

# SILNIKI INDUKCYJNE

# SILNIKI INDUKCYJNE

- WIADOMOŚCI OGÓLNE
- KLASYFIKACJA
- BUDOWA SILNIKA
- ZASADA DZIAŁANIA
- CHARAKTERYSTYKI
- ROZRUCH
- REGULACJA PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ
- ZMIANA KIERUNKU WIROWANIA
- WADY, ZALETY

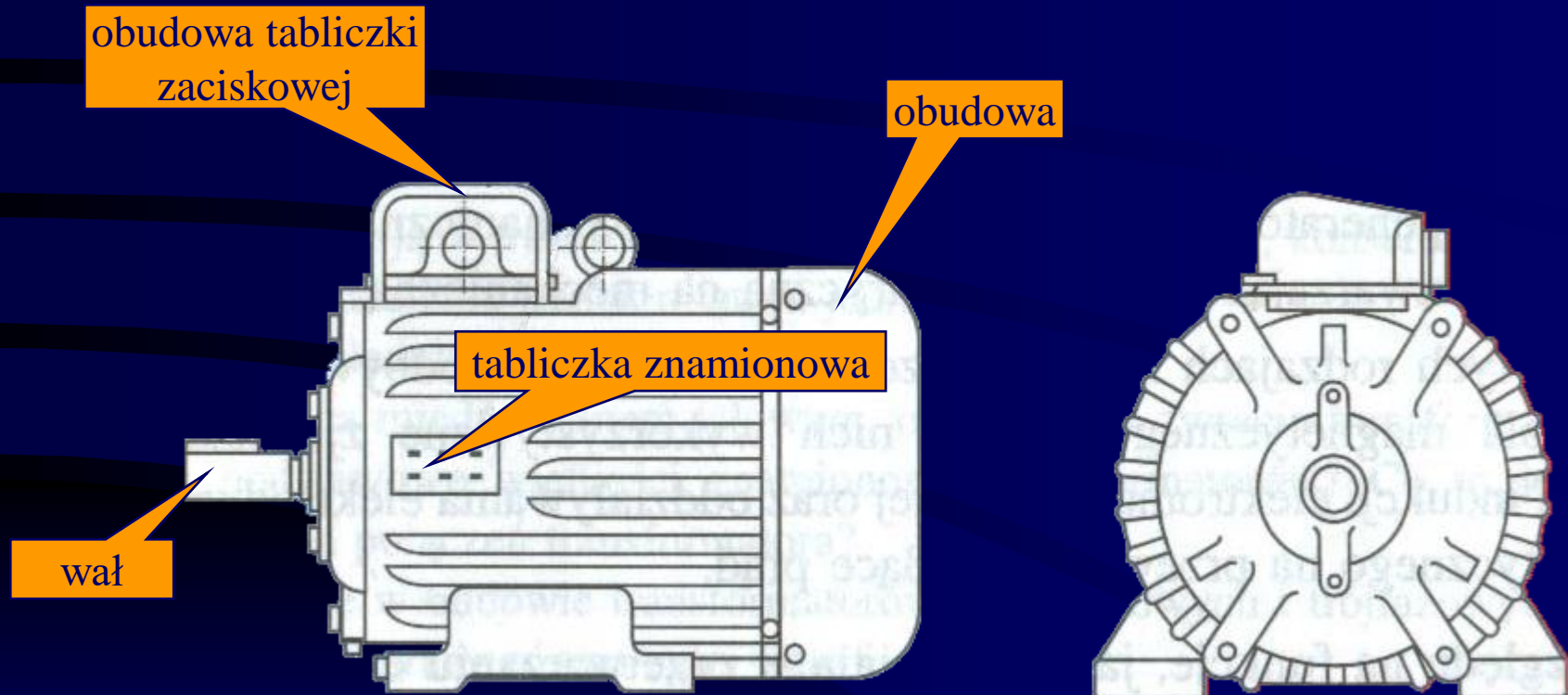
# WIADOMOŚCI OGÓLNE

*Do maszyn indukcyjnych należy duża grupa maszyn o różniących się konstrukcjach przeznaczonych do wypełniania różnorodnych działań.*

*Trójfazowe silniki indukcyjne są najbardziej rozpowszechnione, ponieważ mają prostą budowę, są łatwe w obsłudze, tanie w wykonaniu i eksploatacji, ich właściwości napędowe są dobre. Znajdują one zastosowanie jako silnik ogólnego przeznaczenia, silniki specjalne, ale również jako przetwornice częstotliwości, regulatory napięcia, hamulce indukcyjne czy przesuwniki fazowe.*



