

Nauczyciel: Ryszard Szulc

Przedmiot: Maszyny i Urządzenia Elektryczne

Klasa: 3 TE

Temat lekcji: Maszyny indukcyjne

Data lekcji: 06.04.2020 r

Wprowadzenie do tematu:

## **1. Wiadomości ogólne**

Maszyny indukcyjne charakteryzują się prostą budową, dobrymi właściwościami ruchowymi i łatwością obsługi. Te cechy, oraz stosunkowo niewysoka cena, decydują o ich szerokim zastosowaniu w energetyce, budownictwie, rolnictwie, transporcie, gospodarce komunalnej oraz w przemysłowych procesach technologicznych.

Na przykład jednofazowe silniki indukcyjne są powszechnie stosowane w urządzeniach gospodarstwa domowego, urządzeniach technologicznych małej mocy, rzemiośle oraz rolnictwie, a także w pomocniczych napędach przemysłowych.

Wykorzystywanie elementów półprzewodnikowych mocy w sterowaniu pracą silników prądu przemiennego pozwala na łagodne włączanie i hamowanie silników indukcyjnych, natomiast możliwość współpracy z systemami komputerowymi przyczynia się do stosowania nowoczesnych rozwiązań układów sterowania silnikami w układach napędowych o regulowanej i nieregulowanej prędkości obrotowej.

Każda maszyna indukcyjna może pracować jako silnik lub jako prądnica. Znacznie szersze zastosowanie w gospodarce mają silniki indukcyjne stosowane najczęściej w energetyce, małych elektrowniach (wodnych) lub w agregatach prądotwórczych.

## **2. Podział maszyn indukcyjnych**

Maszyny indukcyjne (asynchroniczne) wirujące dzieli się:

**1) ze względu na sposób wykonania obwodów elektrycznych wirnika, na maszyny o wirniku:**

- a) pierścieniowym – z uzwojeniem symetrycznym wielofazowym, połączonym za pomocą pierścieni ślizgowych, np. z rozrusznikiem lub ze źródłem zasilania,
- b) klatkowym – w którym obwody elektryczne wielofazowe wykonane są z połączonych prętów oraz pierścieni odlewanych lub spawanych,
- c) pierścieniowo – klatkowym – z uzwojeniem fazowym przyłączonym do pierścieni ślizgowych oraz uzwojeniem klatkowym (stosowane jako silniki o mocy większej niż 1 MW);

**2) ze względu na zakres parametrów znamionowych, na maszyny indukcyjne:**

- a) niskiego napięcia – o mocy nie większej niż 300 kW,
- b) wysokiego napięcia – o mocy nie mniejszej niż 160 kW,
- c) o częstotliwości 50 – 60 Hz, lub o częstotliwości zwiększonej – np. 150 albo 400 Hz oraz
- d) o częstotliwości do 3500 Hz – silniki do technologii wysokoobrotowej;

**3) ze względu na sposób zasilania, na maszyny indukcyjne:**

- a) jednofazowe – o mocy do 2 kW,
- b) dwufazowe – stosowane jako silniki wykonawcze w grupie maszynowych elementów automatyki,
- c) trójfazowe – najpowszechniej stosowane,
- d) o liczbie faz większej niż 3, stosowane w wielofazowych układach przekształtnikowych;

**4) ze względu na rodzaj ruchu, na maszyny indukcyjne:**

- a) wirujące,
- b) liniowe;

**5) ze względu na sposób przystosowania do warunków środowiskowych i napędowych, o określonym:**

- a) stopniu ochrony,
- b) rodzaju wykonania,
- c) układzie chłodzenia.

Silniki indukcyjne o ruchu innym niż obrotowy stosowane są jako silniki: liniowe, oscylacyjne, wahadłowe, lub o stojanie innym niż cylindryczny, np. łukowym, do napędu pieców obrotowych w cementowniach.

### 3. Budowa maszyn indukcyjnych

Silnik indukcyjny składa się z części nieruchomej w kształcie walca, zwanej **stojanem**, i części ruchomej zwanej **wirnikiem**, także w kształcie walca (Rys. 1).

