

***Temat: Badanie 3-fazowego silnika indukcyjnego pierścieniowego  
- część I***

**1. Zapoznanie się ze stanowiskiem pomiarowym**

- a. Dokonanie oględzin badanego silnika indukcyjnego pierścieniowego oraz urządzeń wchodzących w skład układu pomiarowego;
- b. Spisanie danych znamionowych badanego silnika z tabliczki znamionowej. Określenie umiejscowienia znamionowych napięć i prądów stojana i wirnika oraz mocy znamionowej;
- c. Oszacowanie i pomiar rezystancji uzwojeń badanego silnika;

**2. Rozruch silnika oraz zmiana kierunku wirowania**

- a. Zapoznanie się z procesem rozruchu silnika indukcyjnego pierścieniowego poprzez zmianę rezystancji w uzwojeniu wirnika;
- b. Zmiana kierunku wirowania;

**3. Wyznaczenie charakterystyk siły elektromotorycznej  $E_2$  oraz częstotliwość  $f_2$  w funkcji prędkości obrotowej  $n$  dla otwartego obwodu uzwojenia wirnika**

- a. Wykreślenie charakterystyk  $E_2, f_2 = f(n)$ ;

**4. Obserwacja wielkości elektrycznych maszyny indukcyjnej pracującej jako silnik, prądnica i hamulec**

# Przebieg ćwiczenia

## 1. Zapoznanie się ze stanowiskiem pomiarowym

### a. Zapoznanie się ze stanowiskiem pomiarowym

Dokonać oględzin badanego silnika indukcyjnego oraz urządzeń wchodzących w skład układu pomiarowego. Badany silnik trójfazowy pierścieniowy połączony jest współosiowo z hamownią. Rozruch silnika odbywa się za pomocą dodatkowej rezystancji  $R_{dw}$  włączonej w obwód uzwojenia wirnika.

### b. Zapoznanie się z danymi na tabliczkach znamionowych

Spisać dane znamionowe badanego silnika z tabliczki znamionowej. Określić umiejscowienie znamionowych napięć i prądów stojana i wirnika oraz mocy znamionowej.

Dane znamionowe zamieścić tabeli:

$P_N$	..... [W]
$U_{1N}$	..... [V]
$U_{2N}$	..... [V]
$I_{1N}$	..... [A]
$I_{2N}$	..... [A]
$n_N$	..... [obr/min]
$f_N$	..... [Hz]

Na podstawie danych znamionowych obliczyć znamionową wartość  $T_N$  momentu na wale silnika z następującej zależności:

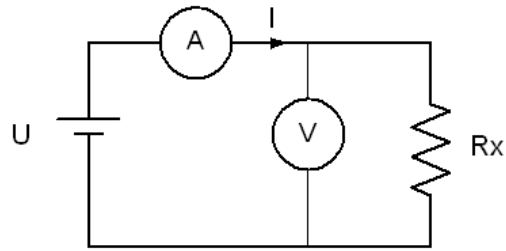
$$T_N = \frac{P_N}{\omega_N}$$

gdzie  $\omega_N = \frac{2\pi n_N}{60}$  jest to prędkość kątowna wirnika wyrażona w [rad/s].

### c. Oszacowanie i pomiar rezystancji uzwojeń

Pomiar rezystancji uzwojenia można przeprowadzić: metodą techniczną, metodą mostkową lub przy użyciu miernika uniwersalnego.

Pomiar rezystancji wirnika wykonuje się metodą techniczną poprawnie mierzonego napięcia, w układzie jak pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Układ o poprawnie mierzonym napięciu

W trakcie pomiaru rezystancji uzwojenia wirnika należy zwrócić uwagę, aby nie mierzyć jej łącznie z rezystancją przejścia na zestyku ślizgowym. Podyktowane jest to dużą zmiennością rezystancji przejścia w funkcji prądu płynącego przez zestyk oraz prędkości wirowania pierścieni ślizgowych względem szczotek, przy czym rezystancja przejścia maleje wraz ze wzrostem prędkości oraz wzrostem wartości płynącego prądu. Zatem napięcie mierzy się bezpośrednio na pierścieniach ślizgowych.

