

**Maszyna elektryczna** – to urządzenie elektromechaniczne, które za pośrednictwem pola magnetycznego przetwarza energię elektryczną w energię mechaniczną lub odwrotnie.

W zależności od rodzaju energii przetwarzanej, każda maszyna elektryczna może pracować jako prądnica lub silnik (bez zasadniczych zmian konstrukcyjnych).

Z tego względu można dokonać następującego podziału:

- **prądnice** - przetwarzają energię mechaniczną na elektryczną;
- **silniki** - przetwarzają energię elektryczną na mechaniczną;
- **przetwornice** - przetwarzają energię elektryczną na energię elektryczną o innych parametrach, np. przetwornice: prądu, napięcia, częstotliwości.

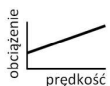
**Podział maszyn ze względu na rodzaj prądu i zasadę działania maszyny elektryczne**

#### **MASZYNY PRĄDU PRZEMIENNEGO:**

- maszyny synchroniczne
- maszyny indukcyjne (asynchroniczne);
  - jednofazowe
  - trójfazowe
- maszyny komutatorowe prądu przemiennego:
  - jednofazowe
  - wielofazowe

#### **MASZYNY PRĄDU STAŁEGO**

## Rodzaje obciążeń silników elektrycznych



1. Napędy z podstawowym obciążeniem i obciążeniem zależnym od prędkości obrotowej, np. napędy przenośników taśmowych.



2. Obciążenie dynamiczne, np. mechanizmy jezdne; krótkotrwały wysoki moment obrotowy dla przyspieszania, następnie niewielkie obciążenie.



3. Obciążenie statyczne, np. dźwignice; głównie jednakowo wysokie statyczne obciążenie z przeciążeniem szczytowym.



4. Wartość odwrotna z prędkością obrotową przypadającą na obciążenie, np. napędy zwijarka i nawijarki.

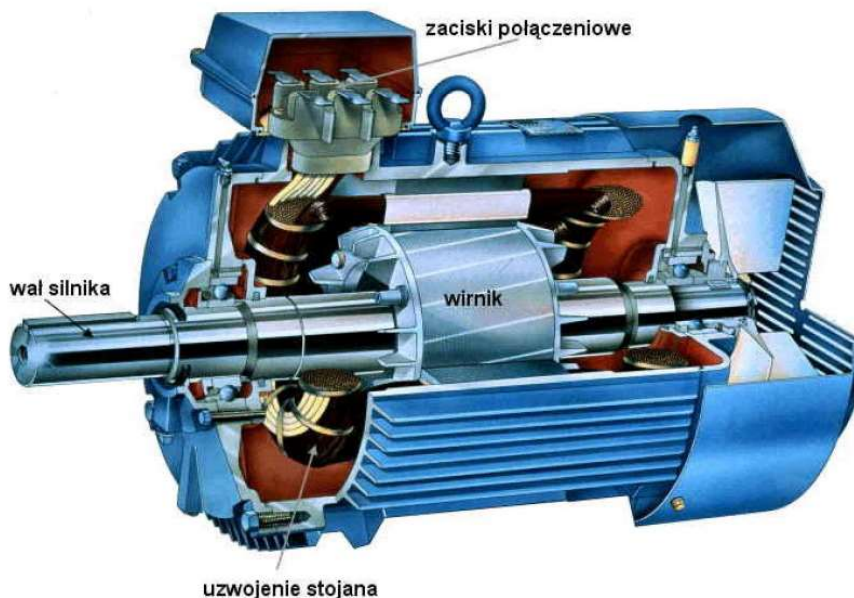


5. Obciążenie kwadratowe, np. wentylatory i pompy.

Źródło: <http://www.induktor.pl/>

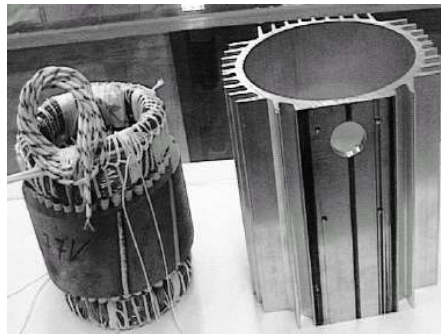
## Silnik asynchroniczny prądu przemiennego klatkowy zwarty *obecnie najbardziej popularny silnik*

- Ma prostą budowę, jest mało awaryjny i praktycznie bezobsługowy – jedyny element podlegający eksploatacyjnemu mechanicznemu zużyciu to łożyskowanie wirnika (silnik bez hamulca)
- Standaryzacja budowy mechanicznej ułatwia dobranie silnika praktycznie do każdego układu napędowego, niezależnie od producenta.
- Uzwojenie wirnika najczęściej jest 3-fazowe.

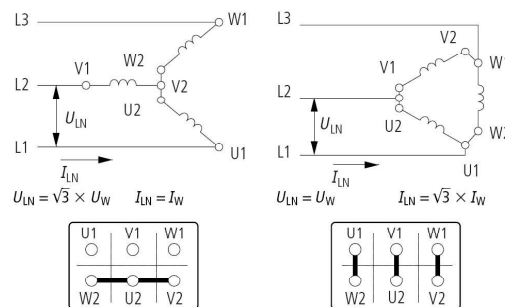


## Budowa i zasada działania silnika indukcyjnego trójfazowego

Stojan zbudowany jest z trzech uzwojeń nawiniętych na ferromagnetycznym rdzeniu z blach transformatorowych



Końce uzwojeń stojana połączone są w trójkąt bądź gwiazdę



Prąd płynący przez uzwojenia wywołuje w każdej cewce pole magnetyczne  
Wypadkowy wektor tego pola wiruje z częstością sieci (50 Hz - 3000 obr/min)

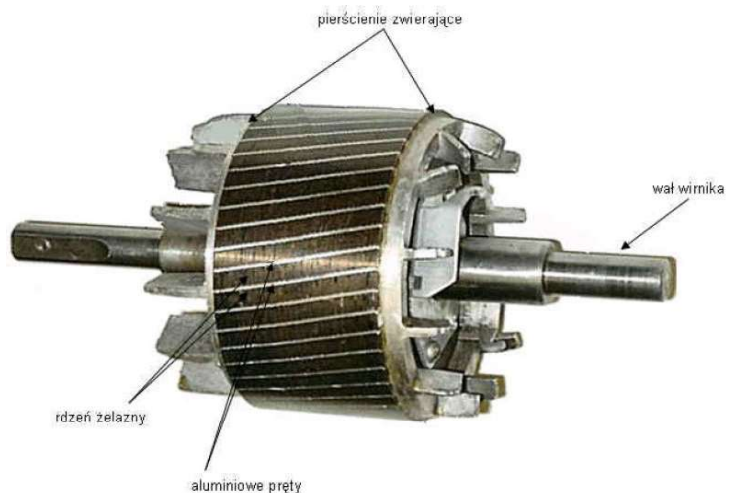
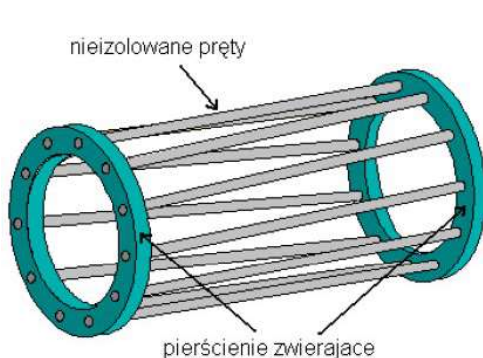
## Budowa i zasada działania silnika indukcyjnego trójfazowego

Wirnik zbudowany jest jako klatka z prętów (przewodników) zwartych na końcu przez pierścienie

