

MASZYNY PRADU ZMIENNEGO

Maszyny indukcyjne (asynchroniczne) wirujące można dzielić się:

1) ze względu na sposób wykonania obwodów elektrycznych wirnika:

- maszyny o wirniku pierścieniowym z uzwojeniem symetrycznym wielofazowym, połączonym za pomocą pierścieni ślizgowych, np. z rozrusznikiem lub ze źródłem zasilania;
- maszyny o wirniku klatkowym, w którym obwody elektryczne wielofazowe wykonane są z połączonych prętów oraz pierścieni odlewanych lub spawanych;
- maszyny o wirniku 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:

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

3) ze względu na sposób zasilania:

- maszyny indukcyjne jednofazowe - o mocy do 2 kW;
- maszyny indukcyjne dwufazowe - stosowane jako silniki wykonawcze w grupie maszynowych elementów automatyki;
- maszyny indukcyjne trójfazowe - najpowszechniej stosowane;
- maszyny indukcyjne o liczbie faz większej niż 3, stosowane w wielofazowych układach przekształtnikowych.

4) ze względu na rodzaj ruchu:

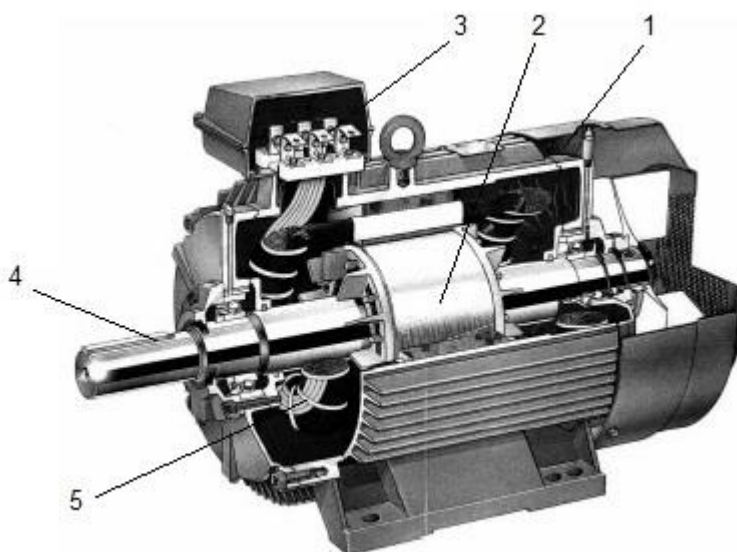
- maszyny indukcyjne wirujące;
- maszyny indukcyjne liniowe.

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

- stopniu ochrony;
- rodzaju wykonania;
- 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.

Budowa maszyn indukcyjnych



Rys. 1. Silnik indukcyjny

Oznaczenia: 1 - stojan, 2 - wirnik, 3 - tabliczka zaciskowa, 4 - wał silnika, 5 - uzwojenie stojana,
Źródło - ABB motors

Maszyna indukcyjna składa się z części nieruchomej w kształcie walca, zwanej **stojanem**, i części ruchomej zwanej **wirnikiem**, także w kształcie walca.

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.

Uzwojenie 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.

1. Rodzaje budowy wirników silników indukcyjnych

W praktyce maszyny asynchroniczne stosowane są jako silniki.

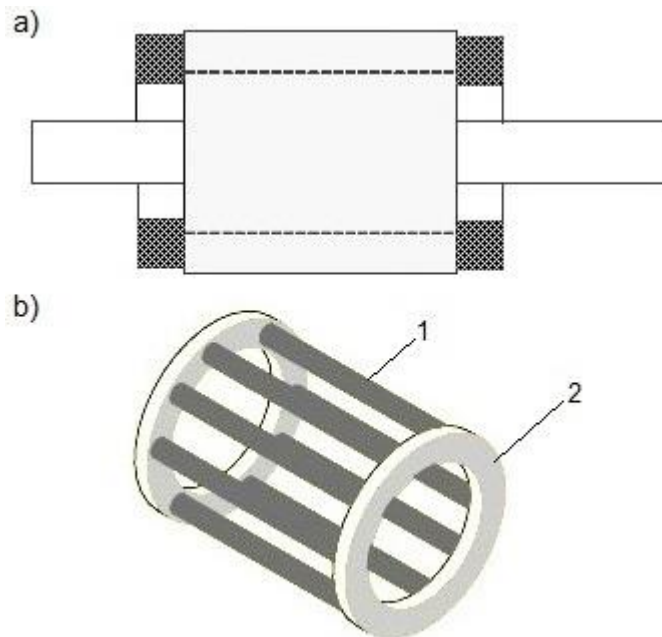
Silniki indukcyjne ze względu na rodzaj wirnika (Rys 3 i 4) dzieli się na:

- klatkowe,
- pierścieniowe.

