

Rozruchem silnika indukcyjnego nazywa się stan pracy od chwili włączenia napięcia do osiągnięcia ustalonej prędkości obrotowej, określonej parametrami zasilania (napięciem i częstotliwością) i obciążenia (momentem hamującym).

Rozruch silnika indukcyjnego jest możliwy tylko wtedy, gdy moment wytworzony przez silnik  $M$  jest większy od momentu obciążenia  $M_u$ .

Istotne dla rozruchu silnika indukcyjnego są:

- prąd rozruchowy  $I_r$
- moment rozruchowy  $M_r$
- czas rozruchu.

### **Metody rozruchu silników elektrycznych (zasilanych bezpośrednio z sieci)**

**Rozruch bezpośredni** polegający na bezpośrednim podłączeniu urządzenia na pełne napięcie sieci podczas gdy wirnik jest nieruchomy. Prąd rozruchowy jest ograniczany jedynie przez impedancję silnika a jego wartość może przekraczać nawet sześciokrotną wartość prądu znamionowego.

**Rozruch gwiazda-trójkąt** . Uzwojenia silnika są początkowo łączone w gwiazdę, a po pewnym czasie przełączane na układ w trójkąt. Prąd rozruchowy w tym układzie jest około dwa razy większy od prądu znamionowego, jednak istnieją udary prądu w momencie przełączania układu. Mimo iż udar prądu jest krótki, to ze względu na jego dużą wartość powoduje uderzenie momentu obrotowego w układzie mechanicznym i chwilowy spadek napięcia.

**Rozruch autotransformatorem** – napięcie przy rozruchu może być regulowane przy pomocy autotransformatora. Stosuje się do silników o dużej mocy. Autotransformator zmniejsza napięcie doprowadzanego do silnika do wartości 50 – 75% napięcia znamionowego.

**Soft –Start** z zastosowaniem elektronicznych układów rozruchowych. Zasada działania opiera się na regulacji mocy dostarczanej do odbiornika, dokonywanej poprzez zmianę skutecznej wartości napięcia podawanego na uzwojenia. W roli elementów sterujących stosuje się najczęściej tyrystory.

## Start bezpośredni silnika – załączenie przez stycznik

Bezpośrednie włączenie do sieci na napięcie znamionowe jest najprostszym ale też najbardziej krytycznym stanem pracy silnika o wirniku klatkowym. Występujące wielokrotne przekroczenie znamionowego prądu silnika w czasie rozruchu, jest przyczyną spadku napięcia w sieci.

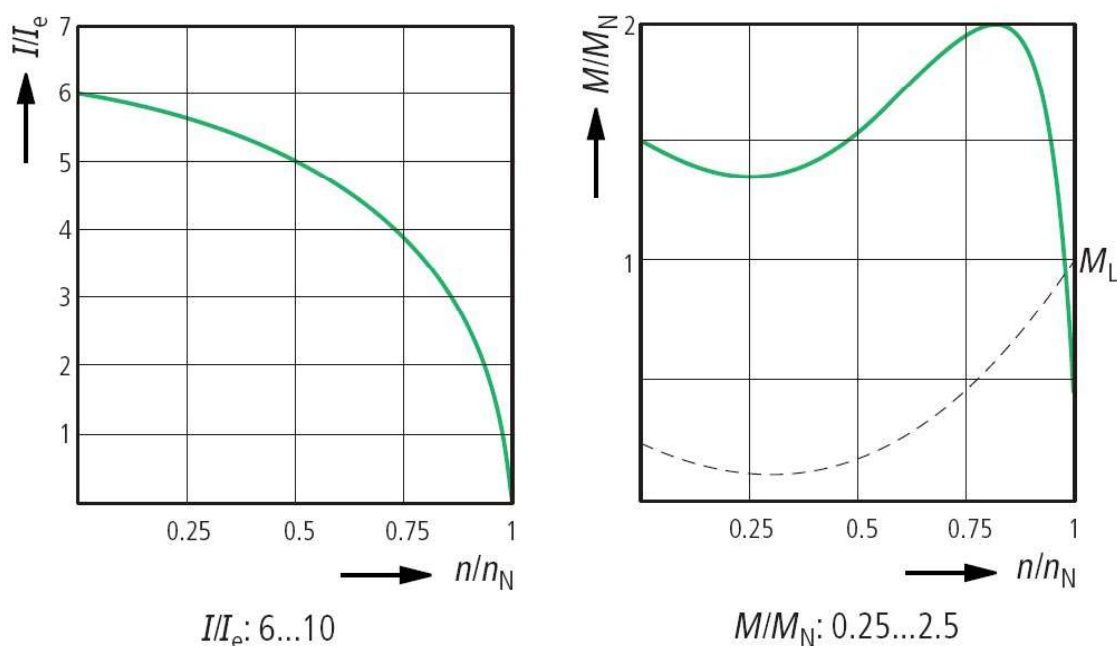
Prąd pobierany podczas rozruchu silnika ze zwartym uzwojeniem wirnika jest kilkakrotnie większy od prądu znamionowego:  $I_r = 5 \div 8 I_N$

Dopuszczalna moc trójfazowych silników indukcyjnych o wirniku klatkowym, włączanych bezpośrednio do sieci elektroenergetycznej:

- przy włączeniu bezpośrednim do sieci o napięciu 400 V - 5,5 kW,
- przy włączeniu za pomocą przełącznika gwiazda - trójkąt: do sieci o napięciu 400 V - 15 kW.

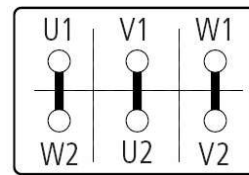
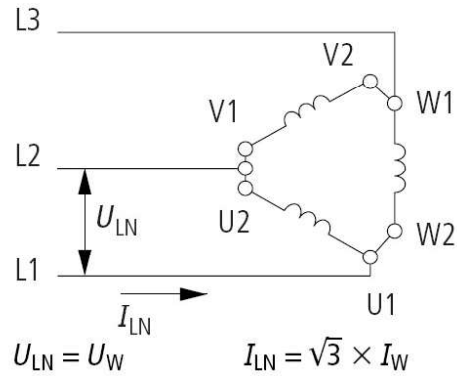
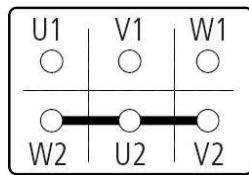
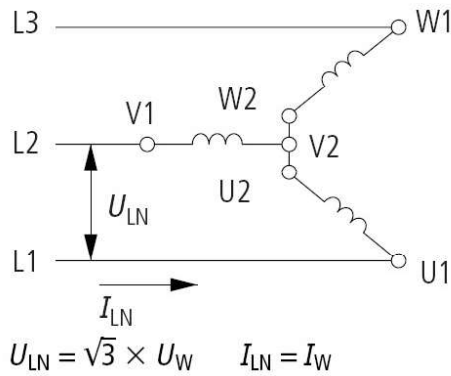
Dopuszczalna moc jednofazowego silnika indukcyjnego włączanego bezpośrednio w sieci o napięciu 230 V - wynosi 1,5 kW.

## Start bezpośredni silnika – załączenie przez stycznik



### Start z przełączeniem gwiazda / trójkąt

Najstarsza i najbardziej znana metoda rozruchu pozwalająca na zmniejszenie prądu rozruchowego