Każdy pręt doznaje zmian wirującego pola magnetycznego (maksymalnych w stanie spoczynku wirnika)

Przepływ prądu przez pręty klatki powoduje indukowanie się wokół nich pola elektromagnetycznego

Wypadkowy wektor pola elektromagnetycznego wirnika oddziałuje z polem stojana i powstaje moment „ciągnący” wirnik



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)

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

Liczba par biegunów p	1	2	3	4
Prędkość obrotowa pola n [obr/min]	3000	1500	1000	750
Prędkość kątowna pola $\omega$ [rad/s]	314,16	157,08	104,72	78,54

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


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


Dla zasilania z sieci o stałych parametrach napięcia i częstotliwości

$$\Phi = k_1 \cdot \frac{U}{f} \cong \text{const} \Rightarrow M = k_M \cdot I$$

gdzie:  $U$  – napięcie  
 $k, k_1, k_M$  - stałe

Motor & Co GmbH	
Typ 160 I	
3 ~ Mot.	Nr. 12345-88
$\Delta$ Y 230/400 V	48/28 A
S1 15 kW	cos $\varphi$ 0,90
1430 U/min	50 Hz
Iso.-Kl. F	IP 54 t
IEC34-1/VDE 0530	

**SEW-EURODRIVE** Bruchsal / Germany 

Typ	DFV 160 M 4 / BM	3 ~ IEC 34
Nr.	01.3001234568.0001.00	IM B5
kW	11 S1	cos $\varphi$ 0.83
50Hz V	220 - 240 $\Delta$ / 380 - 415 Y	A 39.0 / 22.5
60Hz V	240 - 266 $\Delta$ / 415 - 460 Y	A 35.5 / 20.5
r/min	1440 / 1740	IP 55 KL F
Bremse V	230 AC	Nm 150 Gleichrichter BGE1.5
Kg	109 Ma	Nm i :1 
Schmierstoff	Made in Germany 184 103 3.16	



## Podstawowe parametry silników elektrycznych na tabliczkach :

Typ silnika, producent

Napięcie znamionowe stojana  $U_n$  w [V] oraz sposób podłączenia (gwiazda, trójkąt)

Prąd znamionowy stojana  $I_n$  w [A] dla sposobów podłączenia

Moc znamionowa silnika  $P_n$  w [kW]

Sprawność silnika  $\eta$

Współczynnik mocy  $\cos \varphi$

Rodzaj pracy  $S_{-}$

Prędkość znamionowa  $n_n$  w [obr/min]

Częstotliwość zasilania w [Hz]

Klasa odporności cieplnej

Stopień ochrony IP

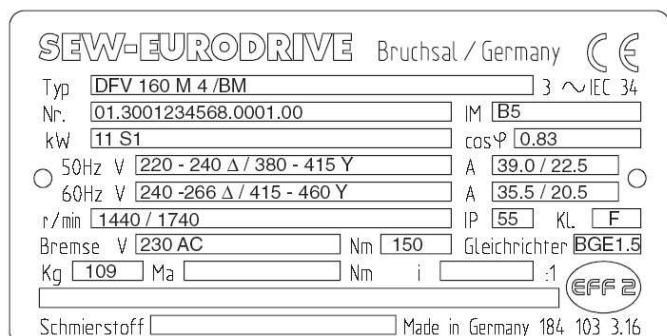
Forma wykonania IM

Masa silnika w [kg]

Klasa energetyczna

Informacje o hamulcu (o ile występuje)

Znak CE (w nowszych silnikach)



## Charakterystyka mechaniczna i podstawowe parametry silnika asynchronicznego klatkowego

$P_n$  - moc znamionowa silnika w [kW]:  $P_n = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \cdot \eta \cdot \cos \varphi \cdot 10^{-3}$

$M_n$  - moment obrotowy znamionowy, którym silnik może być obciążony przez nieograniczenie długi czas bez obawy wzrostu temperatury uzwojeń ponad wartość dopuszczalną

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} \quad \text{gdzie:} \quad \omega_n = n_n \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60} = \frac{n_n}{9,55}$$

W danych katalogowych podawane są jeszcze m. innymi:

$M_k$  - moment krytyczny silnika ( $M_k = m \cdot M_n$  gdzie  $m$  – współczynnik przeciążalności)

$M_p$  - moment początkowy (rozruchowy) silnika ( $M_p/M_n$ )

$I_w$  [kg·m<sup>2</sup>] - moment bezwładności wirnika silnika

Przykładowe dane katalogowe silników o  $n_s=1500$  obr/min

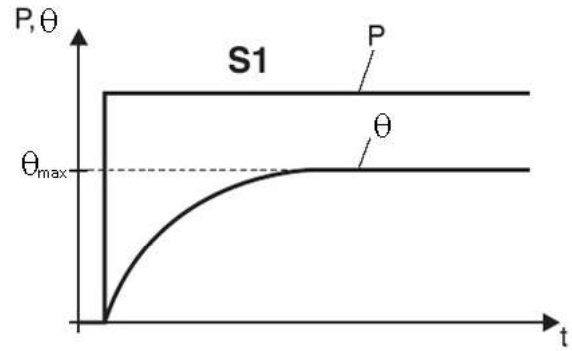
Motortyp	$\frac{P_N}{M_N}$ [kW] [Nm]	$n_N$ [1/min]	$I_N$ 380-415 V (400 V) [A]	$\cos \varphi$	EFF 2	$\eta_{75\%}$ $\eta_{100\%}$ [%]	$I_A/I_N$	$\frac{M_A}{M_N}$ $\frac{M_H}{M_N}$	$J_{Mot}$ [10 <sup>-4</sup> kgm <sup>2</sup> ]		$Z_0$ BG <sup>4</sup> BGE <sup>5</sup> [1/h]	$M_{Bmax}$ [Nm]	$m^1$ [kg]	
									2	3			2	3
DT56M4	0.09 0.66	1300	0.31 (0.29)	0.68	-	-	2.6	2.1 1.8	1.1	1.2	10000 -	0.8	6	
DT56L4	0.12 0.88	1300	0.46 (0.42)	0.68	-	-	2.6	2.2 1.9	1.1	1.2	10000 -	1.2		
DR63S4	0.12 0.83	1380	0.39 (0.39)	0.69	-	-	3.3	2.4 2.2	3.6	4.8	10000 -	2.4	6.1	7.6
DR63M4	0.18 1.3	1320	0.55 (0.55)	0.78	-	-	2.9	1.8 1.7	3.6	4.8	10000 -	3.2	6.1	7.6

DT80K4	0.55 3.9	1360	1.75 (1.75)	0.72	-	-	3.4	2.1 1.8	6.6	7.5	4100 11000	10	9.9	12.7
DT80N4	0.75 5.2	1380	2.15 (2.1)	0.73	-	-	3.8	2.2 2.0	8.7	9.6	5200 14000	10	11.5	14.3
DT90S4	1.1 7.5	1400	2.8 (2.8)	0.77	EFF 2	77.5 76.5	4.3	2.0 1.9	25	31	2500 6300	20	16	26
DT90L4	1.5 10.2	1410	3.7 (3.55)	0.78	EFF 2	80.2 79.0	5.3	2.6 2.3	34	40	3000 7600	20	18	28

