

4. MATERIAŁ NAUCZANIA

4.1. Silniki wykonawcze prądu stałego i prądu przemiennego

4.1.1. Materiał nauczania

Maszyna elektryczna

Maszyną elektryczną nazywamy urządzenie elektromechaniczne służące do przetwarzania energii. Cechą charakterystyczną maszyn elektrycznych jest to, że zachodzące w nich przemiany energii odbywają się za pośrednictwem pola magnetycznego i przy udziale ruchu. Ze względu na rodzaj energii przetwarzanej w maszynie elektrycznej możemy je podzielić na:

- prądnice (przetwarzają energię mechaniczną na energię elektryczną),
- silniki (przetwarzają energię elektryczną na energię mechaniczną),
- przetwornice (przetwarzające energię elektryczną na energię elektryczną, ale o innych parametrach).

Istnieje wiele różnorodnych rozwiązań maszyn elektrycznych różniących się rodzajem prądu, zasadą działania i budową. Maszyny elektryczne ze względu na rodzaj prądu i zasadę działania możemy podzielić na:

- prądu stałego,
- prądu przemiennego, a te z kolei na: synchroniczne; asynchroniczne – maszyny indukcyjne; komutatorowe – jednofazowe i wielofazowe.

Każda maszyna elektryczna może pracować bez wprowadzania jakichkolwiek zmian konstrukcyjnych – zarówno jako prądnica, jak i jako silnik. Jednak w celu osiągnięcia optymalnych efektów ekonomicznych i technicznych, maszyny są budowane już z konkretnym przeznaczeniem, do wykorzystania jako silnik lub jako prądnica. Do najistotniejszych zalet maszyn elektrycznych należą: duża sprawność, możliwość regulacji różnych wielkości – prędkości, napięcia, prądu, możliwość zdalnego sterowania oraz duża niezawodność działania.

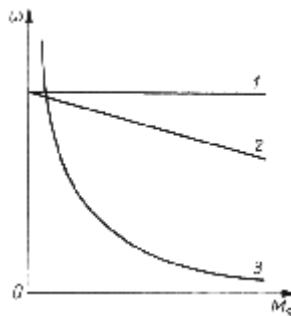
Najliczniejszą grupę maszyn stanowią silniki elektryczne, a spośród nich silniki prądu przemiennego, szczególnie silniki indukcyjne małej i średniej mocy, które są tanie, proste w obsłudze i zasilane są bezpośrednio z sieci prądu przemiennego. Ze względu na konieczność dostarczenia im mocy biernej indukcyjnej, powodują zwiększenie strat mocy w liniach przesyłowych i spadki napięć. Następną grupę stanowią silniki komutatorowe jednofazowe prądu przemiennego małej mocy, które znalazły zastosowanie w napędach urządzeń powszechnego użytku, ze względu na dobre właściwości regulacyjne. Silniki synchroniczne prądu przemiennego, z kolei bardzo korzystnie wpływają na pracę sieci, ale mogą być stosowane tylko tam, gdzie rozruch odbywa się rzadko i nie jest wymagana regulacja prędkości obrotowej (np. w pompach, wentylatorach, sprężarkach).

Również ważne miejsce w napędach urządzeń stanowią silniki prądu stałego, ze względu na dobre właściwości regulacyjne oraz dogodność dla automatycznego sterowania napędem elektrycznym. Wadą ich jest skomplikowana budowa i stosunkowo wysoka cena.

Charakterystyki mechaniczne silników elektrycznych

Charakterystyką mechaniczną silnika elektrycznego nazywamy zależność prędkości kątowej ω_s silnika od wytwarzanego momentu M_s .

Rozróżniamy trzy rodzaje charakterystyk, wynikające z zasady działania maszyn elektrycznych (rys. 1): synchroniczną (idealnie sztywna), bocznikową (sztywna), i szeregową (miękką). Charakterystyka mechaniczna silnika zależy od rodzaju silnika i jego parametrów.