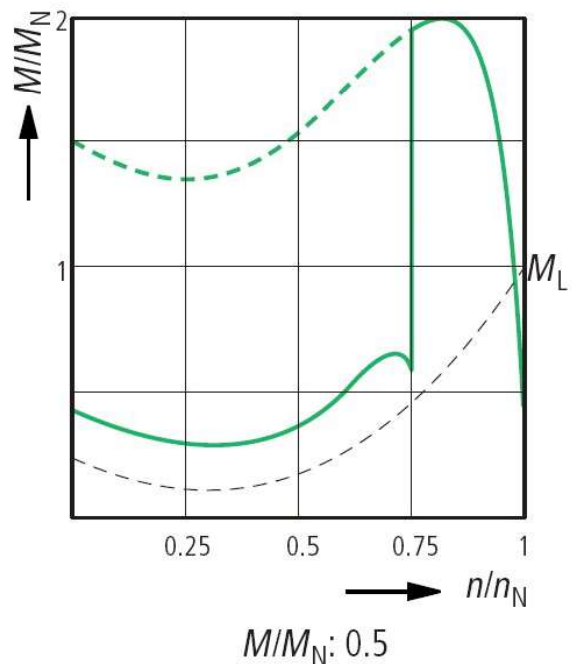
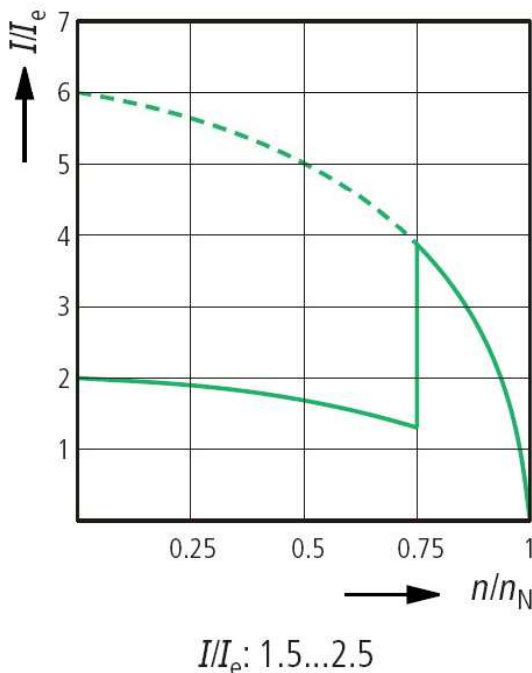


$$\frac{I_{LY}}{I_{L\Delta}} = \frac{\frac{U}{Z\sqrt{3}}}{\frac{U\sqrt{3}}{Z}} = \frac{1}{3} \rightarrow 3 I_{LY} = I_{L\Delta}$$

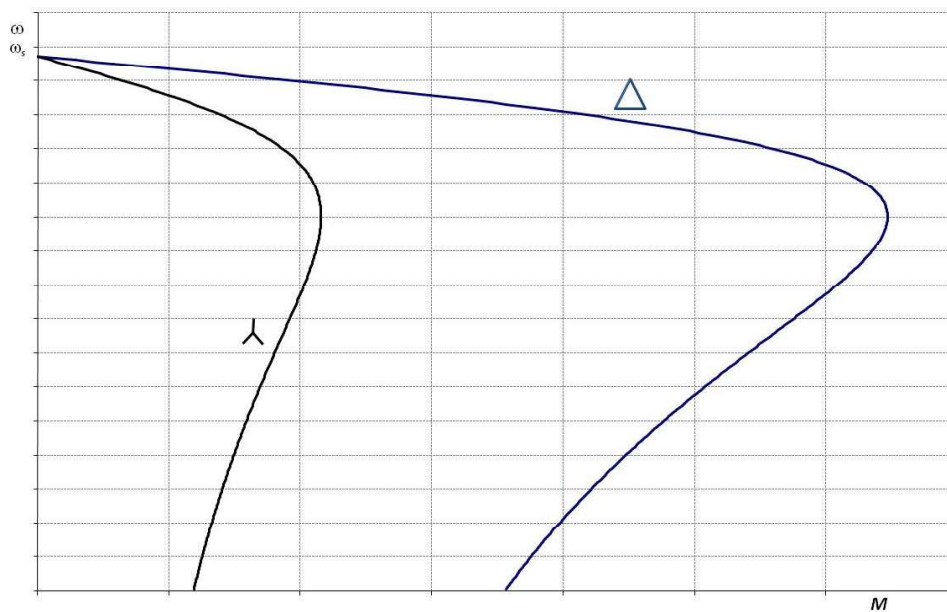
$$\frac{M_Y}{M_{\Delta}} = \left( \frac{U_Y}{U_{\Delta}} \right)^2 = \left( \frac{U}{\sqrt{3}U} \right)^2 = \frac{1}{3}$$

### Start z przełączeniem gwiazda / trójkąt

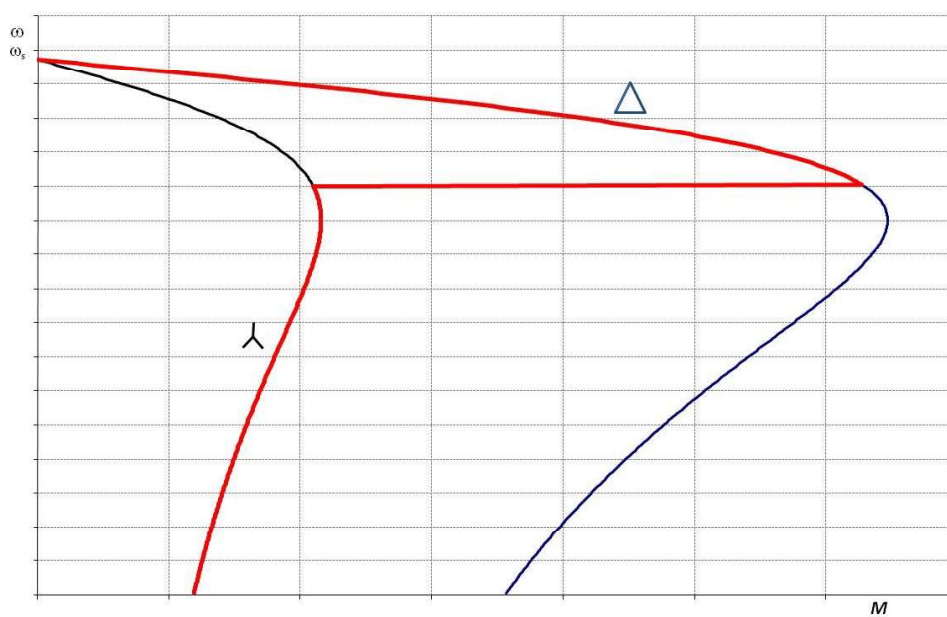
- mały prąd rozruchowy przy starcie z połączeniem w gwiazdę
- skok prądu i momentu w chwili przełączenia na trójkąt (obciążenie mechaniczne napędu)



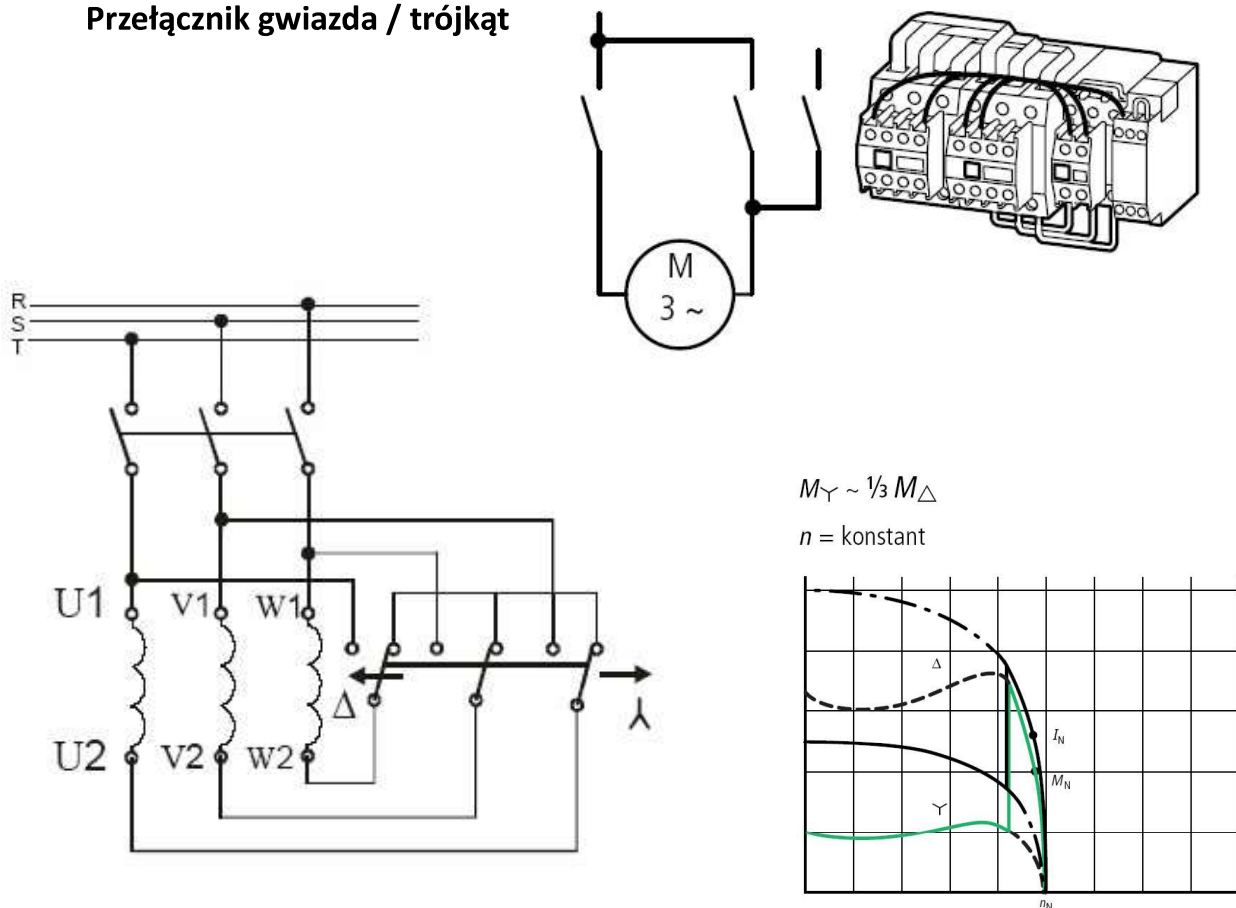
### Start z przełączeniem gwiazda / trójkąt



### Start z przełączeniem gwiazda / trójkąt



## Przełącznik gwiazda / trójkąt



### Wady konwencjonalnych metod rozruchu silników elektrycznych:

Standardowe silniki asynchroniczne najlepsze parametry ruchowe uzyskują w okolicach punktu znamionowego pracy.