Zmierzone wartości rezystancji zamieścić w tabeli:

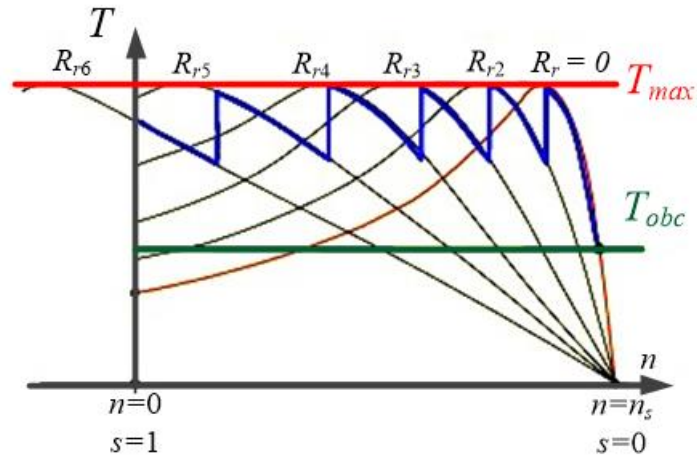
$R_s$ – rezystancja uzwojenia stojana	..... [ $\Omega$ ]
$R_w$ – rezystancja uzwojenia wirnika zmierzona na pierścieniach ślizgowych	..... [ $\Omega$ ]
$R_{wp}$ – suma rezystancji uzwojenia wirnika i przewodów łączących	..... [ $\Omega$ ]

## 2. Rozruch silnika oraz zmiana kierunku wirowania

*Celem tego punktu jest głębsze zrozumienie i praktyczne zapoznanie się z rozruchem i regulacją prędkości kątowej silnika indukcyjnego pierścieniowego poprzez zmianę rezystancji w obwodzie uzwojenia wirnika tego silnika.*

Badany silnik zasilić napięciem trójfazowym o regulowanej wartości. *Rozruchu silnika* dokonać przy użyciu rezystora rozruchowego o rezystancji  $R_r$  włączonego na czas rozruchu w obwód uzwojenia wirnika.

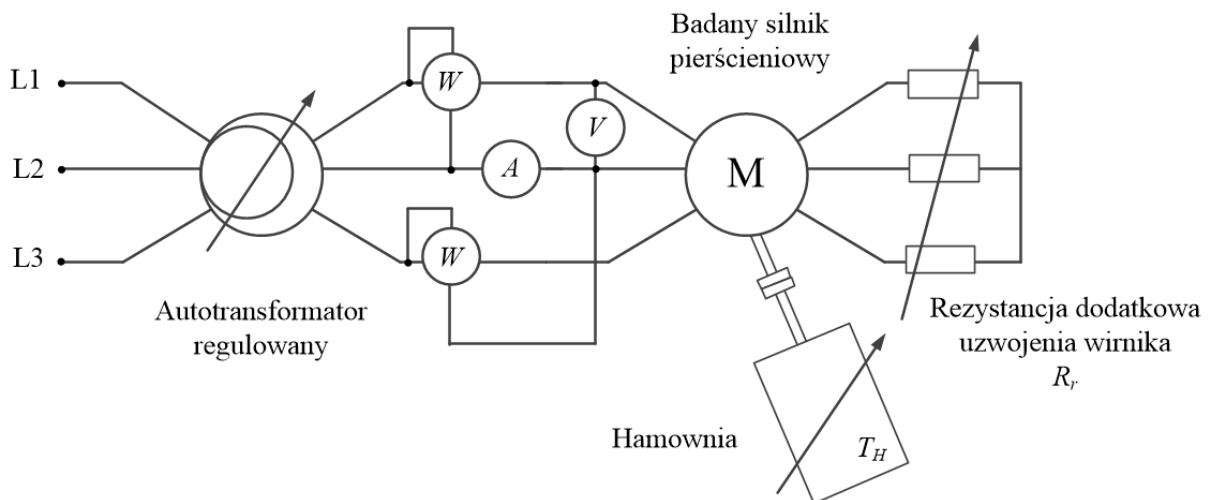
Na rys. 2 pokazano proces rozruchu silnika pierścieniowego za pomocą rezystancji rozruchowej (rozrusznika), gdzie  $s$  to poślizg  $n$  i  $n_s$  odpowiednio prędkość wirowania wirnika i prędkość synchroniczna, przy czym:  $R_{r2} < R_{r3} < \dots < R_{r6}$ .



Rys. 2. Charakterystyki mechaniczne silnika przy rozruchu za pomocą rezystancji rozruchowej w obwodzie uzwojenia wirnika

Zmiana kierunku wirowania wirnika silnika indukcyjnego polega na zmianie kierunku wirowania pola magnetycznego. Kierunek wirowania pola magnetycznego zależy natomiast od kolejności następstwa faz sieci trójfazowej zasilającej uzwojenie stojana silnika indukcyjnego. Zmianę kierunku wirowania wirnika silnika indukcyjnego uzyskuje się zmieniając kolejność faz sieci zasilającej silnik. W praktyce, zmienia się kolejność przyłączenia dwóch dowolnych faz sieci zasilającej na tabliczce zaciskowej albo na wyłączniku silnika.

