

TRANSFORMATORY

1. Podać wyrażenie opisujące wartość skuteczną siły elektromotorycznej indukowanej w uzwojeniu transformatora przy sinusoidalnym przebiegu strumienia magnetycznego. (Pomijając rezystancję uzwojenia:)

$$e = -z \frac{d\phi}{dt}$$

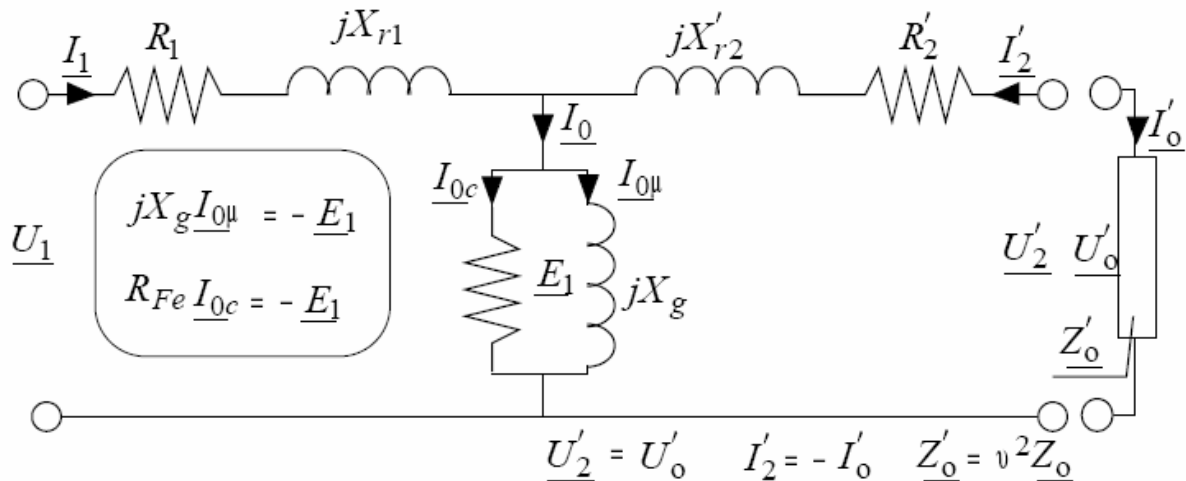
$$E_{max} \sin \omega t = -z \frac{d\phi}{dt}$$

$$\phi = \frac{-1}{z} \int E_{max} \sin \omega t dt \quad 4,44 = \frac{2\pi}{\sqrt{2}}$$

$$\phi = \frac{1}{\omega z} E_{max} \cos \omega t$$

$$E_{sk} = 4,44 z f \Phi_{max}$$

2. Narysować schemat zastępczy transformatora. Wyjaśnić znaczenie poszczególnych parametrów tego schematu



R_1 – rezystancja uzwojenia pierwotnego

X_{r1} – reaktancja rozproszenia uzwojenia pierwotnego

X'_{r2} – reaktancja rozproszenia uzwojenia wtórnego sprowadzona na stronę pierwotną

R'_2 – rezystancja uzwojenia wtórnego sprowadzona na stronę pierwotną

Z'_o – impedancja obciążenia

R_{Fe} – rezystancja strat mocy czynnej w rdzeniu

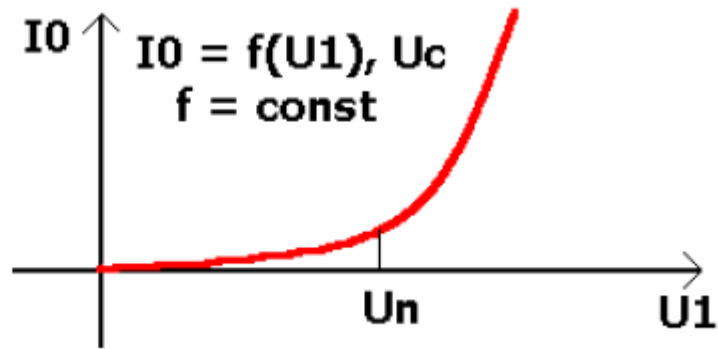
X_g – reaktancja strumienia głównego

Sprowadzanie na stronę pierwotną:

$$X'_{r2} = X_{r2} \vartheta^2$$

$$R'_2 = R_2 \vartheta^2$$

3. Narysować zależność prądu biegu jałowego transformatora od napięcia zasilającego



U_n – napięcie znamionowe

4. Zdefiniować procentowe napięcie zwarcia transformatora

Jest to takie napięcie (wyrażone w procentach napięcia znamionowego), które przyłożone do uzwojenia pierwotnego przy zwarcia strony wtórnej powoduje w tym uzwojeniu przepływ prądu znamionowego.