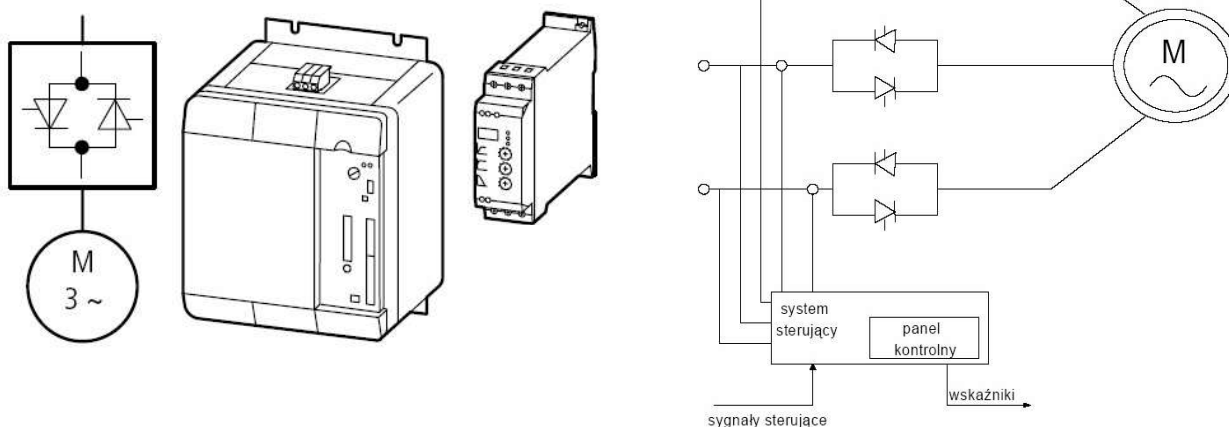
Dla postojów i małych prędkości obrotowych stanowią jednak małą impedancję dla systemu zasilania co powoduje, przy pełnym napięciu zasilającym przepływ dużych prądów rozruchowych, których wartość powoli zmniejsza się wraz ze wzrostem prędkości obrotowej silnika.

Przepływ dużego prądu rozruchowego powoduje spadki napięcia w sieci zakłócające pracę innych odbiorników.

Znaczny spadek napięcia zasilania oraz zmniejszenie momentu rozruchowego w konsekwencji może doprowadzić do wydłużenia czasu rozruchu lub nawet „utknięcia” silnika.

Pojawiający się w czasie rozruchu szybki wzrost momentu obrotowego powoduje niepożądane naprężenia w konstrukcji i uzwojeniach silnika, a przenoszony na części mechaniczne napędu powodować może szybsze zużycie a nawet doprowadzić do awarii

Układ **Soft - Start** oparty jest na technice tyrystorowej czyli sterowanych elementach półprzewodnikowych dużej mocy. Tyrystory nie przewodzą prądu, dopóki nie zostanie podany sygnał wyzwalający (sterujący) na bramkę. Po wysterowaniu przez tyrystor może płynąć prąd do momentu aż przyłożone napięcie do tyrystora osiągnie wartość ujemną. Wynika stąd iż wyłączenie tyrystora następuje w każdej połowce okresu napięcia przemiennego. Aby układ mógł przewodzić w obu kierunkach, należy połączyć dwa tyrystory równolegle, przeciwsobnie. Obwody główne układu Soft - Start składają się z trzech par tyrystorów, po jednej na każdą fazę.

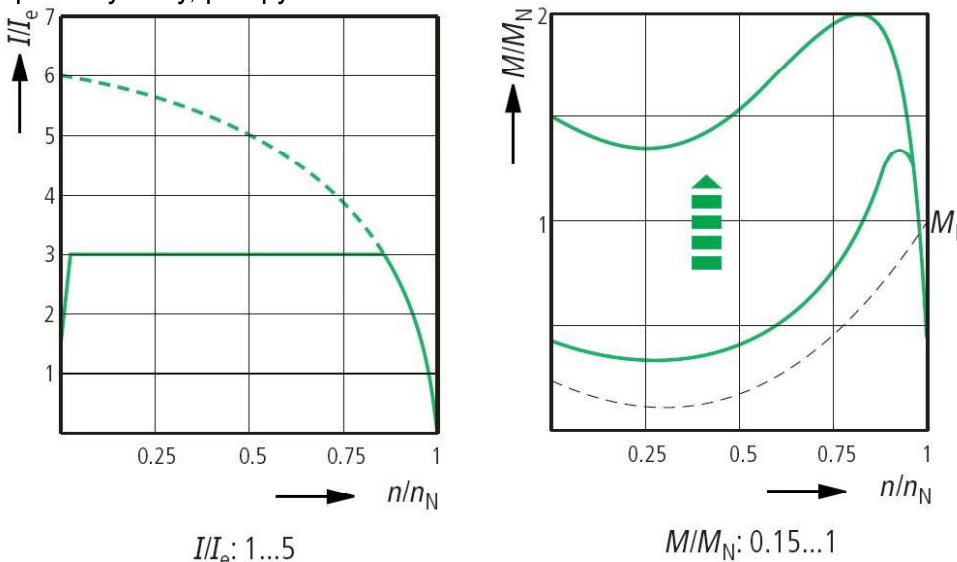


„Softstarter” zmienia napięcie zasilania od zera do wartości znamionowej w określonym czasie. Silnik startuje bez szarpnięcia.

Redukcja napięcia prowadzi do kwadratowego spadku wartości prądu.

Możliwe jest dokładne sterowanie procesem rozruchu silnika z jednoczesnym śledzeniem szeregu parametrów, jak prąd rozruchowy, moment silnika, prędkość obrotowa, itp.

Nadaje się szczególnie do napędów z obciążeniem biernym proporcjonalnym do kwadratu prędkości np. wentylatory, pompy wirowe

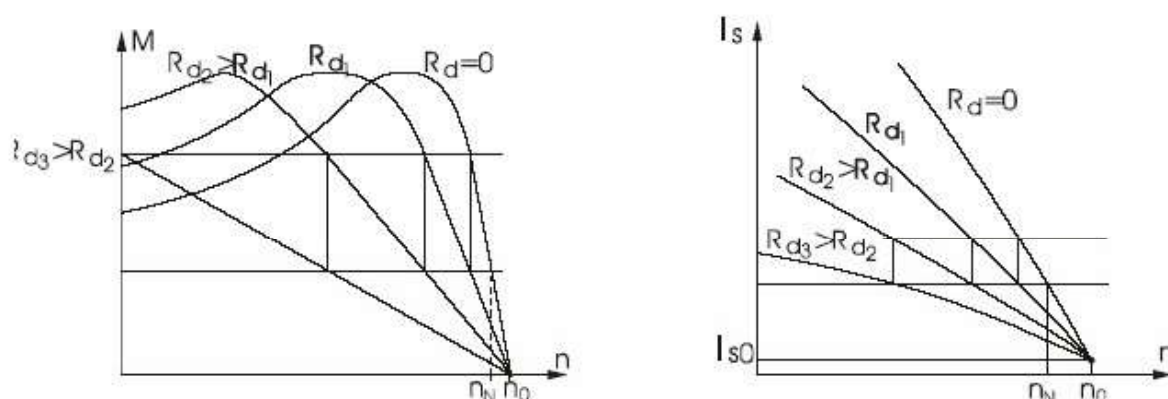


Podczas miękkiego rozruchu obniżone napięcie prowadzi do ograniczenia prądów rozruchowych ale również momentu