DV225S4	37 240	1470	70 (67)	0.87	EFF 2	93.2 92.5	6.5	2.8 2.0	3010	3145 3240 <sup>7</sup>	- 360	300 600 <sup>7</sup>	296	347 351 <sup>7</sup>
DV225M4	45 292	1470	86 (83)	0.85	EFF 2	93.8 93.0	7.3	3.3 2.0	3570	3705 3800 <sup>7</sup>	- 300	300 600 <sup>7</sup>	325	377 381 <sup>7</sup>
DV250M4	55 356	1475	106 (102)	0.83	EFF 2	94.0 93.8	6.0	2.7 2.0	6300	6600 6730 <sup>7</sup>	- 200	600 1200 <sup>7</sup>	448	528 538 <sup>7</sup>
DV280S4	75 483	1480	142 (138)	0.83	EFF 2	94.2 94.4	7.2	3.2 2.2	8925	9225 9355 <sup>7</sup>	- 150	600 1200 <sup>7</sup>	520	600 610 <sup>7</sup>
DV280M4	90 581	1480	173 (170)	0.81	EFF 2	94.4 94.3	7.1	3.3 2.2	8925	9225 9355 <sup>7</sup>	- 100	600 1200 <sup>7</sup>	520	600 610 <sup>7</sup>

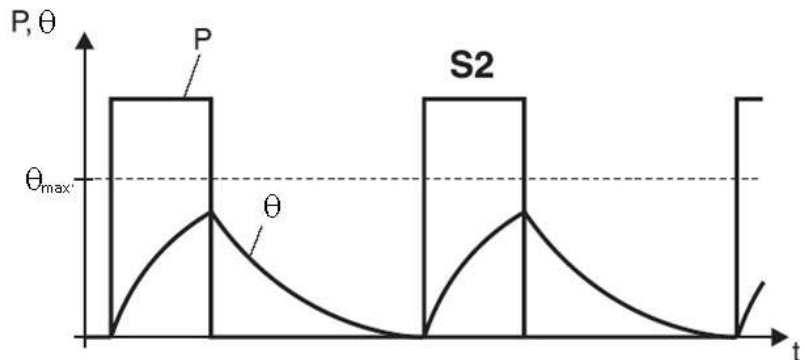
## Rodzaje pracy silników elektrycznych

**S1- praca ciągła;** praca ze stałym obciążeniem, trwającym do osiągnięcia stanu równowagi cieplnej. Przyrosty temperatury czynnych części maszyny nie większe niż 2°C w ciągu godziny);



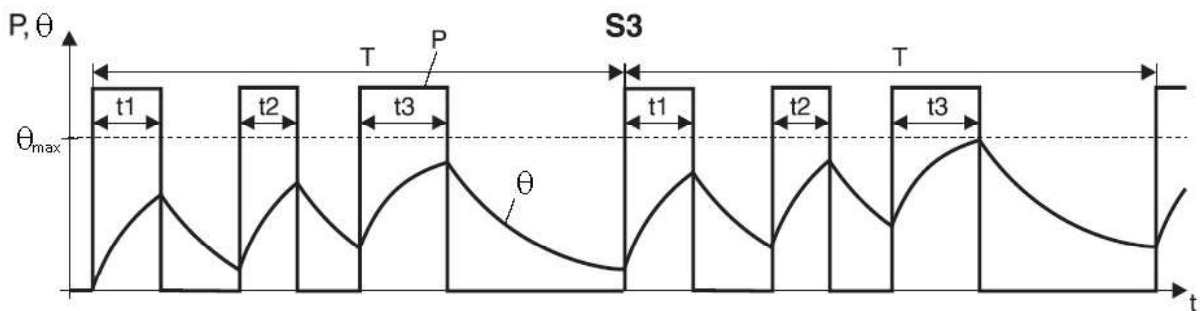
**S2- praca dorywcza;** praca ze stałym obciążeniem trwającym krócej niż czas potrzebny do osiągnięcia równowagi cieplnej oraz następującym później postojem trwającym tak długo, aż maszyna stanie się praktycznie zimna. Znormalizowany czas pracy wynosi: 10, 30, 60 i 90 minut;

P - moc obciążenia  
 $\theta$  - temperatura



## Rodzaje pracy silników elektrycznych

**S3- praca okresowa przerywana;** praca z następującymi po sobie identycznymi okresami pracy. Każdy z tych okresów obejmuje czas pracy ze stałym obciążeniem i czas postoju. Dla tego rodzaju pracy względny czas pracy wynosi: 15, 25, 40 i 60 minut;



Charakterystycznym parametrem jest względny czas pracy (włączenia) **ED** [%]

$$ED = \frac{\sum t_i}{t_c} \cdot 100 = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{T} \cdot 100 \quad [\%]$$

gdzie:  $\sum t_i$  – suma czasów załączenia (obciążenia)  
 $t_c$  – długość cyklu pracy (suma czasu załączenia i przerw)

## Rodzaje pracy silników elektrycznych

**S4- praca okresowa przerywana z rozruchem;** praca z następującymi po sobie identycznymi okresami pracy, z których każdy obejmuje znaczący (ze względów cieplnych) czas rozruchu, czas pracy z obciążeniem stałym i czas postoju;

**S5- praca okresowa przerywana z hamowaniem elektrycznym;** praca z następującymi po sobie identycznymi okresami pracy, z których każdy obejmuje czas rozruchu, czas pracy z obciążeniem stałym, czas hamowania elektrycznego i czas postoju,

**S6- praca okresowa długotrwała z przerywanym obciążeniem;** praca z następującymi po sobie identycznymi okresami pracy, z których każdy obejmuje czas pracy z obciążeniem stałym i czas pracy przy biegu jałowym. W tym przebiegu nie występuje czas postoju;

**S7- praca okresowa długotrwała z hamowaniem elektrycznym;** praca z następującymi po sobie identycznymi okresami pracy, z których każdy obejmuje czas rozruchu, czas pracy z obciążeniem stałym i czas hamowania elektrycznego. W tym przebiegu nie występuje czas postoju,

## Rodzaje pracy silników elektrycznych

**S8- praca okresowa długotrwała ze zmianami prędkości obrotowej;** praca z następującymi po sobie identycznymi okresami pracy, z których każdy obejmuje czas z obciążeniem stałym odpowiadającym określonej uprzednio prędkości obrotowej i jednego lub kilku czasów pracy z innymi obciążeniami odpowiadającym innym prędkościom obrotowym. Jest to praca z następującymi po sobie identycznymi okresami pracy, z których każdy obejmuje czas rozruchu, czas pracy z obciążeniem stałym;

**S9- praca z nieokresowymi zmianami obciążenia i prędkości obrotowej;** praca, przy której obciążenie i prędkość obrotowa zmieniają się na ogół nieokresowo w dopuszczalnym zakresie pracy. Ten przebieg pracy obejmuje często przeciążenia, które mogą znacznie przekraczać obciążenie odniesienia;

**S10- praca z określonymi obciążeniami stałymi;** praca obejmująca nie więcej niż cztery określone wartości obciążenia (lub obciążenia równoważnego), z których przy każdej wartości obciążenia trwającego dostatecznie długo maszyna może osiągnąć równowagę cieplną. Minimalne obciążenie w pewnym okresie pracy może mieć wartość równą zero.



## Stopnie ochrony maszyn elektrycznych

**Stopnie ochrony** zapewniane przez obudowy maszyn elektrycznych oznacza się symbolem IP (ang. international protection) oraz dwoma cyframi, które określają cechy obudowy odpowiadające stopniom ochrony:

- przed dotknięciem części pod napięciem lub części ruchomych oraz przed dostaniem się ciał stałych (*pierwsza cyfra oznaczenia*);
- przed przedostaniem się wody do wnętrza maszyny (*druga cyfra*).

