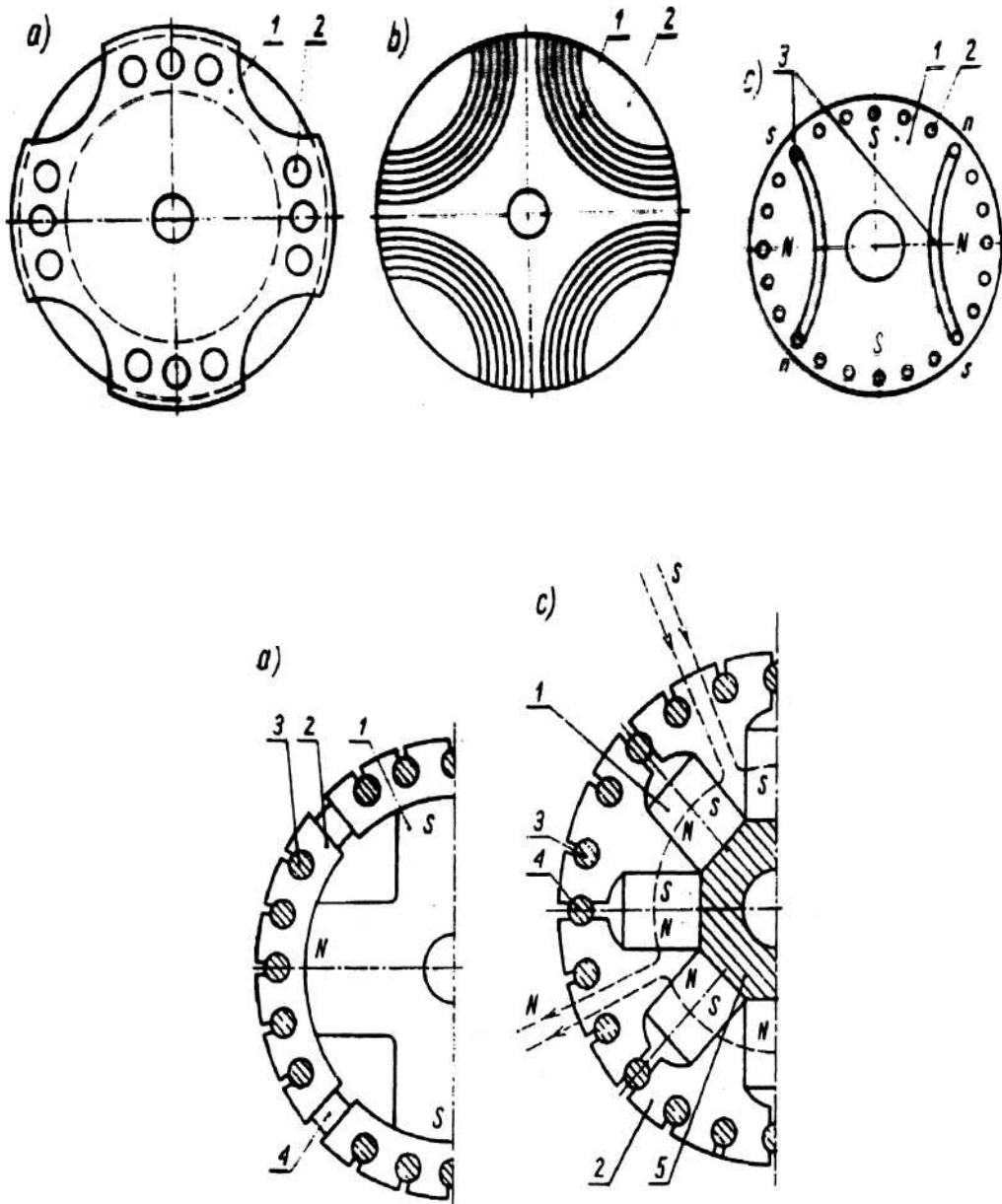


Mikrosilniki synchroniczne

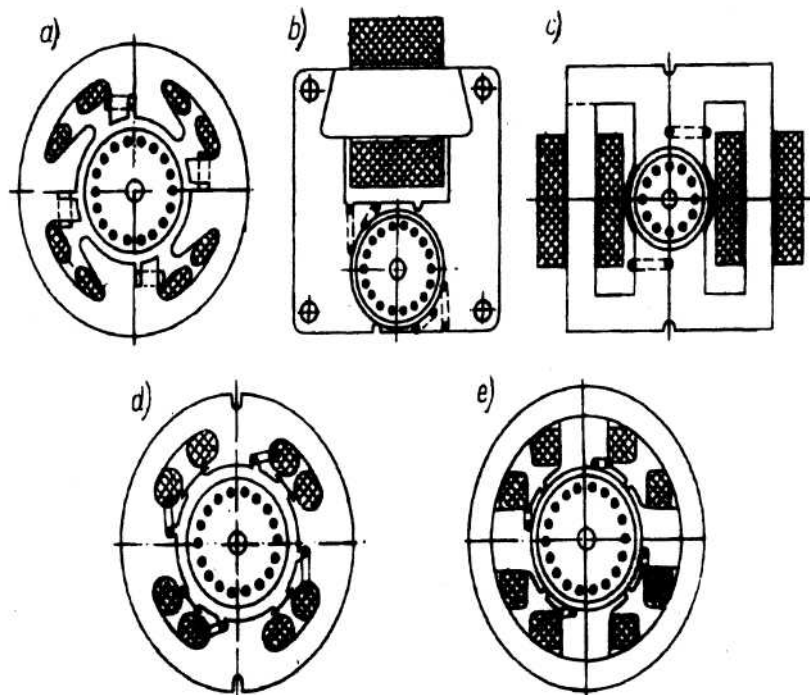
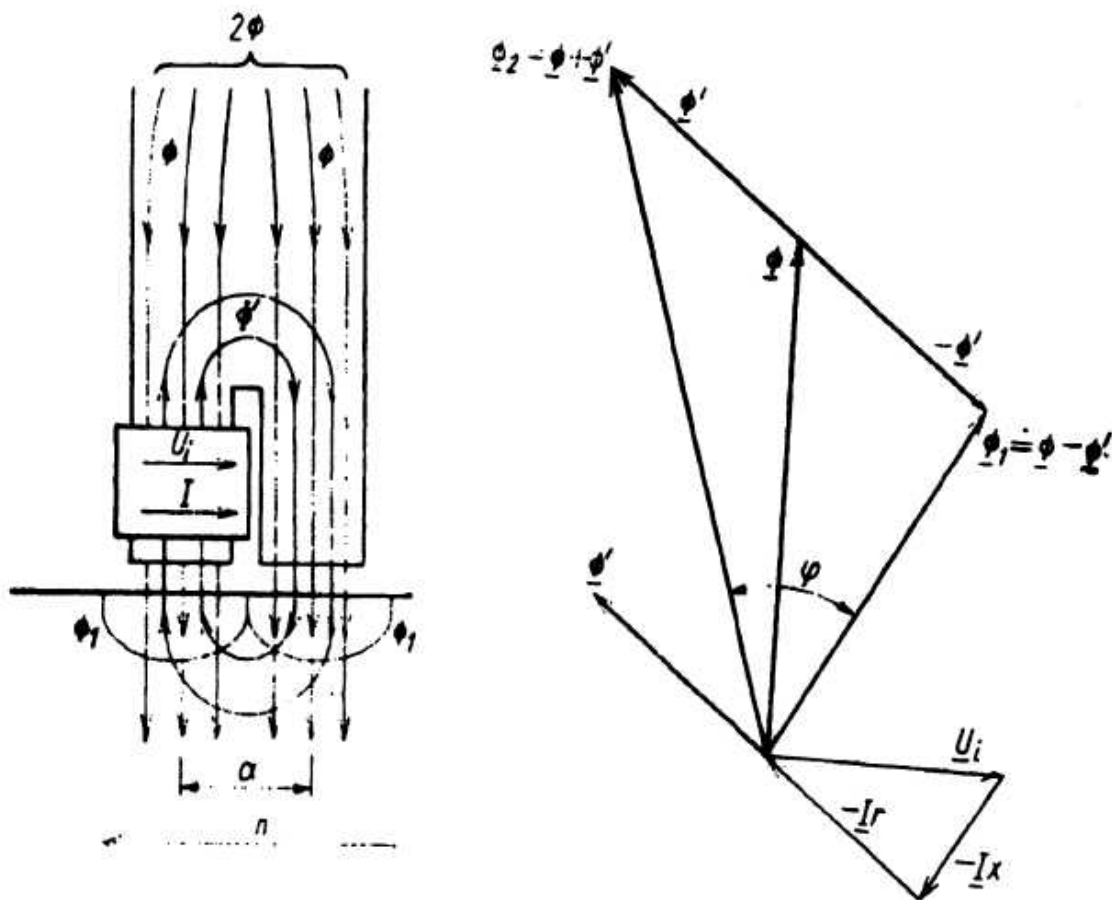
Specyfika teorii: $R_s > 0$ – z uwagi na stosunkowo dużą wartość rezystancji stojana nie wolno jej pomijać w analizie zjawisk mikromaszyny synchronicznej. Zwykle wykorzystywane są różne rodzaje momenty synchronicznego:

- Moment synchroniczny wzbudzeniowy (typowa maszyna synchroniczna)
 - Moment reluktancyjny
 - Moment histerezy

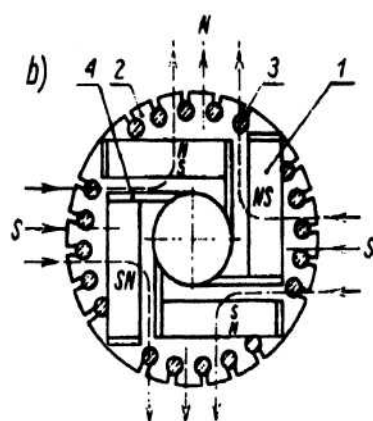
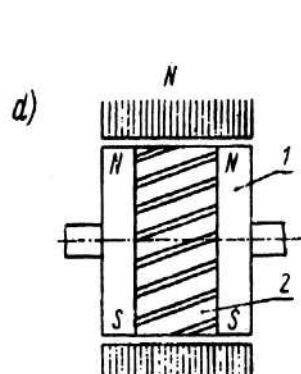
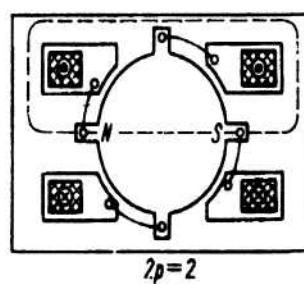
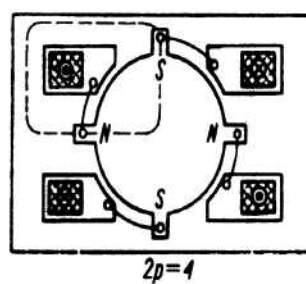
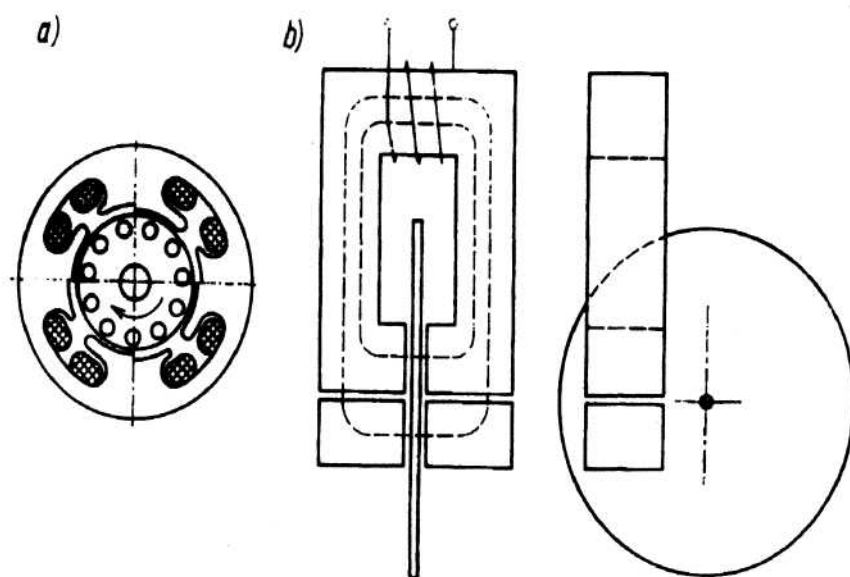
Przykładowe konstrukcje wirników:

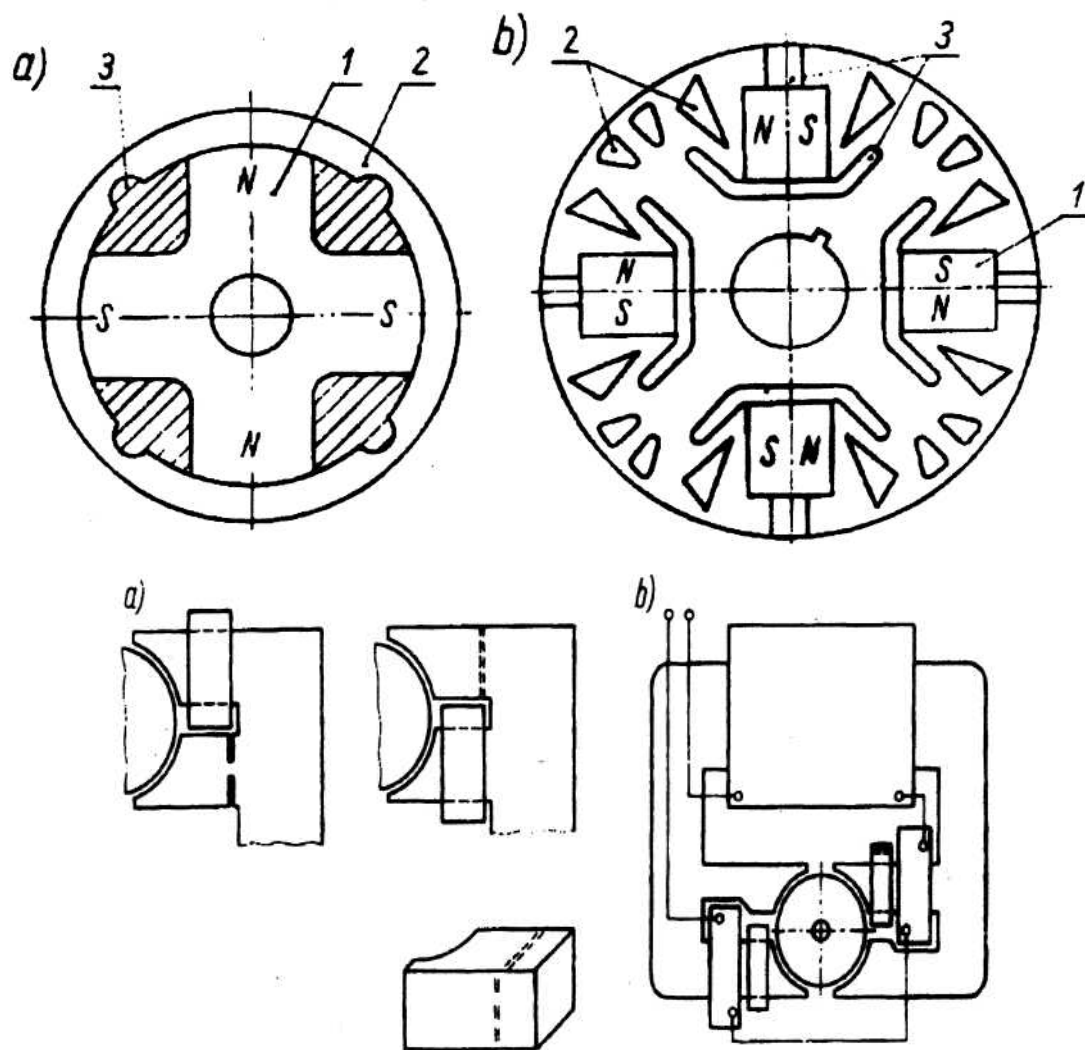


Zasada działania zwoju zwartego w celu uzyskania pola wirującego:

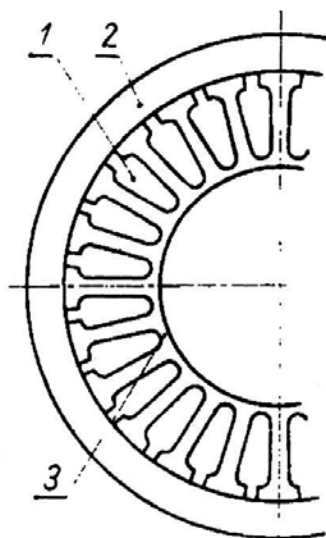


Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych silników z uzwojeniem pomocniczym zwartym

