

Temat:

SILNIKI SYNCHRONICZNE W UKŁADACH AUTOMATYKI

Zagadnienia:

- praca silnikowa prądnicy synchronicznej
- silnik o magnesach trwałych (permasyn)
- silnik reluktancyjny
- silnik histerezowy

SILNIKI SYNCHRONICZNE

Co to jest silnik synchroniczny?

Silnik synchroniczny - maszyna prądu przemiennego, w której wirnik wiruje w stanie ustalonym z tą samą prędkością co pole magnetyczne stojana

$$n = \frac{60 \cdot f}{p}$$

n – prędkość wirowania wirnika [obr/min],

f – częstotliwość prądu w uzwojeniach stojana [Hz],

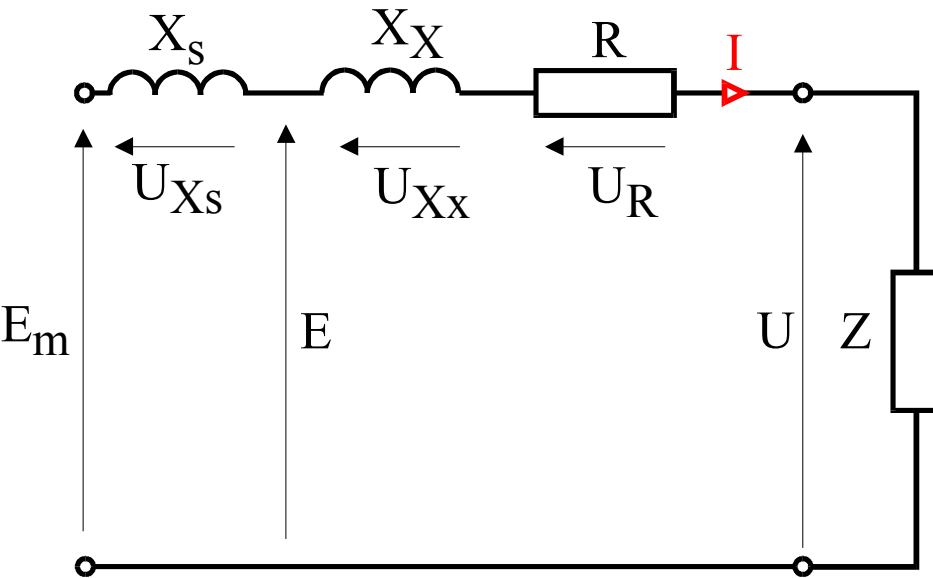
p – liczba par biegunów.

Silniki synchroniczne stosuje się tam gdzie potrzebna jest **stała prędkość obrotowa**. Jest to główna zaleta tych silników.

Podstawową zaś wadą jest **brak momentu rozruchowego** i kołysanie wirnika w stanach nieustalonych.

Jeżeli w maszynie synchronicznej pracującej prądnicowo, równoległe z siecią sztywną, zmniejszymy moc doprowadzoną do wału to wówczas pracuje ona jako **silnik synchroniczny**.

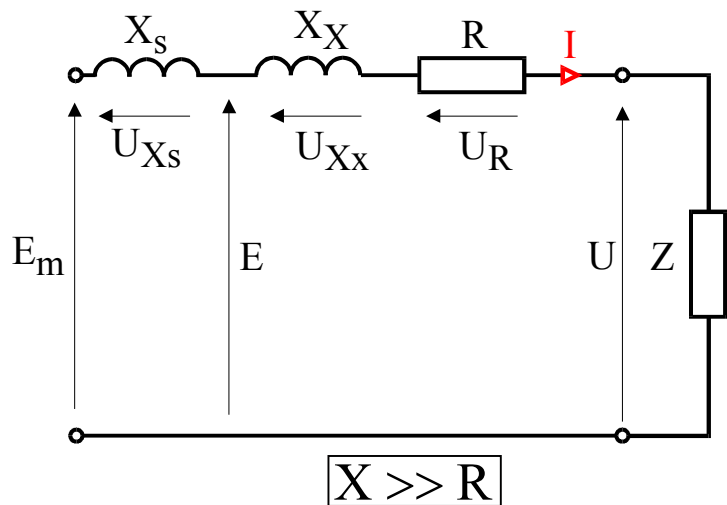
MOC I MOMENT MASZyny SYNCHRONICZNEJ



- X_s -reaktancja rozproszenia
- X_X -reaktancja uzwojenia stojana
- R - rezystancja uzw. stojana
- Z - impedancja obciążenia