5. Jak na podstawie próby zwarcia wyznaczamy parametry gałęzi podłużnej transformatora

Cała moc czynna jest zamieniana na ciepło w rezystancjach uzwojenia. Prąd gałęzi poprzecznej stanowi zaledwie kilka % prądu pobieranego przez transformator, w obliczeniach można pominąć tę gałąź.

$$P_z = \Delta P_{CuN} - \text{straty w uzwojeniu}$$

$$R_z = R_1 + R'_1 = Z_z \cos \phi_z - \text{rezystancja zwarcia}$$

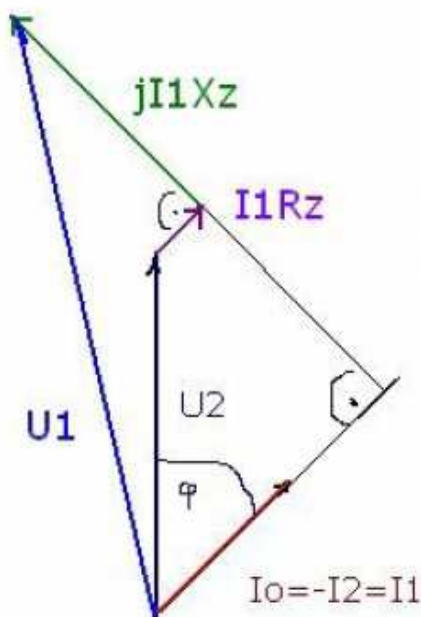
$$X_z = X_{r1} + X'_{r1} = Z_z \sin \phi_z - \text{reaktancja zwarcia}$$

$$\cos \phi_z = \frac{P_z}{U_z I_{1N}}$$

$$Z_z = \frac{U_z}{I_{1N}} = \sqrt{R_z^2 + X_z^2}$$

$$U_z = \sqrt{U_R^2 + U_X^2}$$

6. Narysować wykres fazorowy uproszczony transformatora przy obciążeniu... (podany będzie charakter obciążenia)



Powyższy wykres jest dla obciążenia RL

Kolejność rysowania:

- I_0
- U_2
- $I_1 R_z$
- $I_1 X_z$
- U_1

7. Podać wzór opisujący zmienność napięcia w transformatorze

Jest to różnica między napięciem stanu jałowego strony wtórnej a napięciem w danym stanie obciążenia, odniesienia do napięcia znamionowego.

$$\delta U_w = \frac{U'_{20} - U'_2}{U'_{20}} = 1 - \frac{U'_2}{U_{1N}} \quad (?) \quad \delta U_w = \frac{1}{2} k^2 (U_{RW} \cdot \sin(\mathbf{f}_2) - U_{XW} \cdot \cos(\mathbf{f}_2))^2$$

\downarrow
 $=0$

8. Jaka jest przekładnia napięciowa transformatora trójfazowego dla układów połączeń: Yy, Dy, Yd jeżeli przekładnia zwojowa jest równa ϑ

$$Yy : \vartheta_u = \frac{U_1}{U_2} = \frac{\sqrt{3} U_{1f}}{\sqrt{3} U_{2f}} = \vartheta$$

$$Yd : \vartheta_u = \frac{U_1}{U_2} = \frac{\sqrt{3} U_{1f}}{U_{2f}} = \sqrt{3} \vartheta$$

$$Dy : \vartheta_u = \frac{U_1}{U_2} = \frac{U_{1f}}{\sqrt{3} U_{2f}} = \frac{\vartheta}{\sqrt{3}}$$

SILNIKI INDUKCYJNE

9. Jakie warunki muszą być spełnione by w maszynie trójfazowej powstało pole wirujące kołowe?

Uzwojenia oraz napięcia je zasilające muszą być symetryczne. Wektory natężeń pola magnetycznego pochodzące od uzwojeń muszą się sumować geometrycznie do wektora wypadkowego o stałej wartości i zmiennym kierunku.

10. Podać wzór opisujący siłę elektromotoryczną rotacji indukowaną w uzwojeniu maszyny prądu zmiennego przez wirujące pole kołowe

$$\text{Dla wirnika: } E_w = 4,44 s z_2 f_1 k_{u2} \Phi$$

$$\text{Dla stojana: } E_s = 4,44 z_1 f_1 k_{u1} \Phi$$

s – poślizg, z – liczba zwojów, k_u – współczynnik uzwojenia, f – częstotliwość napięcia, Φ – strumień magnesujący, indeks 1 – wartości dla stojana, 2 – dla wirnika