## Rozruch silników asynchronicznych pierścieniowych

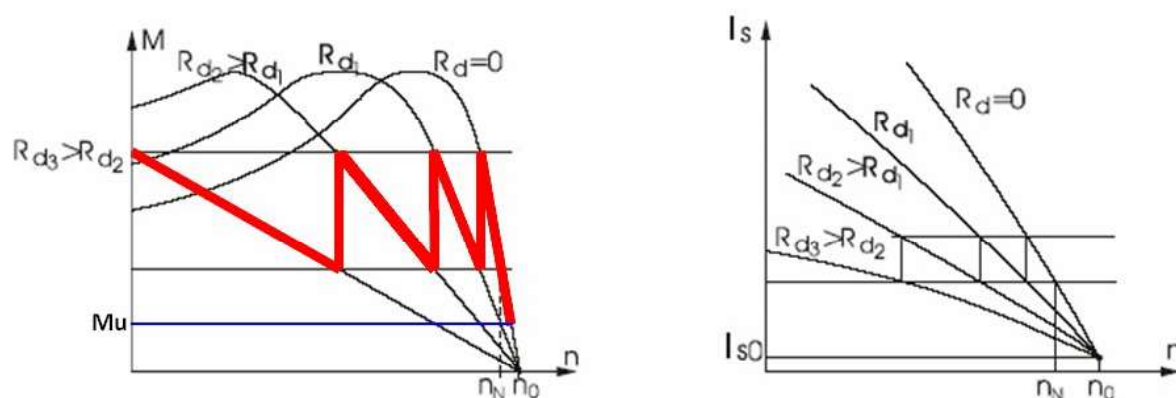
W silnikach pierścieniowych możliwa jest regulacja prędkości przez dołączenie dodatkowych rezystancji szeregowo w obwód wirnika, co powoduje spadek prądu płynącego w wirniku, a więc spadek siły elektrodynamicznej działającej na wirnik a za tym spadek momentu i spadek prędkości obrotowej w stosunku do silnika tak samo obciążonego, ale bez rezystancji w wirniku.

Wiąże się to ze stratami mocy na rezystorach dodatkowych, co obniża sprawność układu.



## Rozruch silników asynchronicznych pierścieniowych

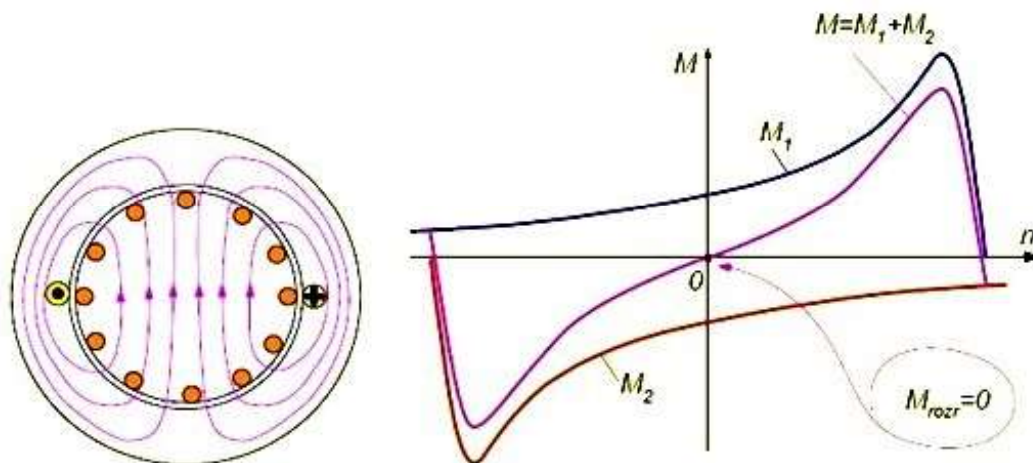
Przed uruchomieniem silnika pokrętko rozrusznika należy ustawić na maksymalną rezystancję, a następnie w czasie rozruchu stopniowo zmniejszać, aż do bezpośredniego zwarcia pierścieni. Poprzez zmianę rezystancji w obwodzie wirnika uzyskuje się możliwość płynnej zmiany obrotów, przy stosunkowo dużych stratach energii elektrycznej na rezystorze regulacyjnym. Dla ograniczenia strat stosuje się połączenie silnika z siecią za pomocą specjalnego układu elektronicznego, który powoduje, że część strat jest oddawana do sieci zasilającej.





## Rozruch silników jednofazowych

Pulsujące pole magnetyczne (wytwarzane przez prąd uzwojenia jednofazowego) można rozłożyć na dwie składowe, wirujące w przeciwnych kierunkach. Zatem silnik jednofazowy może być traktowany jak dwa silniki wielofazowe pracujące na wspólnym wale, których strumienie wirują w kierunkach przeciwnych. Moment rozruchowy takiego silnika  $M_{\text{rozr}} = 0$ .



Aby uzyskać moment rozruchowy silnika jednofazowego, konstrukcje tych silników wyposaża się w dodatkowe uzwojenia rozruchowe, połączone szeregowo z kondensatorami.

## Silniki synchroniczne

W silnikach synchronicznych stojan zbudowany jest tak samo jak w silnikach asynchronicznych.

Wirnik w silniku synchronicznym posiada bieguny magnetyczne i może być wykonywany z magnesów trwałych lub z elektromagnesów.

Wirnik może mieć dwie lub więcej par biegunów i dlatego może być używany w silnikach niskoobrotowych.

Nie jest możliwy rozruch silnika synchronicznego bezpośrednio z sieci zasilającej. Spowodowane to jest bezwładnością wirnika oraz dużą prędkością wirowania pola magnetycznego. Dlatego wirnik trzeba najpierw rozpędzić, aby jego prędkość wirowania była taka sama jak prędkość wirowania pola magnetycznego.

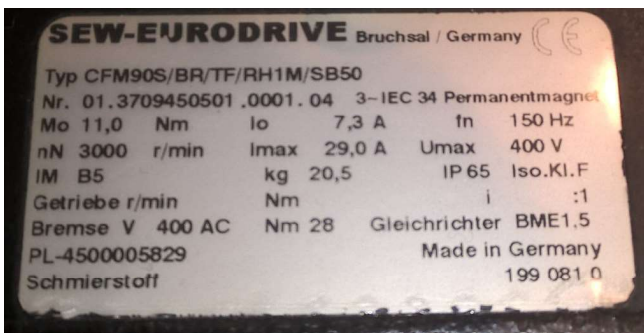
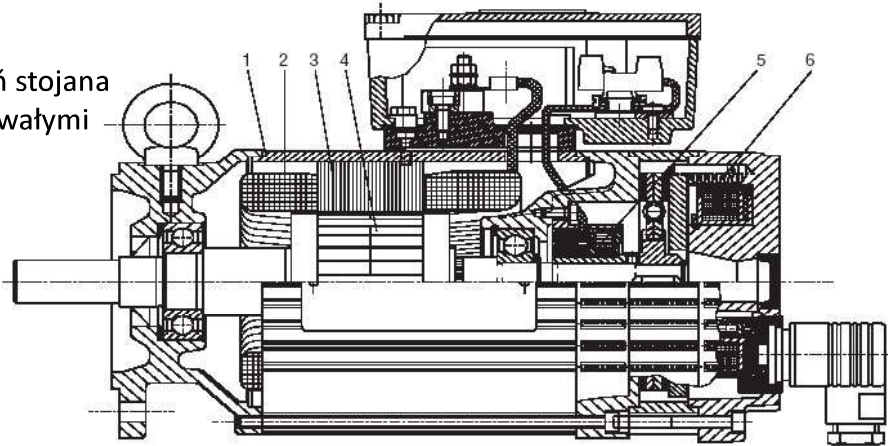
Aby osiągnąć odpowiednią prędkość obrotową wirnika dla silników o dużych mocach, zwykle stosuje się rozruszniki w postaci silników pomocniczych lub przemienniki częstotliwości.

Do rozruchu małych silników zasilanych bezpośrednio z sieci stosuje się dodatkowe uzwojenia rozruchowe (uzwojenia tłumiące) w wirniku i wówczas silnik zachowuje się tak silnik klatkowy.