Rys. 1. Typowe charakterystyki mechaniczne silników elektrycznych
1 – synchroniczna, 2 – bocznikowa, 3 - szeregową [4, s. 144]

Charakterystykę idealnie sztywną mają silniki synchroniczne, dla których prędkość kątowna jest niezależna od momentu oporowego w zakresie od wartości zerowej do wartości maksymalnej, po przekroczeniu której silnik wypada z synchronizmu.

Charakterystykę sztywną mają silniki indukcyjne, silniki bocznikowe prądu stałego oraz silniki bocznikowe komutatorowe prądu przemiennego. Charakteryzują się one nieznaczną zależnością prędkości obrotowej od momentu oporowego.

Charakterystykę miękką mają silniki szeregowo prądu stałego i silniki szeregowo komutatorowe prądu przemiennego, które charakteryzuje duża zależność prędkości kątownej od momentu oporowego (prędkość znacznie się zmniejsza wraz ze wzrostem obciążenia).

Sztywność charakterystyki jest określona przez względny spadek prędkości kątownej $\Delta\omega$ (%) przy zmianie momentu silnika M od 0 do M_N i jest określony wzorem:

$$\Delta\omega = \frac{\omega_0 - \omega_N}{\omega_0} \cdot 100\%$$

gdzie: ω_0 - prędkość idealnego biegu jałowego, w $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$; ω_N - prędkość znamionowa, w $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$.
Gdy $\Delta\omega \leq 10\%$ - charakterystykę zalicza się do sztywnych. Jeżeli charakterystyka została wyznaczona przy znamionowych parametrach napięcia zasilającego twornik silnika, to nazywamy ją charakterystyką naturalną. Charakterystyki wyznaczone dla innych napięć nazywamy sztucznymi.

Silniki wykonawcze

Silniki elektryczne stosowane jako elementy wykonawcze (np. w serwomechanizmach) muszą spełniać określone wymagania, tj.:

- łatwość sterowania w szerokich granicach prędkości obrotowej ze zmianą kierunku ruchu włącznie,
- duża szybkość reagowania na zmianę sterowania,
- liniowość charakterystyk,
- duży moment rozruchowy,
- możliwość pracy przy nieruchomym wirniku,
- samohamowność,
- wysoka niezawodność,
- małe wymiary.

Wymagania te najlepiej spośród wszystkich silników prądu stałego i silników prądu przemiennego spełniają: silnik wykonawczy indukcyjny dwufazowy i silnik wykonawczy obcowzbudny prądu stałego. Ponadto dla potrzeb automatyki skonstruowano specjalne silniki elektryczne, np.: silniki momentowe, niektóre silniki synchroniczne, ale głównie silniki krokowe.

Silniki wykonawcze prądu stałego

Silniki prądu stałego, jak już wspomniano wyżej, charakteryzują się dobrymi właściwościami ruchowymi – dużym zakresem regulacji prędkości obrotowej oraz dużym momentem rozruchowym. Dzięki temu są chętnie stosowane w układach napędowych, szczególnie energoelektronicznych.

W zależności od sposobu połączenia uzwojenia wzbudzającego silniki prądu stałego dzielimy na:

- samowzbudne: bocznikowe, szeregowo i szeregowo-bocznikowe,
- obcowzbudne.

Ponadto są budowane silniki o magnesach trwałych, w których źródłem strumienia magnetycznego jest magnes trwały.

Pracę silnika prądu stałego opisują zależności wynikające z praw indukcji elektromagnetycznej i elektrodynamiki:

$$E = k_e \cdot \Phi \cdot \omega \quad \text{ i } \quad M_e = k_e \cdot \Phi \cdot I_a,$$

gdzie: E – siła elektromotoryczna indukowana w tworniku silnika, w V; k_e – stała zależna od konstrukcji maszyny; Φ – strumień magnetyczny wywołany prądem wzbudzenia, w Wb; ω – prędkość kątowna, w $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$; M_e – moment rozwijany przez silnik, w $\text{N} \cdot \text{m}$; I_a – prąd twornika, w A.