Schemat zastępczy obciążonej prądnicy nienasyconej z biegunami utajonymi

MOC I MOMENT MASZINY SYNCHRONICZNEJ

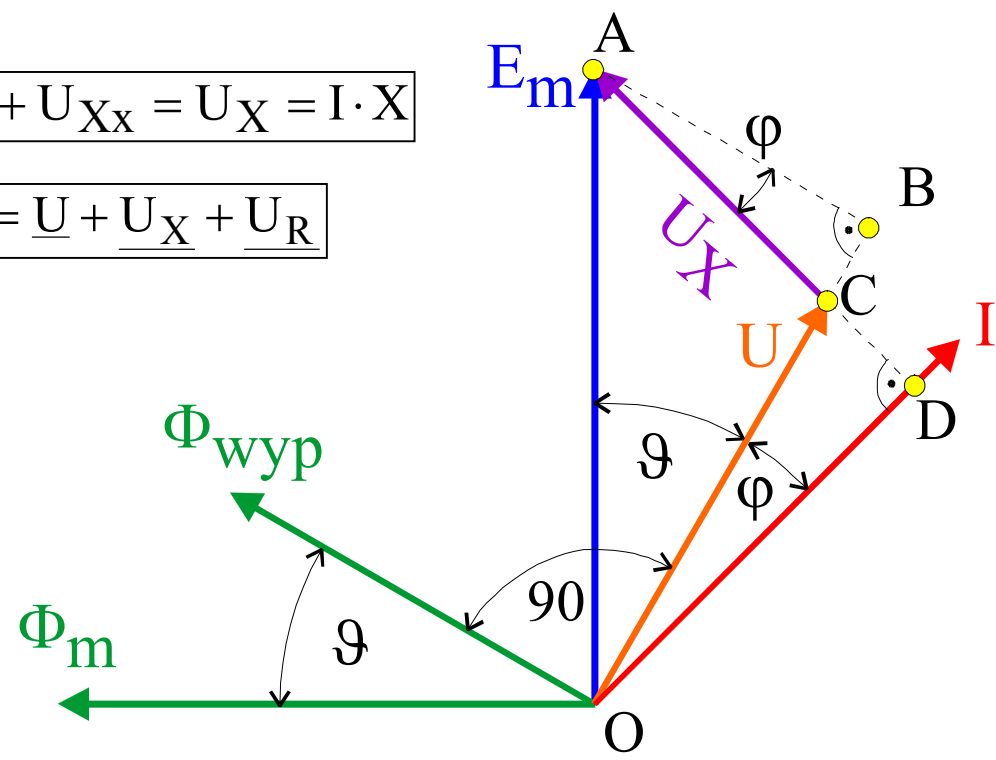


$$U_{X_s} + U_{X_X} = U_X = I \cdot X$$

$$E_m = U + U_X + U_R$$

Moc wyjściowa maszyny synchronicznej

$$P = 3UI \cos \varphi$$



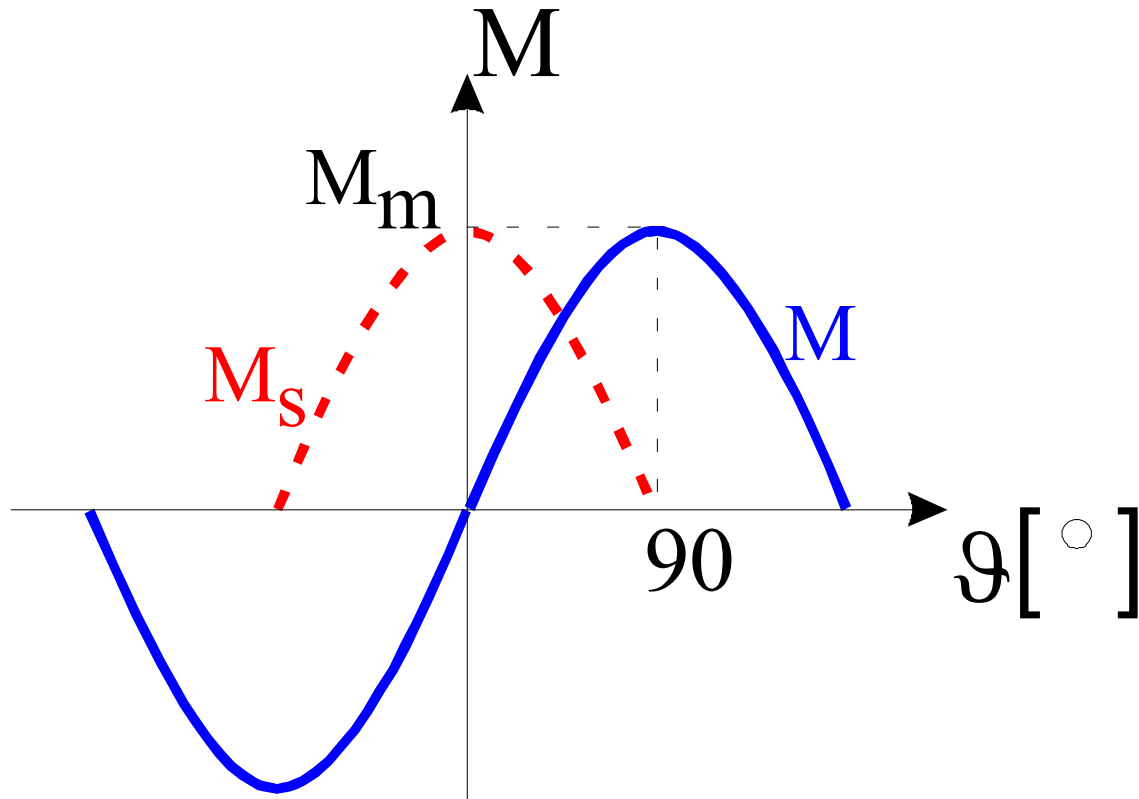
z trójkąta ABC $\frac{AB}{U_X} = \cos \varphi$ z trójkąta OAB $AB = E_m \sin \vartheta$

$$P = 3UI \frac{E_m}{U_X} \sin \vartheta = 3U \frac{E_m}{X} \sin \vartheta \quad \text{ponieważ} \quad M = \frac{P}{\omega} \quad \text{i} \quad \omega = \frac{2\pi f}{p}$$