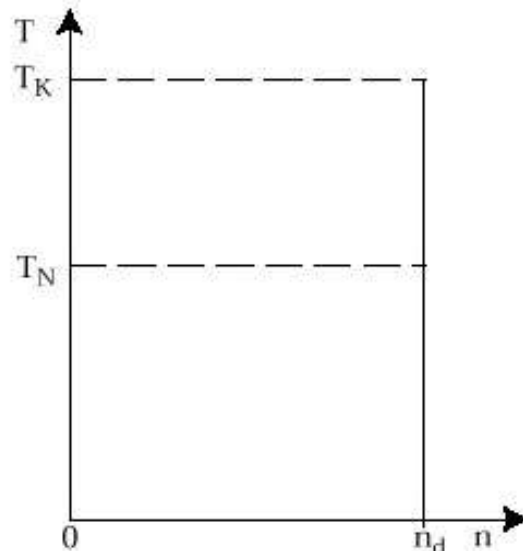
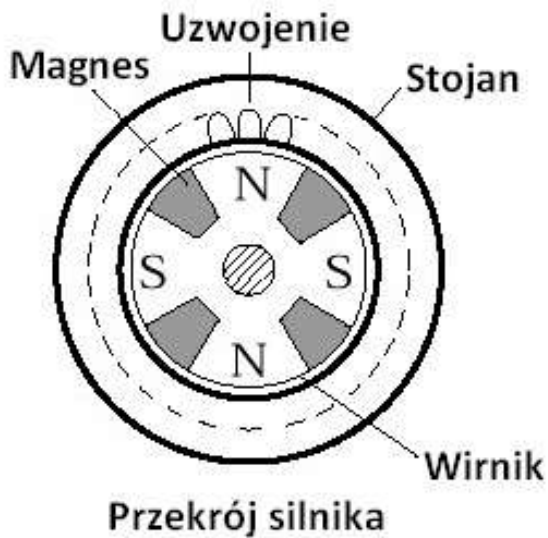


## Silniki synchroniczne

1. Korpus
2. Uzwojenie stojana
3. Wielowarstwowy rdzeń stojana
4. Wirnik z magnesami trwałymi
5. Resolwer
6. Hamulec

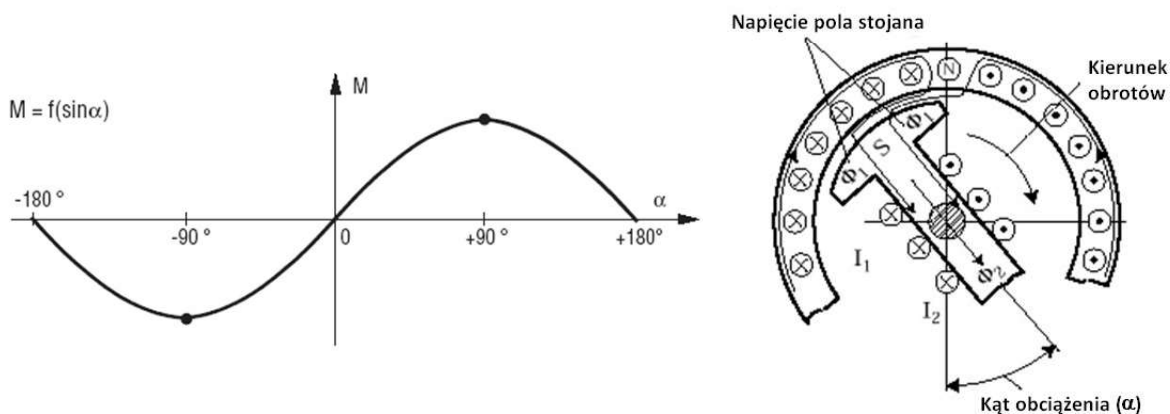


Silniki synchroniczne mają prędkość obrotową, która jest niezależna od obciążenia. Silniki te nie tolerują większego obciążenia niż moc rozruchowa pomiędzy wirnikiem i polem magnetycznym. Jeżeli obciążenie wymusi większą moc napędową niż moc rozruchowa, może nastąpić rozsynchronizowanie silnika, co spowoduje zatrzymanie się maszyny.



## Praca silnika

Po rozruchu silnika, prędkość obrotowa wirnika jest taka sama jak prędkość wirowania pola magnetycznego (prędkość synchroniczna). Wirujące pole działa na wirnik i wywiera na wirnik siłę. Jeśli silnik jest obciążony, powstaje opóźnienie wirującego pola wirnika w stosunku do wirującego pola stojana. Bieguny wirnika opóźniają się w stosunku do wirującego pola stojana o pewny kąt obciążenia  $\alpha$ . Aby silnik synchroniczny mógł pracować z maksymalnym możliwym momentem kąt obciążenia musi wynosić  $90^\circ$ . To znaczy, że pole stojana musi wyprzedzać wirnik o  $90^\circ$  kiedy jest praca napędowa i opóźniać o  $90^\circ$  kiedy jest praca generatorowa. Pozycja wirnika jest odczytywana z enkodera pozycji.



Jeśli kąt obciążenia dalej się zwiększa tzn. silnik jest przeciążony moment spada, praca silnika staje się niestabilna, silnik utyka i zatrzymuje się.

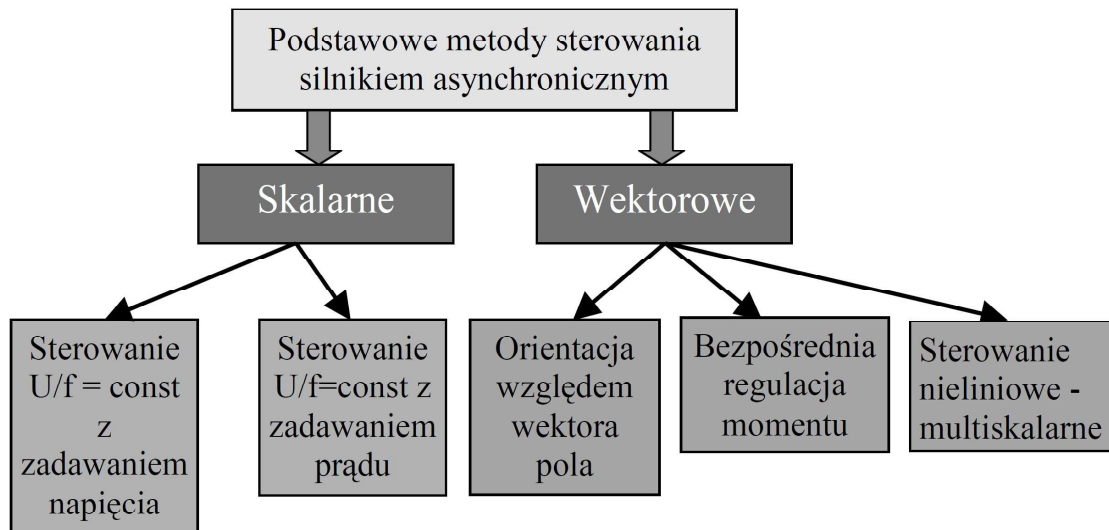
### Możliwości zmiany prędkości obrotowej silników indukcyjnych:

- silnik indukcyjny klatkowy z przełączalną liczbą biegunów lub z kilkoma przełączalnymi uzwojeniami, gdy urządzenie napędzane dopuszcza skokową zmianę obrotów
- silnik indukcyjny pierścieniowy ze zmianą rezystancji w obwodzie wirnika
- energoelektroniczne układy regulacji prędkości obrotowej poprzez zmianę rezystancji (napięcia) w wirniku – dla silników indukcyjnych pierścieniowych
- energoelektroniczne układy regulacji prędkości obrotowej poprzez **zmianę częstotliwości napięcia zasilania** – dla silników indukcyjnych klatkowych

Sterowanie prędkości silników prądu przemiennego realizowane metodą zmiany częstotliwości zasilania silnika jest korzystne energetycznie, ekonomiczne i obecnie najczęściej stosowane.

Do tego celu stosowane są powszechnie **przełączniki częstotliwości** z obwodem pośrednim składające się z:

- prostownika sieciowego
- obwodu pośredniego napięcia stałego
- falownika napięcia o modulowanej szerokości impulsów PWM (ang. Pulse Width Modulation) zbudowanego na tranzystorach IGBT (Isolated Gate Bipolar Transistoren)



Układy sterowania skalarne określane są również jako układy sterowania zewnętrznego, natomiast układy sterowania wektorowego nazywane są również układami sterowania wewnętrznego.

