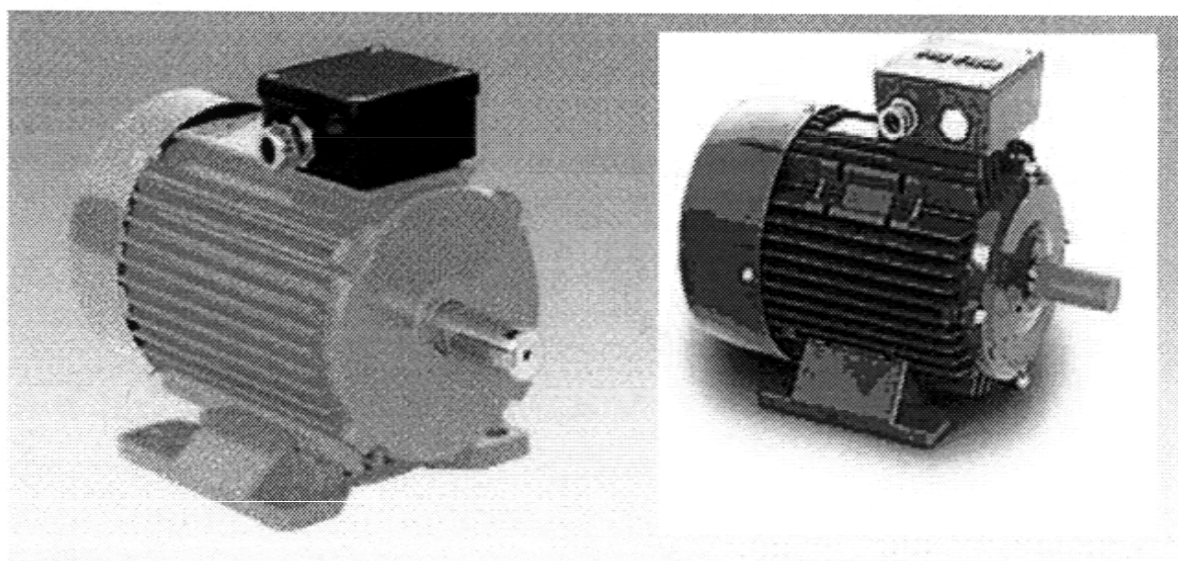


Wykład 2

Silniki indukcyjne asynchroniczne

Budowa silnika indukcyjnego



Budowa silnika indukcyjnego

Tabliczka znamionowa zawiera podstawowe informacje o silniku:

- znamionowe parametry elektryczne (prąd, napięcie, częstotliwość, współczynnik mocy),
- znamionowe parametry mechaniczne (moc, sprawność, prędkość wirowania, masa),
- informacje uzupełniające (typ silnika, nazwa lub symbol producenta, rok produkcji, numer fabryczny)

Budowa silnika indukcyjnego

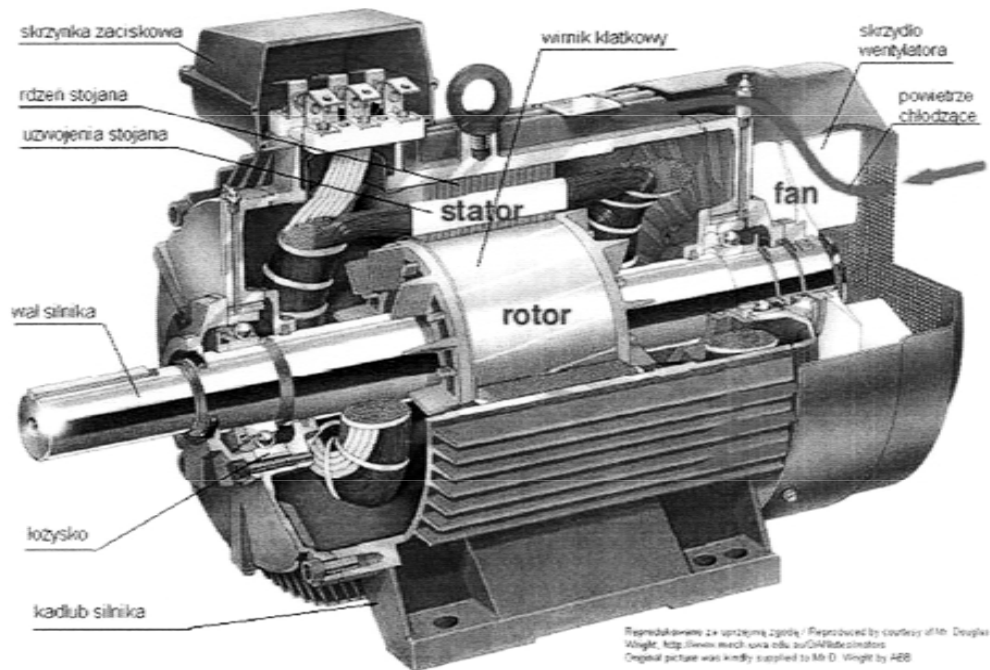
Tabliczka zaciskowa zawiera zaciski przyłączeniowe, za pomocą których obwody elektryczne maszyny łączą się z siecią zasilającą.