11. Z jaką prędkością wiruje pole w silniku trójfazowym $2p$ -biegunowym, zasilanym napięciem o częstotliwości f

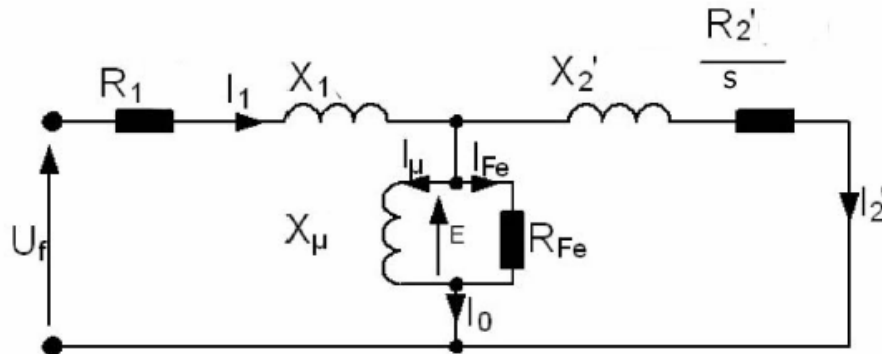
$$n = \frac{60 f}{p} [\text{rpm}] \quad n - \text{prędkość wirowania pola w obrotach na minutę}$$

12. Zdefiniować poślizg silnika indukcyjnego

Poślizg to różnica między prędkością pola wirującego, a prędkością wirnika

$$s = \frac{n - n_1}{n} \quad s - \text{poślizg, } n_1 - \text{prędkość wirnika}$$

13. Narysować schemat zastępczy silnika indukcyjnego pracującego przy poślizgu s .



R_1 – rezystancja uzwojeń stojana, X_1 – reaktancja rozproszona stojana, R_{Fe} – rezystancja strat mocy czynnej w rdzeniu stojana, X_m – reaktancja strumienia głównego, X_2' – reaktancja wirnika sprowadzona na stronę pierwotną, R_2'/s – rezystancja wirnika zależna od obciążenia

14. Sporządzić bilans mocy silnika indukcyjnego wyjaśnić znaczenie poszczególnych parametrów tego schematu

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_w + P_{Fe} + P_m}$$

P_w – sumaryczne straty w uzwojeniach wirnika i stojana

P_{Fe} – straty na przemagnesowanie rdzenia stojana (wirnika są pomijalnie małe)

P_m – straty mechaniczne wirnika (tarcie itp.)

Wyrażenie w mianowniku to całkowita pobierana moc silnika indukcyjnego

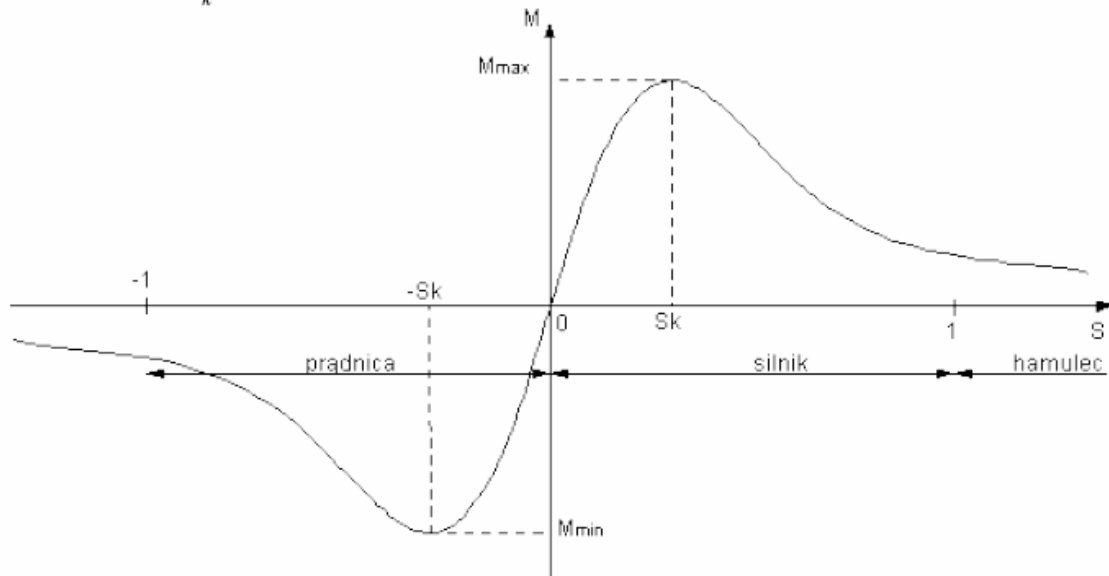
15. Przy jak założeniach upraszczających obowiązuje wzór Klossa

Pomija się spadki napięć na rezystancji i reaktancji rozproszenia stojana. Przyjmuje się, że napięcie indukowane jest w przybliżeniu równe napięciu zasilającemu.