W stanie ustalonym pracę silników wszystkich typów opisuje następujące równanie:

$$U = E + R_{ac} I_a.$$

Po podstawieniu zależności $E = k_e \cdot \Phi \cdot \omega$ otrzyma się:

$$U = k_e \cdot \Phi \cdot \omega + R_{ac} I_a.$$

Z powyższego równania można wyznaczyć prędkość kątową silnika:

$$\omega = \frac{U - R_{ac} I_a}{k_e \Phi}$$

a po podstawieniu zależności $I_a = \frac{M_e}{k_e \Phi}$ otrzyma się:

$$\omega = \omega_0 - \frac{R_{ac}}{(k_e \Phi)^2} M_e$$

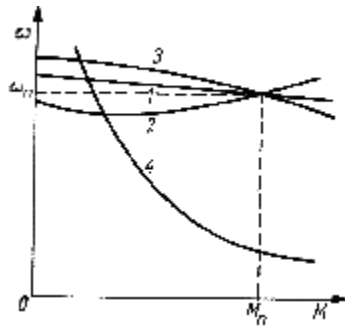
gdzie: $\omega_0 = \frac{U}{k_e \Phi}$ - prędkość kątowna idealnego biegu jałowego.

W stanie ustalonym pracy silnika, momentowi obciążenia M_h przeciwstawia się równy co do wartości, lecz przeciwnie skierowany moment elektromagnetyczny M_e , któremu odpowiadają określone wartości prądu twornika I_a i strumienia Φ , przy czym wartość strumienia zależy od napięcia zasilania w silnikach: bocznikowym i obcowzbudnym lub od prądu obciążenia w silniku szeregowym. Znając prąd twornika I_a i napięcie zasilania U , można określić napięcie E , a na tej podstawie, przy znanej wartości strumienia, szukaną prędkość kątową ω .

Najważniejsze właściwości ruchowe silników są przedstawiane w sposób wykreślny za pomocą charakterystyk:

$$\omega = f(I) \quad \text{ lub } \quad \omega = f(M) \quad \text{ przy } U = \text{const i } R_f = \text{const}$$

zwanymi charakterystykami mechanicznymi silnika prądu stałego (rys. 2).

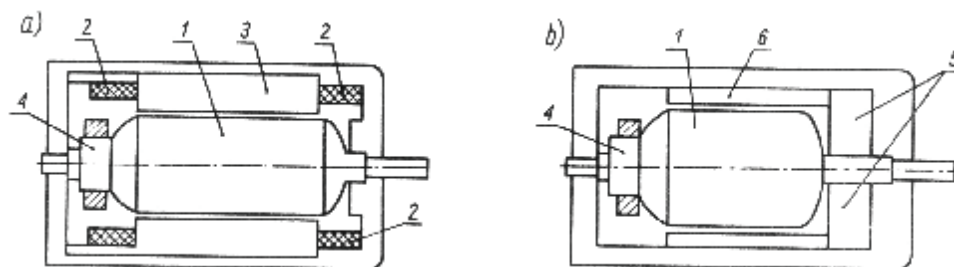


Rys. 2. Charakterystyki mechaniczne silników prądu stałego 1 i 2 – bocznikowego i obcowzbudnego: 1 przy pominięciu oddziaływania twornika (maszyna z uzwojeniem kompensacyjnym), 2 – przy uwzględnieniu oddziaływania twornika; 3 – szeregowo-bocznikowego przy dozwojeniu zgodnym; 4 – szeregowego. [5, s. 271]