Silniki indukcyjne trójfazowe mają zazwyczaj sześć zacisków, do których są przyłączone końce uzwojeń stojana. Początki uzwojeń oznaczają się literami U1, V1, W1, a odpowiednie końce U2, V2, W2.

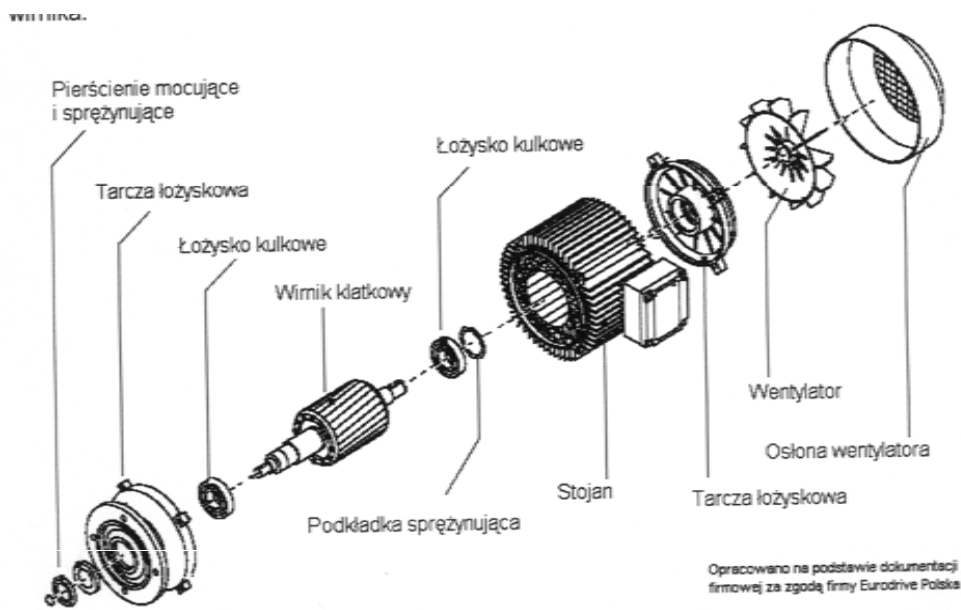
Wał napędowy to element, który jest mechanicznie łączony z urządzeniem napędzanym i za jego pośrednictwem wytwarzana w silniku energia mechaniczna przekazywana jest temu urządzeniu

Obudowa silnika stanowi ochronę przed szkodliwym oddziaływaniem środowiska na silnik oraz ochronę środowiska (w tym człowieka) przed zagrożeniami jakie stwarza silnik

Budowa silnika indukcyjnego



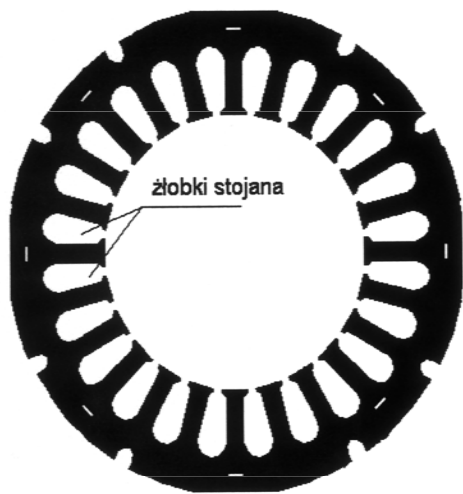
Budowa silnika indukcyjnego



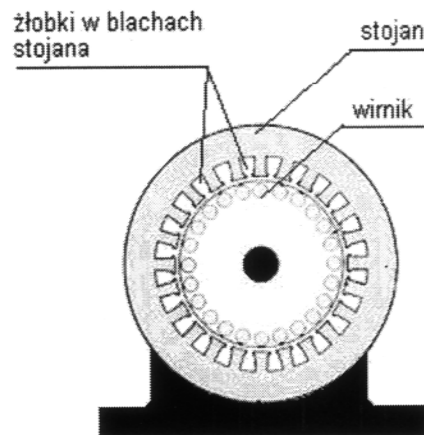
Rys. 21 budowa silnika klatkowego małej mocy.