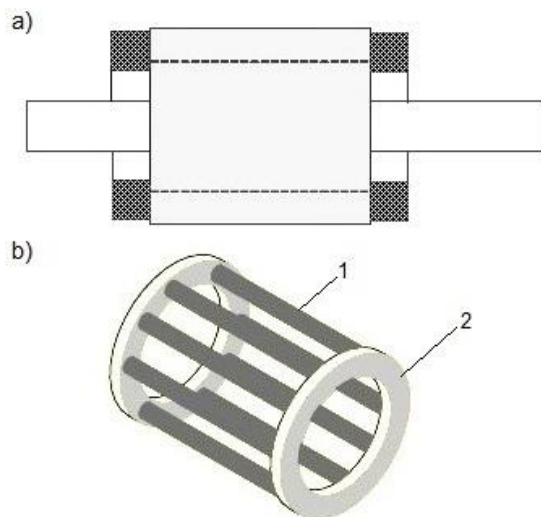
**Obwód magnetyczny** – tworzą rdzenie stojana i wirnika, wykonane w formie pakietu z blach odizolowanych od siebie o ok. 0,5 mm (Rys. 2). Stojan i wirnik są oddzielone od siebie szczeliną powietrzną o grubości rzędu kilku dziesiątych mm w małych maszynach i od 1 do 3 mm w dużych (pow. 20 kW).

Na całym obwodzie rdzenia stojana i wirnika wycina się rowki o specjalnym kształcie, zwane żłobkami, w których umieszcza się uzwojenia. Rdzeń stojana umieszcza się w kadłubie maszyny, natomiast rdzeń wirnika – w maszynach małej mocy na wale, natomiast w maszynach o dużych mocach na piaście.

**Obwód elektryczny stojana silnika trójfazowego** – składa się z trzech oddzielnych uzwojeń zwanych fazami, które w czasie pracy są połączone w gwiazdę lub w trójkąt. W małych silnikach stosuje się w stojanie uzwojenia jednofazowe lub dwufazowe. Uzwojenia stojanów wykonuje się z izolowanego drutu nawojowego, dodatkowo impregnowanego i usztywnionego. Uzwojenia są odizolowane od rdzenia izolacją żłobkową, zabezpieczone przed wypadaniem ze żłobka za pomocą klinów.

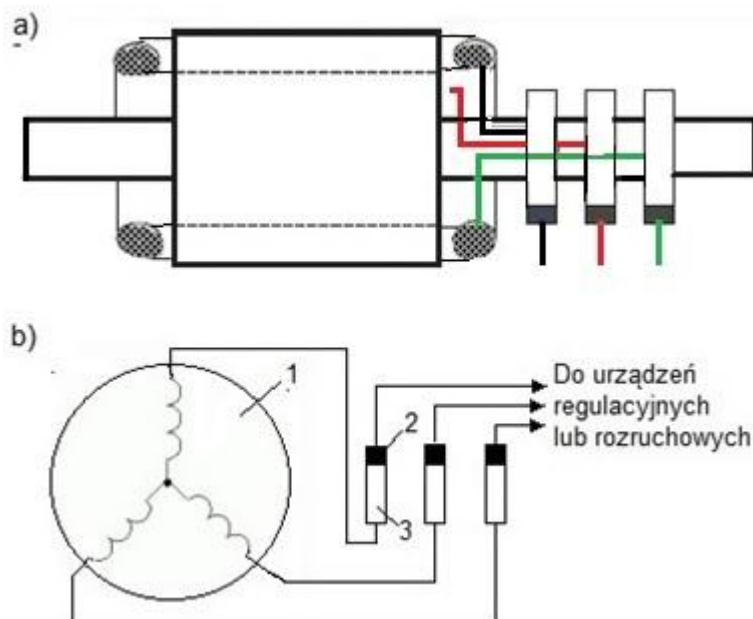
#### 3.1. Rodzaje budowy wirników silników indukcyjnych

W praktyce maszyny asynchroniczne stosowane są jako silniki indukcyjne, które ze względu na rodzaj wirnika (Rys 3 i 4) dzieli się na:



– klatkowe,

– pierścieniowe.