# BUDOWA SILNIKA INDUKCYJNEGO



**Tabliczka znamionowa** zawiera podstawowe informacje o silniku:

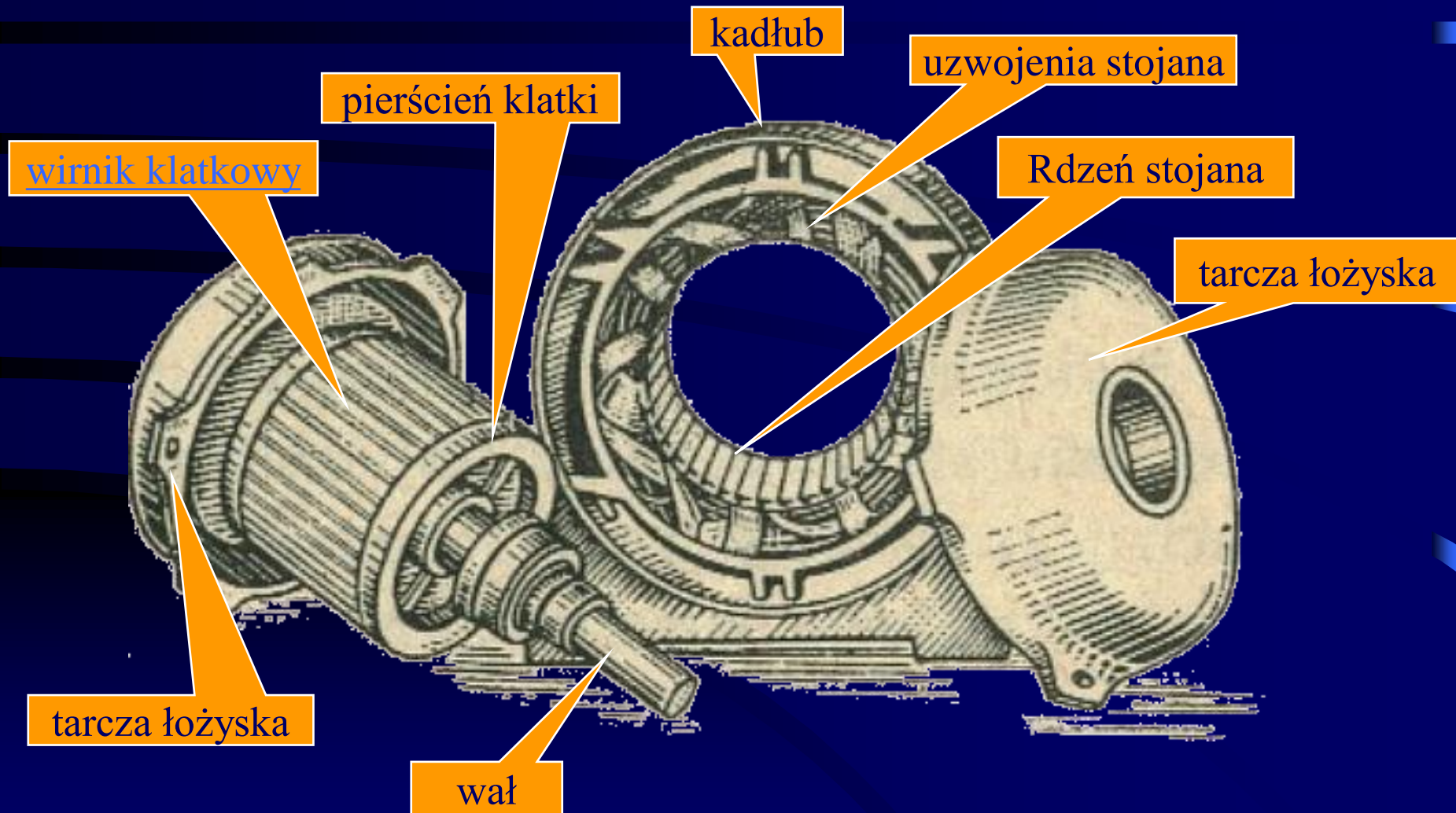
- ❑ znamionowe parametry elektryczne (prąd, napięcie, częstotliwość, współczynnik mocy),
- ❑ znamionowe parametry mechaniczne (moc, sprawność, prędkość wirowania, masa),
- ❑ informacje uzupełniające (typ silnika, nazwa lub symbol producenta, rok produkcji, numer fabryczny)

**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

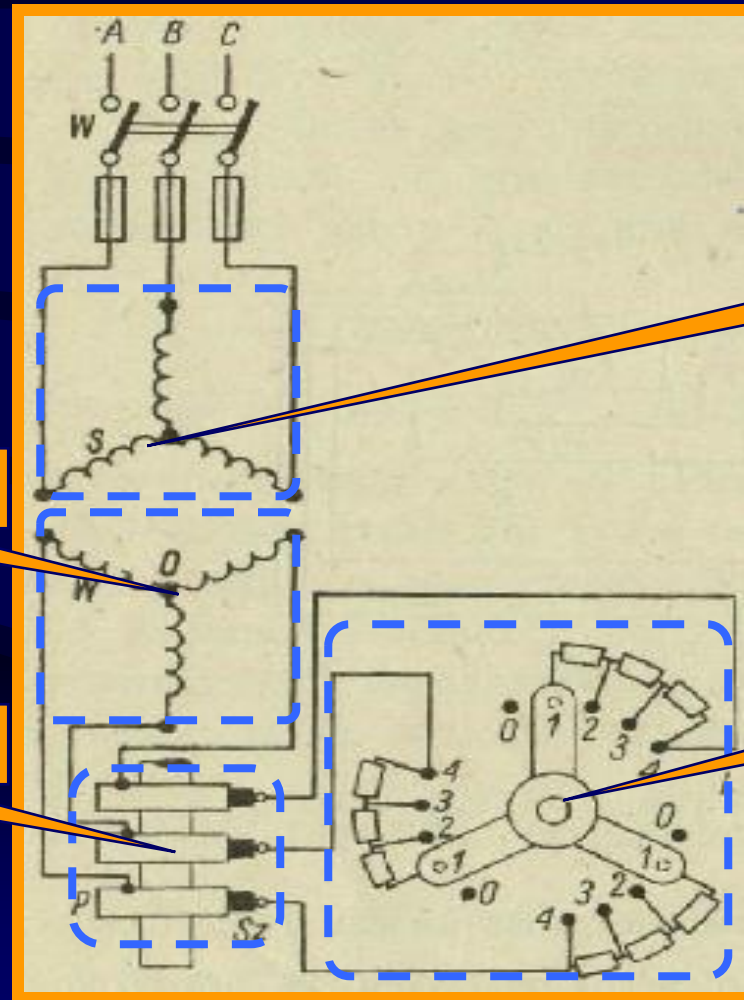
**Obudowa silnika** stanowi ochronę przed szkodliwym oddziaływaniem środowiska na silnik oraz ochronę środowiska (w tym człowieka) przed zagrożeniami jakie stwarza silnik