Silnik indukcyjny – materiały do wykładów

Budowa silnika indukcyjnego

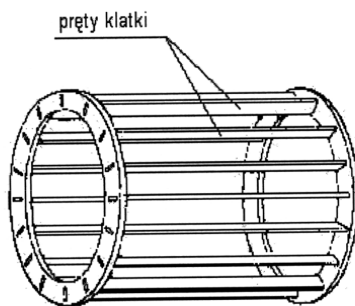


Rys. 13 – Przekrój stojana. Widoczne są żłobki w których prowadzone jest następnie uzwojenie.

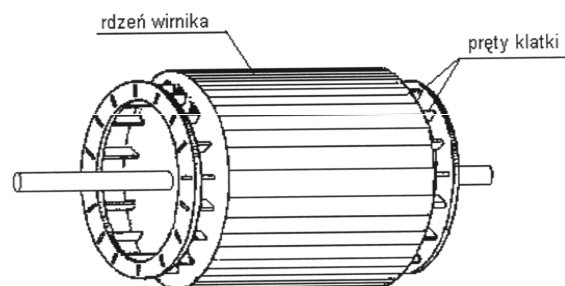


Rys. 14 – Budowa silnika indukcyjnego.

Budowa silnika indukcyjnego



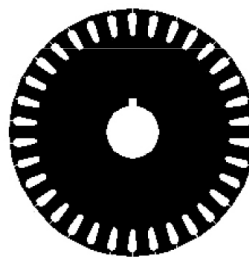
Rys. 15 – Widok klatki wirnika silnika indukcyjnego.



Rys. 16 – widok wirnika klatkowego.

Silnik pierścieniowy

Wirnik w silniku pierścieniowym posiada uzwojenia nawinięte przewodami izolowanymi. Przewody prowadzone są w żłobkach blach wirnika.



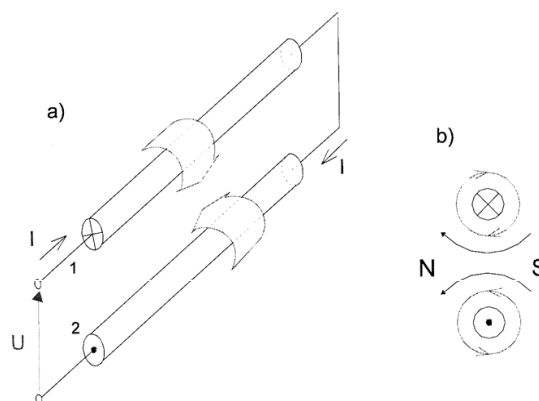
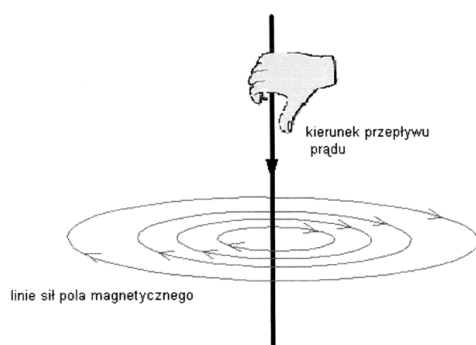
Uzwojenie wirnika najczęściej połączenie są w gwiazdę. Wolne końce uzwojeń dołączone są do pierścieni osadzonych na wale wirnika.



Zasada działania

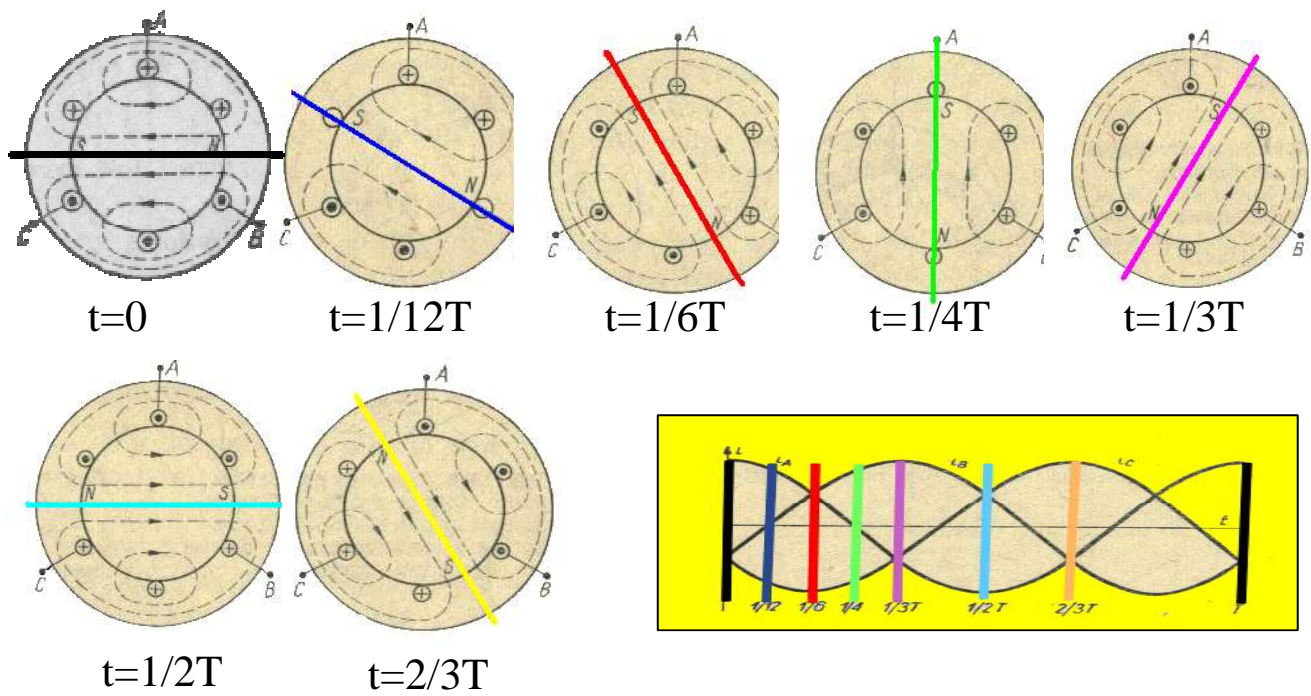
Podstawy fizyczne działania silnika indukcyjnego

