Maszyny indukcyjne.

Maszyny indukcyjne to taki rodzaj maszyn elektrycznych, w których napięcie do obwodu silnika nie jest doprowadzane z zewnątrz, lecz pojawia się w wyniku indukcji elektromagnetycznej – stąd nazwa silniki indukcyjne.

1. Silnik indukcyjny

- Znajduje zastosowanie jako napęd procesów technologicznych oraz w układach automatyki;
- Silniki indukcyjne jednofazowe – stosuje się w urządzeniach małej mocy, urządzeniach gospodarstwa domowego, rolnictwie, rzemiośle oraz w pomocniczych napędach przemysłowych;
- Silniki indukcyjne trójfazowe – stosuje się w przemyśle, energetyce, budownictwie, rolnictwie, transporcie i usługach;

- Do sterowania pracą silników indukcyjnych możemy wykorzystać elementy półprzewodnikowe, które umożliwiają ich łagodne załączanie i hamowanie;
- Maszyna indukcyjna może pracować jako silnik i jako prądnica;
- Najczęściej maszyny indukcyjne są stosowane jako silniki i hamulce elektryczne;

2. Podział maszyn indukcyjnych

a) Ze względu na sposób zasilania:

- Maszyny indukcyjne jednofazowe
- Maszyny indukcyjne dwufazowe
- Maszyny indukcyjne trójfazowe

b) Ze względu na sposób wykonania uzwojeń wirnika:

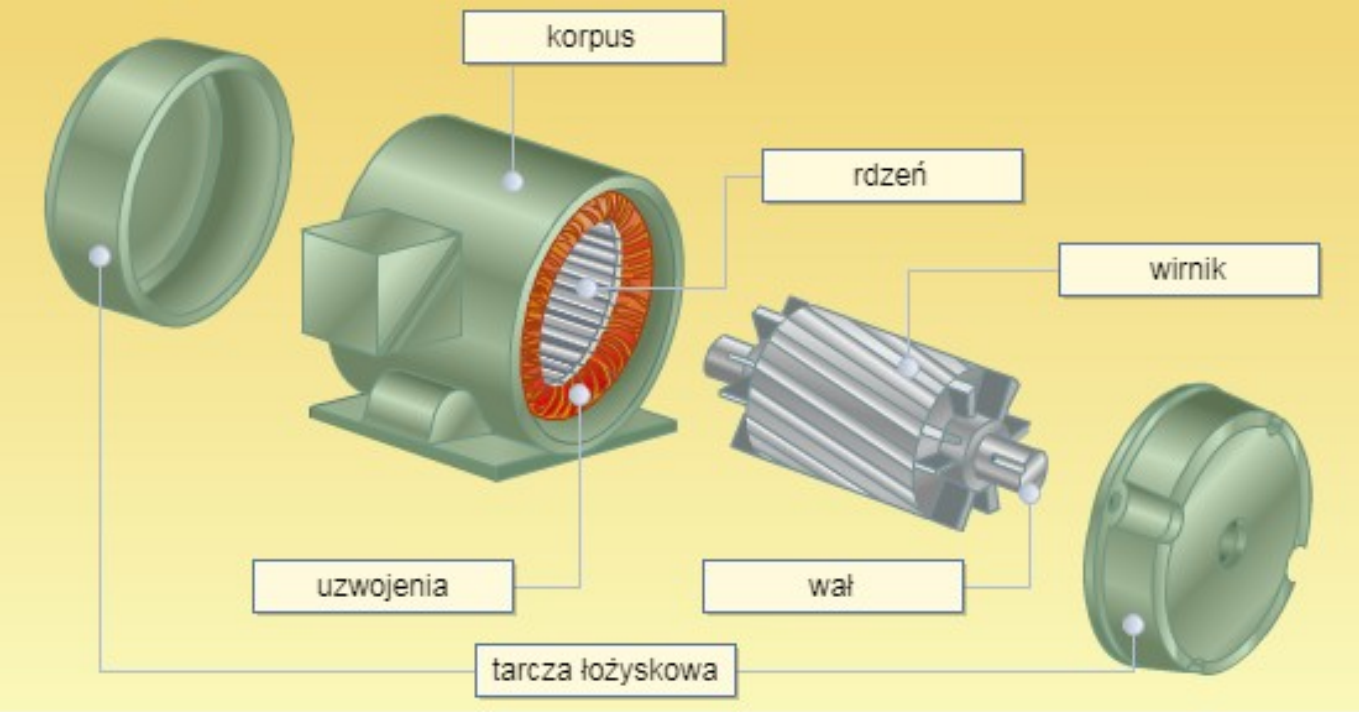
- Maszyny pierścieniowe
- Maszyny klatkowe

c) Ze względu na rodzaj ruchu

- Maszyny indukcyjne wirujące
- Maszyny indukcyjne liniowe

Budowa maszyn indukcyjnych.

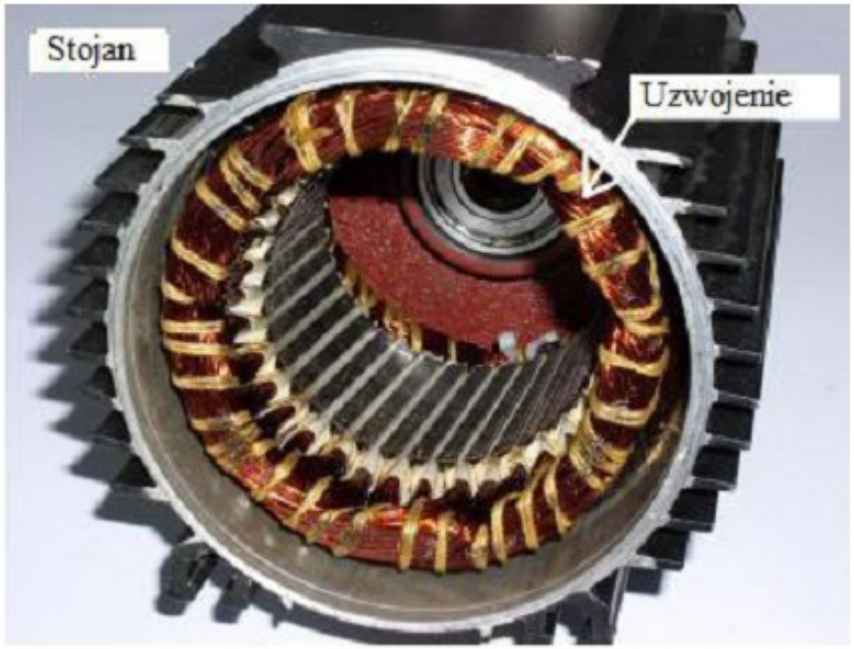
Maszyna indukcyjna składa się z nieruchomego **stojana** i obracającego się **wirnika**.



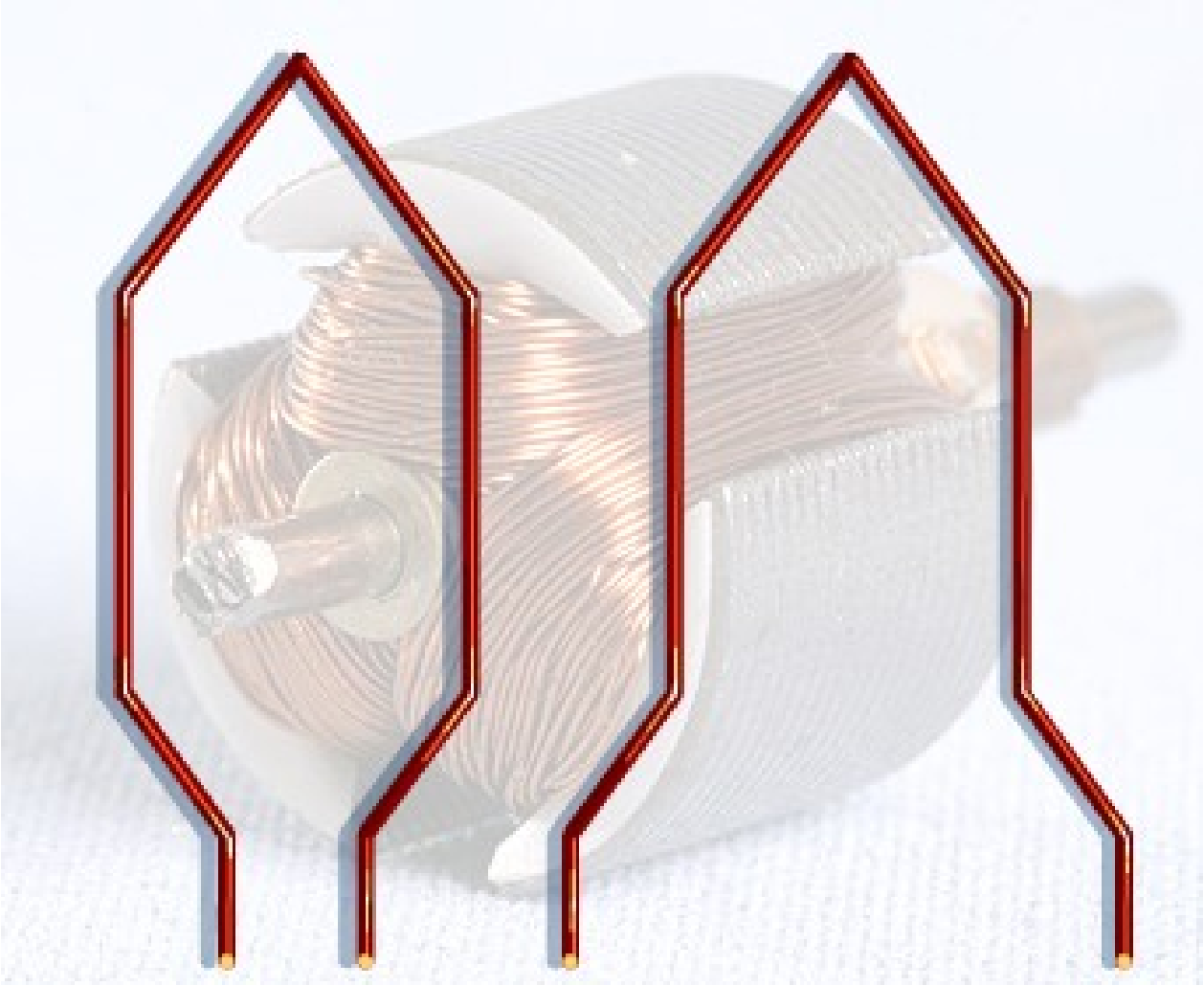
W blachach stojana są nacięte **żłobki**, w których umieszcza się **uzwojenia**. Elementy między żłobkami nazywa się **zębami**.