Rozruch silnika oraz zmianę kierunku wirowania przeprowadzić w układzie pomiarowym pokazanym na rys. 3.

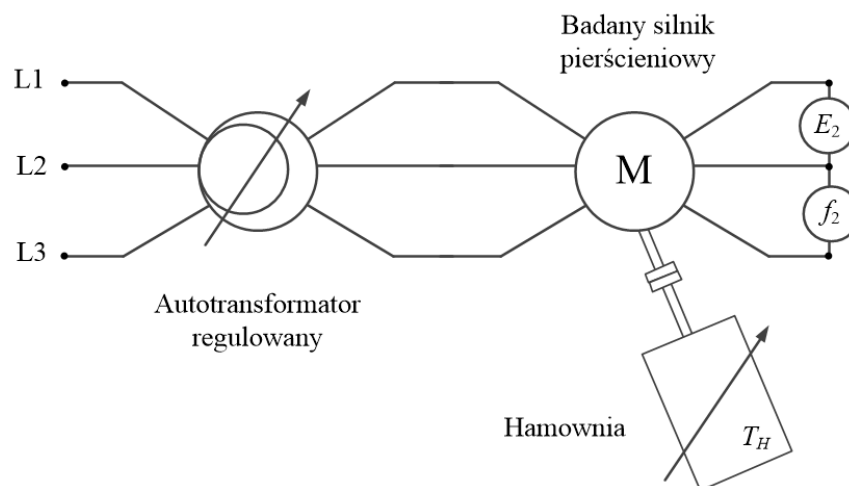


Rys. 3. Układ pomiarowy – rozruch silnika

### 3. Wyznaczenie charakterystyki siły elektromotorycznej $E_2$ oraz częstotliwość $f_2$ w funkcji prędkości obrotowej $n$ dla otwartego obwodu uzwojenia wirnika

Praca silnika indukcyjnego pierścieniowego z otwartym obwodem uzwojenia wirnika  $I_2=0$  przypomina pracę transformatora w stanie jałowym. Podczas pracy z prędkością synchroniczną poślizg w maszynie jest równy zero, częstotliwość  $f_2$  w wirniku ma wartość zero. Pole magnetyczne wytworzone przez uzwojenie stojana nie zmienia położenia względem wirnika i z tego względu w uzwojeniu wirnika nie indukuje się siła elektromotoryczna,  $E_2(f_2)=0$ .

Wykorzystując układ pomiarowy pokazany na rys. 4 (rozrusznik odłączony od obwodu uzwojenia wirnika,  $R_r=\infty$ ), napędzić badany silnik za pomocą hamowni zamieniając prędkość obrotową wirnika w zakresie od  $-0,5$  prędkości synchronicznej, przez zero, do  $+1,5$  prędkości synchronicznej.



Rys. 4. Układ pomiarowy – wyznaczenie charakterystyk  $E_2, f_2=f(n)$

Nastawianą wartość prędkości wirowania silnika oraz indukowane napięcie i częstotliwość w obwodzie uzwojenia wirnika zamieścić w tabeli. Wykreślić charakterystyki  $E_2, f_2=f(n)$ .

L.p.	$n$	$E_2$	$f_2$
	[obr/min]	[V]	[Hz]
1	$-0.5 n_s$		
2			
3			

	$n_k$		
...			
	$n_s$		
$k-1$			
$k$	$1,5 n_s$		

#### 4. Obserwacja wielkości elektrycznych maszyny indukcyjnej pracującej jako silnik, prądnica i hamulec

Celem tego punktu jest obserwacja wskazań watomierzy i uświadamianie kierunku przepływu energii mechanicznej w silniku indukcyjnym pierścieniowym pracującym w 3 zakresach pracy: a) silnikowej, b) prądnicowej i c) hamulcowej.

##### a) Praca silnikowa

Maszyna indukcyjna pracuje jako silnik przy prędkościach  $0 < n < n_1$ , co odpowiada zakresowi poślizgów  $1 > s > 0$ . Moc pobierana z sieci prawie w całości jest zamieniana na moc mechaniczną oddawaną przez wał do napędzanego urządzenia; niewielka część mocy pobranej z sieci jest tracona na ciepło w miedzi i w stali.

