

## ***Temat: Badanie 3-fazowego silnika indukcyjnego klatkowego***

- 1. Oględziny badanego silnika i hamowni wiroprowdowej**
  - a. Określenie typu silnika;
  - b. Zasada działania hamowni wiroprowdowej;
  - c. Odczytanie parametrów z tabliczki znamionowej i ocena możliwości rozruchu silnika z wykorzystaniem przełącznika gwiazda-trójkąt.
  
- 2. Wyznaczenie wartości początkowych momentów i prądów rozruchowych przy bezpośrednich rozruchach w układach gwiazdy (Y) i trójkąta ( $\Delta$ ) oraz przy zastosowaniu przełącznika Y/ $\Delta$  (na podstawie prób zwarcia przy obniżonym napięciu sieci)**
  - a. Pomiar wartości początkowych momentów i prądów rozruchowych przy obniżonym napięciu;
  - b. Wyznaczenie wartości początkowych momentów i prądów rozruchowych przy znamionowym napięciu zasilania.
  
- 3. Badanie wpływu ustawienia przełącznika na właściwości eksploatacyjne silnika- charakterystyki:  $\cos\varphi$ ,  $\eta$ ,  $I_1$ ,  $P_1$ ,  $P_m$ ,  $Q_1$ ,  $s = f(T)$  (ocena dla którego położenia przełącznika Y/ $\Delta$ , przy małych obciążeniach, praca silnika jest korzystniejsza)**
  
- 4. Obserwacja podstawowych właściwości regulacji prędkości silnika przy zasilaniu napięciem o regulowanej częstotliwości**
  - a. Bieg jałowy silnika;
  - b. Stan obciążenia.

# Przebieg ćwiczenia

## 1. Ogłędziny badanego silnika i hamowni wiropądowej

### a. Określenie typu silnika.

Silnik indukcyjny klatkowy może mieć wyprowadzone trzy (ewentualnie cztery) zaciski lub sześć zacisków. Trzy zaciski oznaczają, że uzwojenie stojana zostało już skojarzone „wewnątrz” silnika w układ trójkąta lub gwiazdy. Cztery zaciski oznaczają układ gwiazdy z przewodem neutralnym. W przypadku występowania sześciu zacisków mamy możliwość samodzielnego skojarzenia uzwojeń. Zaciski te znajdują się na jednej tabliczce zaciskowej. W silnikach indukcyjnych pierścieniowych może wystąpić sześć, siedem lub dziewięć zacisków. Trzy dodatkowe zaciski są wyprowadzeniami, poprzez pierścienie ślizgowe i szczotki, końców uzwojeń wirnika (na stałe połączonych w gwiazdę). Zaciski uzwojeń wirnika mogą znajdować się na osobnej tabliczce zaciskowej lub na zbiorczej tabliczce zaciskowej – wraz z zaciskami uzwojenia stojana.

### b. Zasada działania hamowni wiropądowej

Hamownia wiropądowa zbudowana jest z układu dwóch cewek wzbudzających pole magnetyczne, dwóch nie skojarzonych ze sobą obwodów magnetycznych oraz wirującej w polu magnetycznym - o dużej przewodności elektrycznej – tarczy. W wirującej tarczy indukują się prądy wirowe, które generują moment hamujący. Wartość momentu hamującego nastawiamy regulując prąd w cewkach. Należy mieć na uwadze, że skuteczność hamowania maleje ze spadkiem prędkości obrotowej wirującej tarczy. Przy małych prędkościach obrotowych hamownia wiropądowa nie spełnia swojego zadania.

### c. Odczytanie parametrów z tabliczki znamionowej i ocena możliwości rozruchu silnika z wykorzystaniem przełącznika gwiazda-trójkąt

Należy podkreślić, że odczytana z tabliczki znamionowej moc jest mocą mechaniczną (mocą na wale silnika). Parametry odczytane z tabliczki znamionowej zestawić w tabeli:

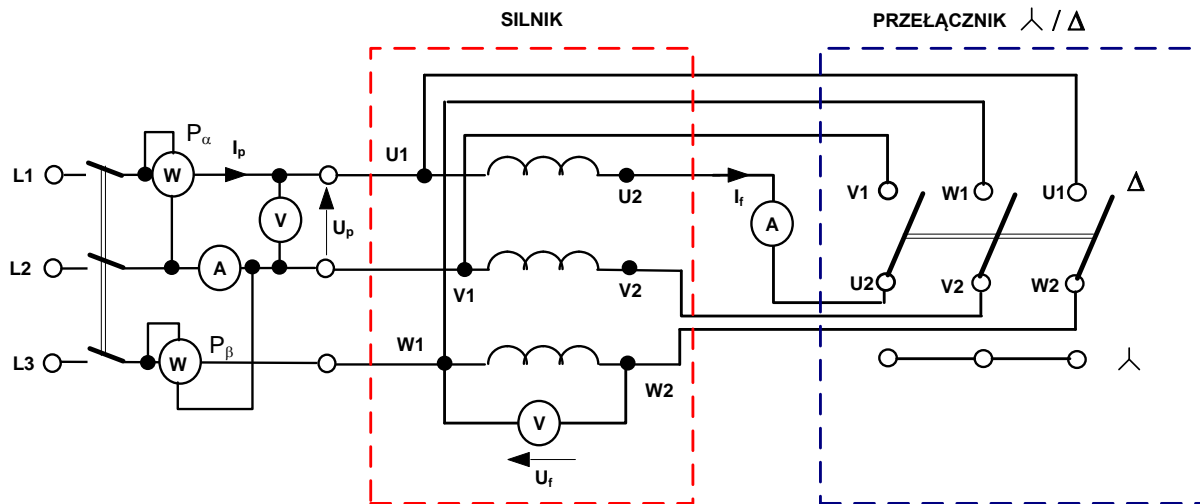
$P_N$	..... [kW]
$U_N (Y/\Delta)$	...../..... [V]
$I_N (Y/\Delta)$	...../..... [A]
$n_N$	..... [obr/min]
$f_N$	..... [Hz]
$\cos \varphi_N$	..... [-]

Rozruch silnika z wykorzystaniem przełącznika gwiazda-trójkąt możliwy jest tylko wtedy, gdy napięcie znamionowe silnika (przy skojarzeniu uzwojeń w trójkąt) jest równe napięciu sieci zasilającej. W innym przypadku taki rozruch może doprowadzić do zniszczenia silnika. Napięcie znamionowe i układ połączeń musi jednoznacznie wynikać z tabliczki znamionowej silnika.

## 2. Wyznaczenie wartości początkowych momentów i prądów rozruchowych przy bezpośrednich rozruchach w układach gwiazdy (Y) i trójkąta ( $\Delta$ ) oraz przy zastosowaniu przełącznika Y/ $\Delta$ (na podstawie prób zwarcia przy obniżonym napięciu sieci)

### a. Pomiar wartości początkowych momentów i prądów rozruchowych przy obniżonym napięciu

Pomiaru wartości początkowych momentów i prądów rozruchowych dokonuje się przy niewielkim napięciu zasilającym silnik i mechanicznie zablokowanym wirniku. Należy pamiętać, że silnik w tym stanie nie ma chłodzenia i nawet przepływ prądu znamionowego przy dłuższej trwających pomiarach może okazać się niebezpieczny. Schemat układu pomiarowego pokazano na rys. 1. Pomiary należy wykonać przy tej samej wartości napięcia zasilającego i skojarzeniu uzwojeń w gwiazdę oraz trójkąt.



Rys. 1. Układ pomiarowy silnika z przełącznikiem gwiazda-trójkąt

Wyniki należy zestawić w tabeli, przy czym moc  $P_1$  jest sumą wskazań obu watomierzy  $P_1 = P_\alpha + P_\beta$ . Wartość momentu rozruchowego  $T_r$  odczytać z momentomierza.

	$U_p$	$I_p$	$U_f$	$I_f$	$T_r$	$P_\alpha$	$P_\beta$	$P_1$
	V	A	V	A	Nm	W	W	W
$\Delta$								
Y								

Na podstawie wyników pomiarów należy wyznaczyć współczynnik krotności prądu rozruchowego  $k_I$  oraz momentu rozruchowego  $k_T$  dla obu grup połączeń:

$$k_I = \frac{I_{rp\Delta}}{I_{rpY}} \qquad k_T = \frac{T_{r\Delta}}{T_{rY}}$$

przy czym:

$k_I, k_T$  - współczynnik krotności prądu i momentu rozruchowego;

$I_{r\Delta}, I_{rY}$  - prąd rozruchowy przewodowy w układzie trójkąta, gwiazdy;

$T_{r\Delta}, T_{rY}$  - moment rozruchowy w układzie trójkąta, gwiazdy.

**b. Wyznaczenie wartości początkowych momentów i prądów rozruchowych przy znamionowym napięciu zasilania**

Znajomość wartości prądów i momentów rozruchowych uzyskanych przy obniżonym napięciu zasilającym pozwala na określenie tych wielkości dla znamionowych warunków zasilania:

$$I_{rN \Delta/Y} = I_{r\Delta/Y} \left( \frac{U_N}{U_p} \right) \qquad T_{rN \Delta/Y} = T_r \left( \frac{U_N}{U_p} \right)^2$$

przy czym:

$I_{rN \Delta/Y}$  - znamionowy prąd rozruchowy w układzie trójkąta/gwiazdy.