Korpus ma za zadanie zapewnić sztywność konstrukcji i osłonić uzwojenie.

Uzwojenia stojanów wykonuje się z izolowanego drutu nawojowego odizolowanego od rdzenia izolacją żłobkową.



Dwa połączone przewody tworzą **zezwój**.



Dwa przewody łączy się w żłóbkach odległych o **podziałkę biegunową tp**.

- Jeżeli podziałce biegunowej odpowiada kąt 180°, to jest uzwojenie średnicowe (podskok y, jest równy podziałce biegunowej tp)

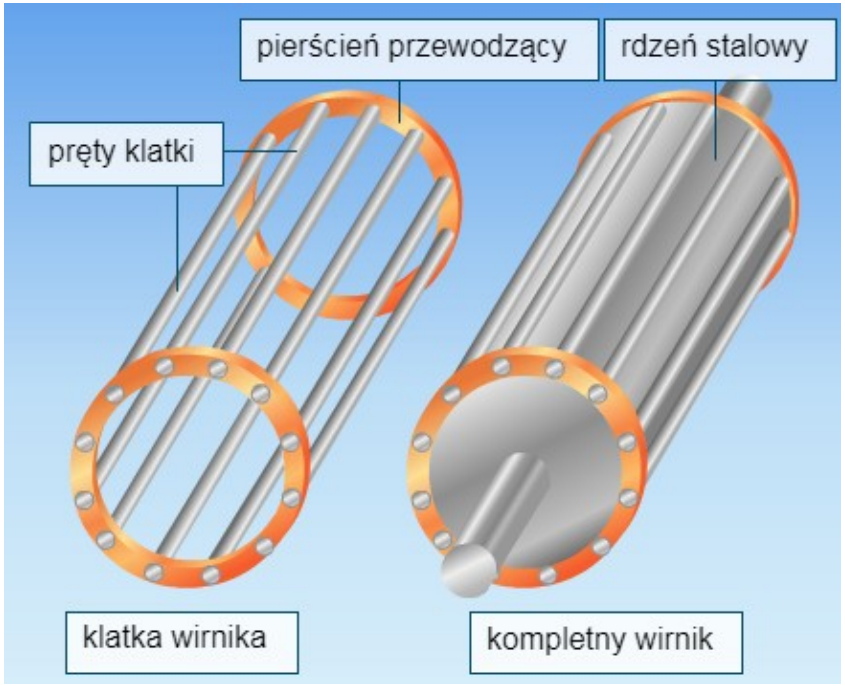
- W uzwojeniu z poskokiem skróconym poskok y jest mniejszy niż podziałka biegunowa

Uzwojenia wirników mogą być wykonane z:

- Drutu nawojowego
- Nieizolowanych prętów

Pręty wykonuje się z miedzi, aluminium, mosiądzu lub brązu.

Mają one duży przekrój poprzeczny i całkowicie wypełniają żłobek. Są połączone na końcach pierścieniami czołowymi i tworzą **klatkę (silnik klatkowy).**



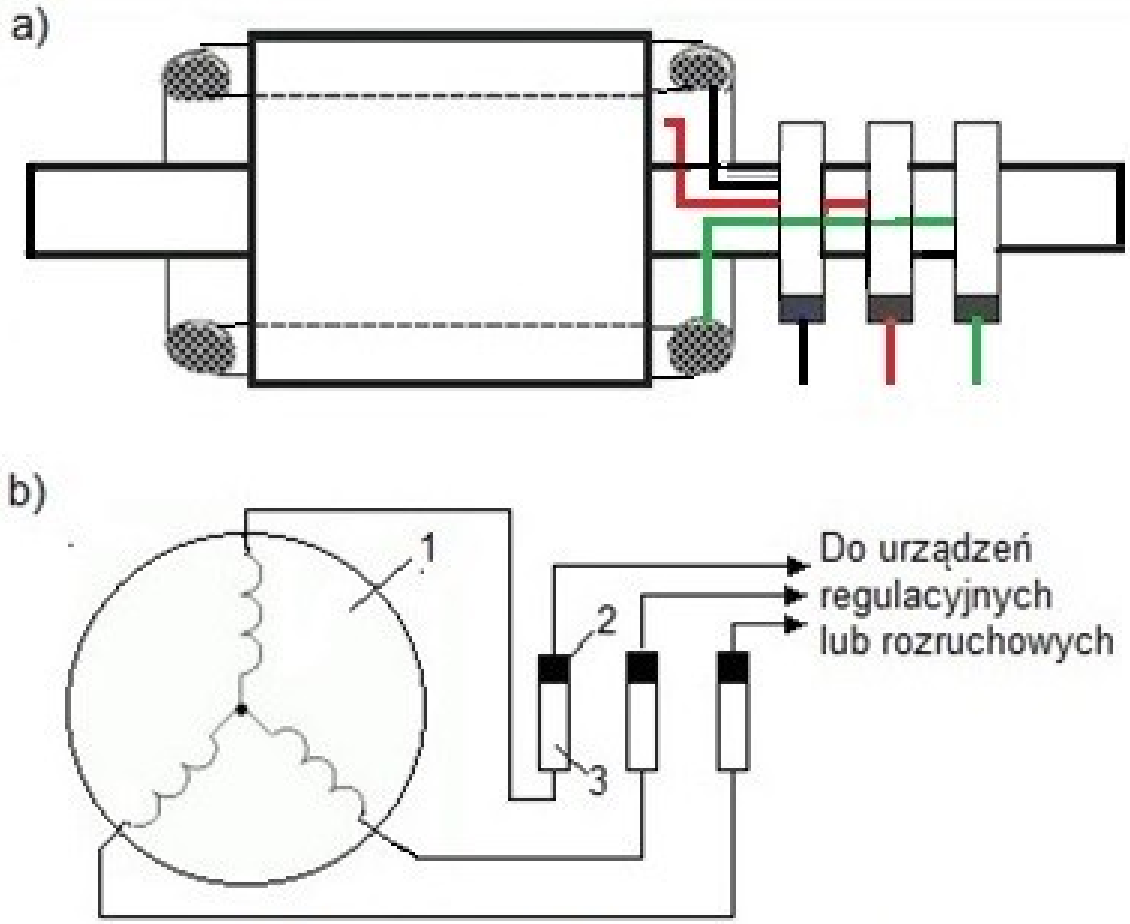
Klatka tworzy uzwojenie, w których liczba prętów odpowiada liczbie faz. Uzwojenia klatkowe są wykonane z aluminium. Klatka z prętów nie jest połączona elektrycznie z korpusem wirnika.

1. Silnik indukcyjny pierścieniowy

Uzwojenie wirnika łączy się na stałe z pierścieniami ślizgowymi.

Liczba pierścieni ślizgowych zależy od liczby faz przyłączanego obwodu (trzy lub dwie fazy). Wirnik silnika pierścieniowego stanowią trzy uzwojenia, z których każde przypada na jedną fazę.

Początki tych uzwojeń są połączone wewnętrznie, tak że tworzą układ gwiazdy, a ich końce są wyprowadzone na zewnątrz i podłączone do trzech pierścieni ślizgowych. Pierścienie ślizgowe są jednolite, więc w trakcie obracania się wirnika szczotki do nich przyłożone podają napięcie niezmiennie na te same początki uzwojeń.



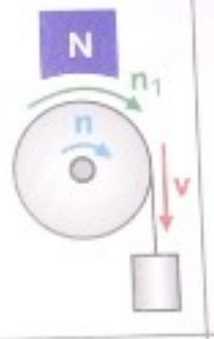
Wirnik silnika indukcyjnego pierścieniowego

a) przekrój wirnika pierścieniowego silnika indukcyjnego,

b) schemat połączeń wirnika silnika indukcyjnego pierścieniowego,

Oznaczenia: 1 – wirnik, 2 – szczotki, 3 – pierścienie.

Stany pracy maszyny indukcyjnej

stan pracy	hamulec	transformator	silnik	idealny bieg jałowy	prądnica
schemat pracy					
prędkość obrotowa wirnika	$n < 0$	$n = 0$	$0 < n < n_1$	$n = n_1$	$n > n_1$
poślizg	$s > 1$	$s = 1$	$1 > s > 0$	$s = 0$	$s < 0$
kierunek działania momentu elektromagnetycznego na wirnik	M	M	M	—	M
kierunek wirowania wirnika	n		n	n	n
częstotliwość w wirniku	$f_2 > f_1$	$f_2 = f_1$	$f_2 << f_1$	—	$f_2 = [sf_1]$

Oznaczenia:

- prędkość wirowania

n – prędkość obrotowa wirnika

s - poślizg

a) Maszyna indukcyjna w stanie pracy silnikowej

Podczas pracy silnikowej maszyny indukcyjnej prędkość n wirnika zawiera się w przedziale

$0 < n <$, co odpowiada poślizgowi $1 > s > 0$. powstaje moment działający na wirnik zgodny z kierunkiem obracania się wirnika. Moc elektryczna pobierana z sieci jest zmieniana w moc mechaniczną przekazywaną na wał silnika. Część moc pobranej jest tracona na ciepło w uzwojeniach i w rdzeniu.

b) Maszyna indukcyjna w stanie pracy prądnicowej

Podczas pracy prądnicowej, gdy prędkość wirnika n jest większa od prędkości synchronicznej , poślizg s < 0. taka sytuacja występuje, gdy maszyna indukcyjna zostaje połączona z inną maszyną, która ją napędza. Moment powstający w tych warunkach to moment hamujący wobec momentu silnika napędzającego maszynę. Wynika z tego, że maszyna staje się prądnicą, ponieważ przekształca moc mechaniczną dostarczoną przez silnik napędzający w energię elektryczną, którą oddaje do sieci.

c) Maszyna indukcyjna w stanie pracy hamulcowej

Podczas pracy hamulcowej prędkość wirnika

$n < 0$, co oznacza, że wirnik wiruje w kierunku przeciwnym do kierunku wirowania pola magnetycznego. Cała energia jest zamieniana na straty, głownie w obwodzie uzwojenia wirnika. Pracę hamulcową wykorzystuje się w urządzeniach dźwignicowych (np. żuraw) w trakcie opuszczania ładunku.