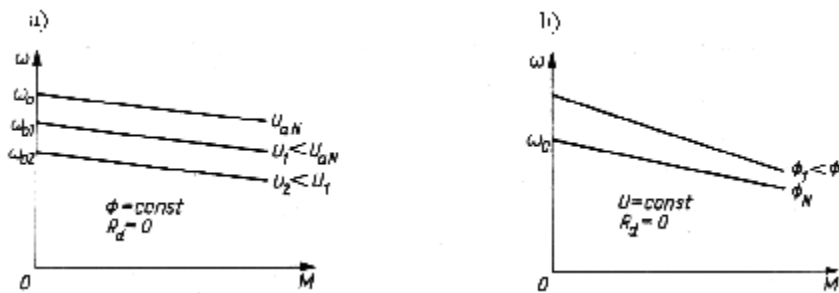
Silniki wykonawcze prądu stałego są stosowane w układach automatycznego sterowania i regulacji. Zadaniem tych silników jest przekształcenie sygnału elektrycznego (napięcia sterującego) na przemieszczenie mechaniczne (prędkość kątową lub położenie kątowe). Są to silniki małej mocy bez biegunów pomocniczych, w których uzwojenie biegunów i obwód wirnika jest zasilany z oddzielnych źródeł. Obwód wzbudzenia zasilany jest z sieci o stałym napięciu U_f , a obwód sterowania zasilany jest tylko wtedy, gdy silnik ma wykonać określone zadanie. Silnik wykonawczy, jak już wyżej wspomniano, powinien charakteryzować się m. in.:

- liniowością charakterystyk mechanicznych,
- stabilnością charakterystyk mechanicznych,
- samohamownością,
- małymi wymiarami,
- szybką odpowiedzią.

Do silników wykonawczych prądu stałego zaliczamy silniki obcowzbudne (rys. 3 a) lub ze wzbudzeniem przez magnesy trwałe (rys. 3 b). Stosuje się dwa sposoby regulacji prędkości kątowej silnika: przez zmianę napięcia wirnika przy stałym wzbudzeniu (rys. 4 a) i przez zmianę napięcia wzbudzenia przy stałym napięciu wirnika (rys. 4 b).



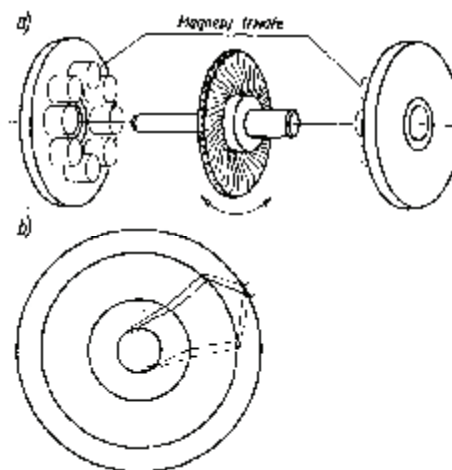
Rys. 3. Budowa silnika wykonawczego prądu stałego o wzbudzeniu: a) elektromagnetycznym; b) przez magnesy trwałe 1 – wirnik, 2 – uzwojenie wzbudzenia, 3 – stojan jawnobiegunowy, 4 – komutator i szczotki, 5 – magnes trwały magnesowany promieniowo, 6 – nabiegunniki magnesu [11, s. 110]



Rys. 4. Charakterystyki mechaniczne silnika obcowzbudnego przy zmianach: a) napięcia zasilania, gdy $\Phi = \text{const}$; b) strumienia, gdy napięcie zasilania $U = \text{const}$ [4, s. 169]

Silniki wykonawcze ze wzbudzeniem przez magnesy trwałe mają prostszą budowę niż silniki wykonawcze prądu stałego ze wzbudzeniem elektromagnetycznym, ponadto lepsze warunki chłodzenia oraz większą sprawność. Silniki te są budowane zarówno jako silniki małej mocy ($0,2 \div 0,5 \text{ W}$), jak i silniki o dużej mocy ($1 \div 5 \text{ kW}$), przeznaczone do napędu obrabiarek sterowanych numerycznie. Mogą być szybkoobrotowe (10^4 obr/min) lub wolnoobrotowe (500 obr/min). W silnikach wolnoobrotowych zmniejszenie prędkości kątowej otrzymuje się przez zwiększenie liczby magnesów tworzących bieguny silnika. Szczególnie nadają się do napędu obrabiarek ponieważ mogą być bezpośrednio łączone z nimi (bez pośrednictwa przekładni). Zaletą ich jest również duża przeciążalność.