### Stopnie ochrony zapewniane przez obudowy maszyn elektrycznych

- 1) Kod IP oznaczony czerwonym drukiem – osłony do pomieszczeń wilgotnych
- 2) Kod IP napisany kursywą – osłony do pomieszczeń mokrych

Brak ochrony	Ochrona przed dotknięciem zarówno części będących pod napięciem, jak i części ruchomych znajdujących się we wnętrzu maszyny lub osłony, a także ochrona maszyny przed przedostawaniem się do jej wnętrza: obcych ciał stałych większych niż:						Ochrona przed przedostawaniem się wody	
	50 mm	12,5 mm	2,5 mm	1 mm	pyłoodporna	pyłoszczelna		
IP0X	IP1X	IP2X	IP3X	IP4X	IP5X	IP6X		
IP00	IP10	IP20	IP30	IP40	IP50	IP60	IPX0	brak ochrony
IP01	IP11	IP21	IP31	IP41			IPX1	spadające krople
IP02	IP12	IP22	IP32	IP42			IPX2	spagające strugi wody
IP03		IP23	IP33	IP43			IPX3	deszcz
			IP34	IP44	IP54		IPX4	rozbryzgi
					IP55	IP65	IPX5	strumienie
						IP66	IPX6	fale
					IP57	IP67	IPX7	zanurzenie ≤1m
						IP68	IPX8	zanurzenie > 1m
-- pierwsza cyfra --							-- druga cyfra --	

**Każdy rodzaj obudowy maszyny charakteryzuje określony stopień ochrony.**

Przykład stosowanych rodzajów obudowy maszyn elektrycznych (oznaczone literami w nawiasach) i odpowiadające im stopnie ochrony:

- obudowa otwarta **(A)** - IP00, IP10,
- obudowa chroniona **(B)** - IP12, IP22,
- obudowa okapturzona **(C)** - IP23, IP33,
- obudowa zamknięta **(Z)** - IP55, IP56, IP44,
- obudowa wodoszczelna **(W)** - IP57, IP58,
- obudowa głębinowa **(G)** - IP67, IP68.

Stopień ochrony tabliczki zaciskowej często jest wyższy niż stopień ochrony całej maszyny.

Maszyny przeznaczone do pracy w środowisku zagrożonym wybuchem mają specjalne konstrukcje obudów.

*Źródło: <http://www.bezel.com.pl>*

### **Nagrzewanie się maszyn elektrycznych**

Praca maszyny elektrycznej związana jest zwykle z nagrzewaniem się jej poszczególnych części i odpowiednim sposobem chłodzenia.

Przyjęto, że normalne warunki chłodzenia maszyny elektrycznej zainstalowanej na wysokości do 1000 m n.p.m. występują, gdy czynnik chłodzący nie przekracza temperatury 40 °C, a w przypadku chłodzenia wodą z zastosowaniem chłodziń - temperatura wody na wlocie nie przekracza 25 °C.

W silnikach elektrycznych stosowane są materiały izolacyjne klasy A, E, B, F i H.

Symbole klas ciepłoodporności silników  
(dopuszczalne temperatury izolacji dla temperatury otoczenia 40°C)

Symbol	Temperatura [° C]
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180

Klasa izolacji F oznacza dla silnika elektrycznego, że przy temperaturze otoczenia 40°C przyrost temperatury jego uzwojeń może wynieść maksymalnie 105°C przy dodatkowej rezerwie temperaturowej 10°C (w określonych warunkach pomiaru zgodnie z normą PN-EN 60034-1).

## Chłodzenie maszyn elektrycznych

Jako czynnik chłodzący wykorzystuje się najczęściej: powietrze, wodór, wodę i olej.

Ze względu na obieg czynnika chłodzącego:

- **naturalne** - czynnik chłodzący jest wprowadzany przez wirujące części wirnika,
- **wymuszone własne** - czynnik chłodzący jest wprowadzany przez wentylator(y) osadzone na wale maszyny,
- **wymuszone obce** - czynnik chłodzący jest wprowadzany przez obcy wentylator lub pompę.

oraz:

- **w obiegu otwartym** - gdy czynnik chłodzący jest pobierany i po ochłodzeniu maszyny oddawany do otoczenia; występuje ciągła wymiana czynnika chłodzącego,
- **w obiegu zamkniętym** - jeżeli czynnik chłodzący krąży pomiędzy maszyną a chłodnicą; w procesie chłodzenia bierze udział stale ta sama ilość czynnika chłodzącego.

## Klasyfikacja IE dla silników indukcyjnych

Klasyfikację i oznakowanie IE wprowadza nowa norma z serii IEC 60034-30 Rotating electrical machines – Part 30: Efficiency classes of single-speed, three-phase, cage-induction motors (IE-code) z 2008 roku.

Nowy sposób klasyfikacji obowiązuje dla silników 2, 4 i 6-biegunowych o mocach od 0,75 do 375 kW i napięciu znamionowym do 1000 V.

Dokument określa trzy poziomy sprawności dla silników:

- IE1 – silniki standardowe (standard),
- IE2 – silniki o podwyższonej sprawności (high efficiency),
- IE3 – najwyższy poziom sprawności (premium).

Sprawność silników na potrzeby porównania z wymaganiami IE powinna być wyznaczana zgodnie z normą IEC 60034-2-1 Rotating electrical machines – Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding for traction vehicles) z 2007 roku.

Super Premium Efficiency (IE4)

## Klasyfikacja IE dla silników indukcyjnych

Tabela przedstawia minimalne wymagane sprawności dla silników wg oznakowania IE zasilanych napięciem o częstotliwości 50 Hz.

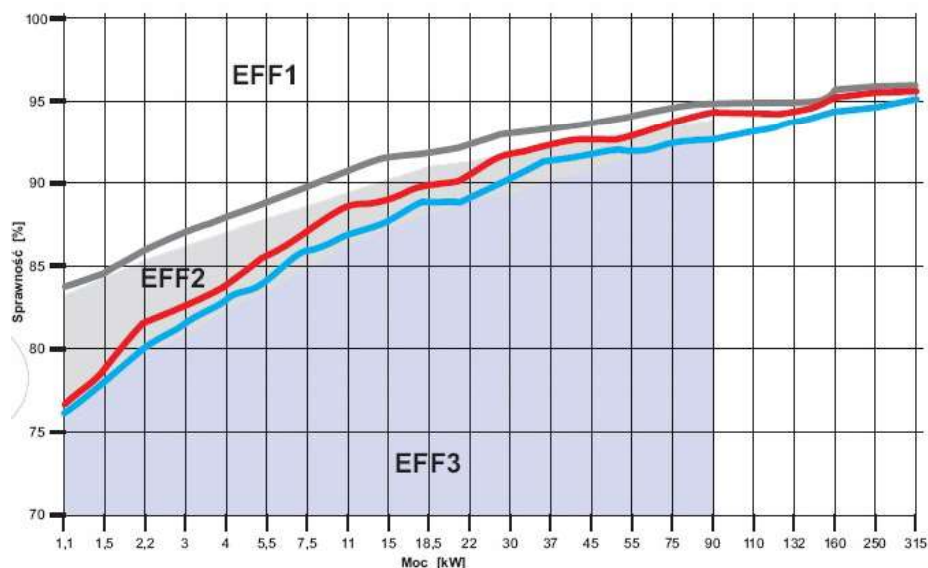
kW	50 Hz								
	IE1 – Standard Efficiency			IE2 – High Efficiency			IE3 – Premium Efficiency		
	2-pole	4-pole	6-pole	2-pole	4-pole	6-pole	2-pole	4-pole	6-pole
0.75	72.1	72.1	70.0	77.4	79.6	75.9	80.7	82.5	78.9
1.1	75.0	75.0	72.9	79.6	81.4	78.1	82.7	84.1	81.0
1.5	77.2	77.2	75.2	81.3	82.8	79.8	84.2	85.3	82.5
2.2	79.7	79.7	77.7	83.2	84.3	81.8	85.9	86.7	84.3
3.7	81.5	81.5	79.7	84.6	85.5	83.3	87.1	87.7	85.6
5.5	83.1	83.1	81.4	85.8	86.6	84.6	88.1	88.6	86.8
7.5	84.7	84.7	83.1	87.0	87.7	86.0	89.2	89.6	88.0
11	86.0	86.0	84.7	88.1	88.7	87.2	90.1	90.4	89.1
15	87.6	87.6	86.4	89.4	89.8	88.7	91.2	91.4	90.3
18.5	88.7	88.7	87.7	90.3	90.6	89.7	91.9	92.1	91.2
22	89.3	89.3	88.6	90.9	91.2	90.4	92.4	92.6	91.7
30	89.9	89.9	89.2	91.3	91.6	90.9	92.7	93.0	92.2
37	90.7	90.7	90.2	92.0	92.3	91.7	93.3	93.6	92.9
45	91.2	91.2	90.8	92.5	92.7	92.2	93.7	93.9	93.3
55	91.7	91.7	91.4	92.9	93.1	92.7	94.0	94.2	93.7
75	92.1	92.1	91.9	93.2	93.5	93.1	94.3	94.6	94.1
90	92.7	92.7	92.6	93.8	94.0	93.7	94.7	95.0	94.6
110	93.0	93.0	92.9	94.1	94.2	94.0	95.0	95.2	94.9
150	93.3	93.3	93.3	94.3	94.5	94.3	95.2	95.4	95.1
185	93.5	93.5	93.5	94.6	94.7	94.6	95.4	95.6	95.4
220	93.8	93.8	93.8	94.8	94.9	94.8	95.6	95.8	95.6
250	94.0	94.0	94.0	95.0	95.1	95.0	95.8	96.0	95.8
300	94.0	94.0	94.0	95.0	95.1	95.0	95.8	96.0	95.8
330	94.0	94.0	94.0	95.0	95.1	95.0	95.8	96.0	95.8
375	94.0	94.0	94.0	95.0	95.1	95.0	95.8	96.0	95.8
330	94.0	94.0	94.0	95.0	95.1	95.0	95.8	96.0	95.8
375	94.0	94.0	94.0	95.0	95.1	95.0	95.8	96.0	95.8