Maszyna pobiera moc mechaniczną i cała ta moc, łącznie z mocą elektryczną pobieraną z sieci, jest w maszynie zamieniana w ciepło. Maszyna w takim przypadku jest **hamulcem** elektrycznym.

d) Maszyna indukcyjna jako transformator

Jeżeli wirnik jest nieruchomy n = 0, to w przypadku otwartego obwodu uzwojenia wirnika występuje stan podobny do stanu jałowego w transformatorze. Jeżeli obwód wirnika jest zamknięty, to otrzymamy stan analogiczny do stanu zwarcia transformatora. W związku z tym, że n = 0, moc mechaniczna nie występuje, a energia pobrana z sieci zamienia się całkowicie w ciepło w obwodzie elektrycznym i magnetycznym maszyny.

e) Maszyna indukcyjna jako dławik lub transformator w stanie jałowym

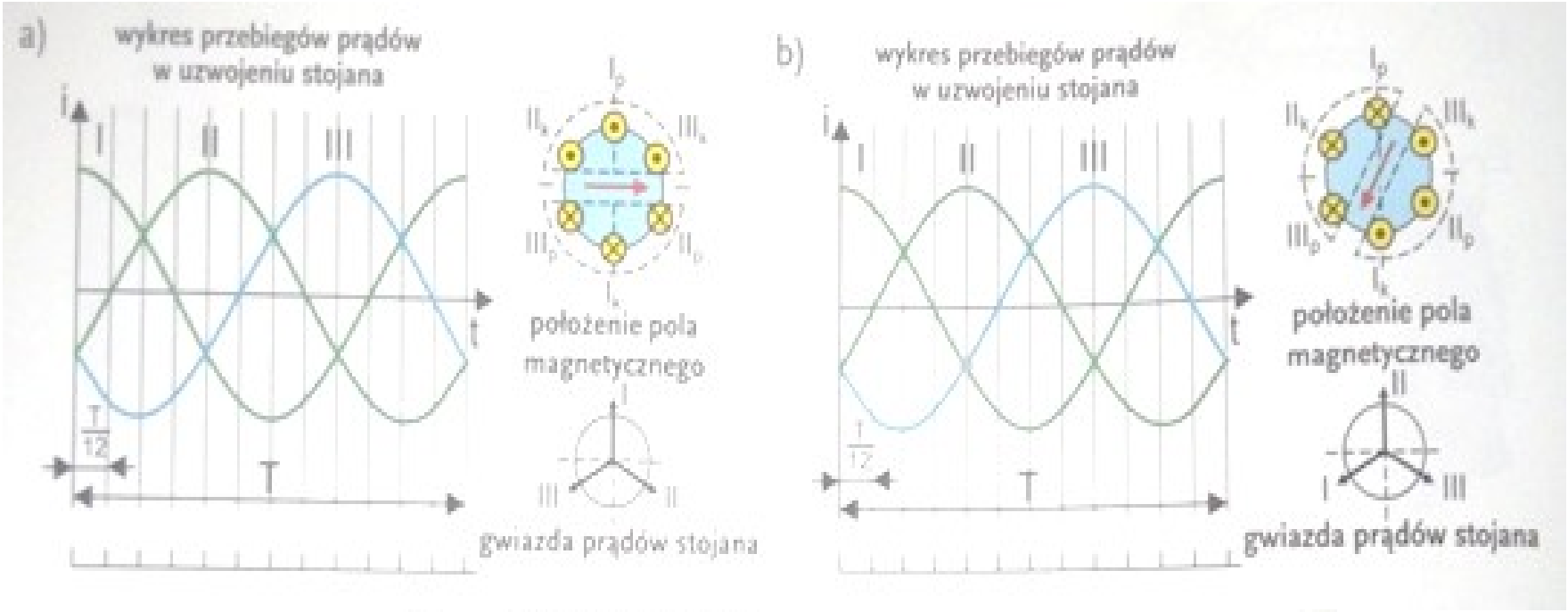
Jeżeli prędkość wirnika jest równa prędkości synchronicznej n = , to w wirniku nie może się indukować napięcie, ponieważ jego uzwojenia nie są przecinane przez wirujące pole magnetyczne. Prąd w obwodzie wirnika nie płynie, a więc nie powstaje moment elektromagnetyczny.

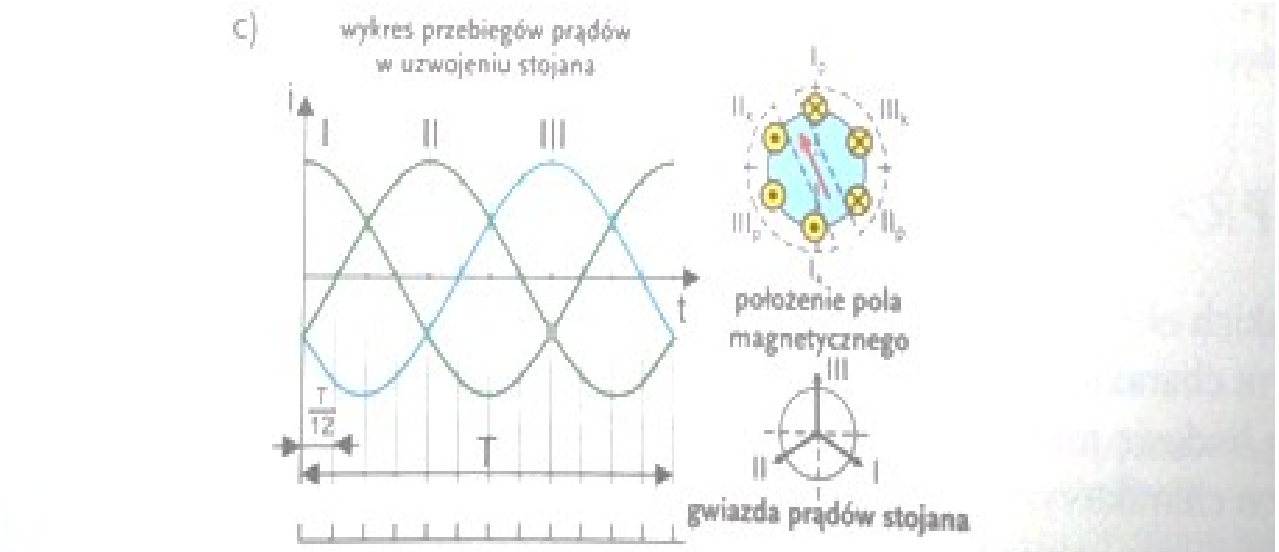
Wynika z tego, że przy n = maszyna indukcyjna jest odbiornikiem takiego samego typu, jak **dławik** lub **transformator w stanie jałowym**.

Zasada działania maszyny indukcyjnej.

Maszyny indukcyjne to z reguły maszyny trójfazowe składające się z nieruchomego stojana z zasilanym uzwojeniem trójfazowym oraz wirnika z uzwojeniem.

Do uzwojenia stojana takiej maszyny doprowadza się napięcie trójfazowe. Przepływ prądu w wielofazowym uzwojeniu skutkuje powstaniem pola magnetycznego od każdej z faz.





Wykres przebiegów prądów w uzwojeniu stojana: a) dla 0°, b) dla 120°, c) dla 240°

Wypadkowe pole magnetyczne jest tzw. Polem wirującym, które wiruje wzdłuż obwodu maszyny, czyli wokół wirnika. Pole to wiruje z prędkością Prędkość ta nazywana jest **prędkością synchroniczną**, zależy od częstotliwości i liczby par biegunów p uzwojenia.

=

Gdzie:

- prędkość wirowania pola magnetycznego w obr./min.

Siła elektromotoryczna w uzwojeniu wirnika powstaje, gdy wirnik obraca się z prędkością inną niż prędkość wirowania pola magnetycznego. Pole magnetyczne wytworzone przez stojan w wyniku indukcji elektromagnetycznej skutkuje powstaniem sił elektromotorycznych w uzwojeniu wirnika. Pod wpływem tych sił w wirniku płyną prądy elektryczne. Prądy te wywołują powstanie magnetycznego pola wirującego wirnika.

Pola magnetyczne stojana i wirnika można porównać do odpychających się magnesów, których oddziaływanie przekłada się na ruch wirnika. Moment elektromagnetyczny silników indukcyjnych powstaje przy prędkościach innych niż prędkość synchroniczna – dlatego maszyny te nazywa się **asynchronicznymi**.

Prąd w obwodzie wirnika pojawia się wyniku indukcji elektromagnetycznej, a nie jest doprowadzany z zewnątrz. W typowych silnikach przy obciążeniu znamionowym prędkość wirowania wirnika n jest o 2% do 4% niższa niż prędkość wirowania pola magnetycznego .

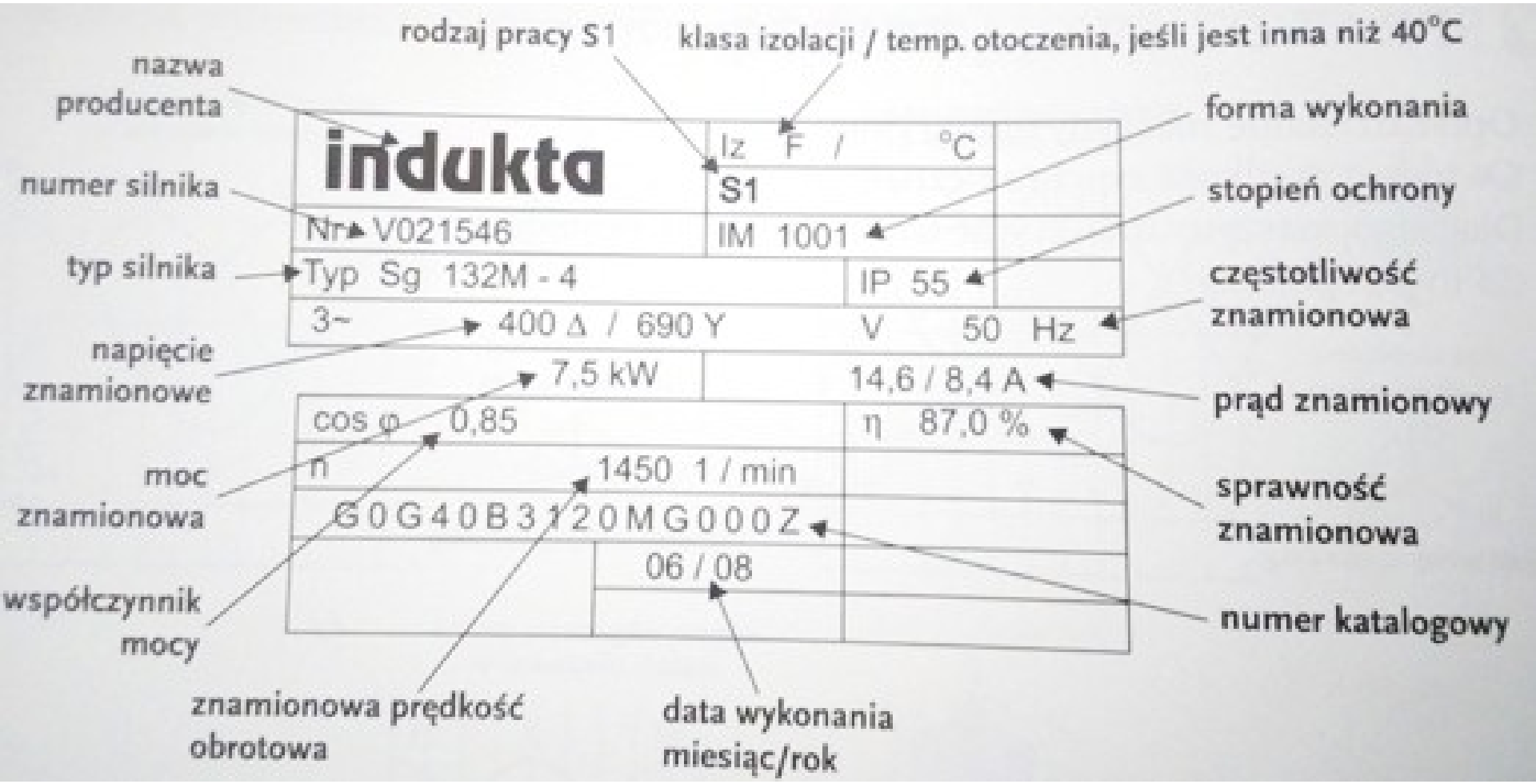
Takie zjawisko nazywa się **poślizgiem.**