to moment synchroniczny jest równy

$$M = \frac{3p}{2\pi f \cdot X} U E_m \sin \vartheta = M_m \sin \vartheta$$

MOC I MOMENT MASZINY SYNCHRONICZNEJ

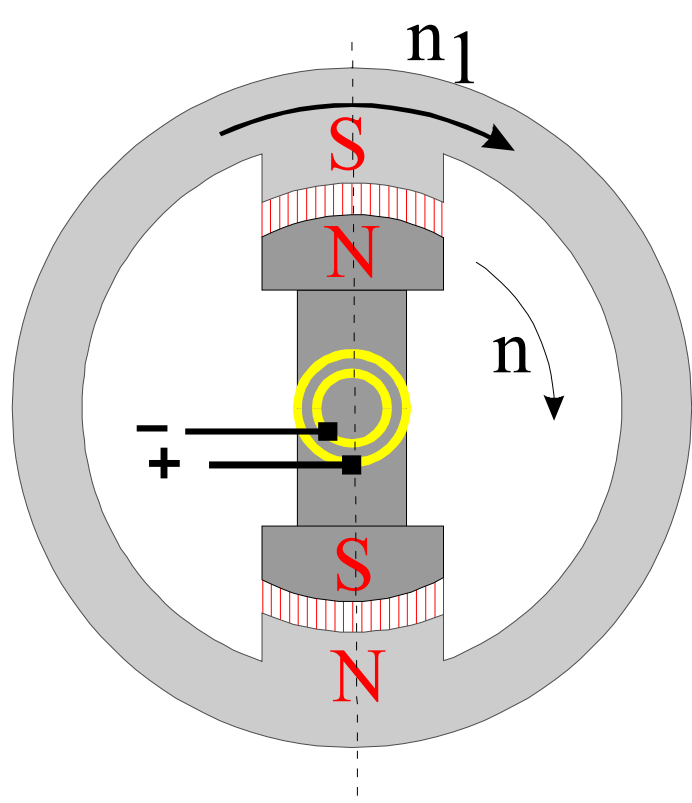


Charakterystyka kątowna maszyny synchronicznej

$$\frac{dM}{d\vartheta} = M_s = M_m \cos \vartheta$$

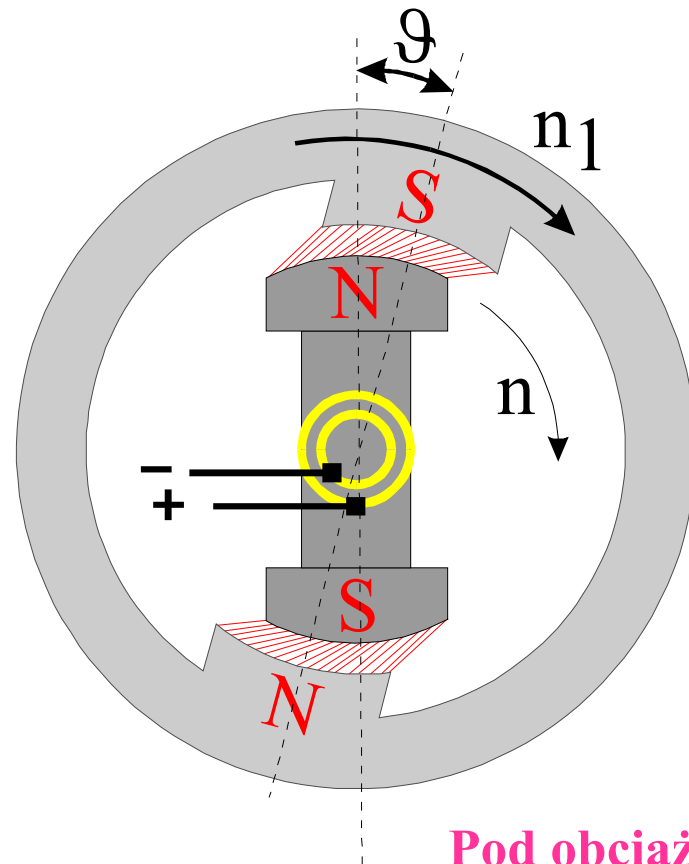
M_s - moment synchronizujący

ZASADA DZIAŁANIA SILNIKA SYNCHRONICZNEGO



Przy idealnym
biegu jałowym

Moment synchroniczny
silnika



Pod obciążeniem

$$M = \frac{3 \cdot p}{2 \cdot \pi \cdot f} \frac{U \cdot E_m}{X} \sin \vartheta$$

ϑ - kąt między osią magnetyczną pola stojana a osią geometryczną wirnika

X - reaktancja wypadkowa

E_m - napięcie indukowane przez strumień

U - napięcie uzwojenia stojana

PRACA SILNIKOWA PRĄDNICY SYNCHRONICZNEJ

W nieruchomym silniku istnieje pole wirujące stojana i stałe (nieruchome) pole magnetyczne wirnika. Powstający zmienny moment obrotowy (którego średnia wartość w ciągu jednego obrotu jest równa zero) nie jest w stanie wprowadzić w ruch obrotowy wirnik o dość dużym momencie bezwładności.

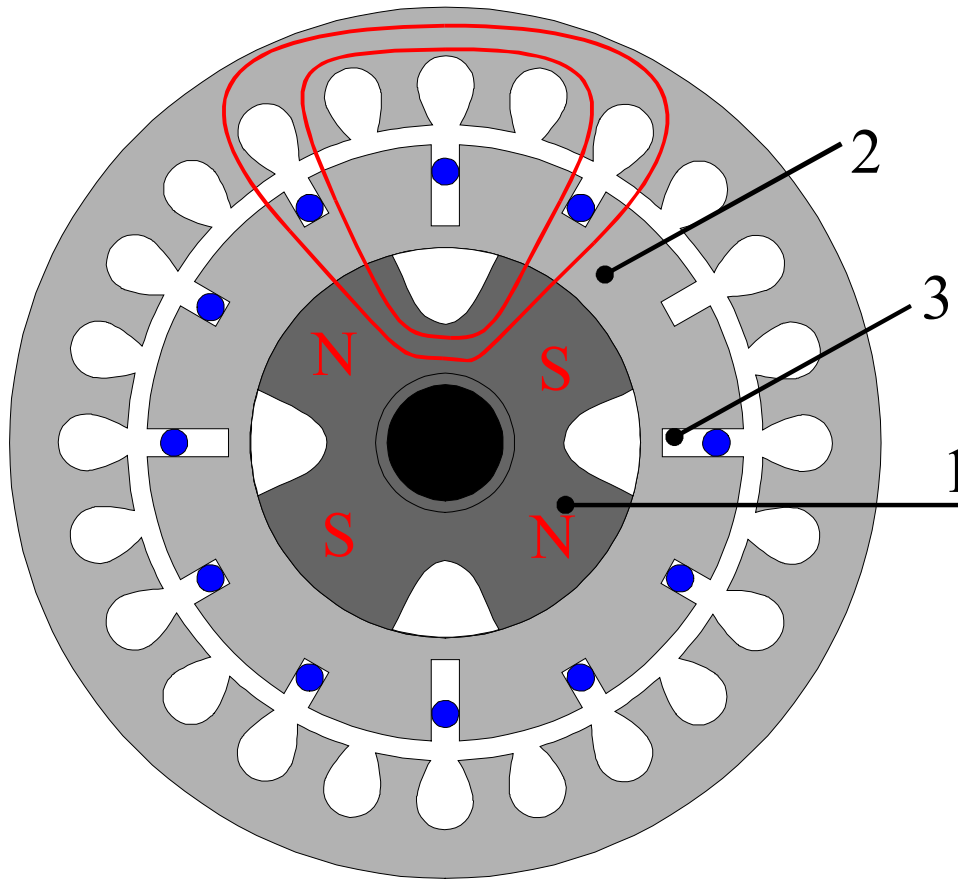
Podstawową wadą silnika synchronicznego o budowie klasycznej jest brak momentu rozruchowego