# BUDOWA SILNIKA TRÓJFAZOWEGO KLATKOWEGO



# BUDOWA SILNIKA

## OBWODY ELEKTRYCZNE



uzwojenia stojana

uzwojenia wirnika

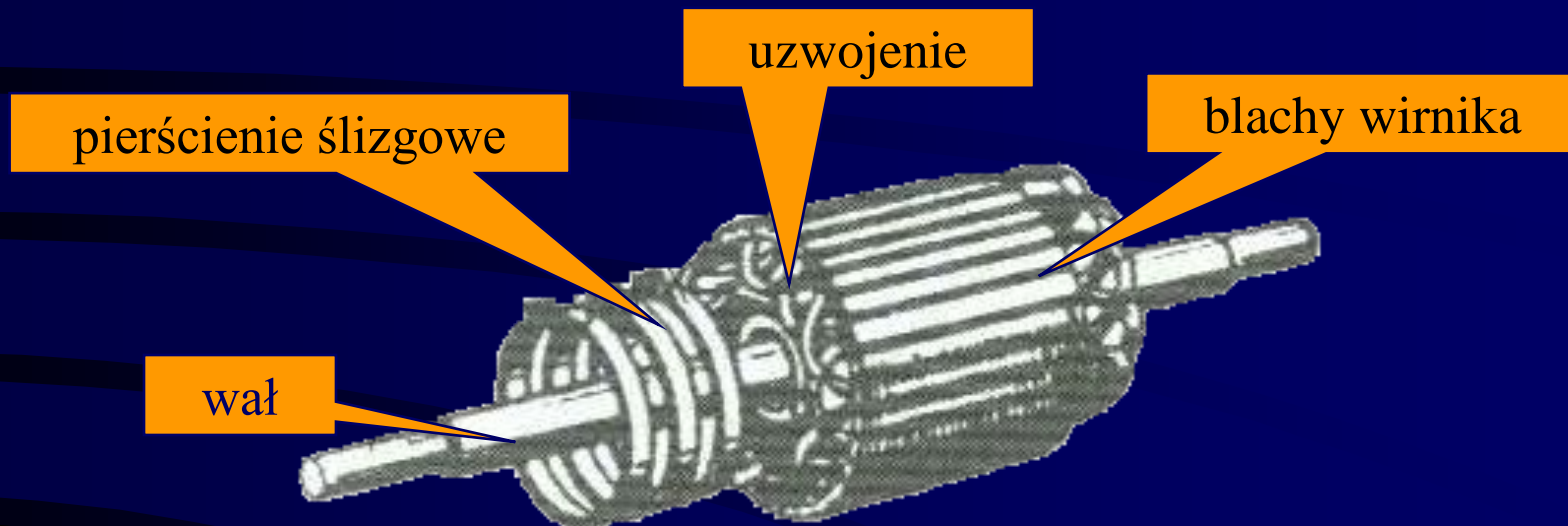
Pierścienie i szczotki

opornik rozruchowy



# BUDOWA SILNIKA

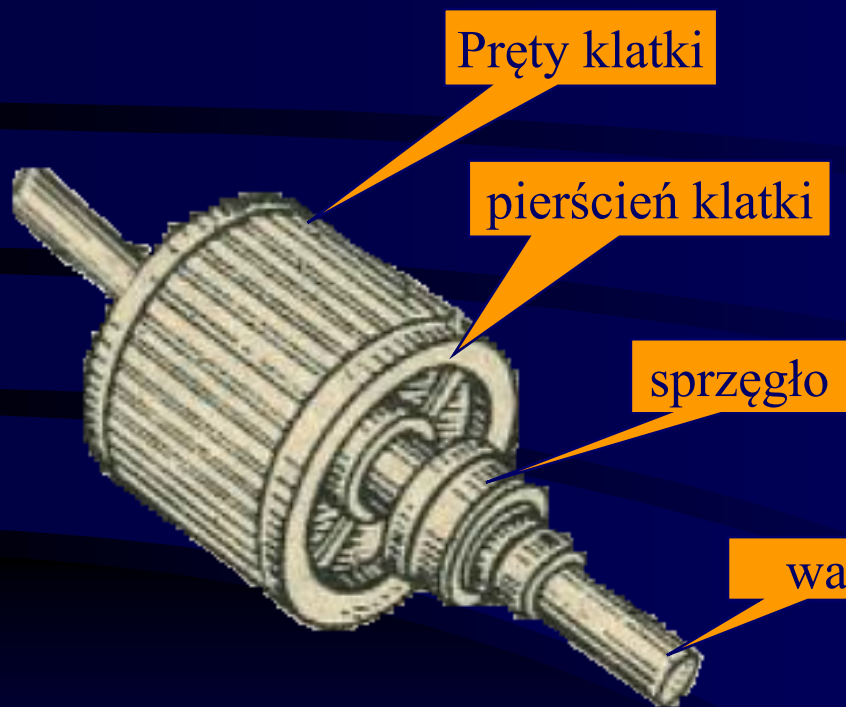
## WIRNIK SILNIKA PIERŚCIENIOWEGO



W silnikach pierścieniowych wirnik jest uzwojony trójfazowo. Uzwojenia te połączone są w gwiazdę, a końce gwiazdy wyprowadzone są do pierścieni ślizgowych.

# BUDOWA SILNIKA

## WIRNIK SILNIKA KLATKOWEGO

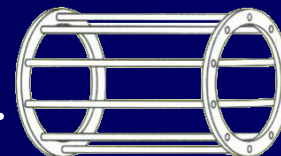


W silnikach klatkowych wirnik ma uzwojenia w postaci prętów zwartych na końcach.

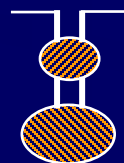
# BUDOWA SILNIKA

## RODZAJE WIRNIKÓW KLATKOWYCH

☐ **jednoklatkowe** - uzwojenie tworzy rodzaj klatki.



☐ **dwuklatkowe** - wirnik ma dwa uzwojenia zwarte w postaci dwóch klatek: wewnętrznej i zewnętrznej, składających się z jednakowej liczby prętów. Taka konstrukcja pozwala na uzyskanie większego momentu rozruchowego przy prądzie o mniejszym natężeniu



☐ **głębokożłobkowe** - klatka zbudowana jest z prętów w kształcie wąskich szyn sięgających w głąb wirnika, pozwala to na przebieg rozruchu jak w silniku dwuklatkowym.