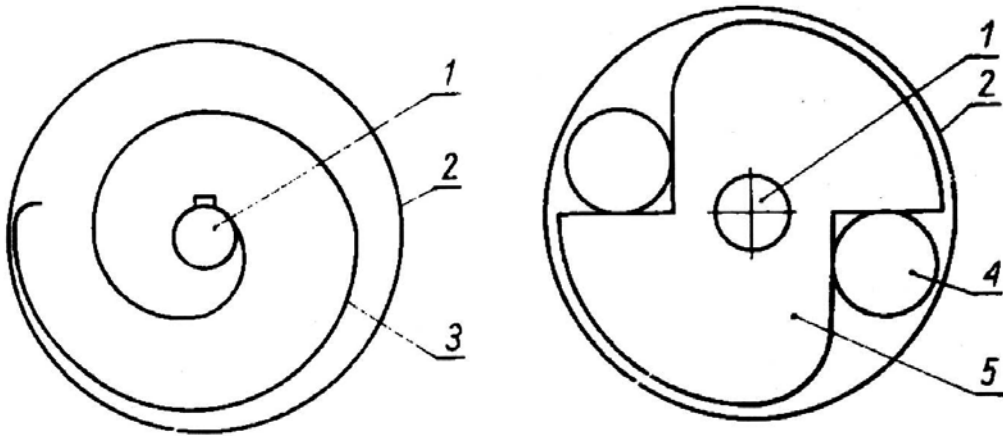




Czasami stosuje się rozwiązania budowy stojana wg Rottersa: żłobki są wykonywane na zewnątrz stojana i po uzwojeniu wpasowywane jest jarzmo.



Niekiedy silniki synchroniczne wielobiegunowe zasilane są jednofazowo, wówczas kierunek obrotów wirnika musi być wymuszony poprzez specjalne urządzenia pomocnicze (spirala, układ krzywek).



MOMENT SILNIKA SYNCHRONICZNEGO:

$$M_e = \frac{m}{\omega_1} \left\{ -R \left[E^2 \frac{R^2 + X_q^2}{Z} + \frac{U^2 (X_d - X_q)^2}{2 \cdot 2Z} \right] - \right. \\ - UE \left[R \frac{X_q (X_d - X_q) - (R^2 + X_q^2)}{Z} \cos \vartheta - \right. \\ \left. \frac{R^2 (X_d - X_q) + X_d (R^2 + X_q^2)}{Z} \sin \vartheta \right] + \\ + U^2 \left[R \frac{X_d^2 - X_q^2}{2Z} \cos 2\vartheta + \right. \\ \left. \frac{(X_d - X_q)(X_d X_q - R^2)}{2Z} \sin 2\vartheta \right] \left. \right\}$$

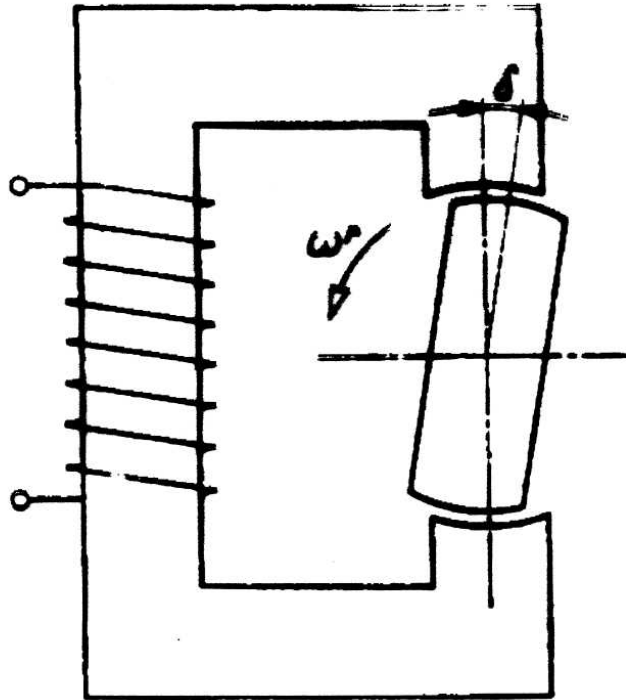
dla: $R = 0$ i $X_q = X_d$:

$$M_e = \frac{m}{\omega_1} \frac{UE}{X_d} \sin \vartheta$$

dla: $R = 0$, $E = 0$ i $X_q \neq X_d$:

$$M_e = \frac{m}{2\omega_1} U^2 \frac{X_d - X_q}{X_d X_q} \sin 2\vartheta$$

SILNIK RELUKTANCYJNY:



Indukcyjność:

$$L \approx \frac{1}{2}(L_q + L_d) + \frac{1}{2}(L_d - L_q) \cos 2\alpha$$

Energia pola magnetycznego:

$$W_m = \frac{1}{2} Li^2$$

Moment:

$$M = \frac{dW_m}{d\alpha}$$

$$\alpha = \omega t - \delta$$

$$i = \sqrt{2}I \sin \omega_1 t$$

stąd:

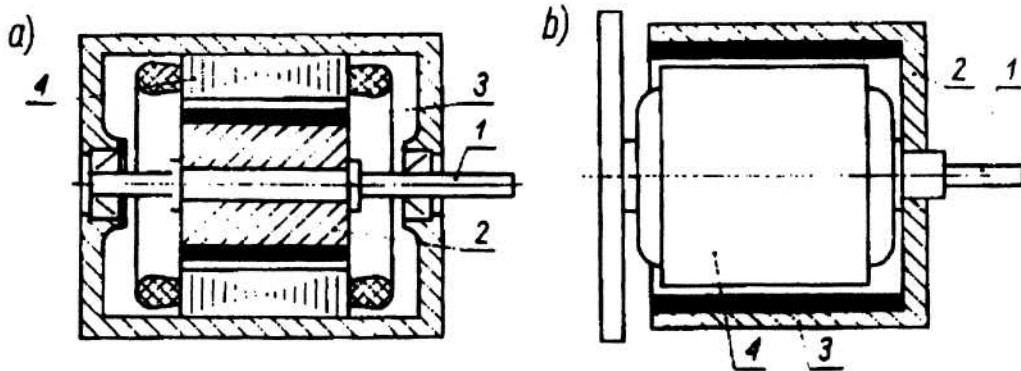
$$M = -\frac{1}{2}i^2(L_d - L_q) \sin 2\alpha$$

$$M = -\frac{1}{2}I^2(L_d - L_q) \sin^2 \omega_1 t \sin 2(\omega t - \delta)$$

dla $\omega = \pm \omega_1$ wartość średnia jest różna od zera i wynosi:

$$M_{sr} = \frac{1}{2}I^2(L_d - L_q) \sin 2\delta$$

SILNIK HISTEREZOWY:



Straty w wirniku:

$$P = P_h + P_w$$

$$P = sP_{h1} + s^2 P_{w1}$$

moc pola elektromagnetycznego:

$$P_e = \frac{P}{s} = P_{h1} + sP_{w1}$$

stąd moment:

$$M = \frac{P_e}{\omega_1} = k_1 + sk_2$$

Silnik histerezu wynaleziony już w roku 1900 przez Steinmetza był do ostatnich lat używany prawie wyłącznie jako silnik pracujący praktycznie bez obciążenia (napędy zegarów elektrycznych, przekaźników czasowych itp.). Budowano silniki histerezu bardzo małych mocy, przeważnie wartości miliwatów. Sprawność ich wynosiła 0,1 do 0,5%. Obecnie na skutek lepszej znajomości zjawisk magnetycznych oraz dzięki uzyskaniu nowych materiałów ferromagnetycznych o szerokiej pętli histerezy silniki tego typu buduje się o mocach przekraczających nawet 500[W] i uzyskujących sprawność ponad 50%.

Podstawowe właściwości tego typu silnika są następujące:

- silniki histerezu mają samoczynny rozruch i łatwo wpadają w synchronizm,
- na skutek współdziałania momentów asynchronicznego i histerezu silniki pracują stabilnie również przy przeciążeniach, przechodząc z charakterystyki synchronicznej na asynchroniczną,
- moment rozruchowy jest przeważnie większy od momentu maksymalnego, dzięki czemu silnik charakteryzuje się bardzo korzystną elektromechaniczną stałą czasową,
- prąd pobierany z sieci w czasie rozruchu, biegu jałowego i obciążenia znamionowego zmienia się nieznacznie, co pogarsza sprawność silników nieobciążonych, ale wpływa korzystnie na stałą czasową i na system zasilający,
- silnik ten nie ma żadnych styków ruchomych, co zapewnia ich stałą i bezawaryjną pracę,
- przy mocy mniejszej od 150 [W] i podwyższonych częstotliwościach zasilania do wartości 400 [Hz] stosunek ciężaru do mocy jest korzystniejszy niż w innych typach silników o stałej prędkości obrotowej,

- na skutek dużego prądu magnesującego współczynnik mocy jest mały i wynosi od 0,2 do 0,6.

Zasada działania

Jeżeli wewnątrz stojana o wielofazowym uzwojeniu umieścić wirnik wykonany z ferromagnetycznego tworzywa, to wirnik ten zacznie obracać się w kierunku działania pola wirującego wytworzonego przez prąd przepływający w uzwojeniach stojana. Moment obrotowy wirnika będzie się składał z dwóch składowych: z momentu asynchronicznego powstającego na skutek wzajemnego oddziaływania wirującego pola silnika i strumienia wywołanego prądami wirowymi wirnika oraz tzw. momentu histerezyowego:

$$M = M_H + M_W$$

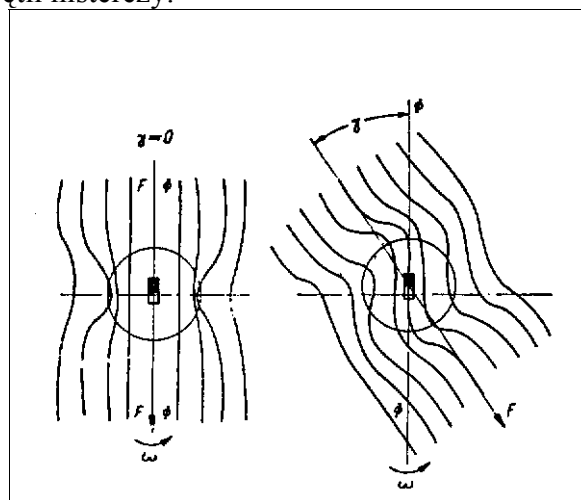
M – moment wypadkowy

M_H – moment histerezyowy

M_W – moment asynchroniczny

Moment asynchroniczny powstaje podobnie jak w normalnym silniku asynchronicznym. Ponieważ rezystywność materiału wirnika jest duża, moment ten osiąga swoją największą wartość przy zahamowanym wirniku i jego wartość spada do zera przy prędkości synchronicznej.

Powstawanie momentu histerezyowego można wyjaśnić w następujący sposób: jeżeli w ferromagnetycznym wirniku zostanie wyodrębniony elementarny magnes umieszczony wzdłuż osi działania siły magnetomotorycznej F wytworzonej przez strumień – Rys.1. – to siły tarcia międzycząsteczkowego sprzeciwia się przemieszczeniu tego elementarnego magnesu. Ponieważ wektor siły F wiruje z prędkością synchroniczną, na skutek działania wspomnianych sił nastąpi przesunięcie między wektorem siły F a osią magnesu elementarnego. Wielkość tego przesunięcia jest zależna od sił międzycząsteczkowych, proporcjonalnych do wielkości opóźnienia magnetycznego, czyli od rodzaju materiału, a ściślej od kształtu jego pętli histerezy.