Podstawowe parametry maszyny indukcyjnej.

1. Parametry maszyn indukcyjnych umieszczane

   na tabliczkach znamionowych.

Wielkości znamionowe to wartości, przy których urządzenie pracuje zgodnie z zaleceniami producenta. Przekroczenie tych wartości grozi uszkodzeniem urządzenia lub jego nieprawidłową pracą.


rodzaj pracy S1
klasa izolacji / temp. otoczenia, jeśli jest inna niż 40°C
nazwa producenta
forma wykonania
numer silnika
stopień ochrony
typ silnika
częstotliwość znamionowa
napięcie znamionowe
prąd znamionowy
moc znamionowa
sprawność znamionowa
współczynnik mocy
numer katalogowy
znamionowa prędkość obrotowa
data wykonania miesiąc/rok
indukta
Iz F / °C
S1
Nr V021546
IM 1001
Typ Sg 132M - 4
IP 55
3~
400 Δ / 690 Y
V
50 Hz
7,5 kW
14,6 / 8,4 A
cos φ 0,85
η 87,0 %
n
1450 1 / min
G0G40B3120MG000Z
06 / 08

a) **Tabliczka znamionowa**, oprócz danych ogólnych zawiera następujące dane opisujące maszynę indukcyjną:

- Moc znamionową
- Napięcie znamionowe
- Znamionowy współczynnik mocy
- Częstotliwość znamionową
- Znamionową prędkość obrotową wirnika
- Napięcie znamionowe uzwojenia wirnika
- Prąd znamionowy uzwojenia wirnika
- Układ połączeń wirnika

b) Moc znamionowa to moc użyteczna na wale silnika.

c) Napięcie znamionowe - dla silników trójfazowych to napięcie między fazowe dostarczane z sieci elektrycznej i zasilające silnik.

d) Znamionowy współczynnik mocy to współczynnik mocy silnika od strony uzwojeń stojana.

e) Częstotliwość znamionową to częstotliwość napięcia zasilającego stojan.

f) Znamionową prędkość obrotową wirnika to prędkość, jaka wiruje silnik obciążony mocą znamionową.

g) Napięcie znamionowe uzwojenia wirnika to wartość napięcia przy rozwartym i zahamowanym wirniku.

h) Prąd znamionowy uzwojenia wirnika

podaje się tylko dla indukcyjnych silników pierścieniowych.

i) Przeciążalność momentem znamionowym u

to stosunek momentu krytycznego znamionowego do momentu użytecznego znamionowego .

j) Prąd rozruchu to krotność prądu znamionowego.

k) Użyteczny moment rozruchowy to krotność użytecznego momentu znamionowego.

l) Prąd jałowy to prąd przy biegu jałowym.

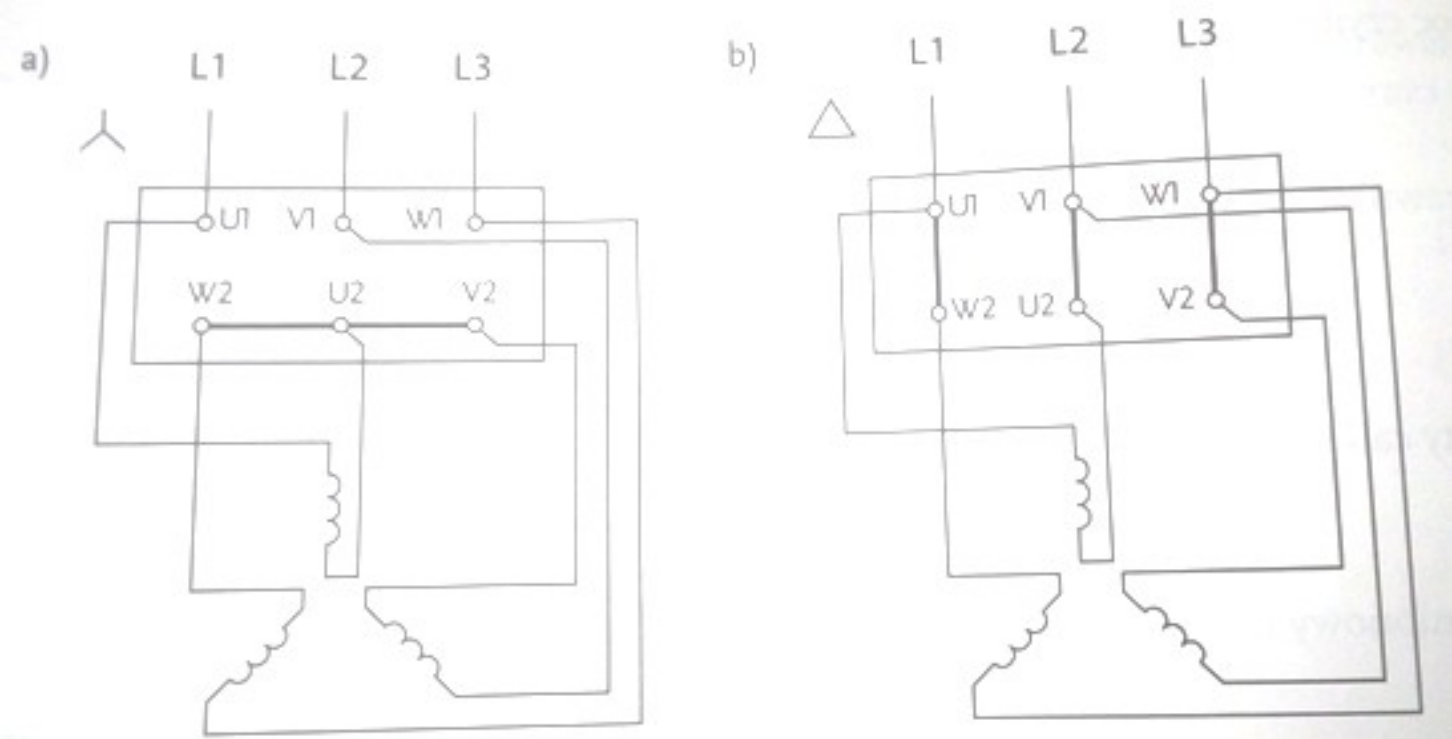
m) to współczynnik mocy przy biegu jałowym.

n) J – moment bezwładności.

Tabliczka zaciskowa.

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

1. W trójfazowych silnikach indukcyjnych klatkowych zaciski tabliczki zaciskowej składają się z sześciu zacisków, ponieważ są to zakończenia trzech uzwojeń stojana.



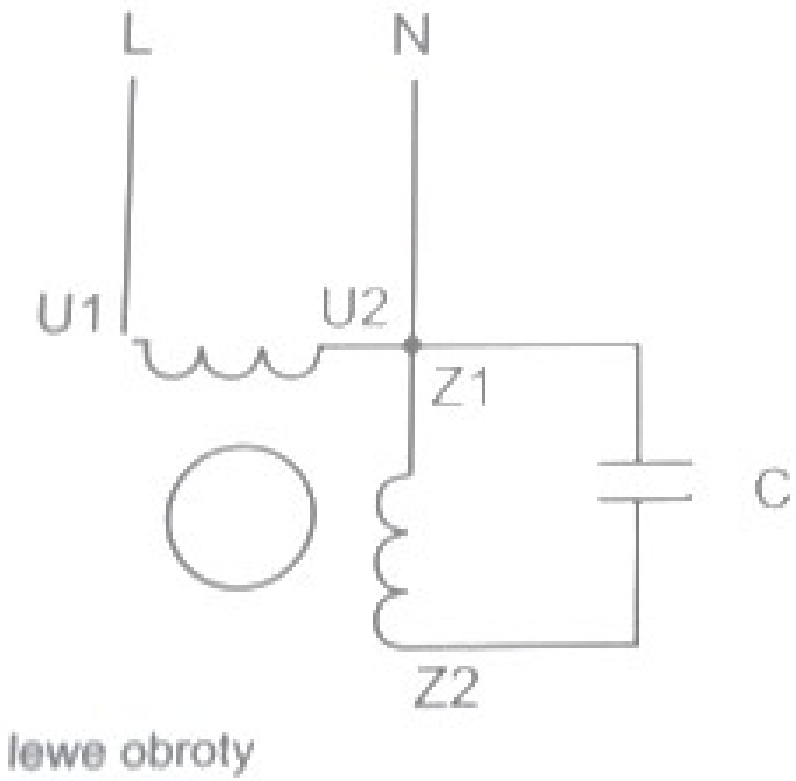
Połączenie uzwojeń stojana na tabliczce zaciskowej: a) w gwiazdę, b) w trójkąt