16. Podać wzór Klossa i narysować odpowiadającą mu charakterystykę mechaniczną

$$T(s) = T_k \frac{2}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}$$

T – moment, indeks k - krytyczny



17. Zdefiniować przeciążalność silnika

Przeciążalność jest to stosunek momentu obciążenia maksymalnego do momentu obciążenia znamionowego

$$\lambda = \frac{T_{max}}{T_N}$$

18. W jaki sposób napięcie zasilające wpływa na wartość momentu i poślizgu krytycznego

Poślizg nie zależy od napięcia, natomiast moment krytyczny jest proporcjonalny do kwadratu napięcia $T_k \sim U^2$

19. W jaki sposób częstotliwość zasilania wpływa na wartość momentu krytycznego

Moment krytyczny jest odwrotnie proporcjonalny do kwadratu częstotliwości.. Dodatkowo poślizg krytyczny jest odwrotnie proporcjonalny do częstotliwości.

Zwiększając częstotliwość trzeba też zwiększać napięcie, aby indukcyjność pozostała stała

$$T_k \sim \frac{1}{f^2} \quad s_k \sim \frac{1}{f}$$

20. Omówić wpływ rezystancji obwodu wirnika na wartość momentu i poślizgu krytycznego

Rezystancja nie ma wpływu na wartość momentu krytycznego. Wartość poślizgu krytycznego jest proporcjonalna do rezystancji obwodu wirnika. $s_k \sim R$

21. W jaki sposób regulujemy prędkość obrotową silnika indukcyjnego klatkowego

Prędkość obrotową reguluje się przez zmianę częstotliwości. Aby zachować stały moment należy zmieniać napięcie tak aby stosunek napięcia do częstotliwości był stały.

22. Dlaczego regulacja prędkości obrotowej przez zmianę częstotliwości powinna się odbywać przy stałym w przybliżeniu stosunku U/f

Aby zachować stałą wartość strumienia, a w konsekwencji stały moment.

23. Jaki sposób zapewnia lepszą regulację niż regulacja przy stałym stosunku U/f , szczególnie przy małej częstotliwości zasilania

W silnikach pierścieniowych jest to włączanie dodatkowej rezystancji. Wadą tej metody są straty mocy. W silnikach klatkowych nie można jej stosować, zamiast tego można zmienić liczbę biegunów stojana. Taka zmiana powoduje skokową zmianę prędkości obrotowej

24. Porównać charakterystyki mechaniczne silnika indukcyjnego klasycznego, głębokożłobkowego i dwuklatkowego

- **klasyczny** – mały moment rozruchowy, przy dużym poborze prądu
- **głębokożłobkowy** – większy moment rozruchowy niż w klasycznym silniku, przy mniejszym poborze prądu. Mniejszy moment maksymalny
- **dwuklatkowy** – znaczny moment rozruchowy przy małym prądzie, przy obciążeniu dużym momentem rozruchowym, może występować zjawisko utykania silnika, który pracuje wtedy przy prędkości znacznie niższej niż synchroniczna. Mimo to silnik dwuklatkowy ma najlepsze właściwości rozruchowe z silników klatkowych

25. Wykorzystując charakterystykę mechaniczną, podać zasadę rozruchu silnika jednofazowego z dodatkową „fazą kondensatorową”

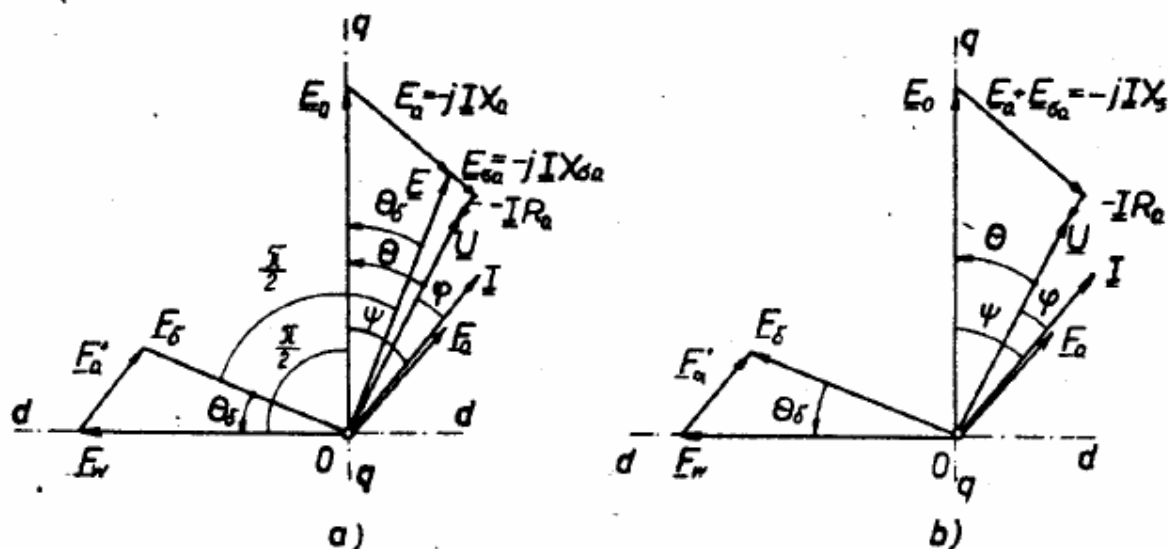
Obecność pojemności w uzwojeniu pomocniczym powoduje przesunięcie prądu w nim płynącego prawie o $\pi/2$ w stosunku do prądu w uzwojeniu głównym. Dzięki temu silnik rusza praktycznie jako silnik dwufazowy. Po osiągnięciu pewnych obrotów uzwojenie pomocnicze może być odłączone przez wyłącznik odśrodkowy i silnik pracuje dalej jako jednofazowy.