1) Uzwojenia wirnika klatkowego, mogą być wykonane z nieizolowanych 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 odizolowanych, złożonych jedna na drugą.

Obwód elektryczny wirnika jest zawsze zwarty (stąd nazwa silnika). Klatka stanowi wielofazowe uzwojenie wirnika, o liczbie faz równej liczbie prętów, z których jest wykonana.

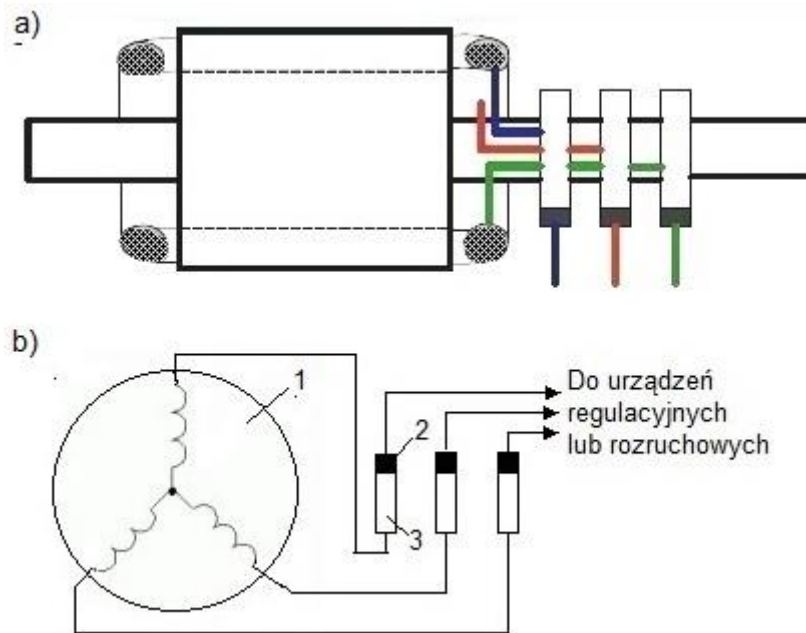


Rys. 2. Wirnik z uzwojeniem klatkowym maszyny indukcyjnej

a) przekrój wirnika klatkowego, b) uzwojenie klatkowe, wirnika

Oznaczenia: 1- pręty, 2 - pierścień zwierający czołowy

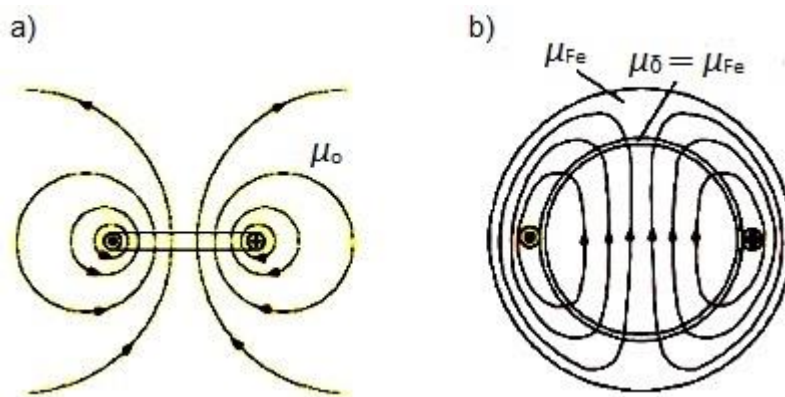
2) Uzwojenie wirnika pierścieniowego jest wykonane, podobnie jak w stojanie, z drutu nawojowego. Jeżeli uzwojenie wirnika jest wykonane z drutu nawojowego, to istnieje możliwość przyłączenia do każdej fazy obwodu wirnika dodatkowej rezystancji. Aby było to możliwe, początki poszczególnych faz uzwojenie wirnika silnika pierścieniowego są przyłączone na stałe do pierścieni ślizgowych, osadzonych na wale wirnika (Rys. 3). Końce poszczególnych faz uzwojenia wirnika są zwarte w wirniku.



Rys 3. Wirnik pierścieniowy

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.