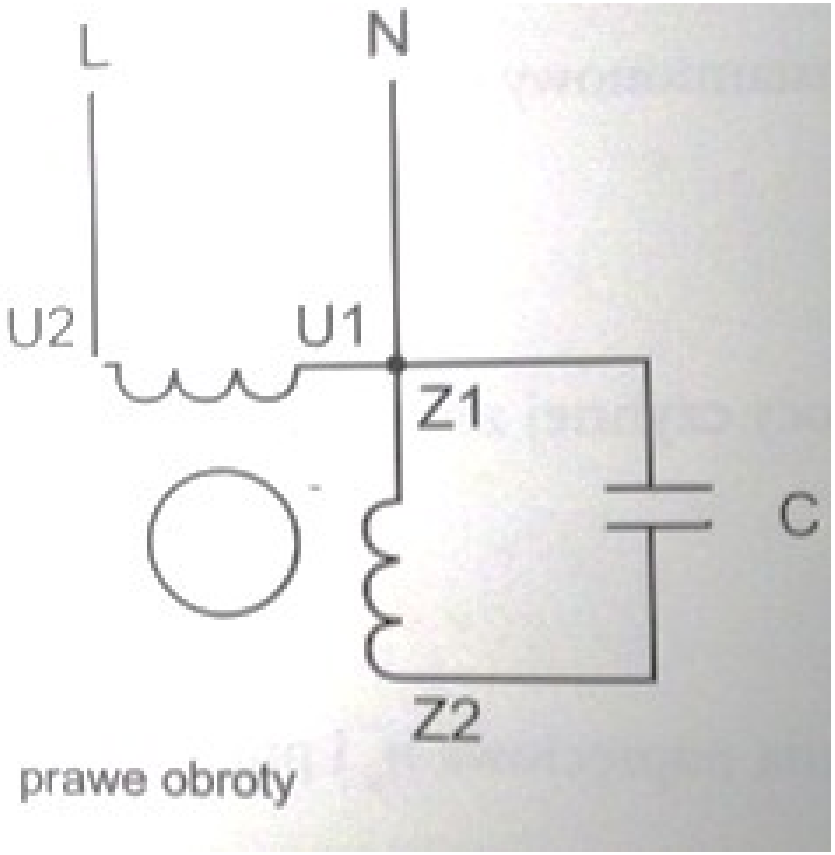
Oznaczone są U1, V1, W1, a ich końce: U2, V2, W2 – są one przyłączone do tabliczki zaciskowej tak, aby była możliwość łączenia poszczególnych faz w gwiazdę lub w trójkąt.

Za pośrednictwem tabliczki zaciskowej uzwojenie stojana podłącza się do przewodów sieci trójfazowej , , . Łączenie w gwiazdę lub w trójkąt jest uzależnione od napięcia sieci i napięcia znamionowego silnika.

Połączenie w gwiazdę lub w trójkąt czasami wykonuje się wewnątrz maszyny. Wtedy na tabliczce zaciskowej są wyprowadzone tylko końcówki do podłączenia źródła zasilania.

2. W jednofazowych silnikach indukcyjnych są wyprowadzone cztery zaciski łączeniowe na tabliczce zaciskowej, do których jest podłączony przewód fazowy i neutralny.





Schemat zastępczy maszyny indukcyjnej.

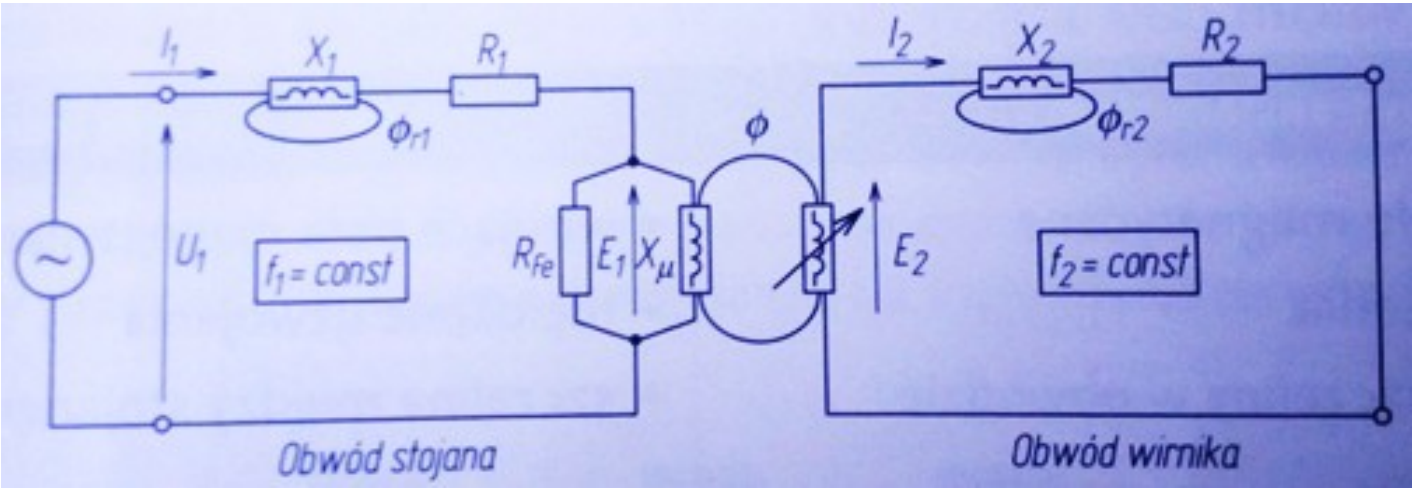
Maszyna indukcyjna z nieruchomym wirnikiem zachowuje się jak transformator. Częstotliwość napięcia indukowanego przy nieruchomym wirniku jest taka sama jak częstotliwość napięcia zasilającego w stojanie.

1. Różnice między transformatorem a maszyna indukcyjną.

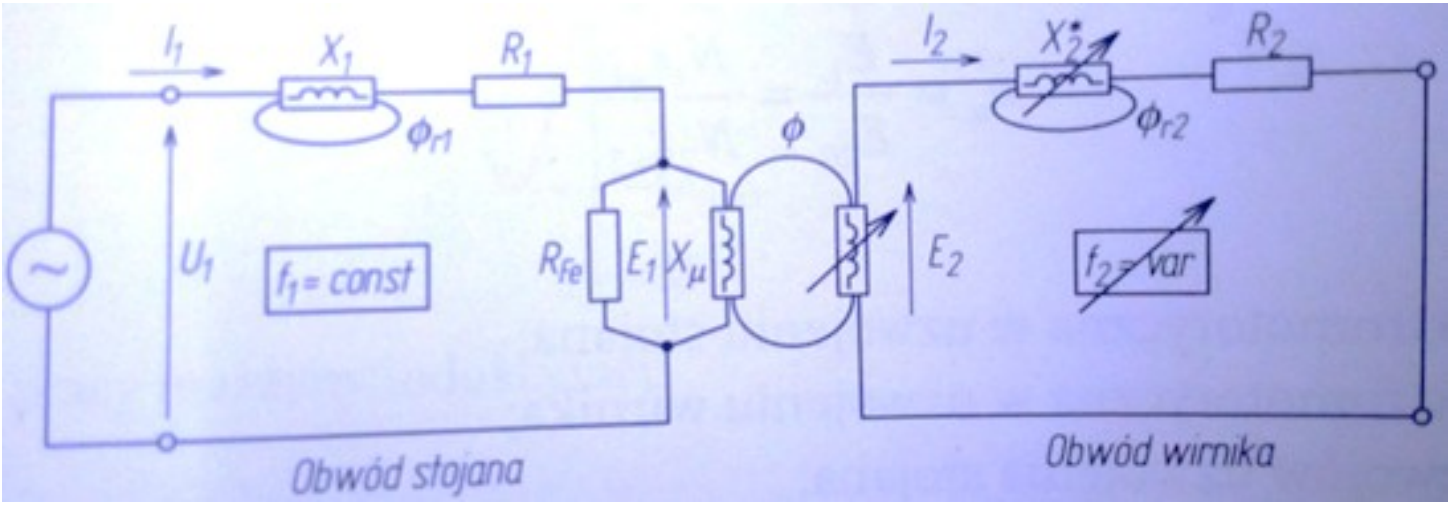
Cechy transformatora	Cechy maszyny indukcyjnej
• Przemienne pole magnetyczne • Skupione uzwojenia • Brak wyraźnej szczeliny w obwodzie magnetycznym	• Wirujące pole magnetyczne • Rozłożone uzwojenia • Szczelina między stojanem a wirnikiem

2. Schematy zastępcze maszyny indukcyjnej.

a) Wirnik jest nieruchomy



b) Wirnik ruchomy



Praca silnikowa maszyny indukcyjnej.

1. Bieg jałowy silnika

Bieg jałowy silnika indukcyjnego to stan pracy silnika, w którym do uzwojeń stojana zostało doprowadzone napięcie zasilania, obwód wirnika jest zamknięty, a wał silnika nie został obciążony żadnym momentem, czyli wał nie jest sprzęgnięty z żadną maszyna napędzaną.

2. Stan zwarcia silnika indukcyjnego.

To stan pracy silnika, w którym do uzwojeń stojana zostało doprowadzone napięcie zasilania, obwód wirnika jest zwarty i wirnik jest unieruchomiony.

a) **Napięcie zwarcia maszyny indukcyjnej** to napięcie, którym należy zasilić stojan, aby przy unieruchomionym wirniku był pobierany z sieci prąd znamionowy

W silnikach klatkowych stan zwarcia występuje przy każdym załączeniu silnika do sieci (przy rozruchu).

Należy więc stosować urządzenia obniżające napięcie. W silnikach pierścieniowych można zmniejszyć prąd rozruchowy (prąd zwarcia) przez zwiększenie rezystancji wirnika i włączenie rezystora dodatkowego, tzw. rozrusznika.

3. Stan obciążenia silnika indukcyjnego.

To stan pracy silnika, w którym do uzwojeń stojana zostało doprowadzone napięcie zasilania, a silnik (wał) jest sprzężony z maszyną napędzaną.

Najczęściej podawaną charakterystyką silników jest tzw. **charakterystyka mechaniczna**, czyli zależność momentu M silnika od jego prędkości n.

a) **W stanie ustalonym prędkość obrotowa wirnika n jest stała.**

Moment elektromagnetyczny *M*, rozwijany przez silnik, jest równy momentowi hamującemu

$$M =$$

b) **W stanie nieustalonym prędkość obrotowa wirnika n ulega zmianie.**

Powstaje wtedy moment dynamiczny

$$= M -$$

Jeżeli moment napędowy M jest większy od momentu hamującego , to > 0 i układ przyśpiesza.

Jeżeli moment napędowy M jest mniejszy od momentu hamującego , to < 0 i układ zwalnia.