### KLASY SPRAWNOŚCI ENERGETYCZNEJ

EFF1 pierwsza najwyższa kategoria (high efficiency)

EFF2 druga klasa sprawności (improved efficiency)

EFF3 trzecia klasa (zwykła)

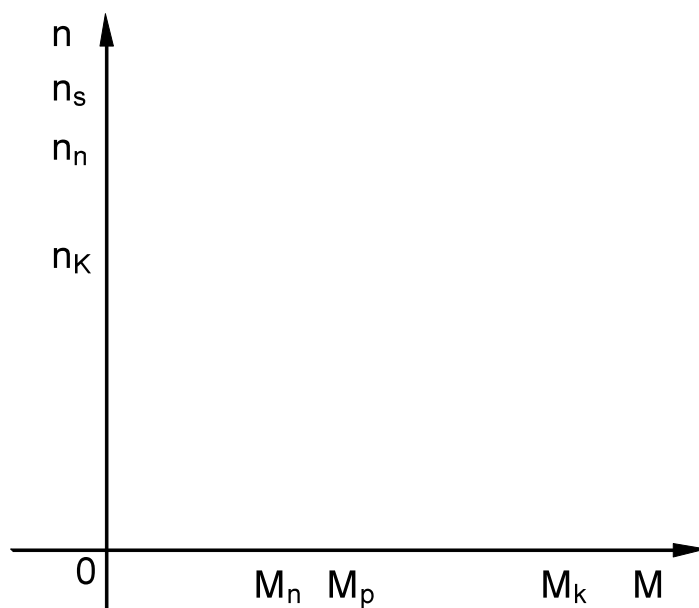


	Wał poziomo				Wał pionowo		
	Oznaczenie		Wielkość mechaniczna		Oznaczenie		Wielkość mechaniczna
	Kod II	Kod I			Kod II	Kod I	
	IM 1001	IM B3	56 ÷ 500		IM 1011	IM V5	56 ÷ 315 oprócz Sg 315 M6C oprócz Sg 315 M8C
	IM 1051	IM B6	56 ÷ 280		IM 1031	IM V6	56 ÷ 315 oprócz Sg 315 M6C oprócz Sg 315 M8C
	IM 1061	IM B7	56 ÷ 280		IM 2011 lub IM 2111	IM V15	56 ÷ 315 oprócz SLg 315 M6C oprócz SLg 315 M8C
	IM 1071	IM B8	56 ÷ 280		IM 2031 lub IM 2131	IM V36	56 ÷ 315 oprócz SLg 315 M6C oprócz SLg 315 M8C
	IM 2001	IM B35	56 ÷ 500		IM 3011	IM V1	56 ÷ 500 oprócz SVEE 355 (2-biegunowe) oprócz SVh 355 (2-biegunowe) oprócz SVh 400 (2-biegunowe)
	IM 2101	IM B34	56 ÷ 132		IM 3031	IM V3	56 ÷ 280
	IM 3001	IM B5	56 ÷ 315 oprócz SKg 315 M6C oprócz SKg 315 M8C		IM 3611	IM V18	56 ÷ 180
	IM 3601	IM B14	56 ÷ 132		IM 3631	IM V19	56 ÷ 180

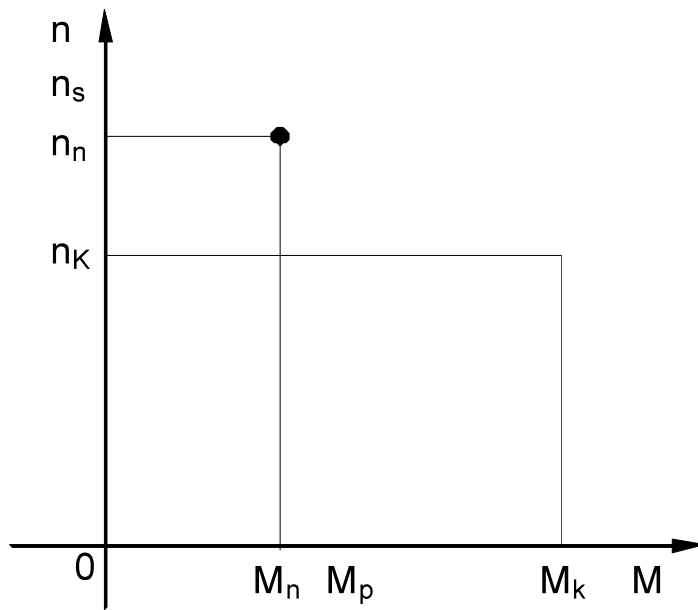
Forma wykonania

Źródło: <http://www.induktor.pl/>

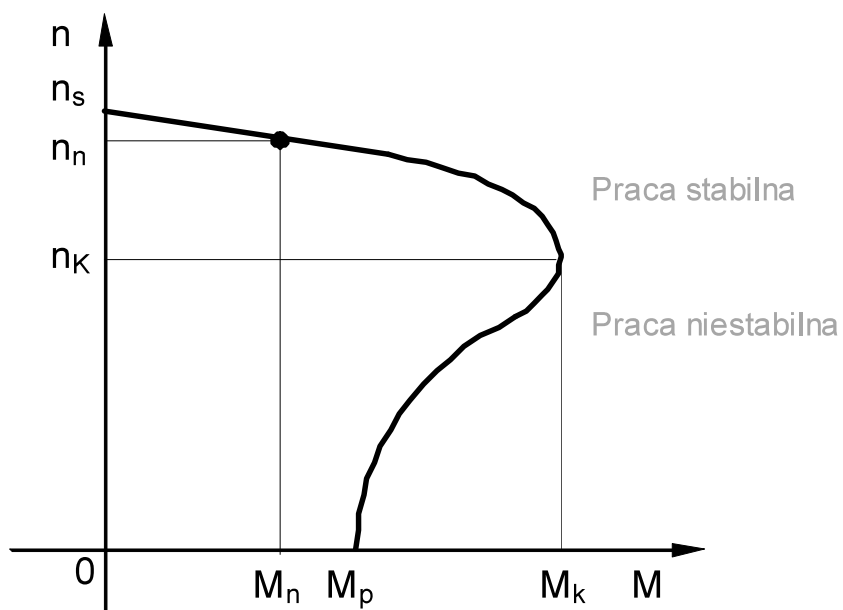
### Charakterystyka mechaniczna silnika asynchronicznego klatkowego