# ZASADA DZIAŁANIA

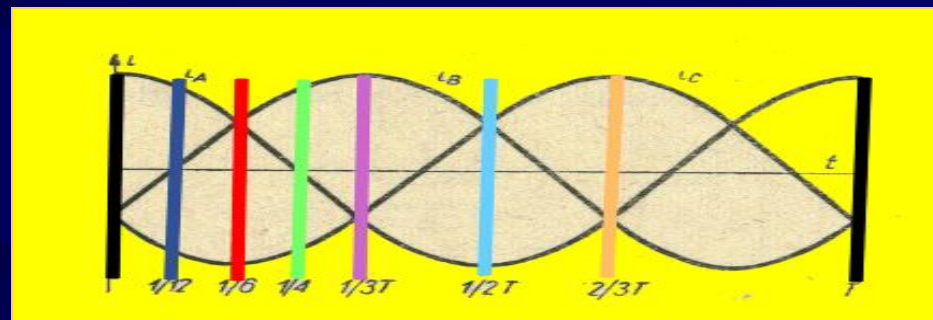
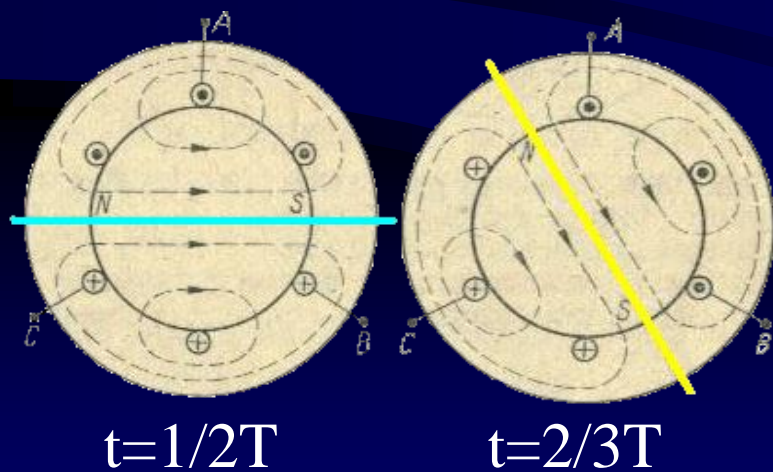
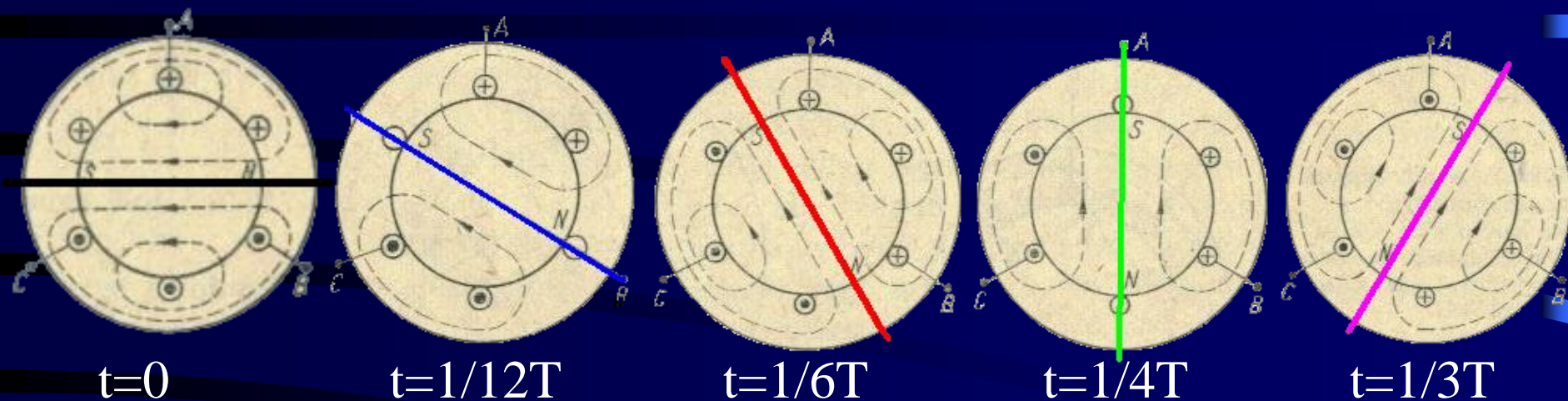
## POLE WIRUJĄCE

Każde uzwojenie, przez które płynie prąd przemienny, wytwarza wokół siebie zmienne pole magnetyczne.

Trzy zmienne pola magnetyczne nakładają się na siebie, dając pole wypadkowe zmienne.