- Stan nieustalony w pracy silnika występuje podczas:

✓ Rozruchu

✓ Hamowania

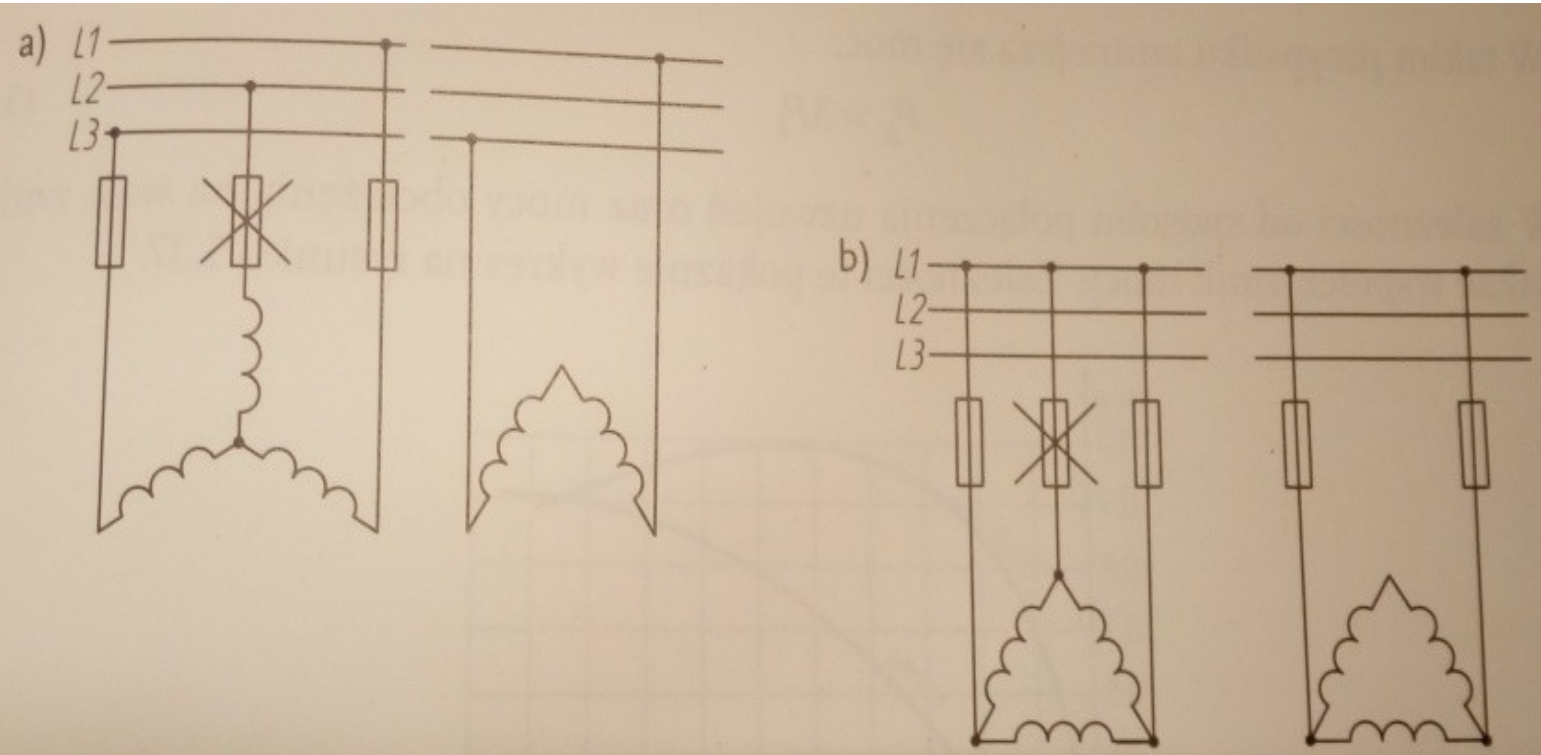
✓ Zmiany obciążenia

✓ Regulacji prędkości obrotowej

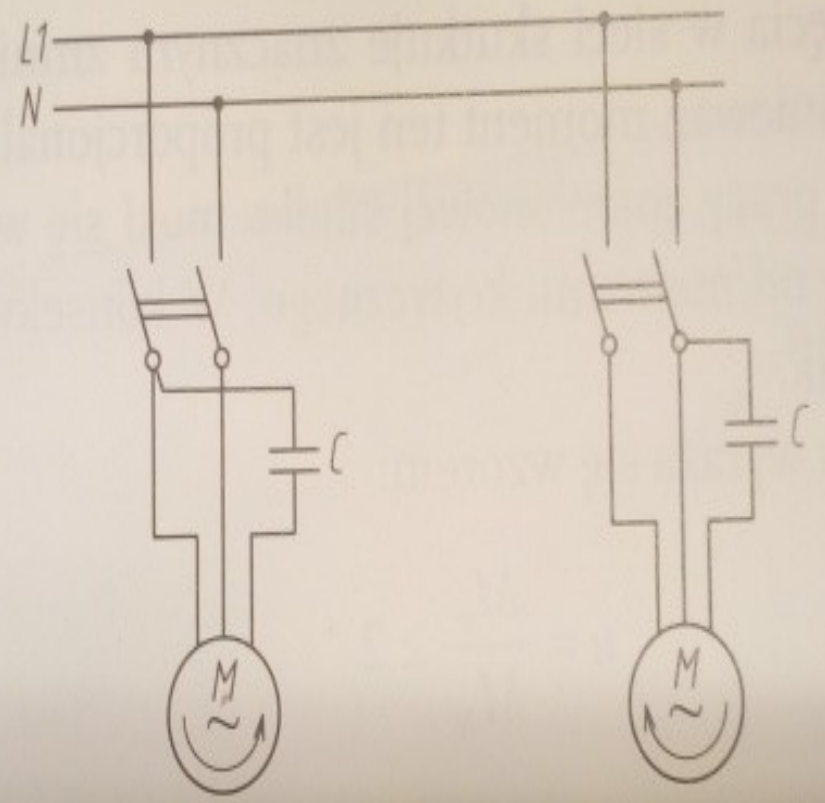
✓ Zmiany warunków zasilania

4. Praca silnika indukcyjnego przy zasilaniu jednofazowym.

W przypadku awarii zasilania, np. brak jednej fazy, silnik trójfazowy może pracować przy zasilaniu jednofazowym. Gdy silnik jest połączony w gwiazdę, to dwie fazy uzwojenia silnika są połączone w szereg, a trzecia jest nieczynna. W sytuacji, gdy uzwojenia silnika zostały połączone w trójkąt, silnik pracuje również jako jednofazowy, z tym że jedna faza jest połączona równolegle z dwoma pozostałymi.



Rys. 5.35. Silnik indukcyjny trójfazowy podczas przerwy – braku jednej fazy: a) przy połączeniu w gwiazdę, b) przy połączeniu w trójkąt



Podłączenie silnika trójfazowego do sieci jednofazowej przy różnych kierunkach wirowania

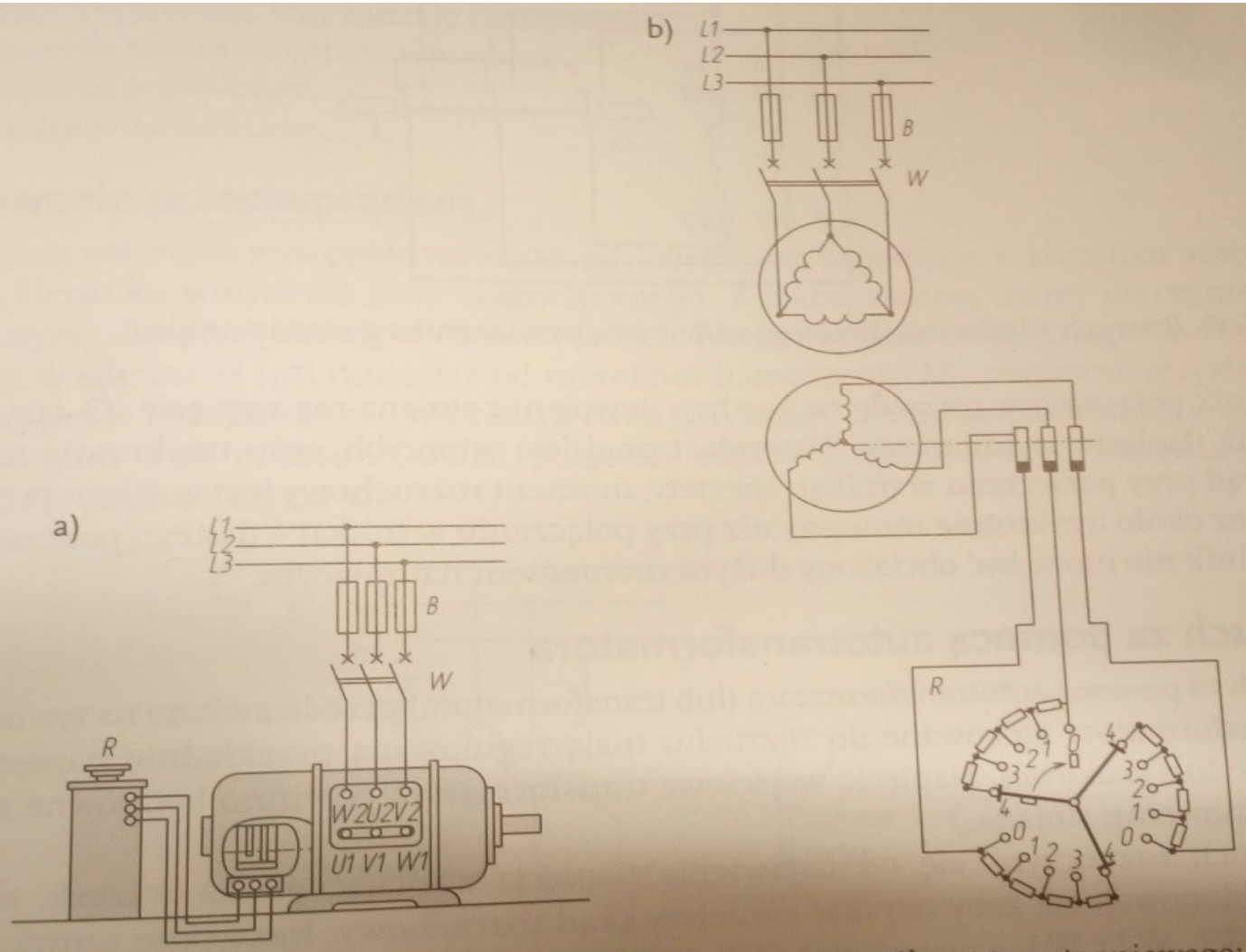
Rozruch silników indukcyjnych.