Rys. 4. Obwód magnetyczny silnika indukcyjnego

a) Strumień magnetyczny cewki z prądem w ośrodku o $\mu = \mu_0$

b) Strumień magnetyczny cewki z prądem w rdzeniu stojana silnika o $\mu_{Fe} \gg \mu_0$

Oznaczenia: μ_0 - przenikalność magnetyczna w próżni, μ_{Fe} - przenikalność magnetyczna w rdzeniu ferromagnetycznym, μ_0 - przenikalność magnetyczna w szczelinie powietrznej

Trójfazowe uzwojenie stojana składa się z trzech cewek, przesuniętych względem siebie w przestrzeni o kąt 120° 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, L3.

Po włączeniu do sieci, w trzech uzwojeniach stojana, przesuniętych względem siebie o kąt 120° , płyną prądy fazowe sinusoidalne o wartości chwilowej i_1, i_2, i_3 , przesuniętych względem siebie w czasie o $1/3$ okresu, co można wyrazić wzorami:

$$\begin{aligned}i_1 &= I_m \sin \omega t \\i_2 &= I_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \\i_3 &= I_m \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right)\end{aligned}$$

Przebiegi tych prądów w czasie przedstawiono graficznie na rysunku 6.

Prądy i_1, i_2, i_3 wytwarzają w uzwojeniach poszczególnych faz stojana strumienie magnetyczne $\Phi_{L1}, \Phi_{L2}, \Phi_{L3}$, czyli:

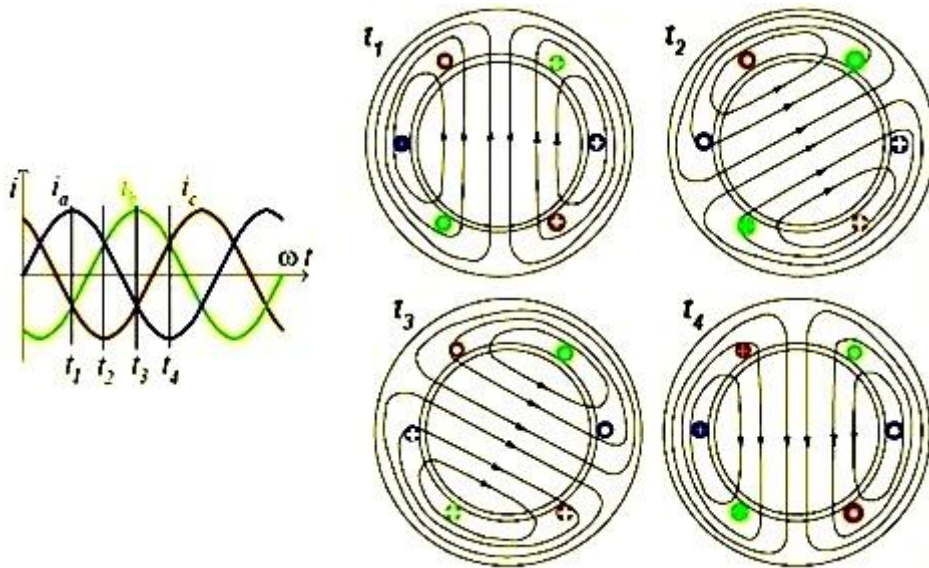
$$\begin{aligned}\Phi_{L1} &= \Phi_m \sin \omega t \\ \Phi_{L2} &= \Phi_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \\ \Phi_{L3} &= \Phi_m \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right)\end{aligned}$$

gdzie: Φ_m - wartość maksymalna strumienia jednej cewki.

W przestrzeni strumienie te zajmują położenie niezmiennie w stosunku do nieruchomych cewek i są względem siebie przesunięte o kąt 120° . Dają one w każdej chwili strumień wypadkowy, równy sumie geometrycznej strumieni składowych, czyli

$$\Phi = \Phi_{L1} + \Phi_{L2} + \Phi_{L3}$$

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.



Rys. 6. 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:

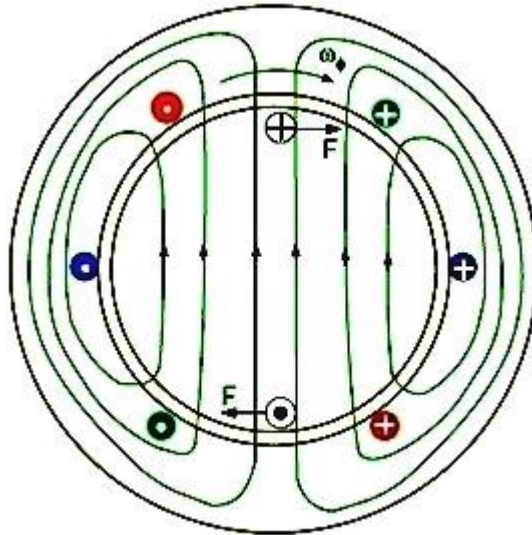
$$n_1 = \frac{60f_1}{p}$$

Zasada działania silnika indukcyjnego

Oznaczanie podstawowych wielkości występujących w maszynie indukcyjnej przyjmuje się następująco:

- wielkości odnoszące się do stojana oznacza się wskaźnikiem 1, np. U_1, N_1, f_1, n_1 ,
- wielkości odnoszące się do wirnika oznacza się wskaźnikiem 2, np. U_2, N_2, f_2 ,
- wielkości opisujące bieg jałowy (bez obciążenia) - wskaźnikiem 0,
- wielkości opisujące stan zwarcia - wskaźnikiem z.

Prędkość n , z jaką wiruje wirnik, oznacza się bez żadnego wskaźnika.



Rys.7. Zasada działania silnika indukcyjnego

Większość znajdujących się w użyciu maszyn indukcyjnych to maszyny trójfazowe. Maszyny te składają się z nieruchomego stojana, w którym umieszczone jest uzwojenie trójfazowe, zasilane z sieci elektroenergetycznej, oraz wirnika klatkowego lub pierścieniowego.

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 uzwojenia, zgodnie ze wzorem:

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

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} :

$$E_{20} = 4,44 k_{u2} N_2 f_1 \Phi$$

gdzie:

- E_{20} - siła elektromotoryczna indukowana w nieruchomym wirniku;
- k_{u2} - współczynnik uzwojenia wirnika;
- N_2 - liczba zwojów uzwojenia wirnika;
- f_1 - częstotliwość napięcia zasilającego;
- Φ - strumień główny (wirujący).

Strumień wirujący indukuje również siłę elektromotoryczną E_1 w uzwojeniu stojana:

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

gdzie:

- $k_{\sigma 1}$ - współczynnik uzwojenia stojana,
- N_1 - liczba zwojów uzwojenia stojana.

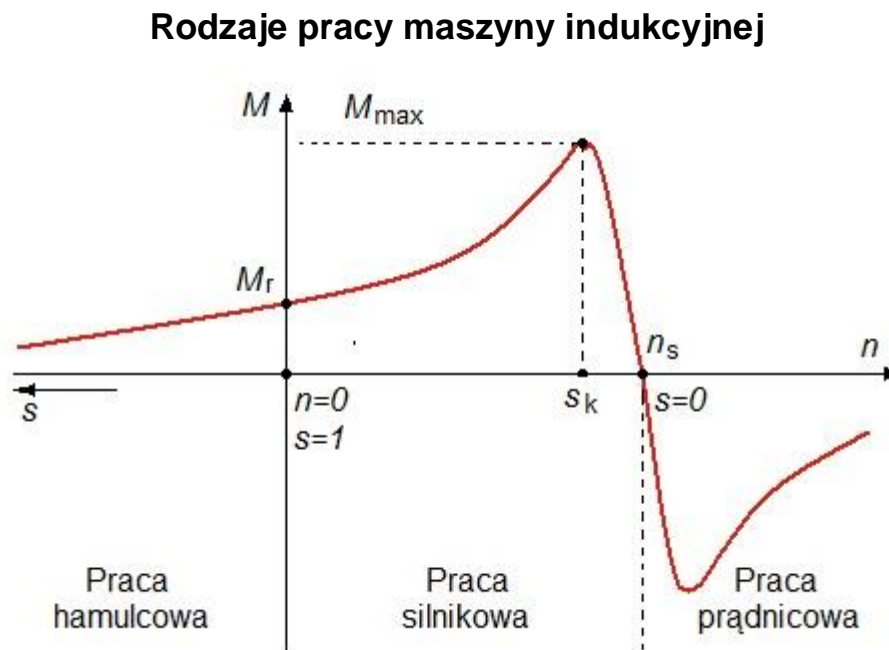
W zależności od rodzaju przetwarzanej energii każda maszyna elektryczna może pracować jako prądnica lub silnik (bez zasadniczych zmian konstrukcyjnych). Z tego względu rozróżnia się następujące rodzaje pracy maszyny indukcyjnej (Rys. 8):

- 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.

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

$$n_2 = n_1 - n$$



Rys. 8. Rodzaje pracy maszyny indukcyjnej

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:

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