**Sterowanie skalarne** - regulacji podlegają amplitudy i częstotliwości wybranych zmiennych, natomiast przy sterowaniu wektorowym dodatkowo dokonuje się regulacji fazy. Układy sterowania skalarne są proste w realizacji ale charakteryzują się gorszymi właściwościami w porównaniu z metodami sterowania wektorowego. Najbardziej rozpowszechnione są układy sterowania skalarne, w których stabilizacja strumienia uzyskiwana jest na podstawie charakterystyk statycznych  $U/f = \text{const}$ . W sterowaniu  $U/f = \text{const}$ . wykorzystuje się zależności obowiązujących dla stanów ustalonych pracy maszyny

Układ sterowania  $U/f = \text{const}$  jest prosty. Posiada jednak następujące wady:

- brak kontroli momentu rozwijanego przez silnik w stanach przejściowych,
- niekontrolowane stany przejściowe oraz skłonność do słabo tłumionych oscylacji momentu i prędkości,
- brak sprzężeń zwrotnych i w wyniku brak zabezpieczenia przed przeciążeniami,
- możliwości dynamiczne silnika i falownika nie są w pełni wykorzystane.

#### **Układy z kompensacją poślizgu**

W celu utrzymania stałej wartości prędkości obrotowej niezależnie od momentu obciążającego wymagane jest wytworzenie przez silnik większego momentu elektromagnetycznego. W układzie sterowania skalarne może odbywać się to przez zwiększenie napięcia przy zachowaniu stałej częstotliwości. Do określenia stopnia obciążenia silnika można wykorzystać pomiar prądu stojana.

## Sterowanie wektorowe

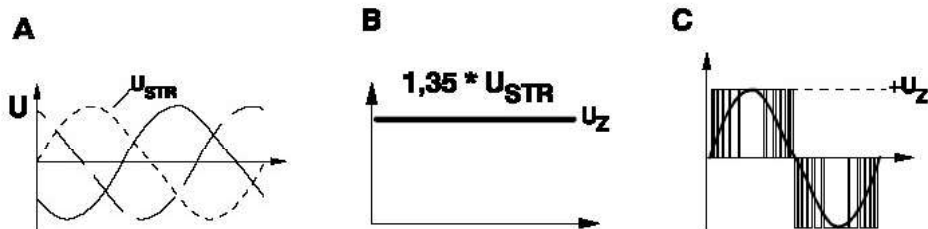
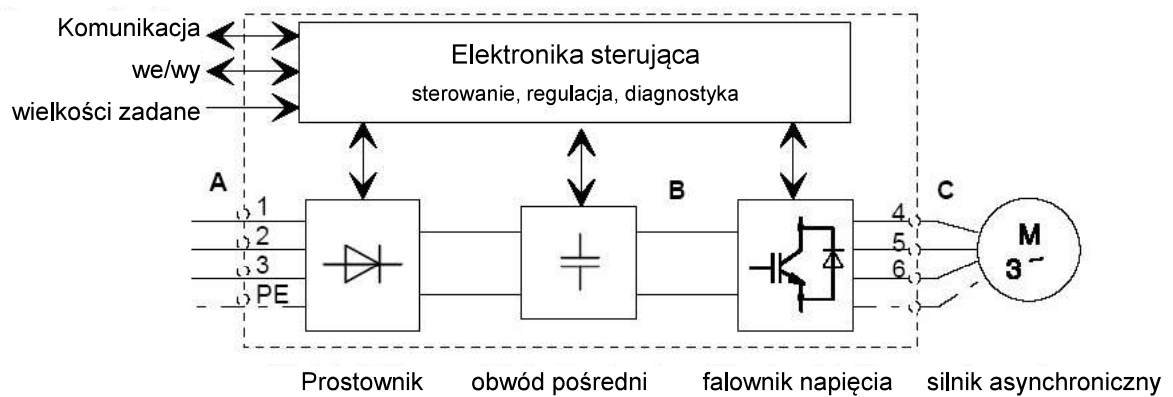
Sterowanie wektorowe silnika klatkowego to metoda regulacji częstotliwościowej, która zapewnia sterowanie momentu i strumienia silnika, zarówno w stanach ustalonych jak i dynamicznych.

Na podstawie zależności obowiązujących dla stanów nieustalonych – nastawiane są nie tylko amplitudy i częstotliwości (prędkości kątowe), ale również fazy wektorów przestrzennych napięć, prądów i strumieni skojarzonych silnika klatkowego.

Stosowne są dwa zasadnicze sposoby sterowania wektorowego:

- sterowanie polowo zorientowane (ang. Field Oriented Control – FOC),
- bezpośrednie sterowanie momentu (ang. Direct Torque Control – DTC).

### Uproszczony schemat typowego przetwornika częstotliwości



W trakcie hamowania wirujących lub toczących mas (o pewnej energii kinetycznej) następuje zawsze zwrotny przepływ energii.

Silnik staje się generatorem i wytworzy prąd płynący do falownika.

Nastąpi w związku z tym wzrost napięcia międzyobwodowego  $U$ . Aby nie dopuścić do zbyt dużego wzrostu tego napięcia musi być w takich aplikacjach zastosowany swego rodzaju "zawór bezpieczeństwa".

Jest nim tranzystor mocy (tzw. Bremschopper ) rozładowujący kondensator  $C$  poprzez specjalny opornik hamulcowy. Powoduje to przemianę zwracanej z układu napędowego energii kinetycznej na energię cieplną wytraconą na oporniku.

Bremschopper może być zintegrowany z falownikiem lub jako dodatkowy podzespół dołączany do napięcia międzyobwodowego.

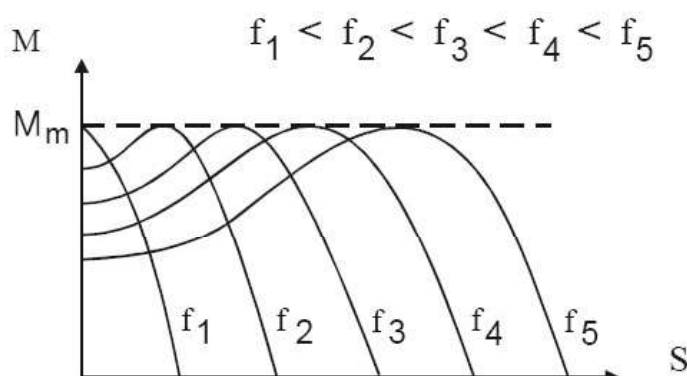
Opornik hamulcowy zawsze dołączamy z zewnątrz.

### Częstotliwościowe sterowanie silnikiem indukcyjnym

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \quad [\text{obr}/\text{min}]$$

Prędkość obrotowa synchroniczna  $n_s$  – równa prędkości wirowania pola magnetycznego w uzwojeniu stojana zależy od:

- częstotliwości napięcia  $f$  [Hz] – czyli od parametrów sieci zasilającej
- liczby par biegunów stojana w jednej fazie  $p$  – czyli od konstrukcji silnika (sposobu, w jaki nawinięto uzwojenie stojana)



## Częstotliwościowe sterowanie silnikiem indukcyjnym

Moment rozwijany przez silnik w obszarze nominalnego poślizgu proporcjonalny jest do strumienia magnetycznego oraz prądu płynącego w uzwojeniu stojana.

$$M = k \cdot I \cdot \Phi$$

Moment wytwarzany przez silnik indukcyjny będzie niezmienny, jeśli zachowana zostanie stała wartość prądu w uzwojeniu oraz stała wartość strumienia elektromagnetycznego w pakiecie blach stojana i wirnika.