Sytuację tą przedstawia poniższy rysunek.

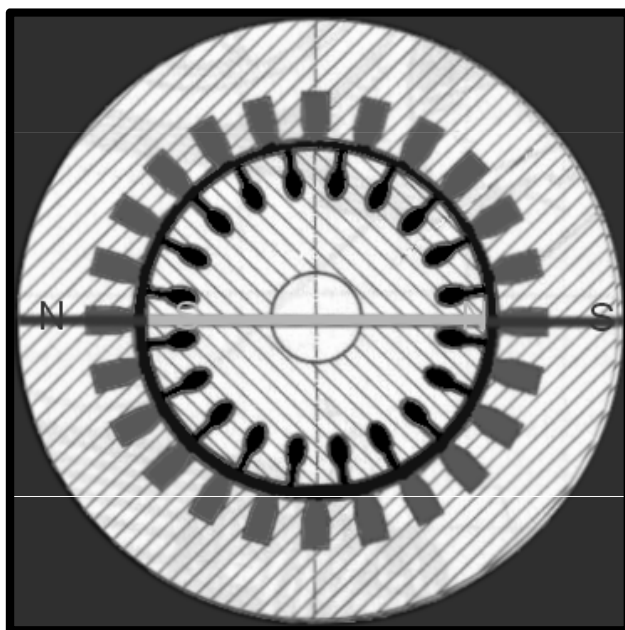


Rys. 3 – Pole magnetyczne w układzie dwóch równoległych przewodników z prądem.

Zasada działania



Zasada działania



Wypadkowe pole wirnika

Wypadkowe pole stojana

Zasada działania

Różnica między prędkością pola wirującego (synchroniczną) n_s , a prędkością wirnika n podzielona przez n_s , nazywa się poślizgiem

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

s - poślizg,
 n_s - prędkość synchroniczna,
 n - prędkość wirnika.

Zasada działania

Warunek istnienia poślizgu musi być spełniony, gdyż:

- nie byłyby przecinane przez linie pola,
- siła elektromotoryczna zmalałaby do zera,
- nie utworzyłoby się pole wokół uzwojeń wirnika,
- nie powstałby moment obrotowy

Zasada działania

Równanie ruchu elektromechanicznego

$$M = M_d + M_m$$

$$M_d = J \frac{d\omega_m(t)}{dt}; M_m = M_{obc} + M_o$$

M - moment elektromagnetyczny; **M_d** - moment dynamiczny; **M_m** - moment mechaniczny; **M_{obc}** - moment obciążenia; **M_o** - moment strat własnych; **J** - moment bezwładności układu wirującego; $\frac{d\omega_m(t)}{dt}$ - zmiana prędkości wirnika w czasie *dt*.

Zasada działania

Wirnik silnika będzie wprowadzony w ruch obrotowy jeśli:

- ☐ istnieje pole wirujące stojana,
- ☐ uzwojenia wirnika są zwarte,
- ☐ moment elektromagnetyczny silnika jest większy od momentu mechanicznego i momentu bezwładności.

