi$ ,  $\eta$ ,  $n$ ,  $Q = f(P)$ .

Na podstawie sporządzonych wykresów należy dla  $I = I_n$  określić wartości:  $P$ ,  $n$ ,  $\cos\varphi$ ,  $\eta$ ,  $Q$  i porównać te wartości z danymi znamionowymi (tabela 9.7).

Przeprowadzić dyskusję otrzymanych wyników.

Tabela 9.6.

Lp.	Pomiary					Obliczenia							
	I	P <sub>w</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	n	P <sub>1</sub>	F	M	P	cosφ	η	s	Q
	A	W	KG	KG	obr/min	W	N	N m	W	-	%	%	var

$$P = 3P_w; \quad F = |F_1 - F_2|; \quad M = \frac{1}{2}D \cdot F.$$

Tabela 9.7.

Dane	I	P	n	cosφ	η	Q
	A	W	obr/min	-	%	var
z tabliczki znamionowej						
z pomiarów						

### 2.7. Praca nienaturalna

Silnik z uzwojeniami stojana połączonymi w gwiazdę zasilamy napięciem równym napięciu znamionowemu dla połączenia uzwojeń w trójkąt. Hamulcem taśmowym obciążamy silnik tak, by prąd pobierany z sieci uzyskał wartość prądu znamionowego odpowiadającego połączeniu uzwojeń w gwiazdę. Wyniki pomiarów i obliczeń zestawić w tabeli 9.8.

Z charakterystyk wyznaczonych w p.2.6 (praca naturalna) dla wartości mocy na wale  $P_{\Delta}$  osiągniętej przez silnik przy pracy nienaturalnej ( $\Delta$ ), odczytać wartości: I, cosφ, η, n, Q. Porównanie wyników zestawić w tabeli 9.9.

Tabela 9.8.

Pomiary						Obliczenia							
U	I	P <sub>w</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	n	P <sub>1</sub>	F	M	P	cosφ	η	s	Q
V	A	W	kG	kG		W	N	N m	W	-	%	%	var

Tabela 9.9.

Rodzaj pracy	P	I	cosφ	η	n	Q
	W	A	-	%	obr/min	var
Naturalna						
Nienaturalna						

Przeprowadzić dyskusję otrzymanych wyników.

## 2.8. Wykaz przyrządów i aparatów

Należy, zgodnie z wytycznymi podanymi w części ogólnej skryptu podać wszystkie przyrządy pomiarowe, urządzenia i aparaty wykorzystywane w ćwiczeniu.

### Zagadnienia do samodzielnego opracowania

1. Budowa i zasada działania silnika.
2. Prędkość pola wirującego, prędkość obrotowa wirnika, poślizg, sposób wyznaczania prędkości obrotowej pola na podstawie znanych obrotów wirnika.
3. Metody rozruchów silnika oraz ich praktyczne zastosowanie.
4. Kryteria stosowania rozruchu silnika za pomocą przełącznika gwiazda - trójkąt oraz zalety i wady tego rozruchu.
5. Charakterystyka mechaniczna silnika  $M = f(n)$ .
6. Wpływ obciążenia silnika na współczynnik mocy  $\cos\phi$  i jego sprawność.
7. Wpływ napięcia zasilającego na pracę silnika, szczególnie na moment obrotowy i prąd.
8. Charakterystyka napięciowo - prądowa biegu jałowego, oraz prąd biegu jałowego.
9. Czynniki powodujące przeciążenie silnika.
10. Praca nienaturalna silnika: na czym polega, kiedy może być stosowana oraz skutki takiej pracy.
11. Sposoby regulacji prędkości obrotowej silnika.
12. Zmiana kierunku obrotów w silnikach uruchamianych bezpośrednio i za pomocą przełącznika gwiazda - trójkąt.
13. Obliczanie mocy na wale na podstawie pomiarów próby obciążenia silnika.
14. Obliczanie momentu znamionowego na podstawie tabliczki znamionowej silnika.
15. Czy silnik o napięciu  $U = 220/380 \text{ V}$  można zasilić z sieci trójfazowej o napięciu przewodowym  $U = 380 \text{ V}$ , jeżeli tak, to w jaki sposób?

Literatura: [ 10, 12, 16, 17 ]