## Częstotliwościowe sterowanie silnikiem indukcyjnym

Strumień elektromagnetyczny w silniku zależy od trzech czynników:

- częstotliwości napięcia
- wartości skutecznej napięcia
- parametrów uzwojenia

Generalnie pozostanie on niezmienny, jeśli zachowany zostanie stały stosunek wartości skutecznej napięcia zasilania do częstotliwości tegoż napięcia.

$$\Phi = k_1 \cdot \frac{U}{f} \cong \text{const} \quad \text{dla} \quad \frac{U}{f} = \text{const}$$

**Wniosek:** możemy zmieniać prędkość obrotową silnika indukcyjnego zachowując stałość momentu napędowego jeśli zasilimy ten silnik ze źródła mogącego zmieniać częstotliwość  $f$ , ale zawsze proporcjonalnie do wartości skutecznej napięcia  $U$

**Przeziennik częstotliwości umożliwienia regulację prędkości obrotowej silnika przy zachowaniu stałości momentu napędowego**

## Częstotliwościowe sterowanie silnikiem indukcyjnym

### Przykład:

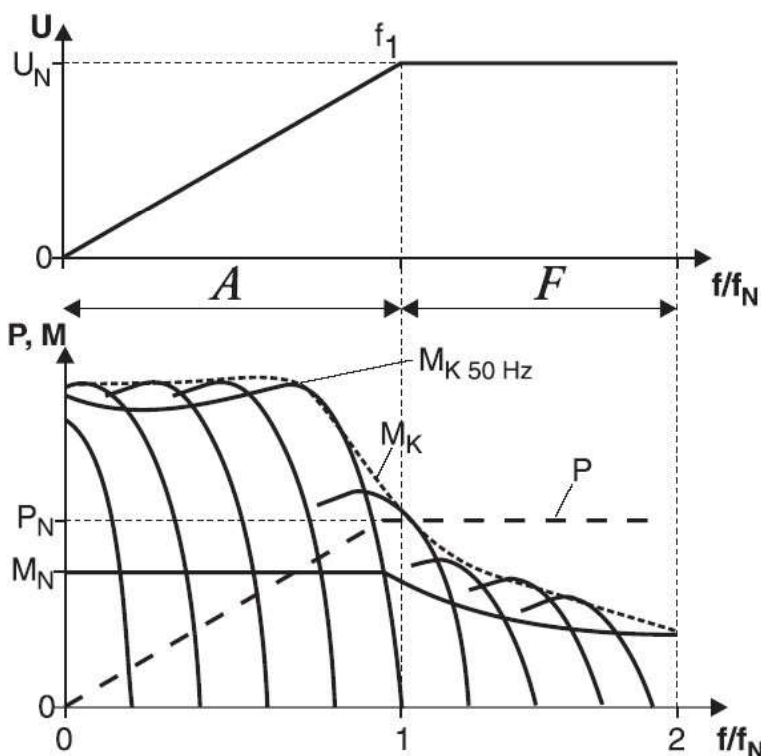
Jeżeli silnik w znamionowych warunkach wymaga zasilania napięciem 3 x 400 V / 50 Hz to stosunek  $U/f=400\text{V}/50\text{Hz}=8\text{V}/\text{Hz}$ .

Jeśli chcemy zmniejszyć obroty pięciokrotnie, to pięciokrotnie musi zostać zmniejszona częstotliwość oraz pięciokrotnie zmniejszona wartość skuteczna napięcia.

Czyli:  $f = 50 \text{ Hz} / 5 = 10 \text{ Hz}$  oraz  $U=400\text{V}/5=80\text{V}$ .

Stosunek  $U/f$  wynosić będzie teraz :  $80/10= 8\text{V}/\text{Hz}$  czyli warunek spełniony.

Charakterystyka mechaniczna silnika indukcyjnego przy zasilaniu ze źródła spełniającego warunek stałości  $U/f$



A – obszar proporcjonalności  $U/f$

F – obszar osłabionego strumienia

$$M_n \sim \frac{1}{f}$$

$$M_K \sim \frac{1}{f^2}$$



## Charakterystyka mechaniczna silnika indukcyjnego przy zasilaniu ze źródła spełniającego warunek stałości $U/f$

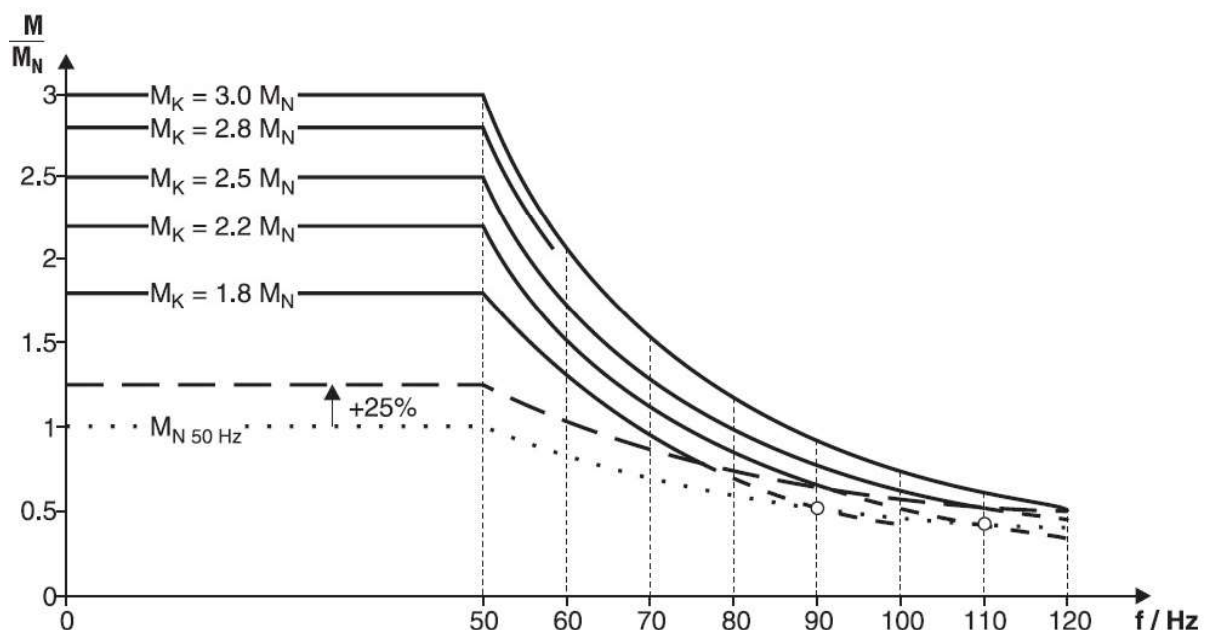
Przy obciążeniu silnika stałym momentem (prąd pobierany przez silnik pozostaje w tym samym zakresie obrotów niezmienny) moc układu będzie rosła podobnie jak napięcie, czyli proporcjonalnie do częstotliwości.

Po załamaniu się proporcji  $U/f$  (napięcie wyjściowe z falownika osiąga swój maksymalny poziom i jest równe napięciu sieci) moc przestaje rosnąć a moment silnika zaczyna maleć. Silnik będzie więc coraz szybszy, ale dysponował będzie coraz mniejszym momentem.

Dla każdej częstotliwości z zakresu, w którym spełniony jest warunek stałości  $U/f$  charakterystyka mechaniczna ma ten sam kształt, jest tylko stosownie do tejże częstotliwości przesuwana wzdłuż osi częstotliwości.

Poczynając od punktu, gdzie nie możemy już zapewnić stałości stosunku  $U/f$  (gdy falownik generuje napięcie o wartości równej zasilającemu z sieci i dalej zwiększać może tylko samą częstotliwość) – każda "następna" charakterystyka jest niższa od poprzedniej. Jest to obszar tzw. osłabionego strumienia.

### Dobór maksymalnej częstotliwości pracy w zależności od wartości katalogowej $M_K$ dla $f_{ECK}=50$ Hz



## **Dobór wielkości falownika**

Przy doborze rodzaju przemiennika częstotliwości należy wziąć pod uwagę przebieg charakterystyki obciążenia w funkcji prędkości.

Kryteria doboru przemiennika częstotliwości

1. Dobór wg mocy znamionowej silnika i falownika - moc znamionowa większości przemienników jest specyfikowana dla standardowych serii - typoszeregu silników asynchronicznych. W wyniku tego przemienniki często są dobierane na tej podstawie, ale może to prowadzić do nie precyzyjnego dopasowania, w szczególności jeżeli silnik jest przeznaczony do pracy z nie pełnym obciążeniem.