Moment silnika i jego charakterystyka mechaniczna

Moc czynna pobrana przez silnik indukcyjny podczas pracy:

$$P = \sqrt{3} U_p I_p \cos(\varphi) = 3 U_f I_f \cos(\varphi)$$

gdzie:

U_p, I_p – napięcie i prąd przewodowy stojana,

U_f, I_f – napięcie i prąd fazowy stojana,

φ – kąt przesunięcia fazowego pomiędzy napięciem zasilającym i prądem

Moc pobrana z sieci zmniejsza się o moc strat w uzwojeniach stojana:

gdzie:

$$P - \Delta P_{cu} = P_{el-s}, \quad \Delta P_{cu} = 3 I_1^2 R_1$$

P – moc pobierana z sieci,

ΔP_{cu} – moc strat w uzwojeniu stojana,

P_{el-s} – moc pola elektromagnetycznego wytworzonego przez uzwojenie stojana

I_1 – prąd fazowy stojana,

R_1 – rezystancja stojana mierzona w stanie nagrzanym.

Moment silnika i jego charakterystyka mechaniczna

Straty pola w wirniku:

$$\Delta P_w = s P_{el-s}$$

Całkowita moc zamieniona na moc mechaniczną:

$$P_m = P_{el-s} - s P_{el-s} = P_{el-s} (1 - s) = \sqrt{3} U_p I_p \cos(\varphi) \eta$$

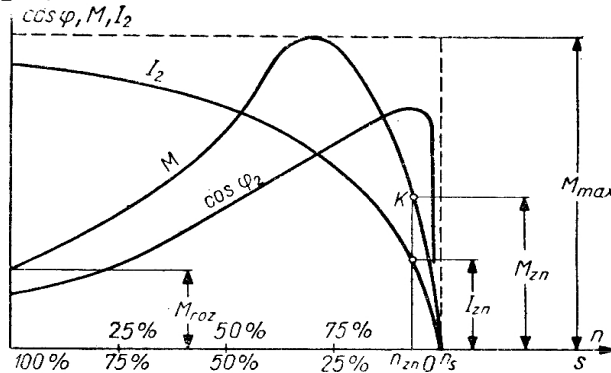
gdzie:

η – sprawność

$$\eta = \frac{P_m}{P} = \frac{P_m}{P_m + \sum \Delta P}$$

Moment silnika i jego charakterystyka mechaniczna

Moment obrotowy silnika indukcyjnego – działanie strumienia wirującego na prąd w wirniku. Ponieważ prąd jest zmienny, należy uwzględnić nie tylko jego wartość, lecz także przesunięcie fazowe między SEM, a prądem.



$$M = c \Phi I_2 \cos(\varphi_2)$$

Związek między mocą P, a momentem siły M:

$$M = \frac{P}{\omega} [Nm] = 975 \frac{P}{n} [kW] = 716 \frac{P}{n} [KM]$$

Moment silnika i jego charakterystyka mechaniczna

Charakterystyka mechaniczna silnika indukcyjnego – zależność momentu na jego wale od prędkości obrotowej silnika.

$$M = kU^2 \frac{1}{As + \frac{B}{s}}$$

gdzie:

k – współczynnik proporcjonalności,

U – wartość skuteczna napięcia zasilającego silnik,

A – stała konstrukcyjna silnika zależna od indukcyjność uzwojeń stojana i wirnika,

B – stała konstrukcyjna zależna od rezystancji obwodu wirnika

s – poślizg względny.

Wzór Klossa

$$\frac{M}{M_k} = \frac{2}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}$$

gdzie:

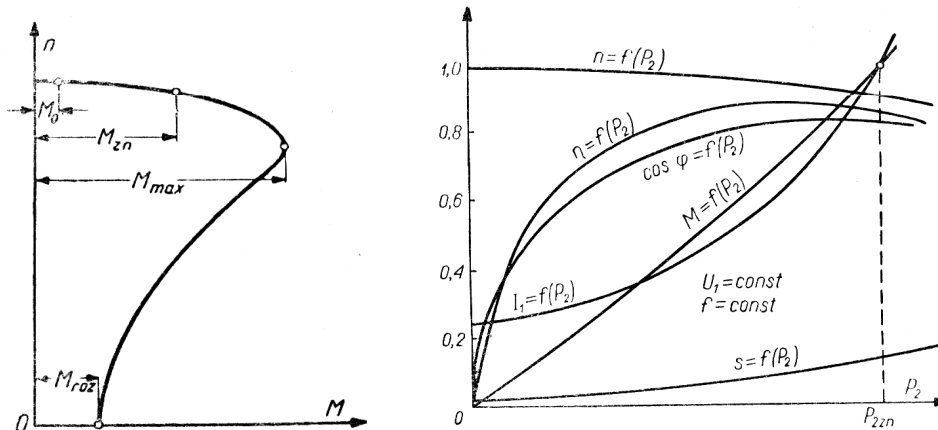
M – moment silnika,

M_k – moment krytyczny silnika,

s – poślizg, s_k – poślizg krytyczny,

Moment silnika i jego charakterystyka mechaniczna

Charakterystyka zewnętrzna silnika indukcyjnego



gdzie:

P_2 – moc oddana przez silnik na wale,

n – prędkość obrotowa,

M – moment obrotowy,

η - sprawność

$\cos(\varphi)$ - współczynnik mocy

Katedra Sterowania i Inżynierii Systemów

21

Rozruch silników indukcyjnych

Rozruch silnika indukcyjnego – okres przejściowy od postoju do stanu pracy ustalonej, przy prędkości wirowania wirnika odpowiadającej narzuconym warunkom zasilania i obciążenia

Rozruch jest możliwy – występuje nadwyżka momentu elektromagnetycznego nad momentem mechanicznym (**moment dynamiczny**)

Sposoby rozruchu:

- x- Rozruch bezpośredni,
- x- Rozruch z zastosowaniem przełącznika gwiazda – trójkąt,
- x- Rozruch za pomocą autotransformatora,
- x- Układ miękkiego rozruchu silnika (soft-start)
- x- Rozruch silników asynchronicznych pierścieniowych.

Katedra Sterowania i Inżynierii Systemów

22

Rozruch silników indukcyjnych

Rozruch bezpośredni – załączenie silnika ze zwartym uzwojeniem wirnika bezpośrednio do sieci na napięcie znamionowe przy częstotliwości znamionowej. Dopuszcza się rozruch silników o małych mocach jednostkowych, rzędu kilku – kilkunastu kW (zależnie od sztywności sieci zasilającej).

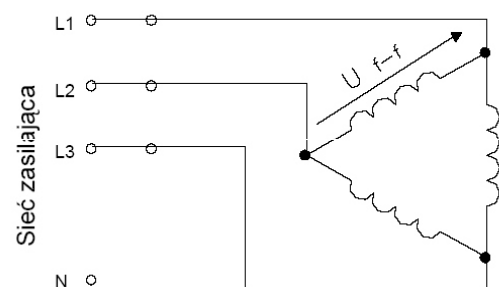
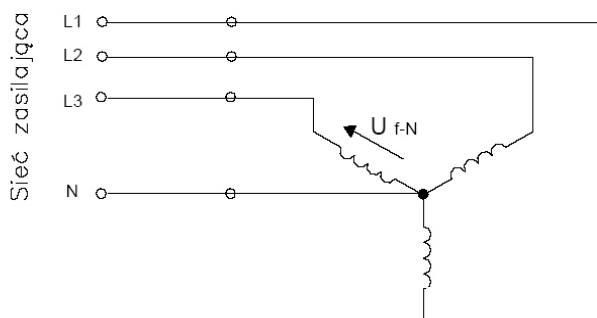
Dodatkowe ograniczenie przy rozruchu bezpośrednim – mały początkowy moment rozruchowy silnika – rozruch bezpośredni dokonywany jest bez obciążenia lub przy obciążeniu niewielkim.

Rozruch silników indukcyjnych

Rozruch z zastosowaniem przełącznika gwiazda – trójkąt

Uzwojenie stojana silnika trójfazowego może być połączone w dwóch konfiguracjach:

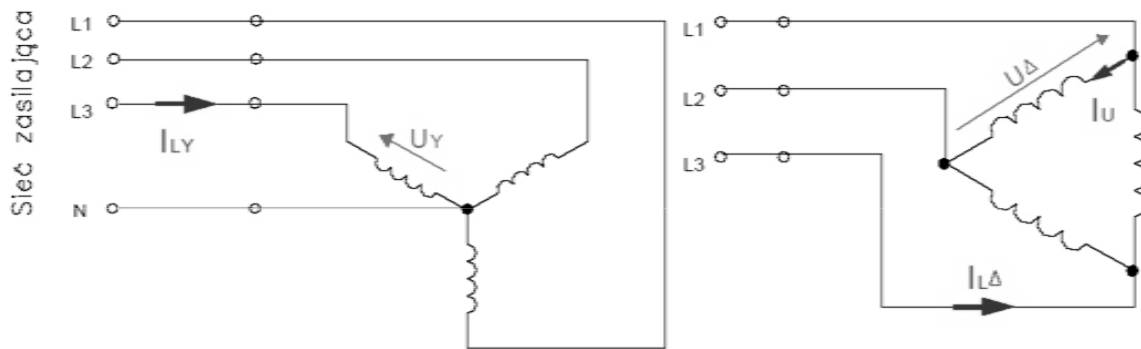
- gwiazda,
- trójkąt.