# Charakterystyka mechaniczna silnika asynchronicznego klatkowego

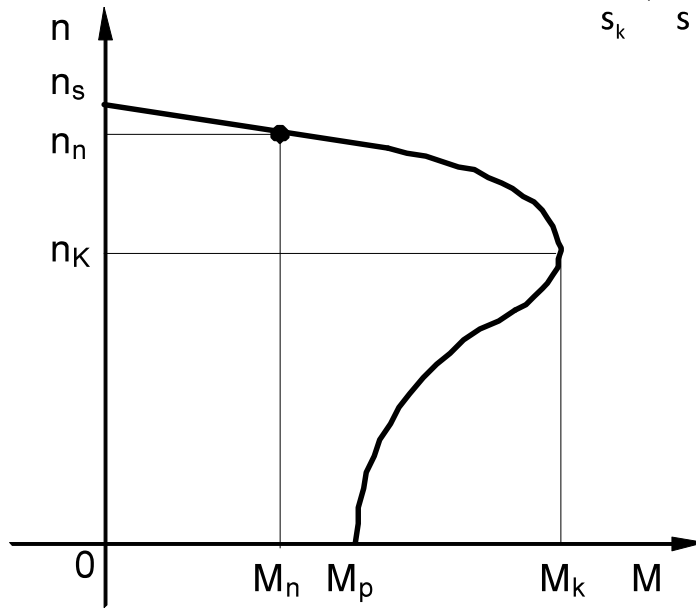


# Charakterystyka mechaniczna silnika asynchronicznego klatkowego



## Charakterystyka mechaniczna silnika asynchronicznego klatkowego

$$M \cong \frac{2 \cdot M_K}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}} \quad \text{wzór Klossa}$$

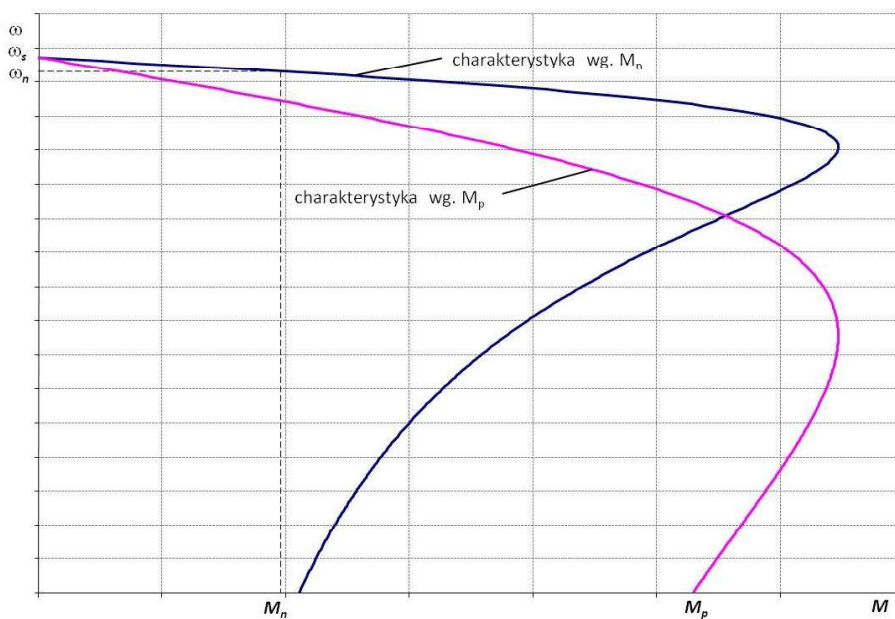


$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

$$s_K = \frac{n_s - n_K}{n_s}$$

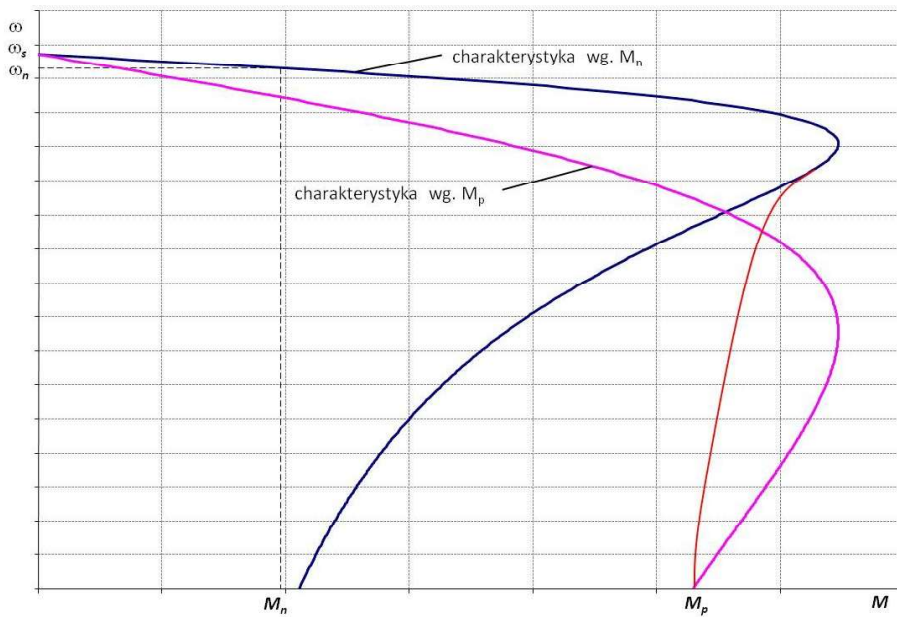
## Charakterystyka mechaniczna silnika asynchronicznego klatkowego

wzór Klossa



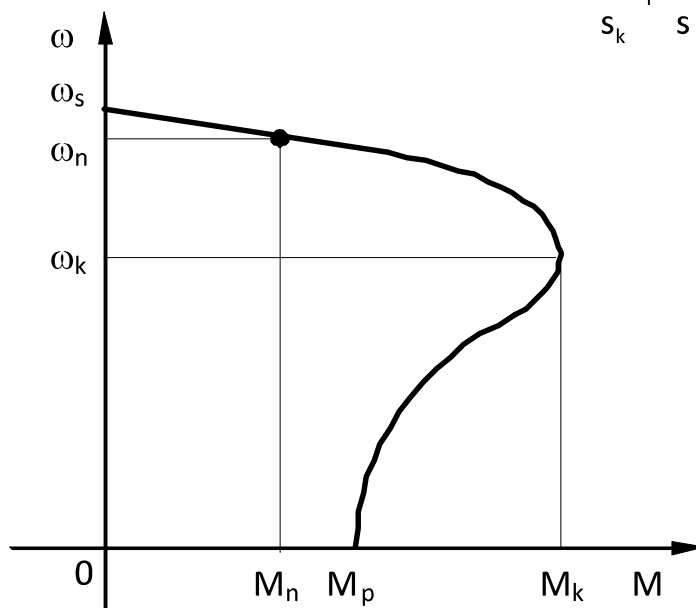
# Charakterystyka mechaniczna silnika asynchronicznego klatkowego

wzór Klossa



# Charakterystyka mechaniczna silnika asynchronicznego klatkowego

$$M \cong \frac{2 \cdot M_K}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}} \quad \text{wzór Klossa}$$