Metody rozruchu silnika synchronicznego:

- * rozruch asynchroniczny (najczęściej stosowany)
- * rozruch z dodatkowym silnikiem napędowym (sporadycznie)
- * rozruch częstotliwościowy (w specjalnych przypadkach-napęd śrub okrętowych)

SILNIK SYNCHRONICZNY O MAGNESACH TRWAŁYCH

Permasyny - silniki synchroniczne małej mocy mające na wirniku zamiast wzbudzenia elektromagnetycznego wzbudzenie magnetyczne od magnesów trwałych. Oprócz permasynów jako silniki małej mocy stosowane są silniki **reluktancyjne**, **histerezyowe** oraz silniki **skokowe**.



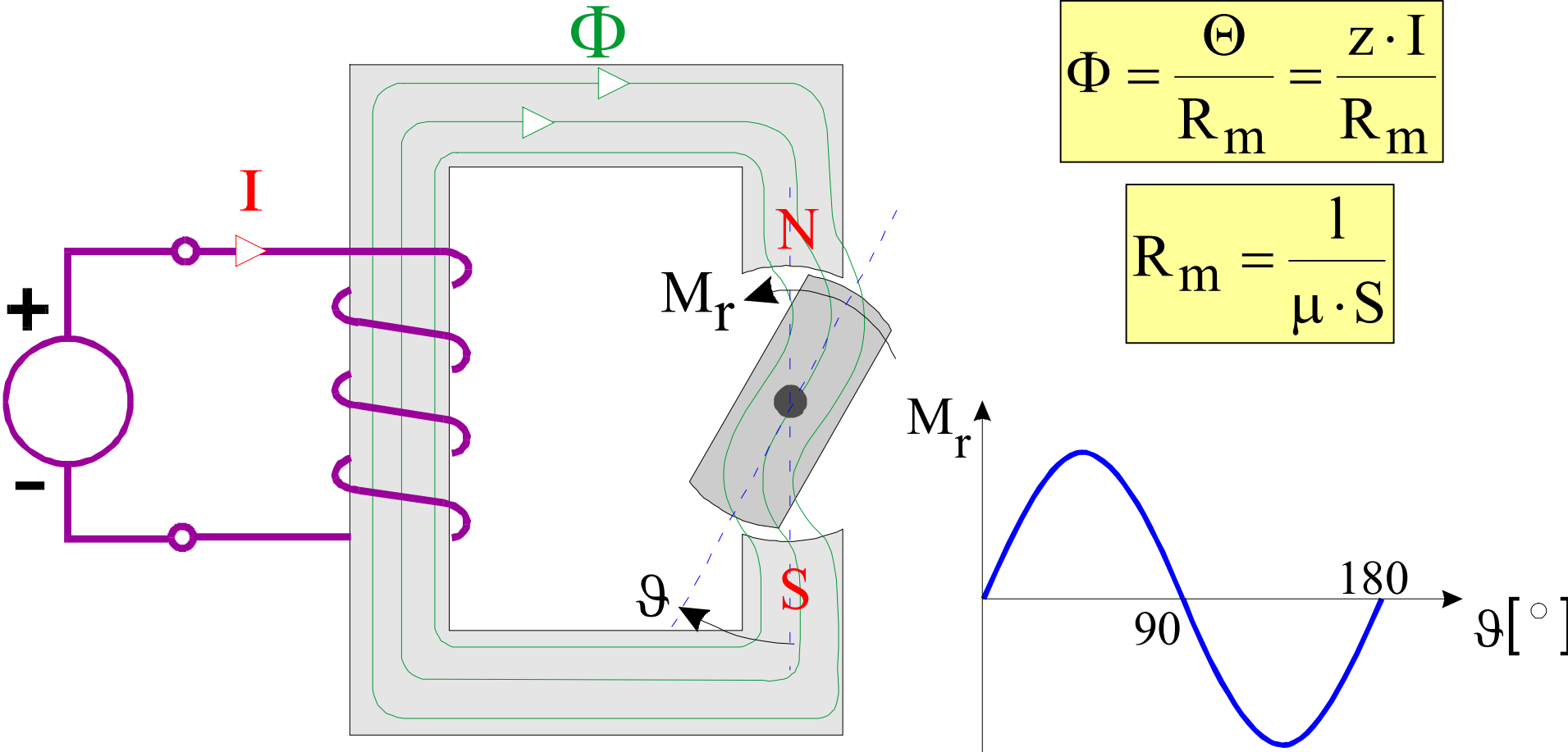
Silnik synchroniczny (Mirella)

- 1 - magnes trwały
- 2 - blacha wirnika
- 3 - głęboki żłobek

$$M = \frac{m}{\omega_s} \frac{UE_m}{X} \sin \vartheta$$

- U - napięcie zasilania uzw. stojana
- E_m - napięcie indukowane w uzwojeniu stojana
- m - liczba faz uzwojenia stojana
- ω_s - synchroniczna prędkość kątowna