$T_{rN \Delta/Y}$  - znamionowy moment rozruchowy w układzie trójkąta/gwiazdy.

**3. Badanie wpływu ustawienia przełącznika na właściwości eksploatacyjne silnika - charakterystyki:  $\cos \varphi, \eta, I_1, P_1, P_m, Q_1, s = f(T)$  (ocenia dla którego położenia przełącznika Y/ $\Delta$ , przy małych obciążeniach, praca silnika jest korzystniejsza)**

Na początku pomiary wykonać przy połączeniu uzwojeń badanego silnika w trójkąt i zasileniu tak skojarzonych uzwojeń odpowiednim dobranym napięciem znamionowym. Na podstawie tabliczki znamionowej należy wyznaczyć moment znamionowy ( $T_N$ ) silnika wg zależności:

$$T_N = 9,55 \frac{P_N}{n_N}$$

Podczas pomiarów silnik należy obciążać momentem nastawianym od zera do wartości znamionowej. Wyniki pomiarów i obliczeń zestawić w tabeli.

$\Delta$	$U_p$	$I_p$	$P_\alpha$	$P_\beta$	$P_1$	$Q_1$	$\cos \varphi$	$n$	$s$	$T$	$P_m$	$\eta$
	V	A	W	W	W	Var	-	obr/min	-	Nm	W	-
1	$U_N$											
...	-----											
n	↓											

przy czym:

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3} U_p I_p} \qquad s = \frac{n_1 - n}{n_1} \qquad n_1 = \frac{60 f}{p}$$

$p$  – liczba par biegunów, którą należy określić na podstawie częstotliwości i prędkości znamionowej silnika.

Moc mechaniczną oraz sprawność wyznaczyć z zależności:

$$P_m = T \frac{2\pi n}{60} \qquad \eta = \frac{P_m}{P_1} 100\%$$

Następnie należy ustawić przełącznik w pozycję gwiazdy i przy tym samym napięciu zasilającym powtórzyć pomiary. Silnik obciążamy również nastawianym momentem do wartości, przy której nie nastąpi przekroczenie prądu znamionowego silnika dla skojarzenia uzwojeń w gwiazdę. Wyniki pomiarów i obliczeń zestawić w tabeli, jak powyżej.

Na podstawie wyników pomiarów i obliczeń wykreślić charakterystyki:

1.  $I_{p\Delta}, I_{pY} = f(T)$
2.  $P_{1\Delta}, P_{1Y} = f(T)$
3.  $P_{m\Delta}, P_{mY} = f(T)$
4.  $Q_{1\Delta}, Q_{1Y} = f(T)$
5.  $\eta_{\Delta}, \eta_Y = f(T)$
6.  $\cos \varphi_{\Delta}, \cos \varphi_Y = f(T)$
7.  $s_{\Delta}, s_Y = f(T)$

Na podstawie pomiarów i obliczeń należy ocenić, dla którego położenia przełącznika Y/ $\Delta$ , przy małych obciążeniach, praca silnika jest korzystniejsza. Spostrzeżenia zawrzeć we wnioskach.

#### 4. Obserwacja podstawowych właściwości regulacji prędkości silnika przy zasilaniu napięciem o regulowanej częstotliwości

##### a. Bieg jałowy silnika.

Obecnie powszechnie stosowanym sposobem regulacji prędkości obrotowej, szczególnie w przypadku silników indukcyjnych klatkowych, jest zastosowanie układu falownikowego. Zmiana częstotliwości napięcia zasilającego, zgodnie ze wzorem:

$$n_1 = \frac{60f}{p}$$

wpływa na zmianę prędkości synchronicznej silnika.