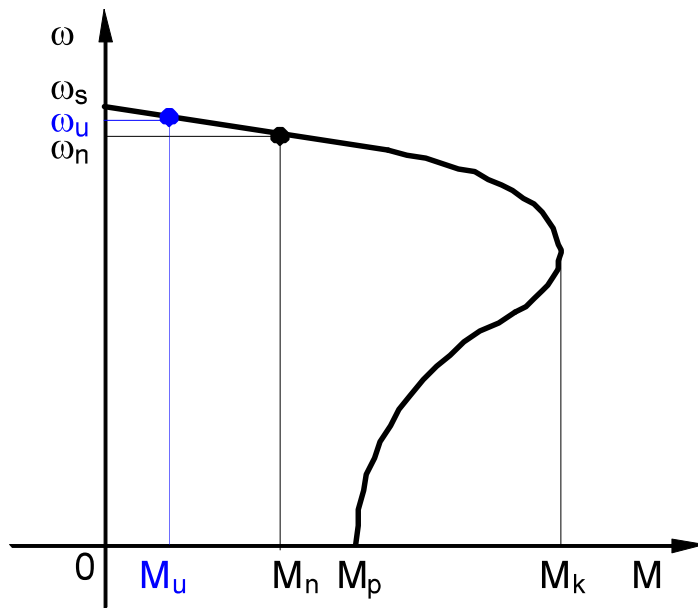
$$s = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s}$$

$$s_k = \frac{\omega_s - \omega_k}{\omega_s}$$

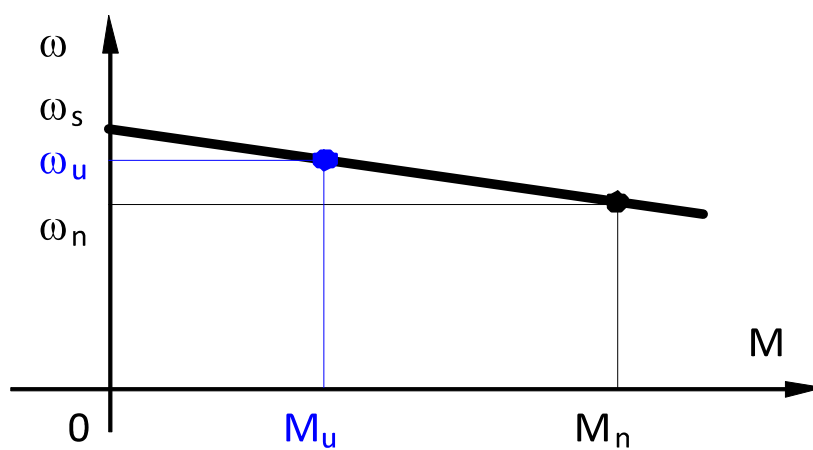
$$M \cong \frac{2 \cdot M_K}{\frac{\omega_s - \omega}{\omega_s - \omega_k} + \frac{\omega_s - \omega_k}{\omega_s - \omega}}$$



## Charakterystyka mechaniczna silnika asynchronicznego klatkowego

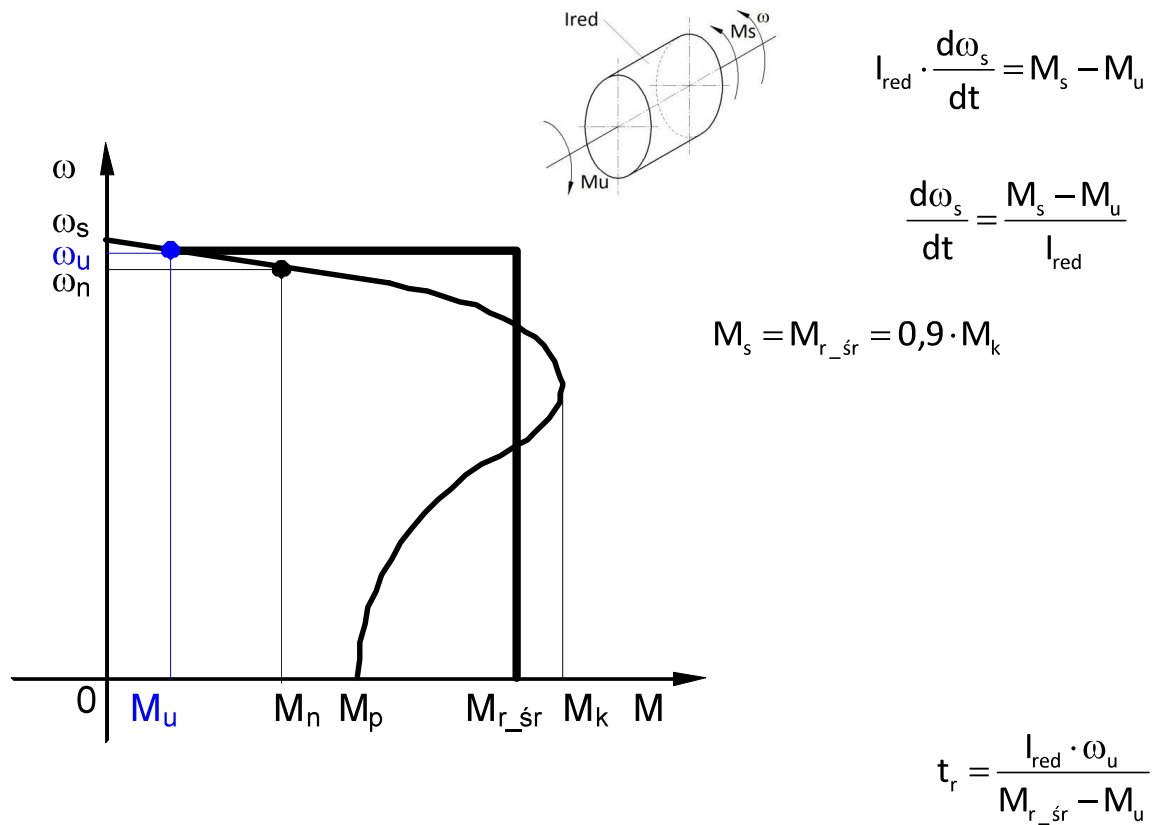


## Charakterystyka mechaniczna - wyznaczenie prędkości w ruchu ustalonym

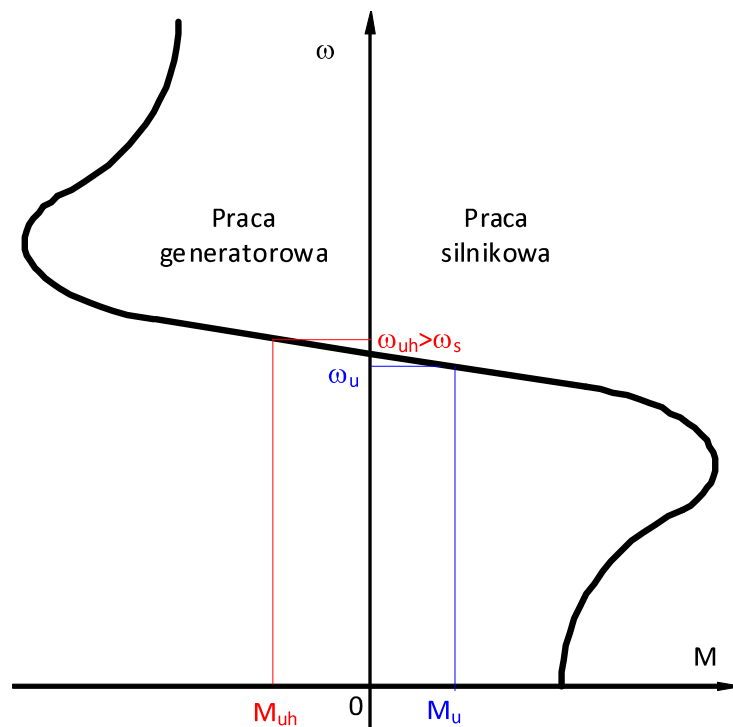


$$\frac{\omega_s - \omega_u}{M_u} = \frac{\omega_s - \omega_n}{M_n} \Rightarrow \omega_u = \omega_s - \frac{M_u}{M_n} \cdot (\omega_s - \omega_n)$$