Rozruch to okres między załączeniem zasilania do nieruchomej maszyny do czasu osiągnięcia przez nią znamionowych warunków pracy, np. prędkości obrotowej.

Aby rozruch był możliwy, moment elektromagnetyczny M wytworzony przez silnik powinien być większy od momentu obciążenia Rozruchowi towarzyszy zwiększona wartość prądu pobieranego z sieci zasilającej. Prąd ten nazywa się **prądem rozruchowym** , a wartość momentu rozwijanego przez silnik w chwili rozruchu nazywa się **momentem rozruchowym**

1. Rozruch za pomocą rozrusznika.

Stosujemy tylko w silnikach pierścieniowych. Polega to na włączeniu w obwód uzwojenia wirnika tzw rozrusznika. Jest to rodzaj rezystancji dodatkowej nastawianej płynnie lub skokowo. Rozrusznik włącza się w obwód wirnika silnika podłączonego do zasilania i ustawia się go na największą wartość rezystancji: położenie 4. Po osiągnięciu przez silnik odpowiedniej prędkości obrotowej zmniejszamy rezystancję rozrusznika, zmieniając przełożenie na 3, i postępujemy tak aż do całkowitego zwarcia rozrusznika (rezystancja równa 0).



Rys. 5.39. Rozruch silnika pierścieniowego za pomocą rozrusznika czterostopniowego: a) układ połączeń (*B* – bezpiecznik, *W* – wyłącznik, *R* – rozrusznik); b) schemat układu połączeń

Rozruszniki służą tylko do rozruchu i nie są przeznaczone do pracy ciągłej, gdyż grozi to ich uszkodzeniem.

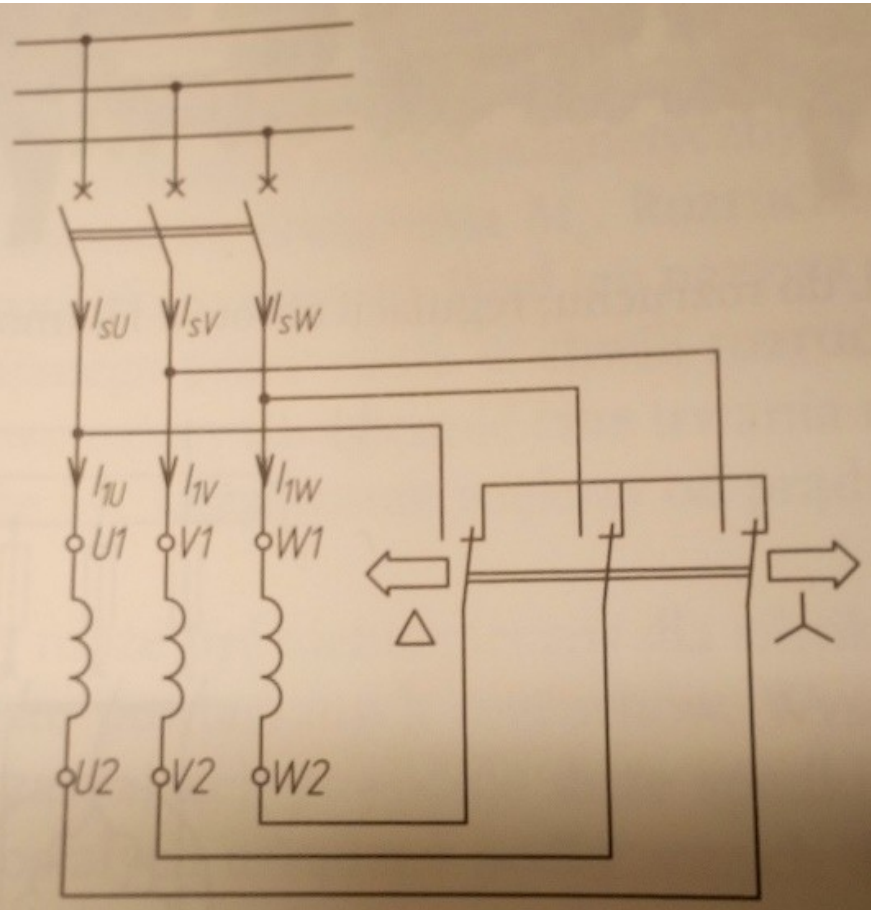
Całkowite zatrzymanie silnika pierścieniowego lub zmniejszenie jego prędkości obrotowej może być spowodowane zanikiem napięcia zasilającego lub obniżeniem wartości tego napięcia. Jeżeli stan ten trwa na tyle krótko, że silnik może pracować, to po powrocie napięcia do wartości początkowej silnik powraca do normalnego stanu pracy. Takie zjawisko nazywa się **samorozruchem.**

2. Rozruch za pomocą przełącznika gwiazda-trójkąt.

Jest stosowany najczęściej w przypadku silników indukcyjnych klatkowych, które na tabliczce zaciskowej mają sześć końcówek uzwojeń stojana. Wtedy **napięcie sieci zasilającej powinno być równe napięciu znamionowemu uzwojenia stojana, połączonemu w trójkąt**.

Silnik załącza się do sieci z uzwojeniem stojana połączonym w gwiazdę. Wirnik silnika zaczyna się obracać. Jeżeli po pewnym czasie prędkość obrotowa wirnika się ustali (nie zmienia się), to możemy przełączyć uzwojenie stojana w trójkąt.

Podczas rozruchu silnik nie może być obciążony dużym momentem hamującym.



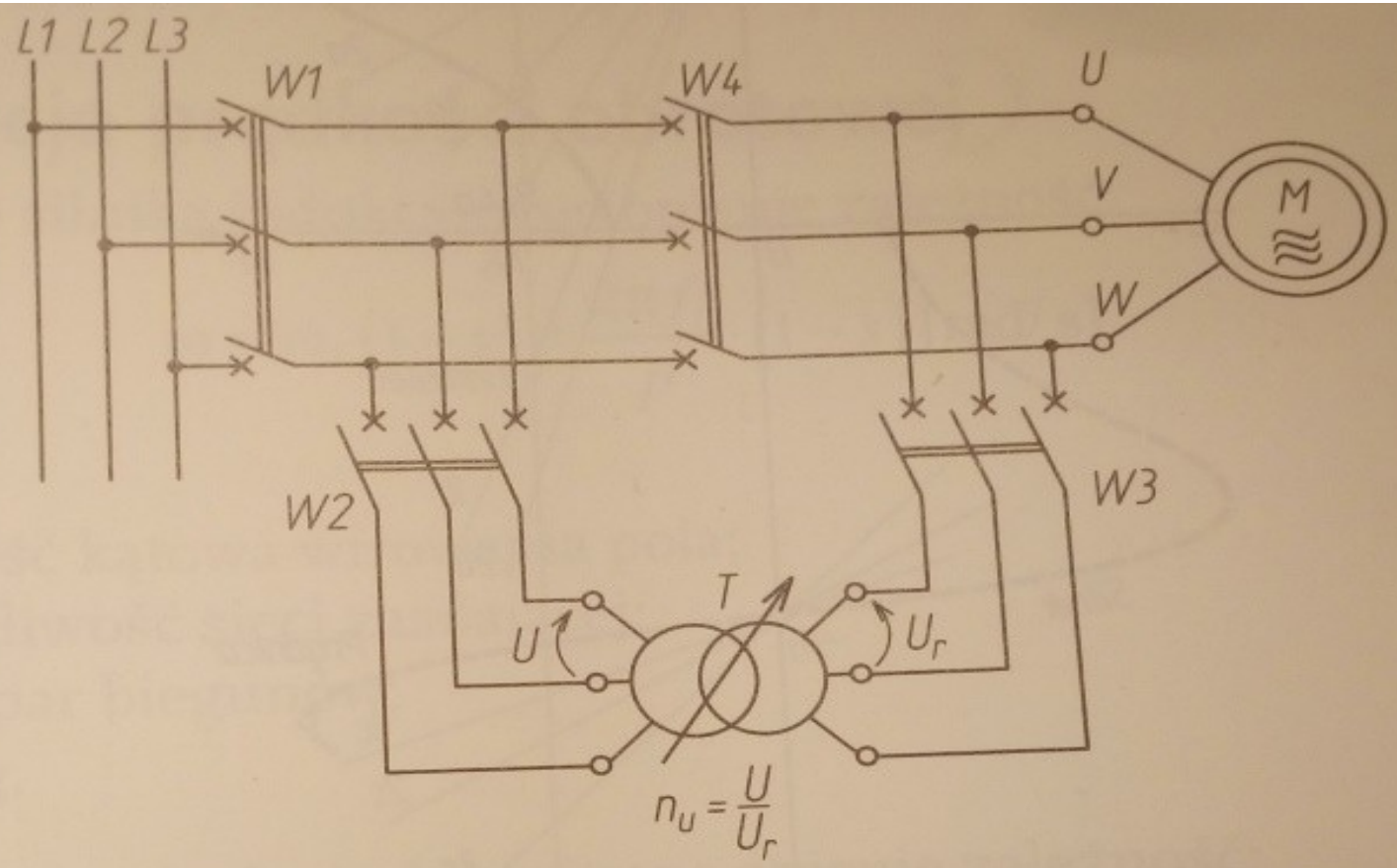
Rozruch silnika indukcyjnego za pomocą przełącznika gwiazda–trójkąt

3. Rozruch za pomocą autotransformatora.

Transformatory stosowane do rozruchu mają regulowaną przekładnię napięciową (płynnie lub skokowo). Napięcie wejściowe transformatora powinno być równe napięciu znamionowemu stojana.

Rozruch rozpoczyna się od ustawienia napięcia zasilającego na wartość mniejszą od znamionowej, tak żeby uzyskać mniejszy prąd rozruchowy. Następnie zamyka się wyłącznik W1, W2, W3, a pozostawia W4 otwarty. Zwiększa się napięcie zasilające do wartości znamionowej. Rośnie prędkość silnika, po jej ustaleniu otwierają się wyłączniki W2 i W3, jednocześnie zamykając W4, co powoduje, że napięcie zasilające silnik jest mniejsze niż napięcie sieci.

Zaletą tego rozwiązania jest zmniejszenie prądu rozruchowego, który płynie w uzwojeniach silnika, natomiast wadą – zmniejszenie momentu rozruchowego.