Powstawanie momentu histerezyowego

Kąt γ występujący między linią działania siły F a osią magnesu elementarnego nazywa się kątem histerezy. Jest to wielkość decydująca o wartości momentu histerezyowego, gdyż:

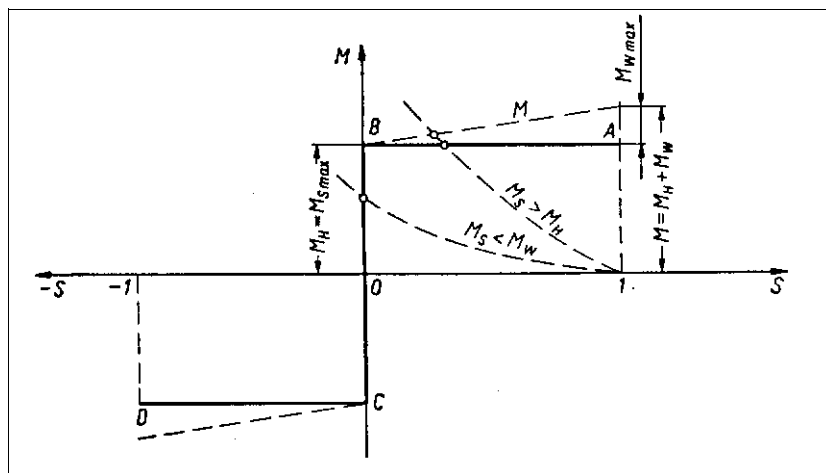
$$M_H = c_f \cdot \phi \cdot \sin \gamma$$

gdzie: F – siła magnetyczna stojana,

ϕ – strumień wirnika,

γ – kąt histerezy

Kąt γ nie zależy od prędkości obracania się wirnika. Ponieważ zarówno siła magnetomotoryczna stojana, jak również strumień wirnika nie zależą od prędkości obrotowej, więc i moment histerezy jest od niej niezależny. Stąd wniosek, że silnik będzie pracował stabilnie przy prędkości synchronicznej przy obciążeniu nie większym niż jego maksymalny moment histerezy przedstawiony na rysunku kolejnym odcinkiem OB.

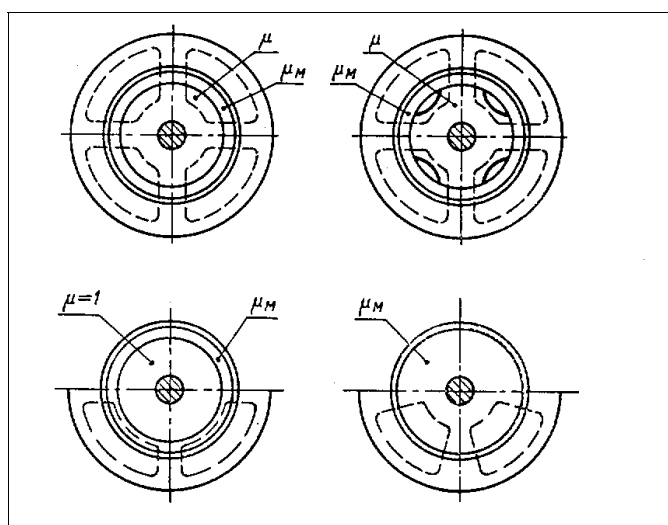


Charakterystyka silnika histerezy, M_H – moment histerezy, M_{max} – moment synchroniczny maksymalny, M_S – moment obciążenia silnika, M_W – moment asynchroniczny, s – poślizg

Jeżeli moment obciążenia będzie większy niż moment histerezy, to silnik będzie również pracował stabilnie, ale przy prędkości mniejszej od synchronicznej o wartość poślizgu s , silnik będzie pracował jako normalny silnik asynchroniczny (odcinek AB).

Jeżeli silnik histerezy będzie napędzany dodatkowym silnikiem o prędkości większej od prędkości synchronicznej, to będzie on generatorem synchronicznym (odcinek OC) lub asynchronicznym (odcinek CD).

Budowa

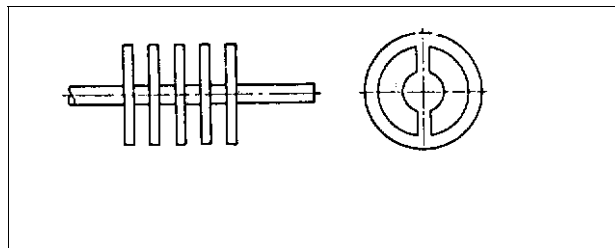


Podstawowe rodzaje konstrukcji silników histerezy

Na stojanie o biegunach wydających lub utajonych znajduje się uzwojenie wykonane podobnie jak w silniku asynchronicznym, które powinno zapewnić powstanie wirującego pola

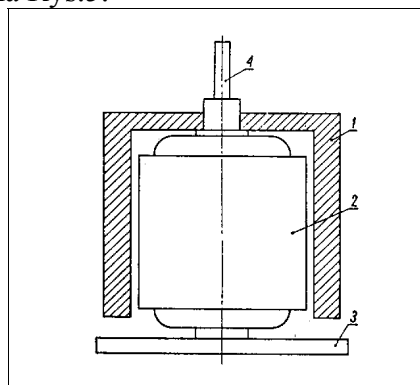
magnetycznego. Elementem specyficznym dla tego silnika jest wirnik wykonany z materiału magnetycznie twardego o pętli histerezy możliwie jak najbardziej zbliżonej kształtem do prostokąta. Rozróżnia się następujące podstawowe rodzaje konstrukcji wirników histerezowych:

- Wirnik, w którym czynna warstwa materiału magnetycznie twardego, wykonana w formie cienkościennego cylindra, jest umieszczona na rdzeniu o wydutnych lub utajonych biegunach wykonanych z miękkiego żelaza Rys.3a. W tym przypadku strumień magnetyczny przechodzi przez warstwę czynną w kierunku promieniowym, na skutek czego wartość indukcji w szczelinie i warstwie czynnej jest w przybliżeniu jednakowa.
- Wirnik, w którym czynna warstwa materiału magnetycznie twardego jest osadzona na walcu niemagnetycznym, strumień przenika wtedy przez tę warstwę niepromieniowo, jak w przypadku 1, ale stycznie, co powoduje że wartości indukcji w szczelinie i warstwie czynnej są różne Rys. 3b.
- Wirnik, w którym materiał czynny jest osadzony bezpośrednio na wale Rys. 3c, jest to przypadek spotykany przeważnie przy silnikach najmniejszych o mocach rzędu miliwatów. Wirnik taki jest również często wykonywany w formie oddzielnych tarczek z blach, nasadzonych na wał w odległościach przekraczających dwie grubości blachy



Wirnik histerezowy tarczowy

W silnikach histerezowych, w których jest wymagany duży moment zamachowy, np. w silnikach do napędu magnetofonów, żyroskopów itp., stosuje się często konstrukcje z zewnętrznymi wirnikami, gdzie część wirująca z warstwą czynną jest umieszczona na zewnątrz nieruchomego stojana Rys.5.