ZASADA POWSTAWANIA MOMENTU RELUKTANCYJNEGO



ϑ - kąt między osią magnetyczną pola stojana a osią geometryczną wirnika

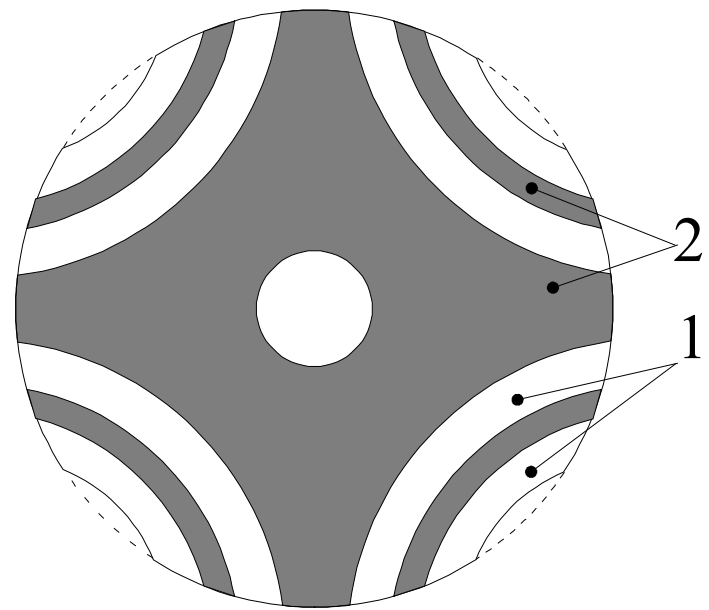
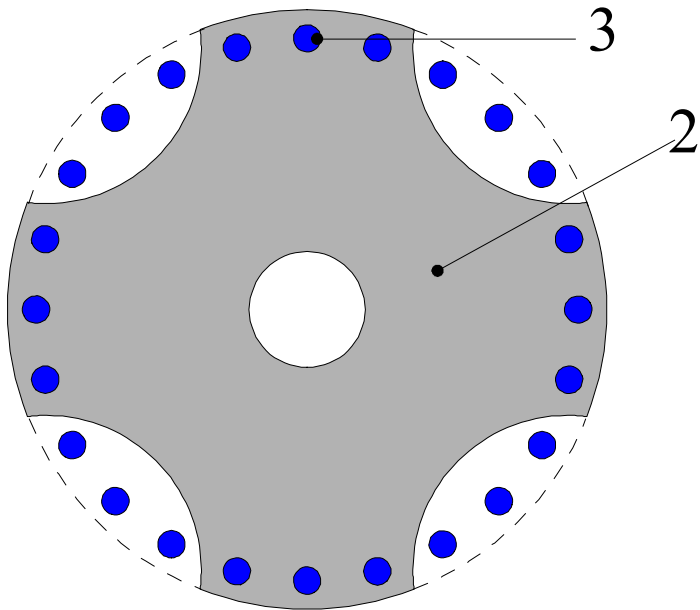
M_r - moment reluktancyjny

R_m - reluktancja obwodu magnetycznego

Θ - przepływ (siła magnetomotoryczna)