**1) Uzwojenie wirnika klatkowego** jest wykonane z niez izolowanych prętów (miedzianych, aluminiowych, mosiężnych lub brązowych) o dużym przekroju, całkowicie wypełniających żłobek, połączonych po obu stronach wirnika pierścieniami zwierającymi (Rys. 2).

Obwód magnetyczny wirnika wykonany jest w postaci pakietu blach stalowych z dodatkiem krzemu, wzajemnie od siebie odizolowanych, złożonych w pakiet jedna na drugą.

Obwód elektryczny wirnika jest zawsze zwarty (stąd nazwa silnika).

Klatka stanowi uzwojenie wielofazowe o liczbie faz równej liczbie prętów, z których jest wykonana.

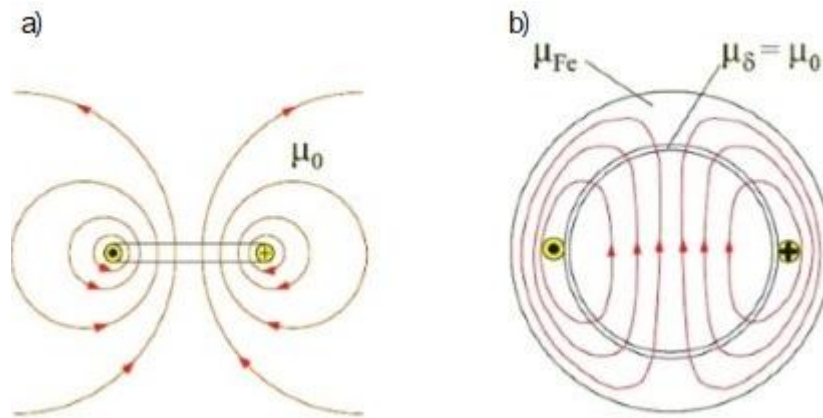
**2) Uzwojenie wirnika pierścieniowego** jest wykonane, podobnie jak w stojanie, z drutu nawojowego, co umożliwia przyłączenie do każdej fazy obwodu wirnika dodatkowej rezystancji.

Aby było to możliwe, początki poszczególnych faz uzwojenia wirnika silnika pierścieniowego są przyłączone na stałe do pierścieni ślizgowych osadzonych na wale wirnika (Rys. 3), natomiast końce – są zwarte wewnątrz wirnika.

### **3.2. Obwód magnetyczny silnika indukcyjnego**

Obwodem magnetycznym silnika indukcyjnego nazywa się zespół elementów wykonanych najczęściej z materiałów ferromagnetycznych, tworzących drogę zamkniętą dla strumienia magnetycznego, powstającego w wyniku działania źródła pola magnetycznego (Rys.4). Źródłem pola magnetycznego i wytworzonego zmiennego strumienia magnetycznego w silniku indukcyjnym jest uzwojenie, przez które przepływa prąd elektryczny przemienny.

Trójfazowe uzwojenie stojana składa się z trzech cewek, przesuniętych względem siebie w przestrzeni o kąt  $120^\circ$  przy jednej parze biegunów ( $p = 1$ ). Początki i końce cewek przyłączone są do tabliczki zaciskowej silnika, w sposób umożliwiający łączenie poszczególnych faz w gwiazdę lub trójkąt. Do tabliczki zaciskowej uzwojenie stojana przyłącza się przewody fazowe sieci zasilającej L1, L2 i L3.