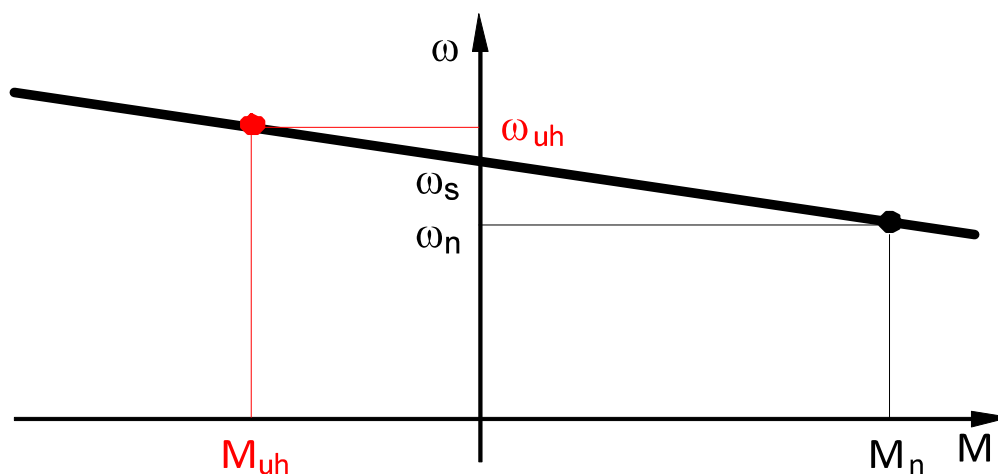
## Charakterystyka mechaniczna – dynamika rozruchu



## Praca silnikowa i generatorowa (prądnicowa) silnika

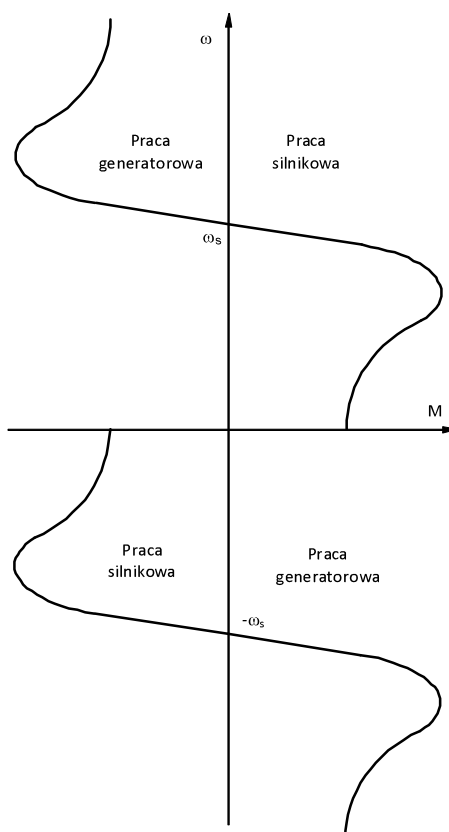


## Charakterystyka mechaniczna - wyznaczenie prędkości w ruchu ustalonym dla pracy generatorowej

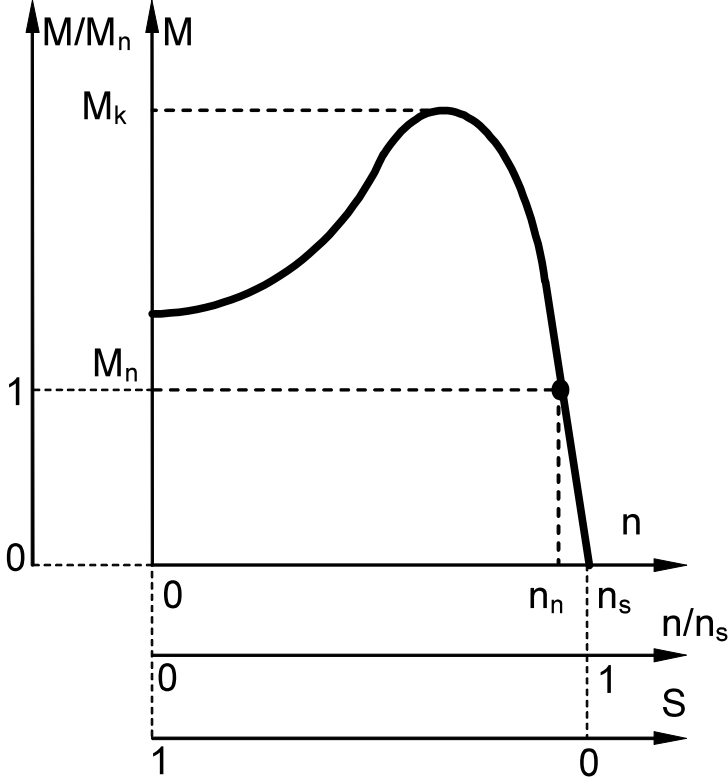


$$\frac{\omega_{uh} - \omega_s}{M_u} = \frac{\omega_s - \omega_n}{M_n} \Rightarrow \omega_{uh} = \omega_s + \frac{M_{uh}}{M_n} \cdot (\omega_s - \omega_n)$$

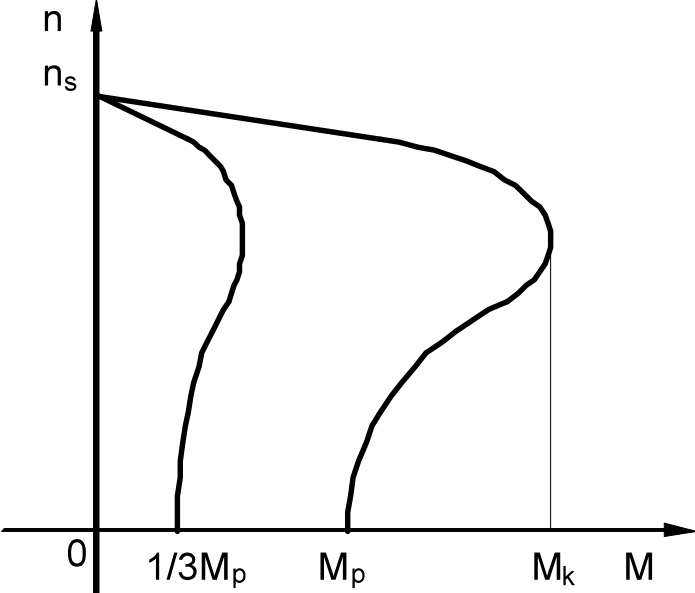
Praca czterokwadrantowa silnika



Charakterystyka mechaniczna silnika asynchronicznego klatkowego



Charakterystyka mechaniczna silnika asynchronicznego klatkowego



Charakterystyka mechaniczna silnika asynchronicznego klatkowego