Z uproszczonej zależności:

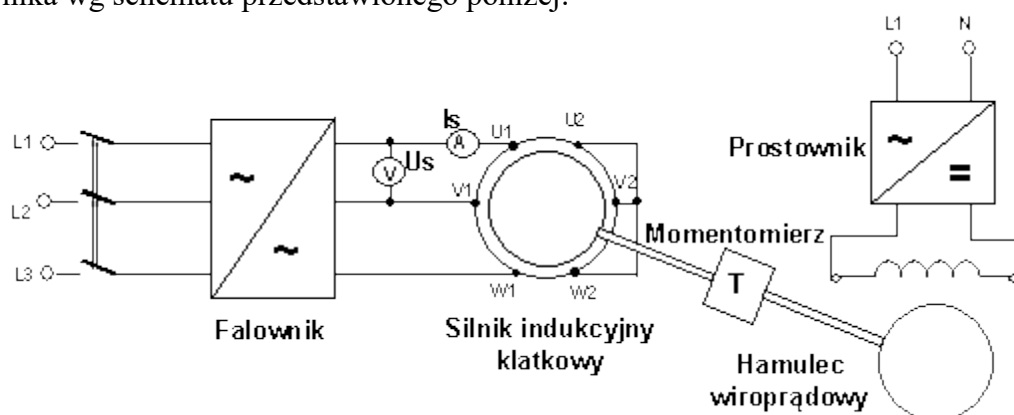
$$T_{\max} = \frac{m_1}{\omega_1} \frac{U^2}{2X_z} = k \left( \frac{U}{f} \right)^2 \qquad \omega_1 = \frac{2\pi f}{p} \qquad X_z = \omega_1 L_z$$

w której:  $m_1$  - liczba faz napięcia zasilającego;  $\omega_1$  - prędkość kątowna synchroniczna;  $X_z$  - reaktancja zwarcia, wynika, że moment maksymalny  $T_{\max}$  jest proporcjonalny do kwadratu napięcia zasilającego  $U$  i odwrotnie proporcjonalny do kwadratu częstotliwości  $f$ .

Aby uzyskać w przybliżeniu stały moment maksymalny podczas regulacji częstotliwościowej należy jednocześnie regulować wartość napięcia zasilającego. Najczęściej wykorzystywane falowniki ze sterowaniem skalarnym pracują przy założeniu, że:

$$\frac{U}{f} = \text{const}$$

Pomiary wykonać przy połączeniu uzwojeń stojana silnika w gwiazdę. Silnik zasilić z falownika wg schematu przedstawionego poniżej:



Rys. 2. Schemat zasilania silnika z układu falownikowego

Silnik powinien pracować na biegu jałowym (tzn. bez obciążenia). Regulując częstotliwość w zakresie od  $0,1 f_N$  do  $f_N$  należy odczytywać wartość napięcia, prądu pobieranego przez silnik oraz prędkości obrotowej. Wyniki pomiarów zestawzić w tabeli:

	$f$	$U_s$	$I_s$	$n$
	Hz	V	A	obr/min
1	$0,1 f_n$			
...	↓			
$n$	$f_n$			

Na podstawie wyników pomiarów należy wykreślić charakterystyki napięcia, prądu oraz prędkości obrotowej w funkcji częstotliwości:  $U_s, I_s, n = f(f)$ .

### **b. Stan obciążenia.**

W tym podpunkcie należy wyznaczyć charakterystyki mechaniczne  $T = f(n)$  dla dwóch (trzech) różnych częstotliwości napięcia zasilającego podanych przez prowadzącego. Układ połączeń jest identyczny, jak w poprzednim podpunkcie. Należy uważać, aby podczas pomiarów nie przekroczyć znamionowej wartości prądu silnika. Na podstawie pomiarów sporządzić charakterystyki mechaniczne  $T = f(n)$  dla zadanych częstotliwości. Spostrzeżenia zawrzeć we wnioskach.

### **Przykładowe pytania kontrolne:**

1. Jaka wielkość powoduje zmniejszenie prądu podczas rozruchu z zastosowaniem przełącznika gwiazda – trójkąt i jakie inne skutki są z tym związane?
2. Jakie są warunki w zakresie danych znamionowych silnika, a jakie w zakresie warunków obciążania silnika umożliwiające dokonywanie rozruchu przy pomocy przełącznika gwiazda – trójkąt?
3. Jaki jest wpływ częstotliwości napięcia zasilania na wartość składowej magnesującej prądu stojana silnika indukcyjnego?
4. Co nazywamy prędkością synchroniczną i od jakich wielkości zależy jej wartość?
5. Dlaczego regulacja prędkości synchronicznej wywołuje regulację prędkości wirowania silnika indukcyjnego?
6. Jakie wielkości wpływają na wartość momentu maksymalnego silnika indukcyjnego?

### **Literatura:**

1. W. Latek, *Maszyny elektryczne w pytaniach i odpowiedziach*, WNT, 2007
2. H. Rawa, *Elektryczność i magnetyzm w technice*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001
3. W. Przyborowski, G. Kamiński, *Maszyny elektryczne*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2014
4. Praca zbiorowa, *Poradnik inżyniera elektryka*, Tom 2, WNT Warszawa 2009