26. Jaka działa silnik jednofazowy ze zwojem zwartym

Przepływ pochodzący od zwartego zwoju jest skierowany przeciwnie do przepływu głównego i powoduje znaczne opóźnienie przepływu wypadkowego oraz strumienia φ_p względem φ_{ga} . Ostatecznie otrzymuje się strumień wirujący, który wywołuje moment magnetyczny. Silnik może wirować tylko w jednym kierunku.

MASZYNY SYNCHRONICZNE

27. Narysować wykres fazorowy prądnicy cylindrycznej oddającej moc....(podany będzie charakter obciążenia)



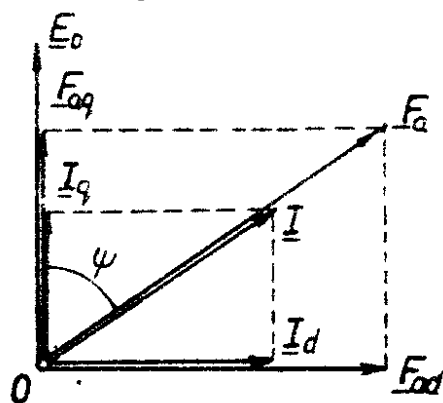
Rys.5.10. Wykres wskazowy prądnicy cylindrycznej

28. Zdefiniować reaktancję synchroniczną względną.

29. Podać wzór opisujący moment synchroniczny maszyny cylindrycznej. Przedstawić zależność $T(\beta)$ momentu od kąta obciążenia wewnętrznego

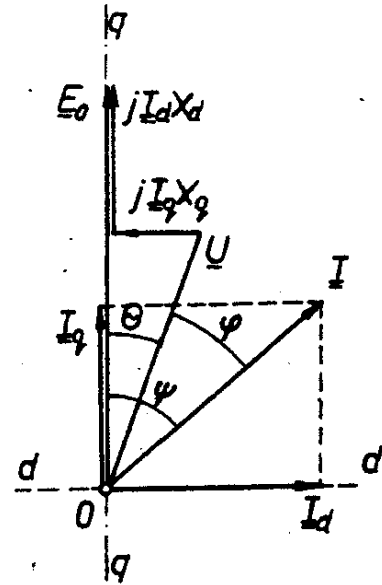
$T_e = 9,55 \cdot (P_e / n)$ - moment elektromotoryczny P_e - moc elektromotoryczna n - prędkość obr.
Jeśli wirnik wychylony jest o kąt $\Delta\varphi$ od położenia równowagi w danych warunkach zasilania, wzbudzenia i obciążenia to na wirnik działa moment starający się doprowadzić do położenia równowagi.