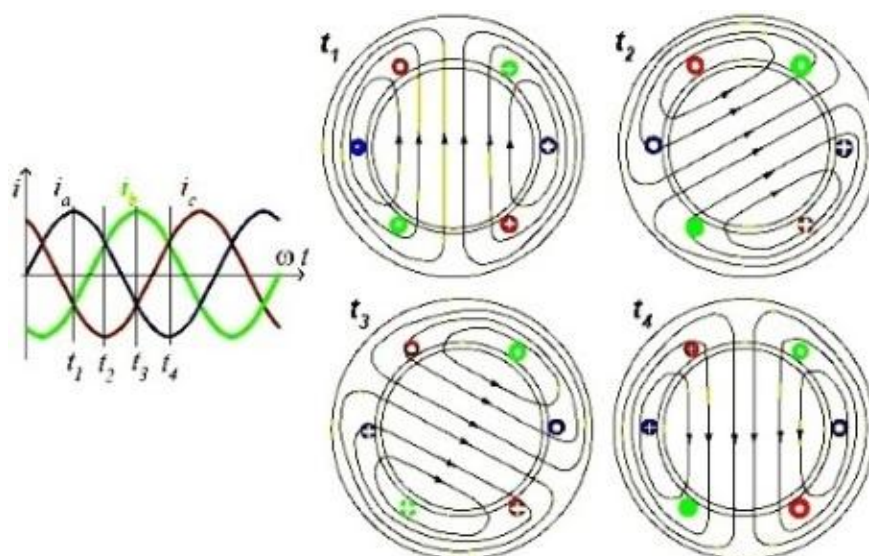


- a) Strumień magnetyczny cewki z prądem w ośrodku o  $\mu = \mu_0$
- b) Strumień magnetyczny cewki z prądem w rdzeniu stojana silnika  
 $0 \mu_{Fe} \gg \mu_0$

Oznaczenia:  $\mu_0$  – przenikalność magnetyczna w próżni,  $\mu_{Fe}$  – przenikalność magnetyczna w rdzeniu ferromagnetycznym,  $\mu_\delta$  – przenikalność magnetyczna w szczelinie powietrznej

Trójfazowe uzwojenie stojana składa się z trzech cewek, przesuniętych względem siebie w przestrzeni o kąt  $120^\circ$  przy jednej parze biegunów ( $p = 1$ ). Początki i końce cewek przyłączone są do tabliczki zaciskowej silnika, w sposób umożliwiający łączenie poszczególnych faz w gwiazdę lub trójkąt. Do tabliczki zaciskowej uzwojenie stojana przyłącza się przewody fazowe sieci zasilającej L1, L2 i L3.

Strumień wypadkowy ma wartość stałą, niezależną od czasu i wiruje w przestrzeni ze stałą prędkością kątową, zależną od częstotliwości prądu i liczby par biegunów maszyny.



**Powstawanie strumienia wirującego**

Jeżeli uzwojenie stojana jest zasilane napięciem trójfazowym, powstaje pole magnetyczne pochodzące od uzwojenia stojana, wirujące z prędkością ( $n_1$ ). Prędkość ta zależy od częstotliwości ( $f_1$ ) i liczby par biegunów ( $p$ ) uzwojenia zgodnie z wzorem:

$$n_1 = \frac{60f_1}{p}$$

Uzwojenie stojana zasilane napięciem trójfazowym wytwarza pole magnetyczne wirujące z prędkością obrotową strumienia magnetycznego ( $n_s$ ). Jest to prędkość synchroniczna, która zależy od częstotliwości ( $f$ ) i liczby par biegunów ( $p$ ), zgodnie ze wzorem:

$$n_s = \frac{f}{p}$$

Przy prędkości wirowania wirnika ( $n$ ) pole obraca się względnie wirnika z prędkością:

$$n_2 = n_1 - n$$

Wielkością charakterystyczną dla maszyn indukcyjnych jest **poślizg  $s$** ; jako stosunek prędkości pola względem wirnika do prędkości synchronicznej, czyli:

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

Gdy wirnik silnika pozostaje nieruchomy, czyli  $n = 0$ , to poślizg  $s = 1$ , a gdy wirnik wiruje synchronicznie ze strumieniem z prędkością  $n = n_s$ , to poślizg  $s = 0$ .

Przeciętne wartości poślizgu przy obciążeniu znamionowym mieszczą się w granicach od 0,01 (dla dużych maszyn) do 0,1 (dla bardzo małych maszyn).

Prędkość wirowania wirnika jest tym większa, im mniejszy jest poślizg:

$$n = n_1 (1 - s)$$

W polu wirującym stojana jest umieszczony wirnik z uzwojeniem. W czasie gdy wirnik jest jeszcze nieruchomy  $n = 0$ , pole wirujące stojana względem wirnika przecina pręty wirnika, indukując w nich siłę elektromotoryczną:

$$E_{20} = 4,44k_{u2}N_2f_1\Phi$$

gdzie:

$E_{20}$  – siła elektromotoryczna indukowana w nieruchomym wirniku, w V;  
 $k_{u2}$  – współczynnik uzwojenia wirnika;  
 $N_2$  – liczba zwojów uzwojenia wirnika;  
 $f_1$  – częstotliwość napięcia zasilającego, w Hz;  
 $\Phi$  – strumień główny (wirujący), w Wb.