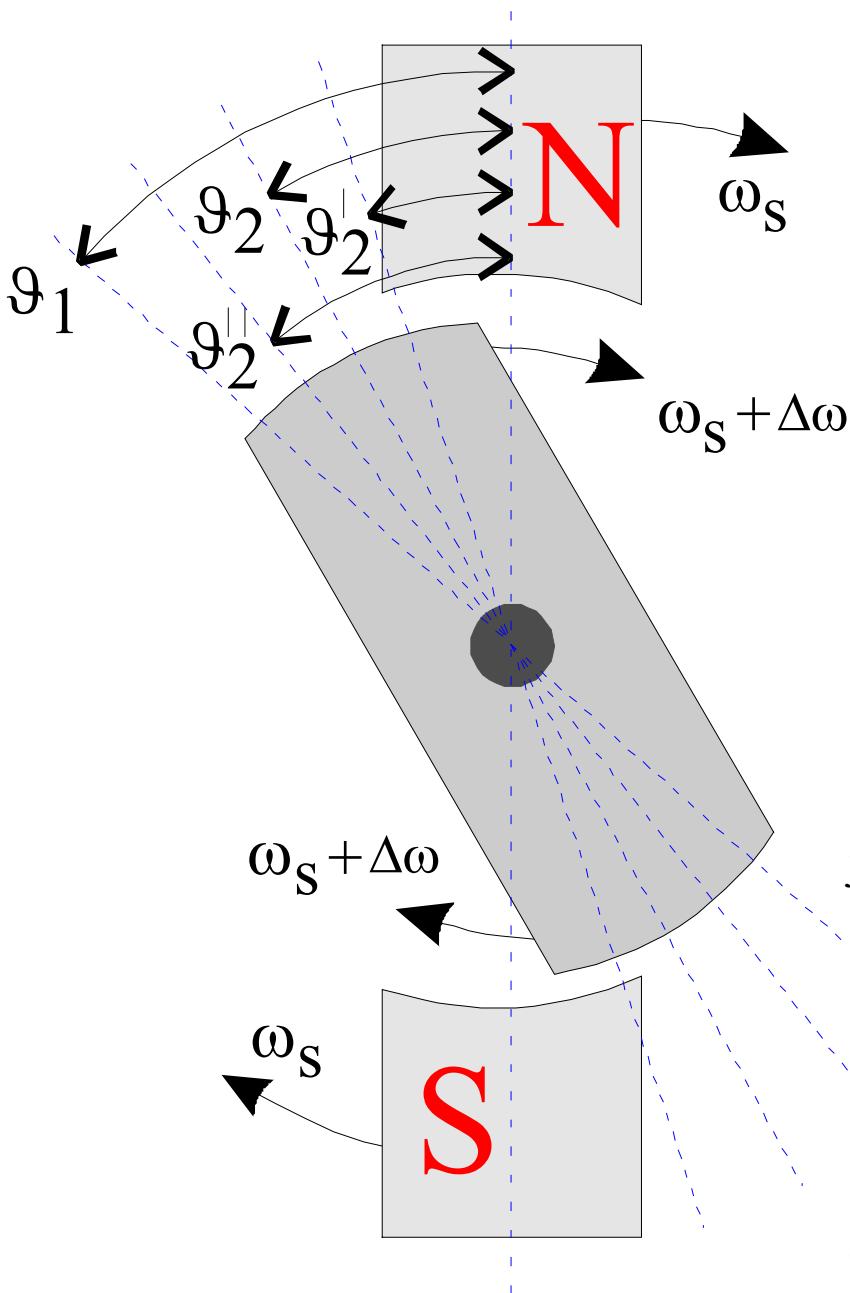
WIRNIK SILNIKA RELUKTANCYJNEGO

Wirnik silnika reluktancyjnego o dwóch parach biegunów ($p=2$)



- 1- materiał niemagnetyczny
- 2 - rdzeń ferromagnetyczny
- 3 - pręty klatki

KOŁYSANIE WIRNIKA SILNIKA SYNCHRONICZNEGO



$$M_r = \frac{m U^2}{\omega_s} \frac{1}{2} \left[\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right] \sin 2\vartheta$$

X_d - reaktancja synchroniczna podłużna odpowiadająca permeancji Λ_d na drodze reakcji podłużnej wirnika i permeancji Λ_x dróg strumieni rozproszenia
 X_q - reaktancja synchroniczna poprzeczna

w stanie ustalonym $M_r = M_{o1}$ przy $\vartheta = \vartheta_1$

M_r - moment reluktancyjny
 M_o - moment obciążenia

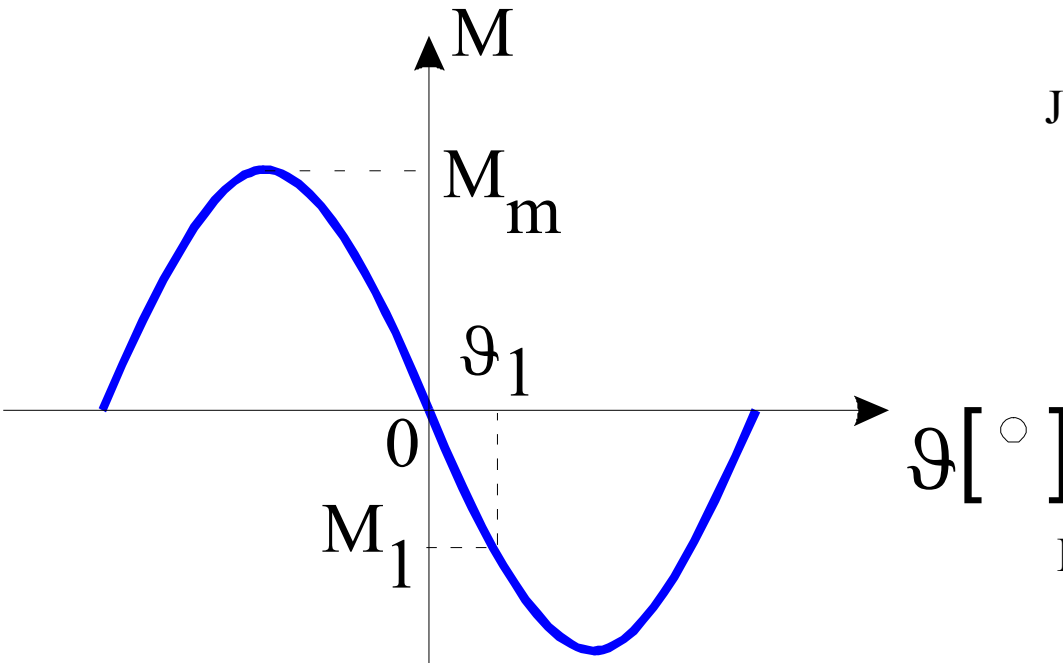
jeżeli nagle zmniejszymy obciążenie to $M_r > M_{o2}$

najpierw $\vartheta'_2 < \vartheta_2$ i $M_r < M_{o2}$

następnie $\vartheta''_2 > \vartheta_2$ i wtedy $M_r > M_{o2}$

aż nastąpi nowy stan ustalony przy $\vartheta = \vartheta_2$

KOŁYSANIE WIRNIKA SILNIKA SYNCHRONICZNEGO



Jeżeli silnik zostanie wyprowadzony z położenia równowagi stabilnej (0) przez siłę zewnętrzną, to będzie działał na niego moment

$$M(\vartheta) = -M_m \cdot \sin \vartheta$$

Nadający wirnikowi przyspieszenie $\ddot{\vartheta}$

Ruch wirnika opisuje wtedy równanie

$$\ddot{\vartheta} + \frac{M_m}{J} \sin \vartheta = 0$$

Dla małych kątów ϑ $\ddot{\vartheta} + \frac{M_m}{J} \cdot \vartheta = 0$ -równanie oscylatora harmonicznego