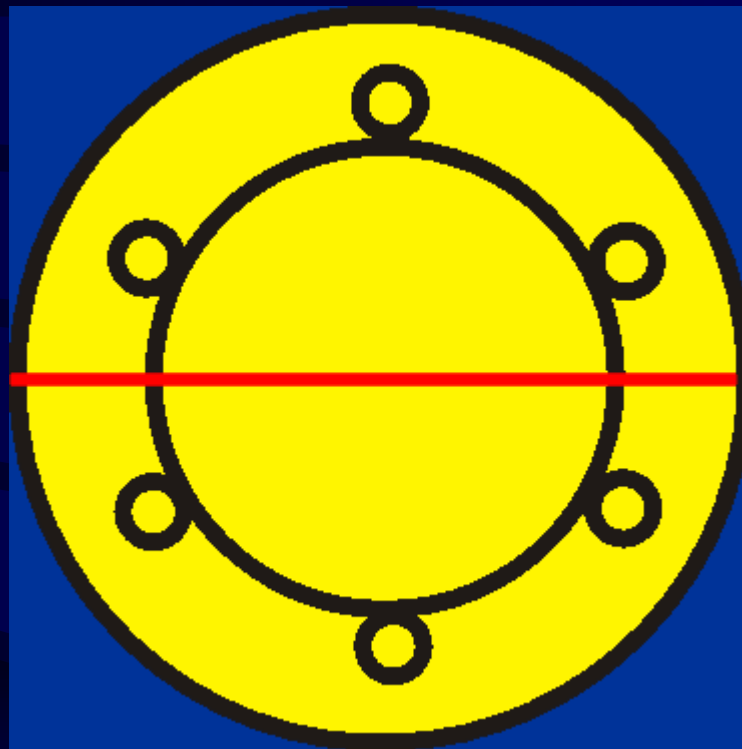
# ZASADA DZIAŁANIA

POŁOŻENIE OSI WYPADKOWEGO POLA STOJANEGO ZASILANEGO TRÓJFAZOWO



# ZASADA DZIAŁANIA

## POLE WIRUJĄCE STOJANA



— oś pola wypadkowego

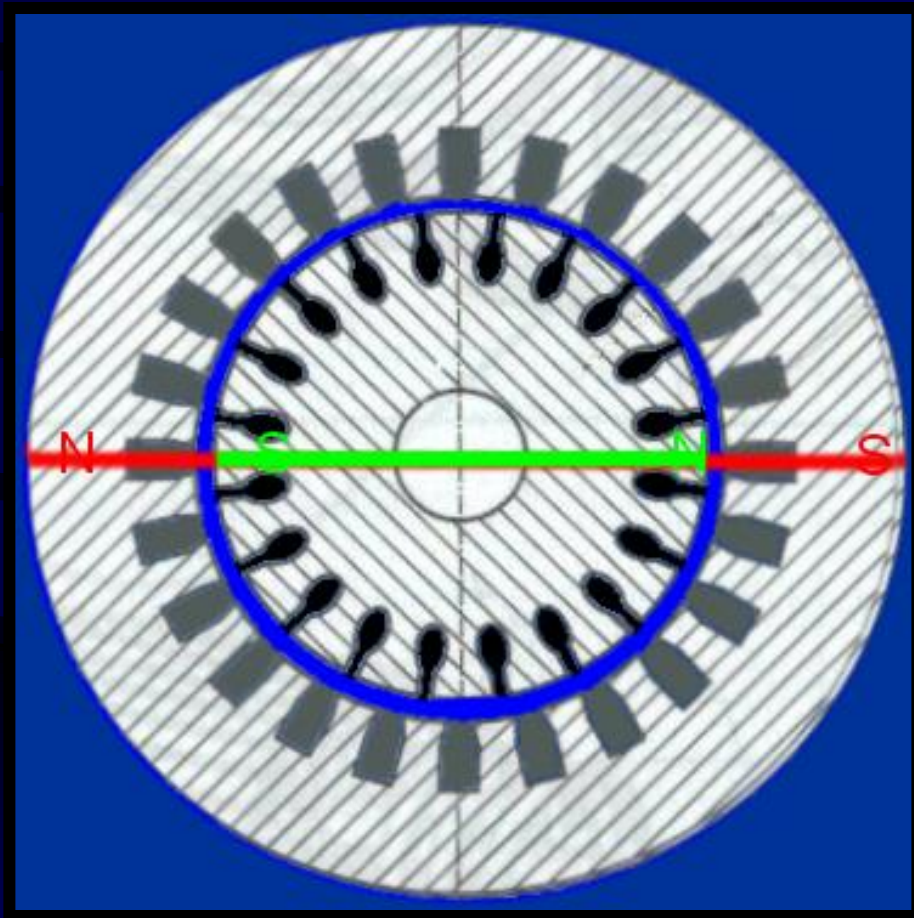
# ZASADA DZIAŁANIA

Wirujące pole magnetyczne wywołane przez stojan, przecina przewody nieruchomego w pierwszej chwili wirnika i indukuje w nich siły elektromotoryczne. Pod wpływem tych sił w zamkniętym obwodzie wirnika płynie prąd w wyniku którego w wirniku wytwarza moment obrotowy powodujący podążanie przewodów wirnika w kierunku wirowania pola. Wirnik zaczyna się obracać.

Z upływem czasu prędkość obrotowa wirnika zwiększa się, lecz równocześnie zmniejsza się prędkość przecinania jego przewodów przez pole wirujące. Zmniejsza się wtedy wartość momentu w porównaniu z tym, jaki działał na nieruchomy wirnik.

W rezultacie ustala się prędkość obrotowa wirnika. Jest ona mniejsza od prędkości pola wirującego stojana.

# 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:

- ❑ przewody 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

$$M = M_d + M_m$$

$M$  - moment elektromagnetyczny;  $M_d$  - moment dynamiczny;  $M_m$  - moment mechaniczny;

$$\frac{d\omega_m(t)}{dt}$$

# ZASADA DZIAŁANIA

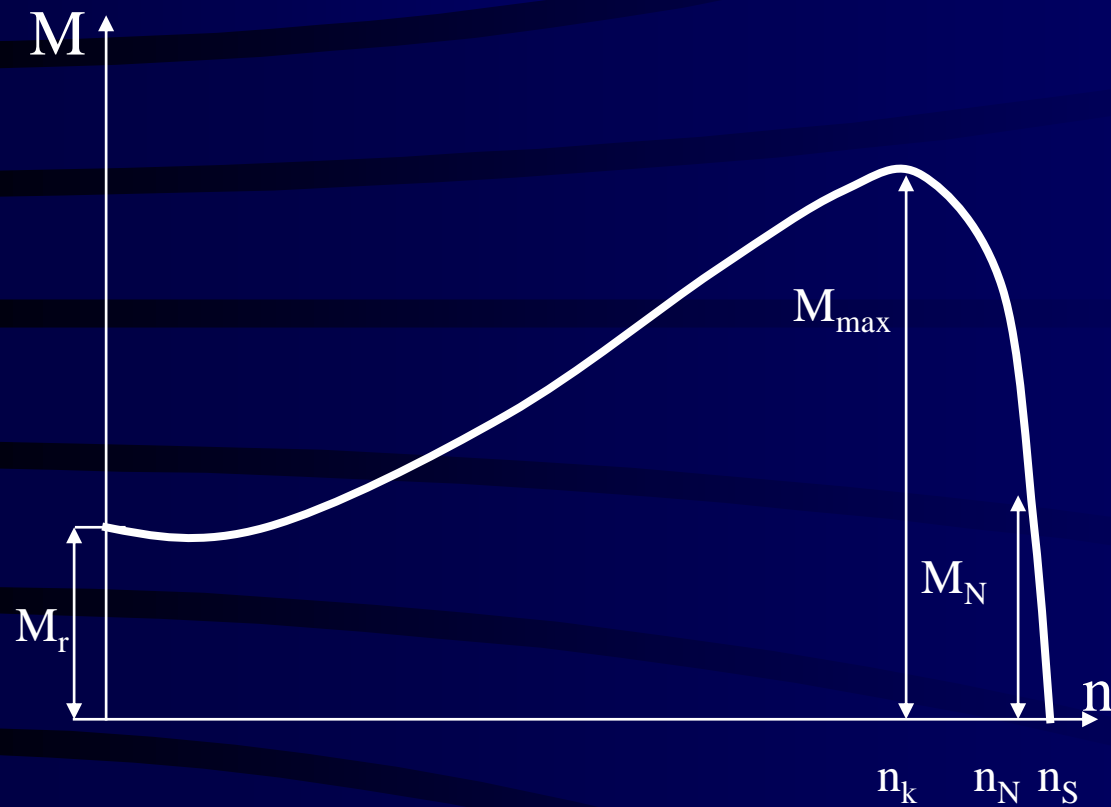
Wirnik silnika będzie wprowadzony w ruch obrotowy jeśli:

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

# CHARAKTERYSTYKI

Właściwości ruchowe silników przedstawia się zazwyczaj w postaci:

- ❑ charakterystyki mechanicznej
- ❑ charakterystyki roboczej



$M_r$  - moment rozruchowy

$M_{max}$  - moment maksymalny

$M_N$  - moment znamionowy

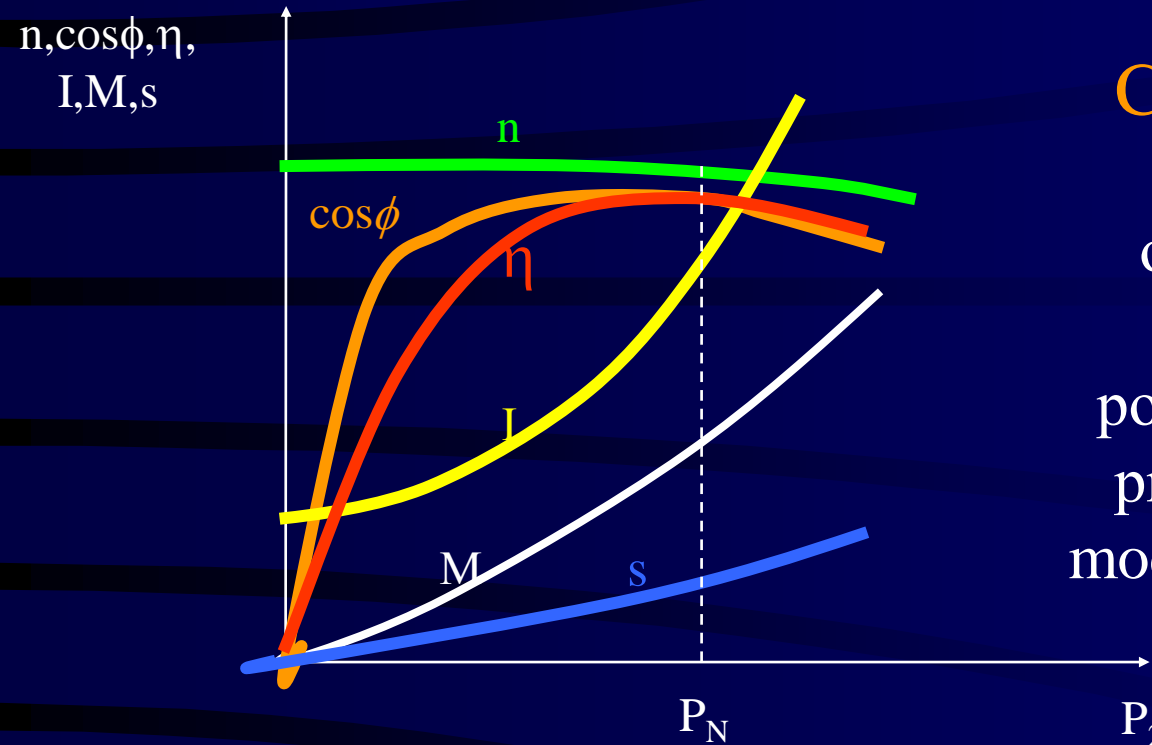
$n_k$  - prędkość krytyczna

$n_N$  - prędkość znamionowa

$n_s$  - prędkość synchroniczna

**charakterystyka mechaniczna** to zależność momentu obrotowego silnika  $M$  od prędkości obrotowej  $n$ .

Zakres pracy silnika od biegu jałowego aż do obciążenia znamionowego znajduje się na części charakterystyki zawartej między prędkością synchroniczną  $n_s$  a znamionową  $n_N$



## Charakterystyki robocze

to zależność prędkości obrotowej  $n$ , sprawności  $\eta$ , momentu obrotowego  $M$ , poślizgu  $s$ , prądu pobieranego przez silnik  $I$ , współczynnika mocy  $\cos \phi$  od mocy oddawanej na wale silnika  $P_2$ .

Charakterystyki te

wyznacza się przy warunkach znamionowych zasilania

Przy małym obciążeniu silnik pobiera dość znaczny prąd, a sprawność i współczynnik mocy silnika są niewielkie (przy biegu jałowym  $I_0$  wynosi 25-50%  $I_N$ , a  $\cos\phi_0$  maleje z 0,85 do ok. 0,1).

# ROZRUCH SILNIKA INDUKCYJNEGO

Rozruch silników klatkowych i pierścieniowych trwający od chwili przyłączenia obwodu stojana do sieci zasilającej do chwili osiągnięcia przez wirnik ustalonej prędkości obrotowej, przebiega w odmienny sposób