30. Narysować wykres fazorowy niedowzbudzonego silnika o magnesach trwałych (założyć $X_q = X_d$)

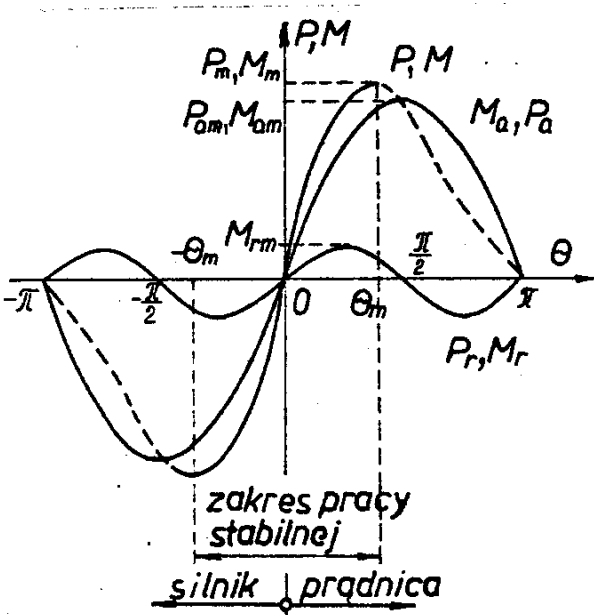


31. Narysować wykres fazorowy prądnicy jawnobiegunowej oddającej moc.... (podany będzie charakter obciążenia).

31. Narysować wykres fazorowy prądnicy jawnobiegunowej oddającej moc....
(podany będzie charakter obciążenia).



32. Podać wzór na moment synchroniczny i reluktancyjny maszyny jawnobiegunowej. Narysować charakterystykę $T(\beta)$.

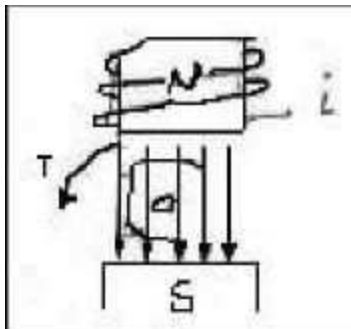


$$M = \frac{P_\delta}{\Omega} = \frac{P_\delta}{2\pi n} = \frac{p P_\delta}{2\pi f_1} = \frac{p P_\delta}{\omega_1}$$

$$M_r = \frac{mU^2}{2\Omega} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta$$

33. Jak moment synchroniczny, a jak reluktancyjny zależy od napięcia zasilającego

34. Jak jest zbudowany i jak działa silnik reluktancyjny



Silniki reluktancyjne- są stosowane jako mikromaszyny w napędach o ułamkowej mocy (zegary) oraz w automatyce i telemechanice. Nie ma on momentu rozruchowego-wiec trzeba sterować rozruchem-może być ręczny. W silniku tym powstaje tylko moment reluktancyjny-nie ma uzwojenia wzbudzenia. Układ dąży do takiego ustawienia wirnika aby rezystancja układu była jak najmniejsza. Wirnik silnika reluktancyjnego jest asymetryczny magnetycznie

35. Do czego służy klatka zamocowana na wirniku maszyny synchronicznej

W silniku zapewnia możliwość rozruchu asynchronicznego.

W silniku i generatorze zapewnia stabilną pracę poprzez tłumienie kołysań prędkości.

Tłumi pojawienie się wysokiego napięcia, czyli przebiecia, po awaryjnym odłączeniu stojana od sieci, przy jeszcze pełnym prądzie wzbudzenia.

Awaryjne odłączenie generatora ma miejsce np. w czasie wyłączania zwarcia.

Należy wówczas natychmiast:

1. Wyłączyć wyłącznik główny łączący generator (często poprzez transformator blokowy) z siecią.
2. Włączyć układ do gaszenia pola, który zwiera wzbudzenie dużą rezystancją.
3. Skierować parę z turbiny w powietrze, gdyż generator nie produkuje momentu zwrotnego, równoważącego moment turbiny.

Utrzymuje symetryczne napięcia fazowe generatora mimo niesymetrycznych prądów obciążenia. Niesymetryczne prądy można rozłożyć na składową zgodną i przeciwną. Zgodna wiruje razem z klatką. Przeciwna indukuje w klatce prądy o częstotliwości 100 Hz. Prądy te tłumią składową przeciwną pola, co skutkuje symetrią napięć. Indukowane prądy nagrzewają klatkę z intensywnością zależną od R klatki.

Jest ona jednym z elementów wytwarzających główne pole magnetyczne maszyny.

Wykonana jest ze stali litej, pole wypadkowe ma stałą wartość i jest ono nieruchome względem wirnika.

36. Podać metody rozruchu silników synchronicznych

-wykorzystujemy moment asynchroniczny

-stosując pomocniczą maszynę

-częstotliwościową (z falownika) - częstotliwość zwiększa się od 0 do synchronicznej

MASZYNY PRĄDU STAŁEGO

37. Podać lub wyprowadzić wzór na siłę elektromotoryczną w uzwojeniu twornika.

$$E = \frac{N \cdot p}{a \cdot 60} \cdot \Phi \cdot n = c_E \cdot \Phi \cdot n$$

38. Podać lub wyprowadzić wzór na moment elektromagnetyczny maszyny prądu stałego

$$M = Fr = BIlnr \quad M = \frac{B(U - Blnr\omega)}{R} lnr$$

39. Podać i wyjaśnić skutki oddziaływania twornika

Oddziaływanie pola twornika na pole wzbudzenia

- zniekształcenie pola wypadkowego maszyny (przesunięcie osi neutralnej)
- osłabienie strumienia magnetycznego maszyny (przy nasyconym obwodzie magnetycznym)