2. Dobór wg. prądu – prąd wyjściowy z falownika musi być co najmniej równy prądowi pobieranemu przez silnik

## **Sterowanie pracą silnika za pomocą napędowej przetwornicy częstotliwości**

**Sygnały wejściowe:**

- wejścia binarne (cyfrowe)
- wejścia analogowe o zakresie +/- 10V, +/- 20mA lub 4-20mA o rozdzielczości 10-16 bitów

**Źródła wartości zadanych i sygnałów sterujących**

- wejścia binarne z przyporządkowanymi im standardowo lub zdefiniowanymi przez użytkownika (wejścia konfigurowalne) poleceniami np. start, stop, zmiana kierunku obrotów, przejście na inny poziom prędkości itp. Ruch odbywa się ze stałymi zaprogramowanymi poziomami prędkości a rozruchy, zatrzymania i zmiany ustalonych prędkości odbywają się z przyspieszeniami/opóźnieniami zdefiniowanymi w falowniku.
- wejścia analogowe (bipolarne/unipolarne) – zadana prędkość jest proporcjonalna do wartości sygnału analogowego (prędkość maksymalna ustawiona w falowniku) a przyspieszenia i opóźnienia wynikają ze zmiany tego sygnału w czasie ale podlegają ograniczeniom – minimalne rampy ustawione w falowniku nie zostaną przekroczone – nastąpi obcięcie sygnału w członie zadajnika całkowitego
- potencjometr wewnętrzny (potencjometr motorowy)
- potencjometr wewnętrzny + wartość analogowa
- wartość stała + wartość analogowa
- RS485, i inne złącza komunikacyjne

### **Źródła sygnałów zadanych**

Lokalne sterowanie poprzez panel operatora

Lokalne lub zdalne sterowanie poprzez dołączony komputer osobisty

Zdalne sterowanie poprzez sygnały analogowe lub cyfrowe

Zdalne sterowanie poprzez łącze sieci przemysłowej

### **Różnorodne tryby pracy**

Sterowanie częstotliwością

Sterowanie prędkością z czujnikiem i bez czujnika położenia wału (enkoderem)

Sterowanie momentem z enkoderem i bez enkodera

Regulacja skalarna lub wektorowa silnika

Tryb ekonomiczny - obciążenia typu wentylator

### **Funkcje zabezpieczenia pracy**

Funkcje testowania i monitoringu stanu urządzenia

Zastosowanie „inteligentnych” modułów energoelektronicznych z wewnętrznymi zabezpieczeniami

Zabezpieczenia termiczne przekształtnika i silnika (poprzez model matematyczny i poprzez elementy pomiarowe PTC)

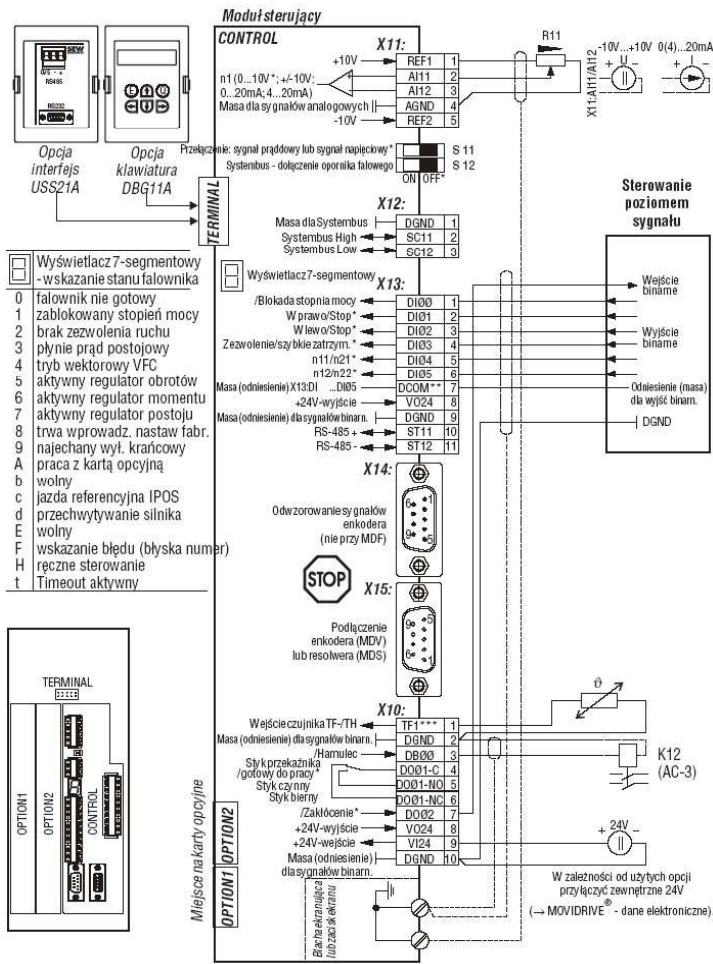
### **Zaawansowane funkcje pracy**

Możliwość zapamiętywania zestawu parametrów - dla różnych warunków pracy

Omijanie wybranych przedziałów częstotliwości - unikanie wzbudzenia drgań rezonansowych

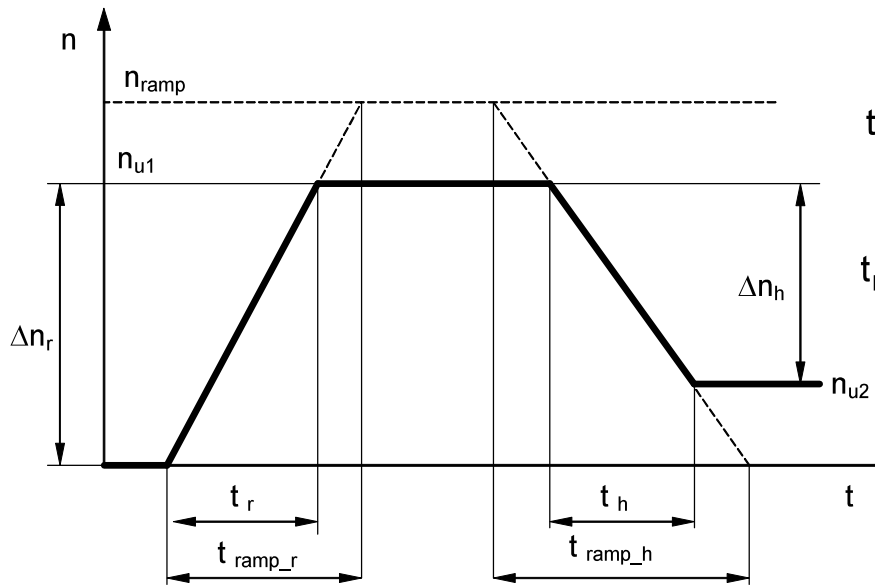
Funkcja przechwytywania wirującego wirnika

Automatyczny start po zaniku zasilania



## Przetwornica napędowa MOVIDRIVE firmy SEW

**Rampa** – czas zmiany prędkości obrotowej silnika o pewną zdefiniowaną wartość



$$t_r = \frac{\Delta n_r}{n_{ramp}} \cdot t_{ramp\_r}$$

$$t_h = \frac{\Delta n_h}{n_{ramp}} \cdot t_{ramp\_h}$$

## Własności typowych ramp rozruchowych i hamujących

LINIOWA (LINEAR)	SINUSOIDALNA (SINUS)	KWADRATOWA (QUADRATISCH)
<p>Przebieg prędkości liniowy trapezowy. Przebieg przyspieszenia jak i przenoszonych sił prostokątny skokowy. Powstają duże przeciążenia i siły reakcji. Odpowiedni do napędów o małych skłonnościach do rezonansu.</p>	<p>Przebieg prędkości sinusoidalny. Przyspieszenia mało reakcyjne i o łagodnych przejściach. Ponieważ na początku i końcu rampy jest łagodne, musi być w środku większe niż przy rampie liniowej (przy tym samym czasie rampy liniowej). Szybkie napędy o dużych skłonnościach do rezonansu. Przyspieszenia i zapotrzebowanie na moment obrotowy wzrasta do 55 % w stosunku do ramp liniowych. Przy projektowaniu należy sprawdzić, czy falownik i silnik dysponują takim momentem.</p>	<p>Przebieg prędkości kwadratowy. Przebieg przyspieszenia łagodniejszy niż przy rampie liniowej. Ten typ rampy jest kompromisem pomiędzy wymogiem dużego momentu i wygładzenia przebiegu ramp. Wymagane dodatkowe 33% momentu jest zazwyczaj możliwe do osiągnięcia przy napędach projektowanych dla ramp liniowych. W wielu przypadkach efekt jest identyczny jak przy rampie typu SINUS</p>

System sprzężenia zwrotnego	Zalety	Wady
<b>Enkoder przyrostowy</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) dostępność stosunkowo wytrzymałych konstrukcji</li> <li>2) duży wybór rozdzielczości, typów montażowych, interfejsów</li> </ol>	dane pozycji są tracone w przypadku awarii zasilania
<b>Enkoder absolutny</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) dane o pozycji są dostępne po awarii zasilania</li> <li>2) wyraźne wyznaczanie pozycji i wartości wyjściowej</li> <li>3) bardzo duża dostępna rozdzielczość</li> </ol>	wysoki koszt
<b>Resolwer</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) wytrzymała konstrukcja</li> <li>2) nieczuły na wibracje i wyższe temperatury</li> <li>3) niskie wymagania instalacji</li> <li>4) może być dopasowany na silniku</li> <li>5) oszczędność na dodatkowym systemie sprzężenia zwrotnego</li> </ol>	bardziej złożona ocena (more complex evaluation)