##### b) Praca prądnicowa

Maszyna indukcyjna pracuje jako generator (prądnica), jeżeli prędkość wirnika jest większa od prędkości synchronicznej, czyli  $n > n_1$  ( $s < 0$ ). Może to się zdarzyć, gdy maszyna indukcyjna jest połączona z inną maszyną, która ją napędza. Pręty uzwojenia wirnika przecinają pole w przeciwnym kierunku niż przy pracy silnikowej, zmienia się zwrot napięcia indukowanego w uzwojeniu wirnika i kierunek prądu, a także kierunek momentu elektromagnetycznego  $T_e$ , który działa teraz w kierunku przeciwnym do kierunku prędkości. Maszyna indukcyjna podczas pracy prądnicowej oddaje do sieci moc czynną elektryczną, ale pobiera z tej sieci moc elektryczną bierną potrzebną do wytworzenia strumienia magnetycznego.

##### c) Praca hamulcowa

Maszyna indukcyjna jest hamulcem, jeżeli prędkość wirowania wirnika  $n < 0$ , tzn., jeżeli moment elektromagnetyczny maszyny działa w kierunku zgodnym z kierunkiem wirowania

pola, a więc przeciwdziała momentowi zewnętrznemu. Wirnik maszyny załączonej do sieci będzie obracany w kierunku przeciwnym do kierunku prędkości pola magnetycznego, pręty uzwojenia wirnika będą wirowały względem pola z prędkością większą od synchronicznej. Napięcie indukowane w uzwojeniu wirnika  $E_2$  będzie większe od napięcia na biegu jałowym  $E_{20}$ , a częstotliwość tego napięcia większa od  $f_1$ , gdyż przy  $n < 0$  mamy  $s > 1$ . Maszyna pobiera moc mechaniczną i cała ta moc, łącznie z mocą elektryczną pobieraną z sieci, jest w maszynie zamieniana na ciepło. Maszyna jest w takim przypadku hamulcem elektrycznym.

**Przebieg pkt.4 ćwiczenia:** badany silnik połączyć w układzie z rysunku 3. Zmieniając wartość wytwarzanego momentu przez hamownię, wymusza się pracę badanej maszyny z prędkością zmieniającą się od  $-0,5$  prędkości synchronicznej, przez zero, do  $+1,5$  prędkości synchronicznej. Wymusza się w ten sposób trzy podstawowe stany pracy maszyny: pracę hamulcową (przeciw włączenie), pracę silnikową oraz pracę generatorową (hamowanie z odzyskiem energii). Dla powyższych stanów pracy obserwować wskazania watomierzy i uświadamiać sobie kierunek przepływu energii mechanicznej. Zwrócić uwagę na sposób bilansowania się energii w trakcie różnych stanów pracy.

Wnioski zawrzeć w sprawozdaniu.

### Przykładowe pytania kontrolne

1. Podać rodzaje budowy silników indukcyjnych. Wymienić elementy stojana i wirnika silnika indukcyjnego.
2. Co to jest moc znamionowa silnika?
3. Jak definiowana jest sprawność silnika i prądnicy?
4. Co nazywamy napięciem znamionowym wirnika w silniku pierścieniowym?
5. Omówić sposoby rozruchu silników indukcyjnych.
6. Narysować i omówić przebieg charakterystyki mechanicznej silnika indukcyjnego oraz pokazać wpływ na jej przebieg rezystancji dodatkowych włączanych do obwodu uzwojenia wirnika.
7. Narysować schemat zastępczy silnika indukcyjnego i opisać różnice, jakie występują pomiędzy schematem zastępczym silnika indukcyjnego pracującego ze zwartym obwodem uzwojenia wirnika oraz schematem zastępczym transformatora?
8. Przedstawić bilans mocy czynnej pobieranej przez silnik z sieci.
9. Jakich zjawisk należy się spodziewać podczas załączenia silnika do sieci o znamionowym napięciu silnika ze zwartym obwodem uzwojenia wirnika?

### Literatura

1. T. Glinka, *Maszyny elektryczne i transformatory*, praca zbiorowa, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2018
2. W. Przyborowski, G. Kamiński. *Maszyny elektryczne*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2014
3. W. Latek, *Maszyny elektryczne w pytaniach i odpowiedziach*, WNT, 2007
4. H. Rawa, *Elektryczność i magnetyzm w technice*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001
5. Praca zbiorowa, *Poradnik inżyniera elektryka*, Tom 2, WNT Warszawa 2009