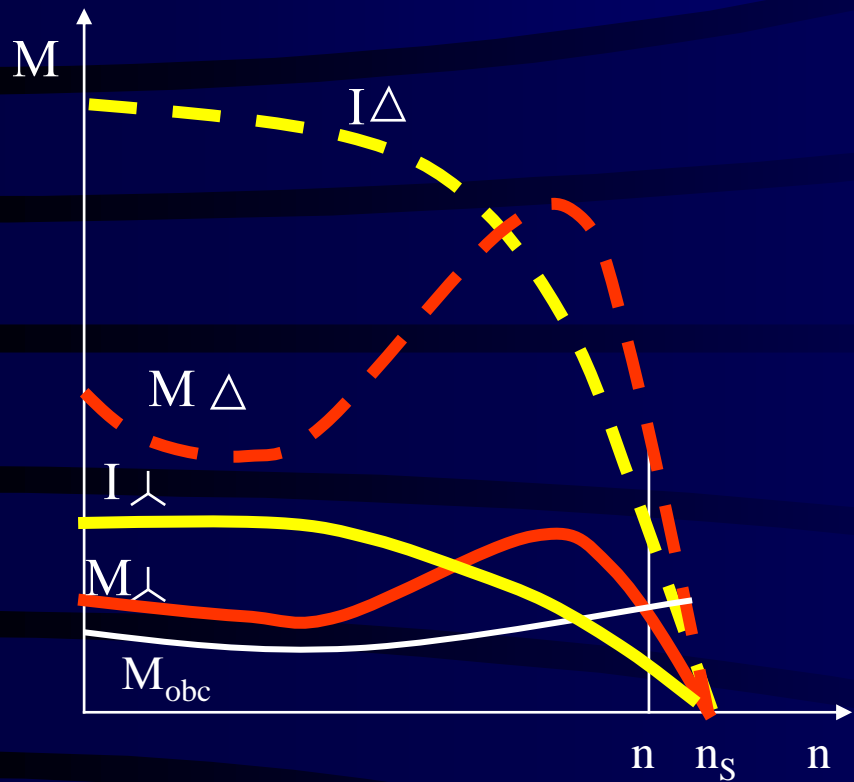


# ROZRUCH SILNIKA

## KLATKOWEGO

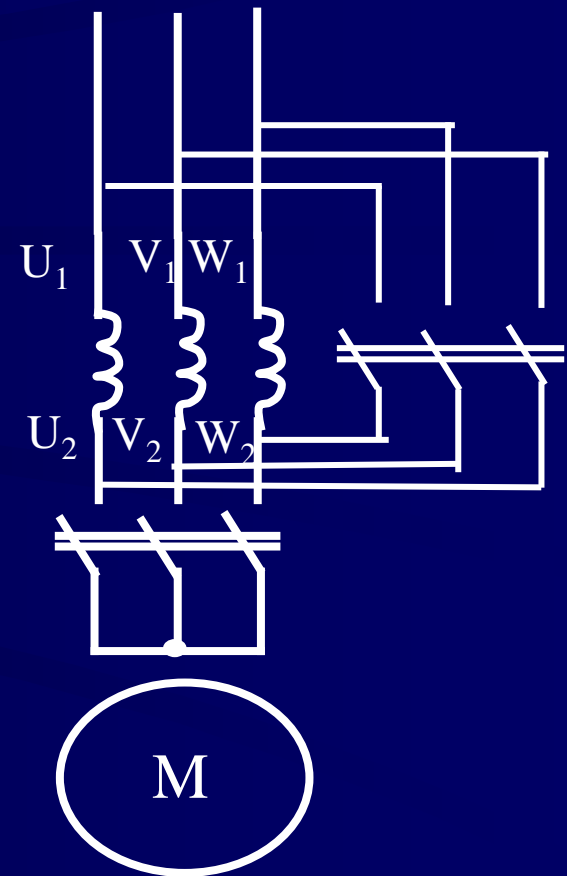
**Rozruch bezpośredni** polega na przyłączeniu uzwojeń stojana do sieci zasilającej bez urządzeń obniżających napięcie. Prąd pobierany podczas takiego rozruchu jest kilkakrotnie większy od znamionowego, a czas jego trwania zależy od momentu obciążenia i momentu znamionowego ( $M_{obc}/M_N > 1$  - kilkanaście do kilkudziesięciu sekund).

**Rozruch za pomocą gwiazda - trójkąt** polega na połączeniu uzwojeń stojana w gwiazdę przed włączeniem silnika. Przez to zmniejsza się napięcie zasilające 3 razy, a tym samym moment rozruchowy i prąd pobierany z sieci są 3 razy mniejszy. Przed ukończeniem rozruchu silnik należy przełączyć w trójkąt, aby pracował w swoich warunkach normalnych (rozruch taki jest możliwy, gdy silnik rusza nieobciążony lub obciążony bardzo małym momentem).



$M_{\Delta}$  - moment obrotowy i  $I_{\Delta}$  - prąd stojana przy połączeniu w trójkąt,  $M_Y$  - moment obrotowy i  $I_Y$  - prąd stojana przy połączeniu w gwiazdę,  $M_{obc}$  - moment obciążenia

Przebieg momentu obrotowego i prądu podczas rozruchu silnika klatkowego za pomocą przełącznika gwiazda - trójkąt



Schemat przyłączenia silnika z przełącznikiem trójkąt - gwiazda

**Rozruch za pomocą rozrusznika stojanowego** polega na włączeniu w obwód stojana opornika o zmiennej rezystancji. Podobnie jak w przypadku przełącznika gwiazda - trójkąt zarówno moment jak i prąd początkowy mają małą wartość i może być stosowany

**Rozruch za pomocą autotransformatora** polega na zasilaniu silnika za pośrednictwem autotransformatora obniżającego. Uruchamia się silnik zwiększając napięcie od zera do największej wartości.

Silnik rusza bez obciążenia lub przy małej jego wartości

# ROZRUCH SILNIKA

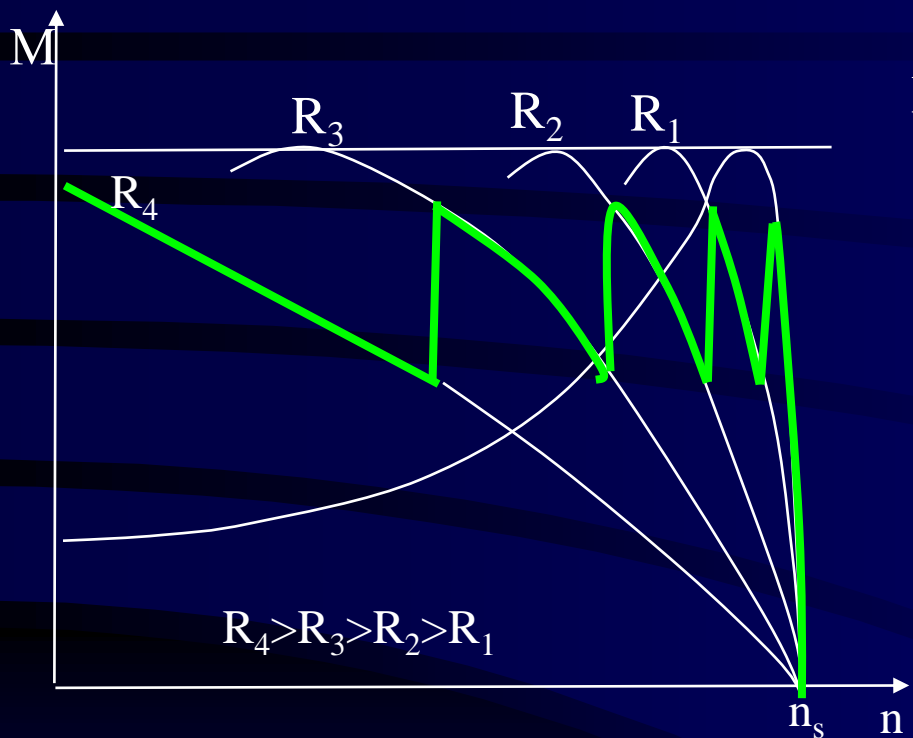
## PIERŚCIENIOWEGO

Najczęściej przeprowadza się taki rozruch przy włączonym w obwód wirnika rozrusznika czyli rezystorów o regulowanej rezystancji.

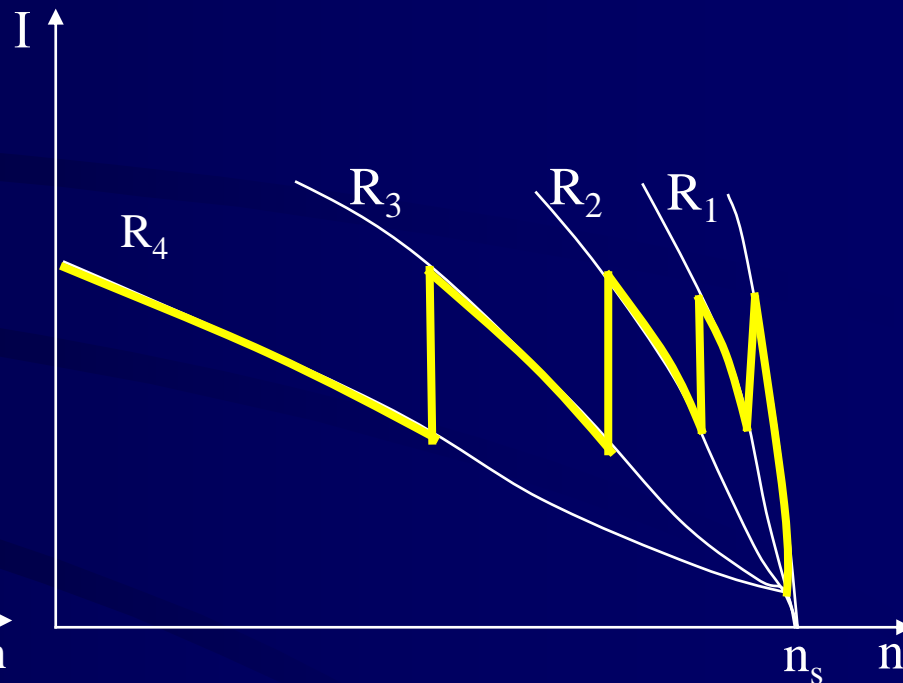
W chwili początkowej rozruchu powinny mieć one największą rezystancję, a w miarę upływu czasu, należy tę rezystancję zmniejszać.