40. Podać sposoby kompensowania oddziaływania pola twornika.

Oddziaływanie twornika może być kompensowane jest przez:

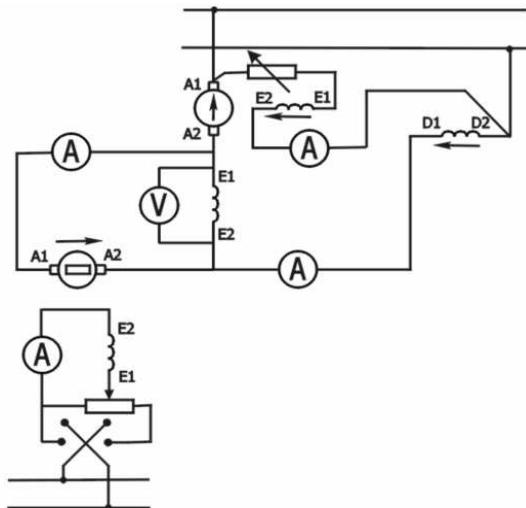
- bieguny komutacyjne (BK) umieszczone w strefie neutralnej
- uzwojenie kompensacyjne (UK) umieszczone na biegunach głównych

41. Wymienić sposoby wzbudzania maszyn prądu stałego

Podział ze względu na sposób wzbudzania:

- Maszyna obcowzbudna (uzwojenie wzbudzenia jest zasilane z obcego źródła prądu lub jest wyposażona w magnesy trwałe)
- o wzbudzeniu elektromagnetycznym
- o wzbudzeniu od magnesów trwałych
- Maszyna bocznikowa (samowzbudna)
- Maszyna szeregowo (uzwojenie twornika jest szeregowo połączone z uzwojeniem wzbudzającym)
- Maszyna bocznikowo-szeregowo (łączy w sobie zalety prądnicy bocznikowej i szeregowej)

42. Narysować układ połączeń silnika bocznikowego z uzwojeniem komutacyjnym (podać oznaczenia końcówek uzwojeń)



Rys2.

Schemat połączeń do sprawdzania zakresu pracy bezskrowej z dodatkowym zasilaniem uzwojeń komutacyjnych.

43. Narysować charakterystyki mechaniczne silnika obcowzbudnego dla dwóch wartości napięcia zasilającego (a) $U = U_N$ oraz (b) $U = 0,5U_N$ (przy strumieniu $\Phi = \Phi_N = \text{const}$)

44. Narysować charakterystyki mechaniczne silnika obcowzbudnego dla dwóch wartości strumienia (a) $\Phi = \Phi_N$ oraz (b) $\Phi = 2/3 \Phi_N$ (przy tym samym napięciu twornika $U = U_N$)

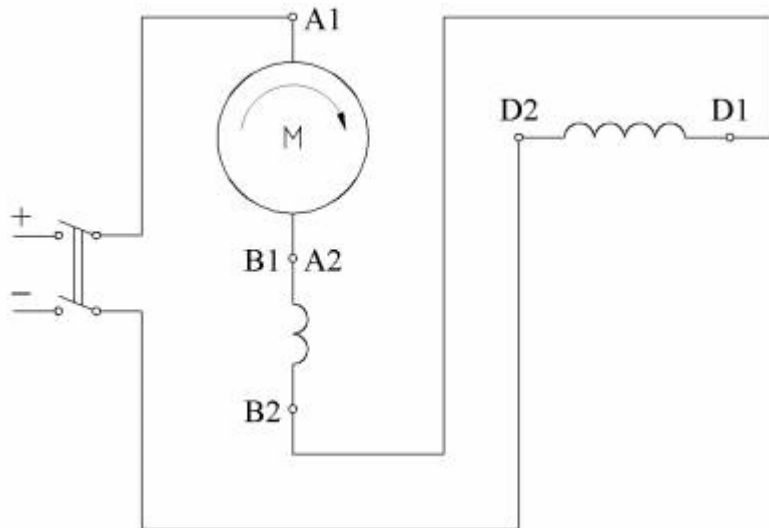
45. Wymienić sposoby rozruchu silnika obcowzbudnego

Rozruch silników obcowzbudnych przeprowadza się poprzez zmianę napięcia twornika w zakresie $0 \dots U_N$ przy stałym znamionowym prądzie wzbudzenia.