Dla $t = 0$, $\vartheta = \vartheta_0$ i $\dot{\vartheta} = 0$

to położenie katowe wirnika w danej chwili czasowej będzie opisywała zależność

$$\vartheta = \vartheta_0 \cdot \cos(\omega_0 t)$$

gdzie $\omega_0 = \sqrt{\frac{p \cdot M_m}{J}}$ pulsacja drgań własnych wirnika

SILNIK RELUKTANCYJNY

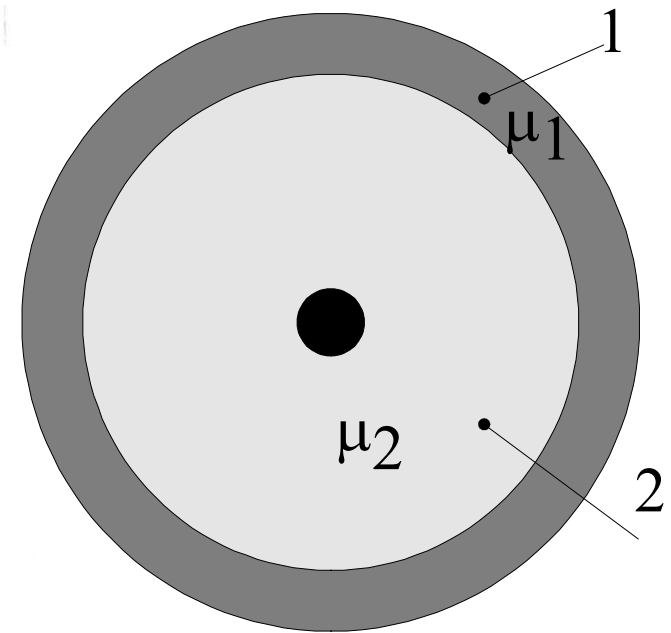
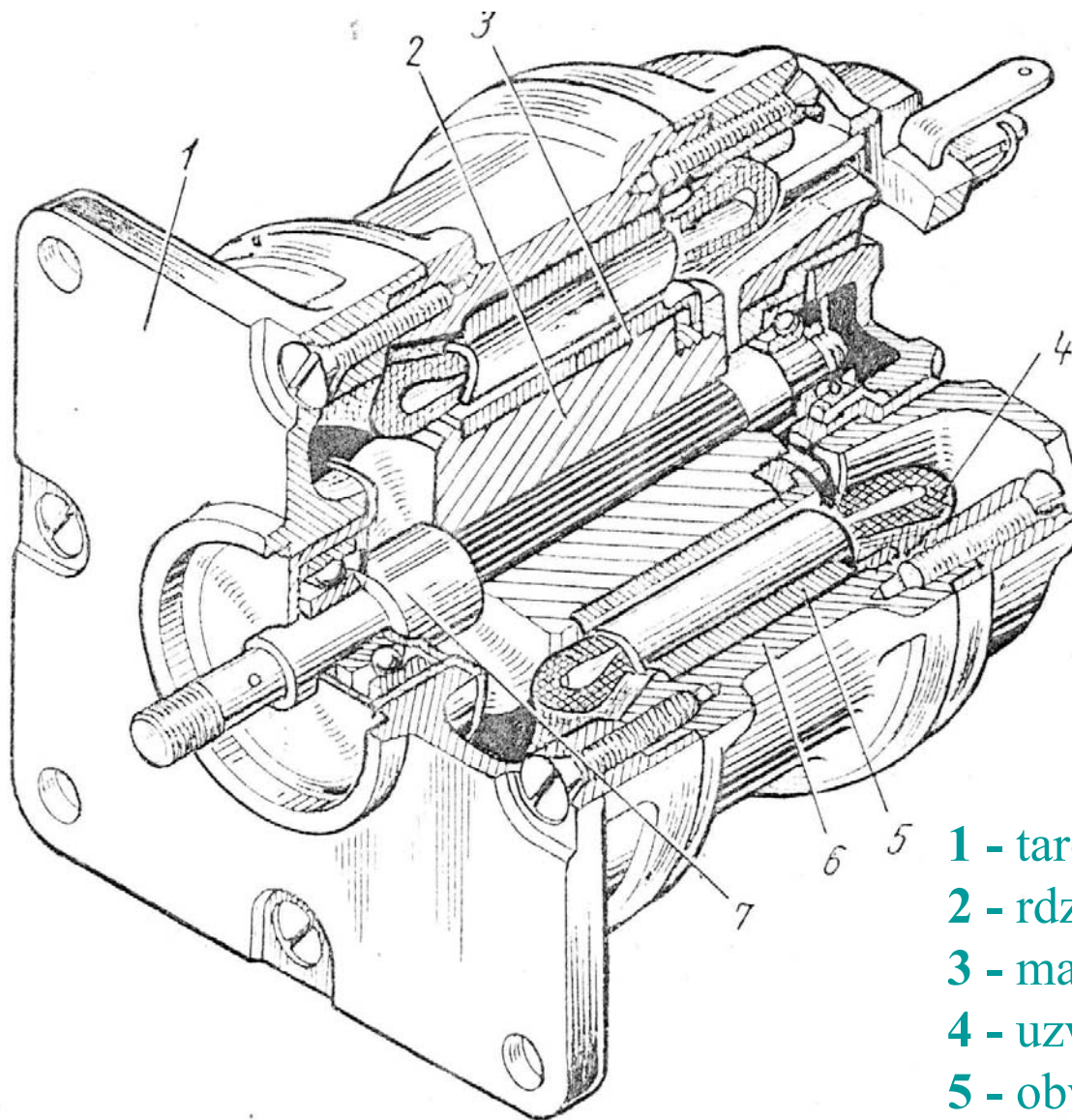
Zalety:

1. Prosta budowa
2. Niska cena
3. Stała prędkość obrotowa

Wady:

1. Brak momentu rozruchowego
2. Mały $\cos\varphi$
3. Mała sprawność
4. Kołysanie wirnika

SILNIK SYNCHRONICZNY HISTEREZOWY



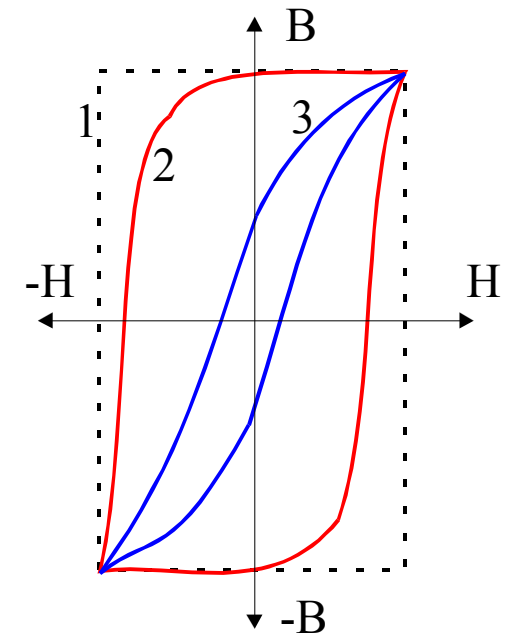
Przekrój wirnika:

1 - materiał magnetycznie twardy
2 - dia lub ferromagnetyk

- 1 - tarcza łożyskowa
- 2 - rdzeń ferro lub diamagnetyczny
- 3 - materiał histerezy
- 4 - uzwojenie stojana
- 5 - obwód magnetyczny stojana
- 6 - korpus
- 7 - wał silnika

PORÓWNANIE H_c RÓŻNYCH MATERIAŁÓW MAGNETYCZNYCH

Lp	Materiał	H_c	
		kA/m	Oe
1	Stal krzemowa	0,032	0,4
2	Stop Alnico	48	600
3	Ferryt magnetycznie twardy	120	1500
4	Ferryt magnetycznie miękki	0,024	0,3
5	Permaloy	0,004	0,05
6	Materiał „histerezowy”	1,2-16	15-200
7	Stop $SmCo_5$	705	8812,5
8	NdFeB	860	10750



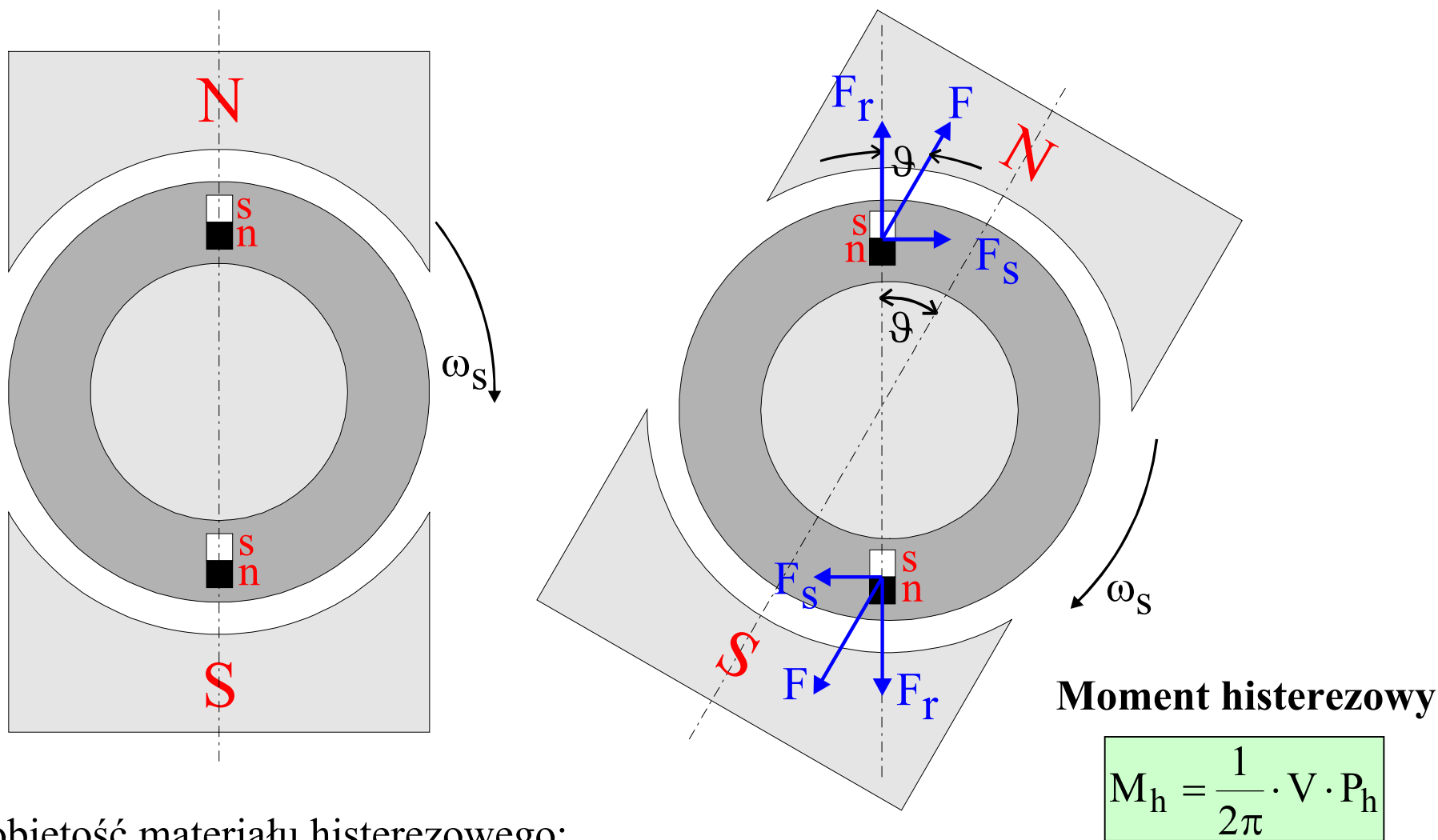
Porównanie pętli histerezy magnetycznej:

1-idealny kształt

2- materiał magnetycznie twardy

3- materiał magnetycznie miękki

ZASADA DZIAŁANIA SILNIKA SYNCHRONICZNEGO HISTEREZOWEGO



V - objętość materiału histerezy;

P_h - stratność jednostkowa materiału histerezy przypadająca na jednostkę objętości i 1 cykl przemagnesowania

Φ_s, Φ_w - strumień stojana i wirnika

SILNIK HISTEREZOWY

Zalety:

1. Duży moment rozruchowy i synchronizujący
2. Płynne wejście w synchronizm
3. Cicha praca
4. Prosta konstrukcja
5. Duża niezawodność

Wady:

1. Mały $\cos\varphi$ (0,3- 0,45)
2. Kołysanie wirnika

Dziękuję Państwu za uwagę