Po osiągnięciu prędkości znamionowej silnika uzyskuje się bezoporowe połączenie uzwojeń wirnika. Taki rozruch zmniejsza prąd rozruchowy, a dodatkowe rezystory w obwodzie wirnika powodują zwiększenie momentu rozruchowego.

# Rozruch silnika pierścieniowego z zastosowaniem rozrusznika czterostopniowego



Przebieg momentu obrotowego  $M$



Przebieg prądu rozruchowego  $I$

# REGULACJA PRĘDKOŚCI

## SILNIKA TRÓJFAZOWEGO

Prędkość obrotową silników indukcyjnych wyraża się zależnością:

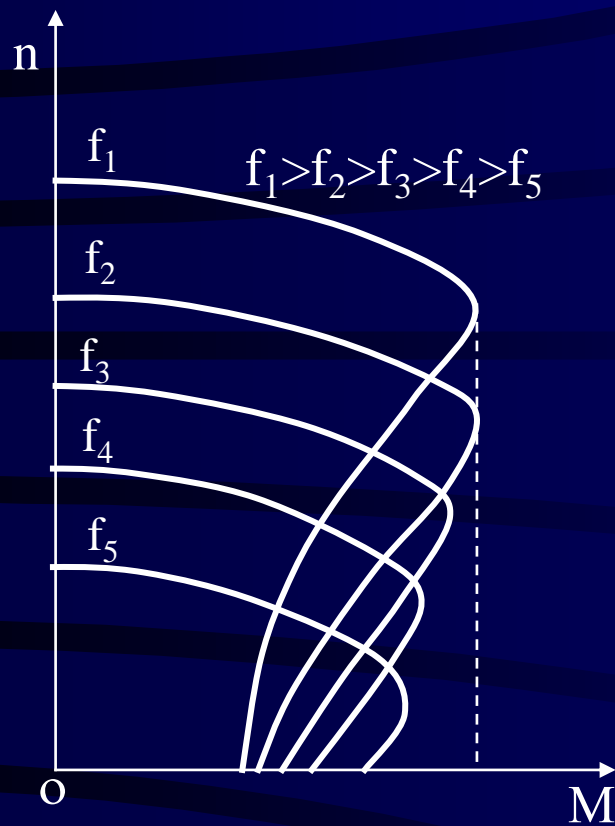
$$n = n_s (1 - s) = \frac{f}{p} (1 - s)$$

z której wynika, że prędkość tę można regulować zmieniając liczbę par biegunów magnetycznych  $p$ , częstotliwość  $f$  lub poślizg  $s$ .

**Regulacja prędkości przez zmianę par biegunów** jest możliwa w silnikach o specjalnej budowie (wielobiegunowych w których na tabliczkę zaciskową wyprowadzono początek, koniec i środek uzwojeń stojana , jednego lub wielu niezależnych, każdej fazy).

Przy odpowiednim połączeniu zacisków stojana silniki te umożliwiają skokową regulację prędkości, t.zn. uzyskanie dwu, trzech, a nawet czterech prędkości znamionowych. Regulację taką stosuje się tylko w silnikach klatkowych.

**Regulacja prędkości obrotowej przez zmianę częstotliwości** polega na zasilaniu silnika za pośrednictwem przetwornicy częstotliwości lub tyrystorowego przemiennika częstotliwości. Należy pamiętać o zwiększeniu napięcia zasilającego, gdyż zachowany zostanie wówczas moment maksymalny silnika ( $U/f = \text{const.}$ ).



Charakterystyki mechaniczne silnika indukcyjnego przy zmianie częstotliwości napięcia stojana stosunku  $U/f = \text{const}$

**Regulacja prędkości obrotowej przez zmianę poślizgu** można uzyskać w wyniku włączenia dodatkowej rezystancji w obwód wirnika. Jest ona możliwa tylko w silnikach pierścieniowych. Przy takiej regulacji wydzielą się dużo ciepła w wirniku, stąd stosowana jest przy zmianach prędkości w małym zakresie lub w niewielkich przedziałach czasu



# ZMIANA KIERUNKU WIROWANIA

## W SILNIKACH TRÓJFAZOWYCH

Zmianę kierunku wirowania uzyskuje się zamieniając między sobą dwa dowolne przewody zasilające dołączone do tabliczki zaciskowej



# ZALETY I WADY SILNIKÓW INDUKCYJNYCH

## KLATKOWE

### zalety:

- ☐ prosta konstrukcja
- ☐ niezawodne działanie
- ☐ małe koszty produkcji i eksploatacji
- ☐ niewielka zmienność prędkości obrotowej przy zmianach obciążenia
- ☐ duża przeciążalność
- ☐ prosty rozruch

### ☐ wady:

- ☐ duży prąd rozruchu
- ☐ mały współczynnik mocy
- ☐ mała sprawność przy małym obciążeniu
- ☐ trudna regulacja prędkości

# ZALETY I WADY SILNIKÓW INDUKCYJNYCH PIERŚCIENIOWE

## zalety:

- ❑ mniejszy od klatkowych prąd rozruchowy przy większym momencie rozruchowym
- ❑ niewielka zmienność prędkości obrotowej przy zmianach obciążenia
- ❑ duża przeciążalność
- ❑ możliwość regulacji prędkości

## wady:

- ❑ skomplikowana budowa
- ❑ duże koszty
- ❑ mały współczynnik mocy
- ❑ mała sprawność przy małym obciążeniu
- ❑ trudny rozruch
- ❑ wrażliwość na zmiany napięcia