Rozruch silników indukcyjnych

Przełącznik gwiazda – trójkąt stosowany jest w celu zmniejszenia prądu pobieranego z sieci w chwili rozruchu, przez zmniejszenie napięcia na zaciskach uzwojenia stojana

Niech U – napięcie międzyfazowe sieci zasilającej.



Rozruch silników indukcyjnych

W przypadku połączenia uzwojeń stojana w gwiazdę

Napięcie U_Y na uzwojeniu:
$$U_Y = \frac{U}{\sqrt{3}}$$

Uzwojenia stojana są symetryczne – impedancja równa we wszystkich uzwojeniach – Z

Prąd przy rozruchu silnika połączonego w gwiazdę:

$$I_{LY} = \frac{U_Y}{Z} = \frac{U}{Z\sqrt{3}}$$

Rozruch silników indukcyjnych

W przypadku połączenia uzwojeń stojana w trójkąt
Napięcie U_{Δ} na każdym z uzwojeń:

$$U_{\Delta} = U$$

Prąd płynący przez każde z uzwojeń:

$$I_u = \frac{U_{\Delta}}{Z} = \frac{U}{Z}$$

Uzwojenie połączone jest w trójkąt – prąd pobierany z sieci (prąd przewodowy) $I_{L\Delta}$:

$$I_{L\Delta} = \sqrt{3}I_u = \sqrt{3} \frac{U}{Z}$$

Stosunek prądów rozruchowych pobieranych z sieci dla połączenia w gwiazdę i trójkąt:

$$\frac{I_{LY}}{I_{L\Delta}} = \frac{\frac{U}{Z\sqrt{3}}}{\frac{U\sqrt{3}}{Z}} = \frac{1}{3}$$

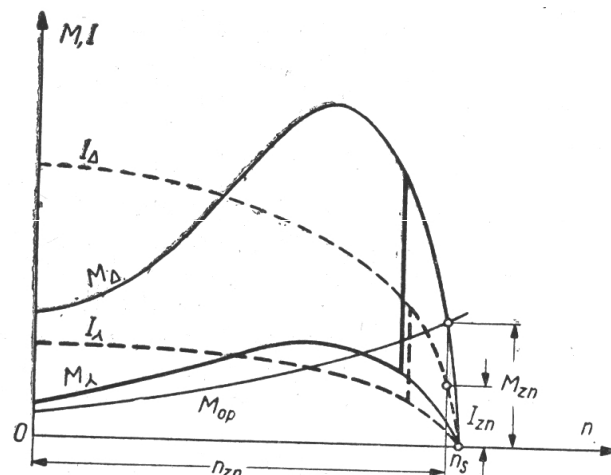
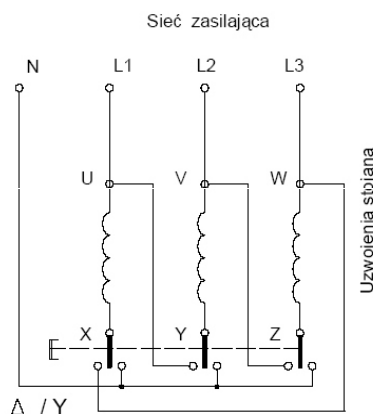
$$3 I_{LY} = I_{L\Delta}$$

Rozruch silników indukcyjnych

Moment rozruchowy przy połączeniu w trójkąt:

$$\frac{M_Y}{M_{\Delta}} = \left(\frac{U_Y}{U_{\Delta}} \right)^2 = \left(\frac{U}{\sqrt{3}U} \right)^2 = \frac{1}{3}$$

Schemat przełącznika gwiazda – trójkąt



Rozruch silników indukcyjnych

Rozruch za pomocą autotransformatora

Ten sposób rozruchu stosuje się do silników o dużej mocy. Zadaniem autotransformatorem jest zmniejszanie napięcia doprowadzonego do silnika do wartości 50 – 75% napięcia znamionowego $(0,5 \dots 0,75)U_n$

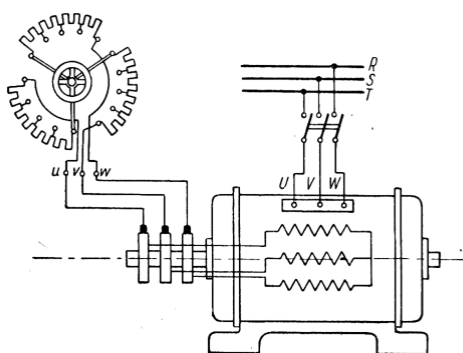
Układ miękkiego rozruchu silnika (soft-start)

Podstawowa wada przełącznika gwiazda – trójkąt: nie eliminuje całkowicie uderów mechanicznych jakie występują po załączeniu obciążonego silnika oraz po przełączeniu trójkąta.