Silnik o wirniku zewnętrznym

Konstrukcja ta charakteryzuje się poważną zaletą technologiczną, którą jest znacznie ułatwione uzwojanie maszyny, gdyż otwarte żłobki znajdują się na zewnętrznej powierzchni stojana, co umożliwia stosowanie mechanicznego uzwojenia stojana za pomocą zwykłych nawijarek do wirników. Jednakże omawiana konstrukcja nadaje się jak wspomniano tylko do określonych rodzajów napędów. Duża elektromechaniczna stała czasowa, będąca w ich przypadku zaletą, jest w innych przypadkach wadą, nie pozwalającą na szersze rozpowszechnienie stosowania tej konstrukcji.



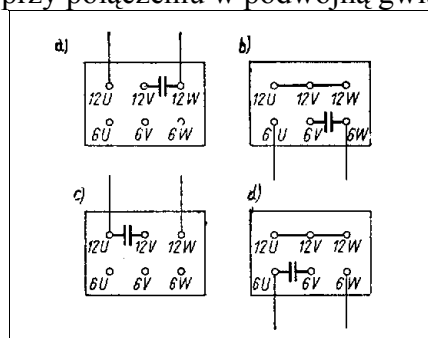
Silnik synchroniczny typu SHS – 36

(przeznaczony do napędu magnetofonów o dwóch prędkościach przesuwu taśmy, w bardzo starych magnetofonach, produkowanych do 1962 r.)

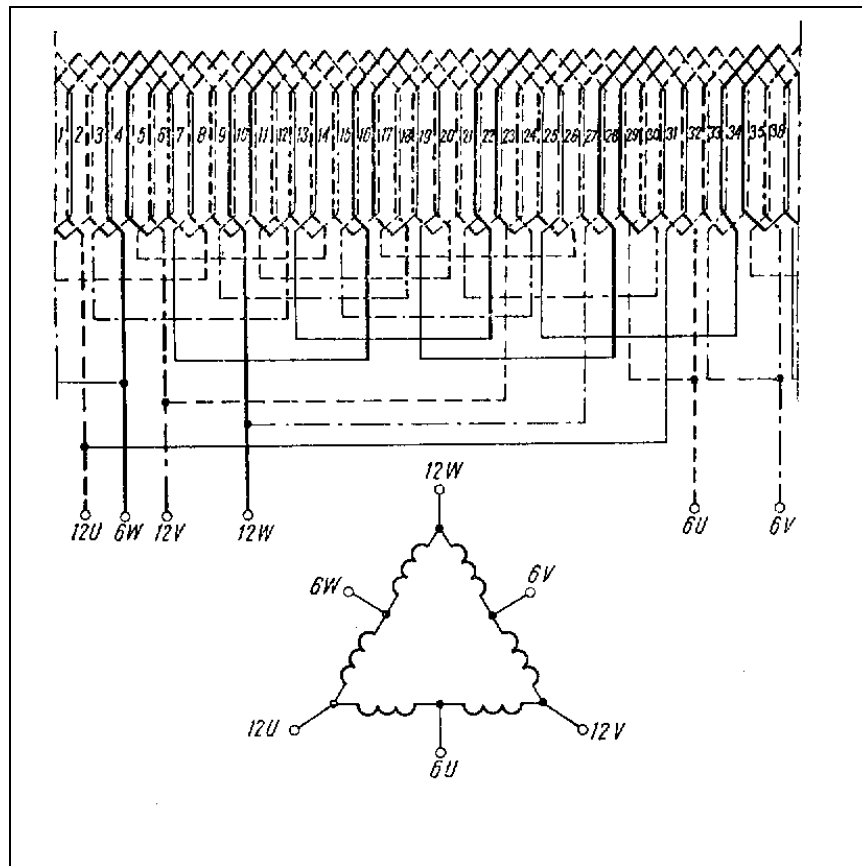
Jest to synchroniczny silnik dwubiegowy histerezy o zewnętrznym wirniku. Stojan wirnika wykonany z blach krzemowych, jest przymocowany do górnej płyty silnika za pomocą tulei z nakrętką. Wewnątrz tulei są osadzone łożyska samosmarujące ze spieków proszków żelaza. Wirnik jest wykonany z pierścienia ze specjalnej stali stopowej. Pierścień jest wprasowany z aluminiową obudowę wirnika. Na zewnętrznej powierzchni wirnika jest nasadzony dodatkowy pierścień z miękkiej stali, ekranujący strumień rozproszenia. Do górnej płyty silnika jest przykręcona obejma w kształcie litery U, obejmująca zewnętrzny wirnik i stanowiąca jednocześnie podparcie pionowe dla wirnika. Wirnik opiera się na obejmie za pośrednictwem kulki łożyskowej. Końcówka wału jest szlifowana bardzo starannie.