Strumień wirujący indukuje również siłę elektromotoryczną ( $E_1$ ) w uzwojeniu stojana:

$$E_1 = 4,44 k_{u1} N_1 f_1 \Phi$$

gdzie:

$k_{u1}$  – współczynnik uzwojenia stojana,  
 $N_1$  – liczba zwojów uzwojenia stojana.

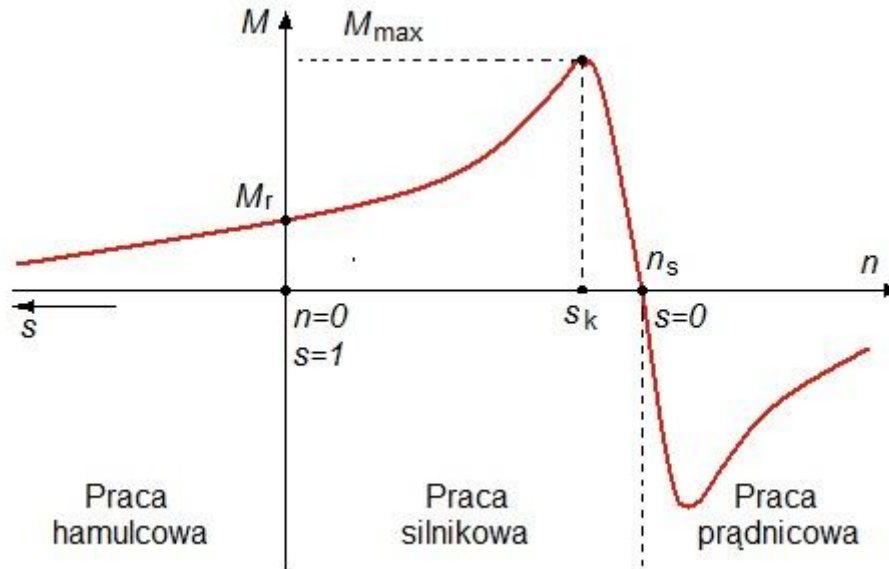
#### Rodzaje pracy maszyny indukcyjnej

W zależności od rodzaju przetwarzanej energii każda maszyna elektryczna może pracować jako prądnica lub silnik (bez zasadniczych zmian konstrukcyjnych). Z tego względu rozróżnia się następujące rodzaje pracy maszyny indukcyjnej: (Rys. 8)

- 1) Praca prądnicowa – przetwarzająca energię mechaniczną na elektryczną;
- 2) Praca silnikowa – przetwarzająca energię elektryczną na mechaniczną;
- 3) Przetwornice – przetwarzają energię elektryczną na taką samą energię, lecz o innych parametrach, np. przetwornice: częstotliwości, napięcia, prądu.

Pod wpływem indukowanego w zamkniętym uzwojeniu wirnika napięcia  $E_{20}$  (SEM), popłynie w tym uzwojeniu prąd. Oddziaływanie pola magnetycznego na przewodnik z prądem powoduje powstanie momentu elektromagnetycznego ( $M$ ). Jeżeli wytworzony moment osiągnie wartość większą niż moment obciążenia (moment hamujący –  $M_h$ ), pochodzący od napędzanej maszyny roboczej oraz tarcia, to wirnik zacznie się obracać. Maszyna pracuje jako silnik przetwarzając pobraną z sieci energię elektryczną na energię mechaniczną. W stanie obciążenia silnika momentem znamionowym wirnik wiruje z prędkością mniejszą od prędkości synchronicznej.





Rodzaje pracy maszyny indukcyjnej

Instrukcje do pracy własnej:

Zapoznać się z tematem / przypomnieć

Praca własna:

Najważniejsze informacje wpisać / umieścić / wkleić w zeszyte

Informacja zwrotna:

SCAN-y stron zeszytu, podpisane imieniem i nazwiskiem, z datą, z umieszczonymi informacjami przesłać:

szulc@zs9elektronik.pl