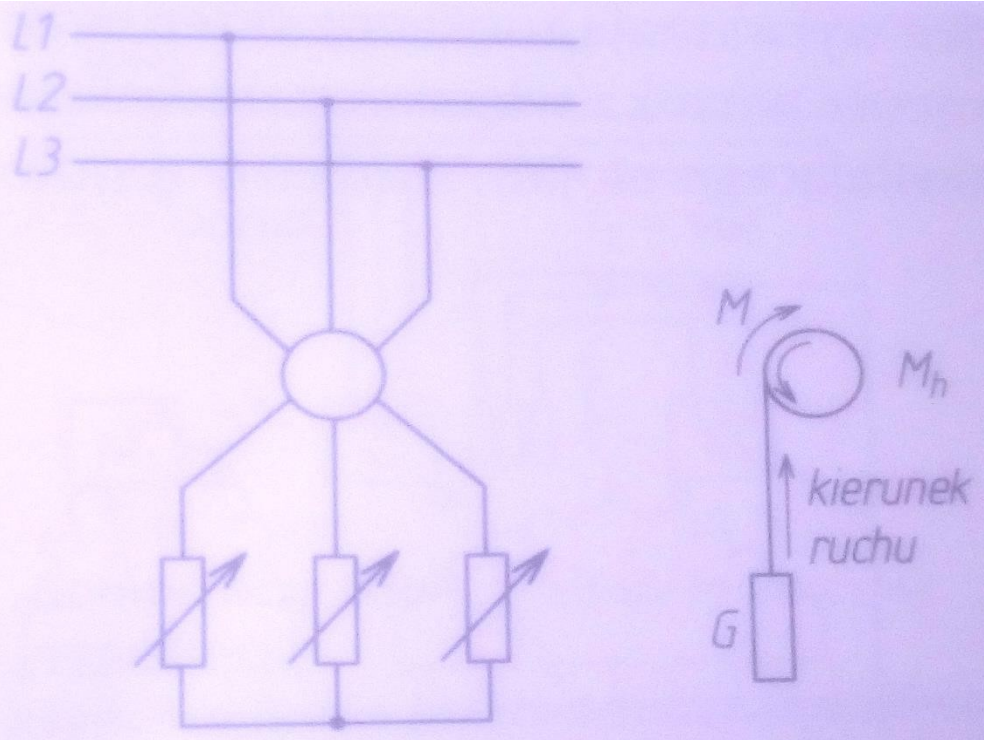
Rozruch silnika za pomocą transformatora

Hamowanie.

Kiedy maszyna asynchroniczna pracuje jako hamulec elektromagnetyczny, wirnik wiruje w kierunku przeciwnym do wirowania pola magnetycznego w stojanie silnika.

1. Hamowanie przeciwprądem.

Hamowanie naturalne występuje wówczas, gdy wirnik jest napędzany w kierunku przeciwnym do kierunku wirowania pola magnetycznego. Z taki stanem mamy do czynienia, gdy włączymy dużą rezystancję w obwód wirnika. Wtedy moment elektromagnetyczny wytworzony w silniku M jest mniejszy od momentu hamującego , ponieważ rezystancja ogranicza prądy indukowane w wirniku, a co za tym idzie – moment elektromagnetyczny.

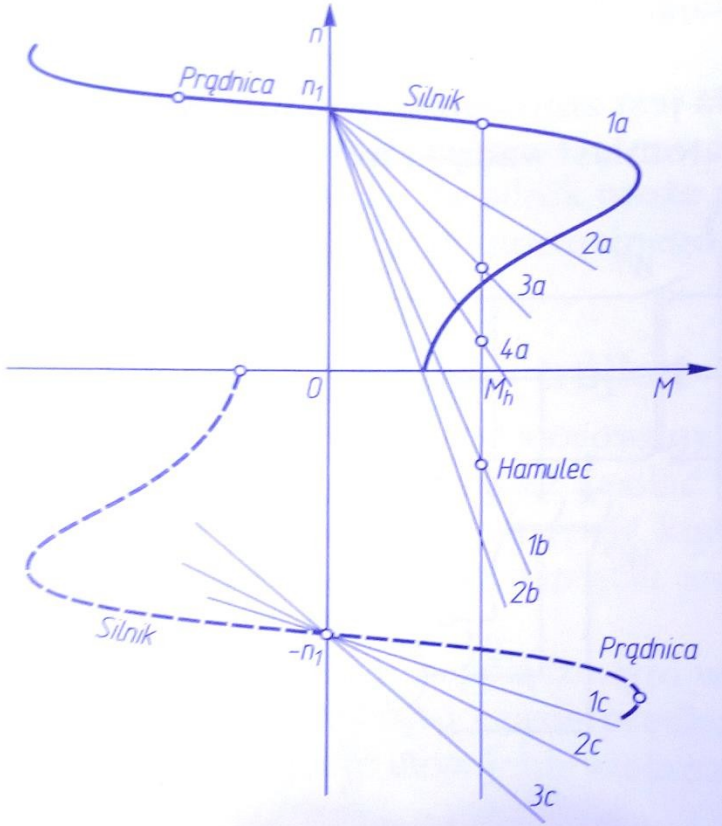


Układ połączeń silnika pierścieniowego napędzającego dźwig

2. Hamowanie prądnicowe.

Hamowanie prądnicowe może podczas opuszczania ciężaru za pomocą silnika, który ten ciężar podnosi. Aby uzyskać hamowanie prądnicowe, zmienia się w silniku kierunek wirowania strumienia: krzyżuje się dwa przewody doprowadzające napięcie do silnika. Moment jest równy 0, czyli maszyna wiruje synchronicznie przy prędkości .

Po włączeniu odpowiednich rezystancji w obwód wirnika uzyskuje się proste 1c, 2c, 3c, które w punktach przecięcia przez prosta wyznaczają odpowiednie prędkości obrotowe maszyny. Maszyna pracuje wtedy jako prądnica i przekazuje do sieci moc uzyskaną od opadającego ciężaru G, który ją napędza.

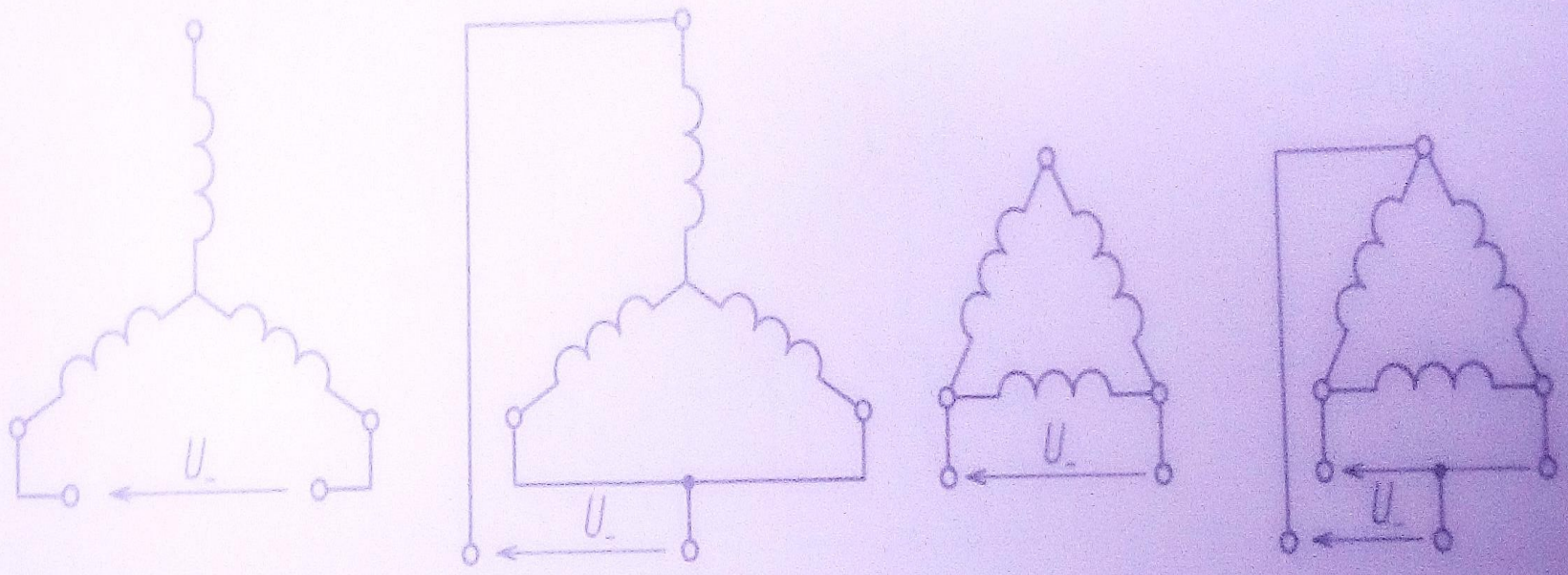


Rys. 5.43. Hamowanie naturalne i prądnicowe maszyną indukcyjną: 1a – charakterystyka mechaniczna naturalna silnika, 2a, 3a, 4a – charakterystyki mechaniczne przy coraz większych rezystancjach włączonych w obwód wirnika

3. Hamowanie dynamiczne (prądem stałym)

Hamowanie dynamiczne polega na odłączeniu uzwojenia stojana od zasilania i podłączeniu do niego napięcia stałego. W stojanie wytwarza się wtedy stały strumień magnetyczny. Indukują się napięcia i płyną prądy, które wytwarzają moment skierowany przeciwnie do kierunku wirowania wirnika.

Źródłem prądu stałego jest najczęściej odpowiedni układ prostowniczy, który jest zasilany z sieci przez transformator obniżający napięcie. Napięcie zasilające wynosi tylko kilka procent napięcia znamionowego silnika. Moc pobierana przez silnik przy hamowaniu dynamicznym jest znacznie mniejsza niż przy hamowaniu przeciwprądowym.



Układy zasilania uzwojeń stojana podczas hamowania dynamicznego

Zmiana kierunku wirowania.

Podczas pracy silnikowej silnika indukcyjnego kierunek wirowania wirnika jest zgodny z kierunkiem wirowania pola magnetycznego.

W celu zmiany kierunku wirowania wirnika takiego silnika należy zmienić kierunek wirowania pola magnetycznego w silniku.

Kierunek wirowania pola magnetycznego zależy od kolejności faz zasilających uzwojenia stojana. Najprościej zmianę kierunku wirowania wirnika uzyskamy, jeżeli zmieniamy kolejność faz zasilających silnik. Wykonuje się to na zaciskach uzwojenia stojana lub na tabliczce zaciskowej silnika. Następuje zmiana kolejności przyłączenia dwóch dowolnych faz uzwojenia stojana z dwoma fazami zasilającej sieci trójfazowej.