46. Podać sposoby regulacji prędkości obrotowej silnika obcowzbudnego

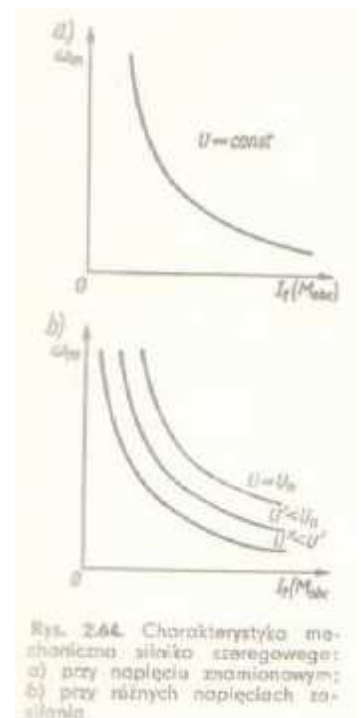
Regulacja prędkości może odbywać się przez sterowanie napięciem zasilania twornika lub rzadziej przez zmianę wartości strumienia wzbudzenia.

47. Narysować układ połączeń silnika szeregowego z uzwojeniem komutacyjnym (zaznaczyć oznaczenia końcówek uzwojeń)

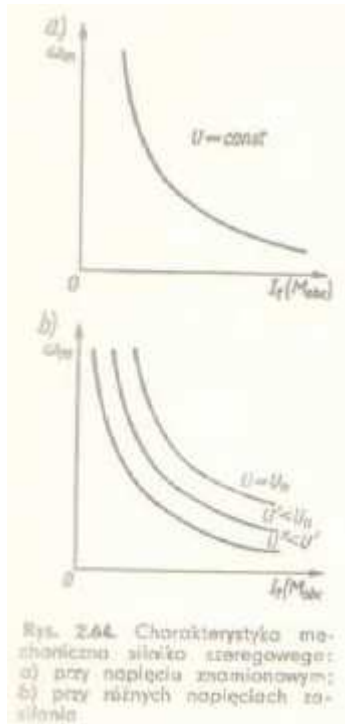


Zaciski szeregowego uzwojenia wzbudzenia oznaczono przez D1 – D2.

48. Narysować charakterystykę mechaniczną silnika szeregowego



49. Porównać charakterystyki mechaniczne silnika komutatorowego szeregowego przy zasilaniu (a) napięciem stałym $U = \text{const}$, (b) napięciem zmiennym o tej samej wartości skutecznej $U = \text{const}$



50. Podać sposoby regulacji prędkości obrotowej silnika szeregowego

Przekształcając równanie napięć silnika, można wyprowadzić wzór na prędkość silnika prądu stałego z dodatkową rezystancją w obwodzie twornika R_{ar}

$$n = \frac{U - (R_{ac} + R_{ar})I_a}{c\Phi}$$

Z zależności tej widać, że na zmianę prędkości wirowania wirnika mają wpływ: napięcie U , rezystancja R_{ar} oraz strumień Φ . Oznacza to, że prędkość obrotową można regulować:

- o) przez zmianę napięcia zasilania twornika U ,
- o) przez zmianę rezystancji w obwodzie twornika R_{ar}
- o) przez zmianę strumienia Φ .

Wszystkie te możliwości są wykorzystywane w praktyce, a różnią się one pod względem:

- o) zakresu regulacji,
- o) kierunku regulacji (górną, dół),
- o) ekonomicznym.

Dobór sposobu regulacji zależy od wymagań układu napędowego.

SILNIKI PRZEŁĄCZANE ELEKTRONICZNIE

51. Wymienić 3 podstawowe typy konstrukcji silników krokowych

Reluktancyjne, z magnesami trwałymi, hybrydowe.

52. Omówić budowę i zasadę działania reluktancyjnego silnika krokowego (na przykładzie....)

Polega to na tym że rdzeń ustawia się w takim położeniu, aby przewodnictwo magnetyczne (między włączonymi magnesami) było maksymalne- rdzeń znajduje się na wale więc jego obrót powoduje przesunięcie czegoś, czego przesunięcie jest nam potrzebne.

53. Omówić budowę i zasadę działania silnika krokowego o magnesach trwałych

Działa tak samo jak reluktancyjny z tą różnicą, że rdzeń jest magnesem trwałym więc istotny jest kierunek prądu zasilającego elektromagnesy, i siła utrzymująca rdzeń w położeniu równowagi jest istotnie większa.

54. Omówić budowę silnika krokowego hybrydowego

W silniku hybrydowym rdzeń jest magnesem trwałym o niesymetrycznym kształcie co zmniejsza siłę utrzymującą go w położeniu równowagi

55. Jaka jest zasada działania bezszczotkowego silnika prądu stałego (BLDC)

Taka jak silnika krokowe z tym, że układ elektroniczny zasila magnesy w takiej kolejności i czasie aby uzyskiwać żądane prędkości obrotowe.

56. Trójfazowy silnik BLDC – budowa, działanie

Przypuszczam, że działa dokładnie tak jak poprzedni z tą różnicą że zamiast elektronicznego sterowania, kolejne elektromagnesy uzyskują maksymalne moce ze względu na przesunięcia fazowe.