Dane techniczne:

- napięcie znamionowe – 220 [V]
- maksymalna moc pobierana – 55 [W]
- prąd znamionowy – 0,3 [A]
- prędkość obrotowa przy połączeniu w trójkąt – 1000 [obr/min]
- prędkość obrotowa przy połączeniu w podwójną gwiazdę – 500 [obr/min]



Schemat połączeń silnika SHS – 36



Schemat uzwojeń silnika SHS – 36

Zastosowania mikrosilników histerezy:

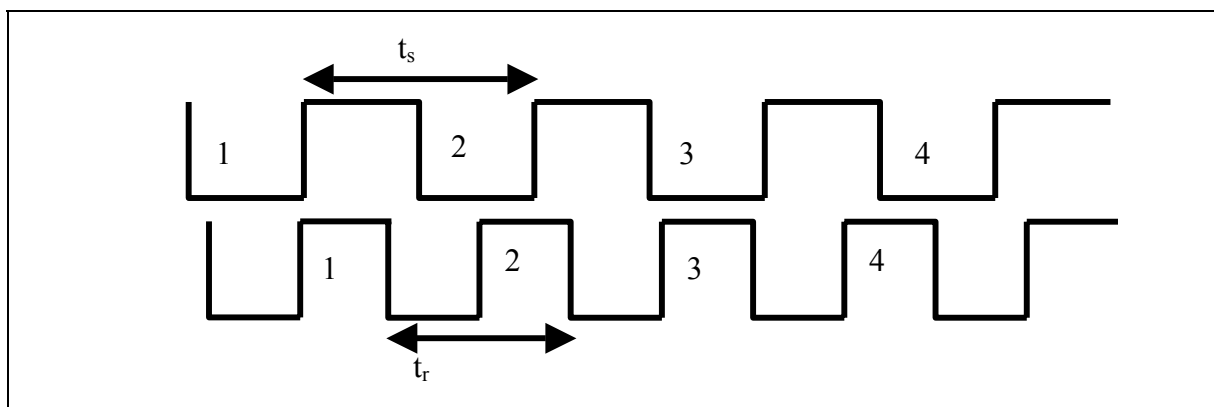
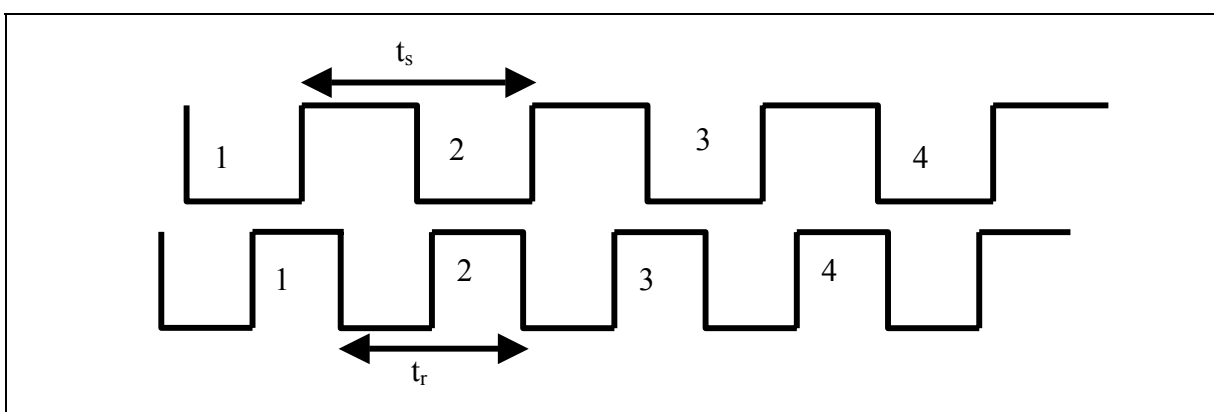
- Żyroskopy
- Magnetofony i magnetowidy
- Programatory
- Przekazniki czasowe
- Zegary i inne;
- Zalety silników histerezy:
- Własny moment rozruchowy
- Małe pulsacje momentu
- Niewielka zmiana poboru prądu od rozruchu do prędkości synchronicznej
- Łagodne przejście do pracy synchronicznej
- Niezależność momentu histerezy od częstotliwości (dobre właściwości przy sterowaniu częstotliwościowym)
- Silniki reluktancyjne reduktorowe
- Cechy charakterystyczne:
- Stojan wytwarza pole wirujące
- Liczba żłobków wirnika i stojana muszą być różne
- Żłobki otwarte (wyraźna różnica przewodności magnetycznej nad zębem i żłobkiem)
- Przykładowe konstrukcje silników wielobiegunowych:
- Uzwojenia z biegunami kłowymi (np. alternator)

Niekiedy silniki reluktancyjne zasila się poprzez prostowniki, wówczas prędkość maleje 2-krotnie (przy prostowniku jednopółwkowym)-jest to efektem faktu, że maksimum strumienia pojawia się w dwukrotnie dłuższych odstępach czasu. Silniki takie nazywa się silnikami reluktancyjnymi impulsowymi)

Podziałki zębowe stojana i wirnika można wyrazić zależnościami:

$$t_s = \frac{2\pi R}{\dot{Z}_s} \quad t_R = \frac{2\pi r}{\dot{Z}_s}$$

Jeśli pole stojana przejdzie drogę od zęba 2 do zęba 3 (czyli o podziałkę t_s) to wirnik przebędzie drogę równą różnicy: $t_s - t_r$



Prędkość pola stojana:

$$\omega_s = \frac{t_s}{t}$$

Prędkość wirnika:

$$\omega_r = \frac{t_s - t_r}{t}$$

Stąd, przyjmując, że $R=r$ otrzymamy:

$$\frac{\omega_r}{\omega_s} = \frac{t_s - t_r}{t_s} = \frac{\dot{Z}_r - \dot{Z}_s}{\dot{Z}_r}$$

Prędkość obrotowa będzie więc równa:

$$n = \frac{60f}{p} \frac{\dot{Z}_r - \dot{Z}_s}{\dot{Z}_r}$$

Zwykle liczby zębów dobiera się jako: $\dot{Z}_r - \dot{Z}_s = 2p$, wówczas:

$$n = \frac{120f}{\dot{Z}_r}$$