Zasada działania opiera się na regulacji mocy dostarczanej do silnika dokonywanej przez zmianę skutecznej wartości napięcia podawanego na odbiornik. Elementy sterujące - tyrystory

Rozruch silników indukcyjnych

Rozruch silników pierścieniowych

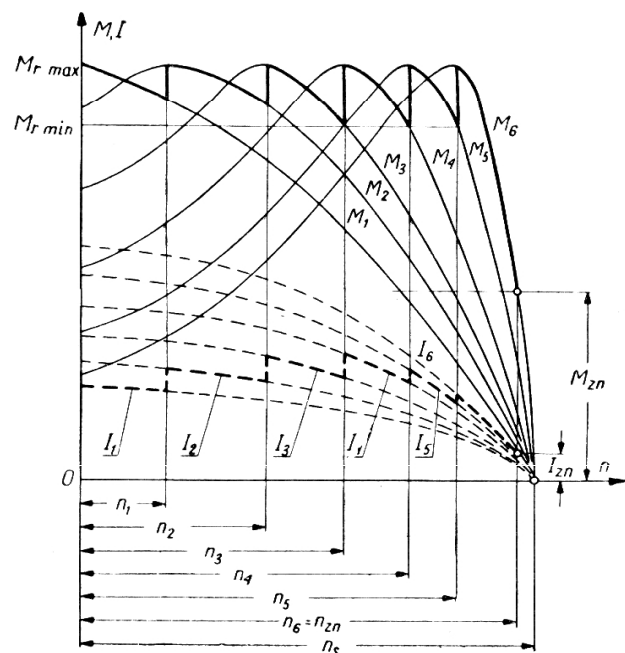


Prąd maksymalny przy rozruchu

$$I_{max} = (2 \dots 3) I_n$$

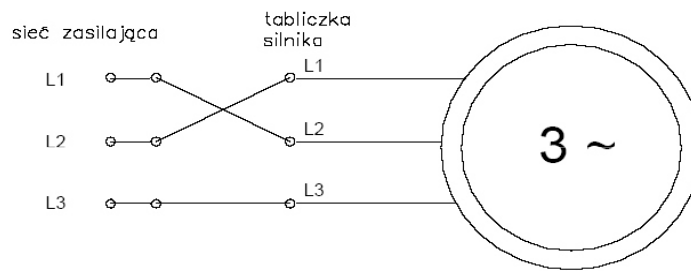
Prąd minimalny:

$$I_{min} = 1,2 I_n$$



Regulacja prędkości obrotowej

Zmiana kierunku wirowania silnika



Regulacja prędkości obrotowej silnika indukcyjnego:

Silniki indukcyjne pracują często w napędach gdzie wymagana jest możliwość nastawiania prędkości wirowania pola:

$$\omega_m = \omega_s (1 - s)$$

Regulację prędkości wirowania można zrealizować przez zmianę prędkości synchronicznej pola magnetycznego maszyny lub zmianę poślizgu.

Regulacja prędkości obrotowej

Metody regulacji prędkości obrotowej silników indukcyjnych:

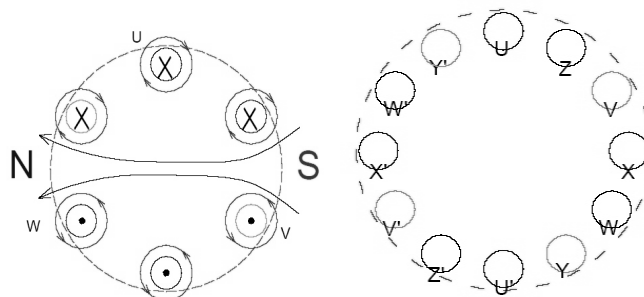
- zmiana częstotliwości f napięcia U zasilającego stojan - nastawienie prędkości w zakresie od postoju do prędkości znamionowej,
- zmiana liczby par biegunów magnetycznych w stojanie,

$$\omega = \frac{2 \pi f}{p}$$

gdzie:

p – liczbę par biegunów magnetycznych

Silniki wielobiegunowe – uzwojenia na stojanie o przełączalnej liczbie par biegunów



Regulacja prędkości obrotowej

▼ Metody regulacji prędkości obrotowej silników indukcyjnych:

- zmiana napięcia napięcia U zasilającego uzwojenia stojana przy stałej częstotliwości – zmiana prędkości kątowej silnika w zakresie od warunków dla zasilania znamionowego do poślizgu krytycznego.
- włączenie impedancji dodatkowej w obwód stojana – regulacja prędkości kątowej silnika w wąskim zakresie – straty w maszynie rosnące w miarę zmniejszania prędkości kątowej
- w silnikach pierścieniowych – regulacja prędkości przez dołączenie dodatkowych rezystancji szeregowo w obwód wirnika.