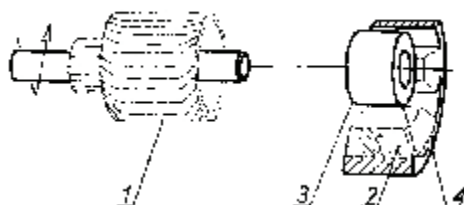
Bardzo dobre właściwości dynamiczne mają silniki tarczowe (lub silniki drukowane – rys. 5). Wirnik w tym silniku wykonany w postaci tarczy, na której techniką obwodów drukowanych naniesione są uzwojenia. Całe uzwojenie składa się z licznych pojedynczych zwojów, które otrzymano przez zespawanie na zewnętrznym obwodzie tarczy ścieżek miedzianych z obu stron tarczy, natomiast przeciwne zakończenia ścieżek doprowadzono do komutatora. Komutator umieszczony jest w pobliżu środka tarczy. Linie sił pola magnetycznego wzbudzonego przez liczne magnesy trwałe są prostopadłe do płaszczyzny tarczy. Ścieżki tworzące uzwojenie są ukształtowane promieniowo. Gdy przepływa przez nie prąd, to powstałe siły są prostopadłe do przewodów, a więc skierowane wzdłuż tworzącej, stycznie do tarczy.



Rys. 5. Silnik tarczowy (drukowany): a) schemat budowy; b) schemat uzwojenia - linią przerywaną narysowano druk naniesiony na niewidocznej stronie tarczy [9, s. 284]

Wirnik silnika tarczowego nie zawiera żelaza, jego masa dlatego jest niewielka i niewielki, w związku z tym, jest również moment bezwładności. Dzięki temu stałe czasowe silników tarczowych są mniejsze niż porównywalnych silników o klasycznej konstrukcji.

Najlepsze właściwości dynamiczne mają silniki prądu stałego, w których wirnik wykonany jest w postaci kubka (rys. 6). Kubek, będący odpowiednio uformowanymi uzwojeniami usztywnionymi specjalnymi żywicami, umieszczony jest w możliwie małej szczelinie między biegunami magnesów trwałych (dla uzyskania dużych wartości strumienia wzbudzenia).



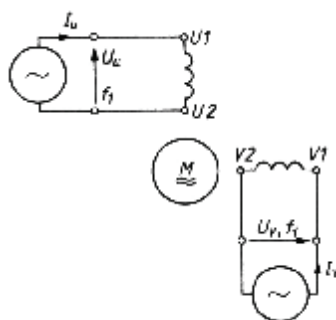
Rys. 6. Schemat budowy kubkowego silnika prądu stałego: 1 – wirnik kubkowy, 2 – magnes trwały stojana, 3 – rdzeń ferromagnetyczny, 4 – obudowa. [9, s. 283]

Silniki wykonawcze prądu przemiennego

Jako silniki wykonawcze prądu przemiennego stosuje się silniki indukcyjne dwufazowe. Silniki te mają dwa uzwojenia (wzbudzenia i sterujące) nawinięte na stojanie o osiach prostopadłych względem siebie. Uzwojenia są zasilane napięciem przemiennym o tej samej częstotliwości (rys. 7). Na uzwojenie wzbudzenia podaje się napięcie sieci zasilającej U_w , a na uzwojenie sterujące – napięcie sterujące U_s . Aby silnik mógł rozwinąć moment obrotowy, napięcia występujące na uzwojeniach muszą być przesunięte w fazie

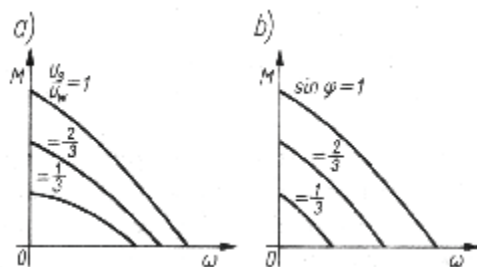
$$M = kU_wU_s\sin\varphi,$$

gdzie: φ – kąt przesunięcia fazowego, k – współczynnik.



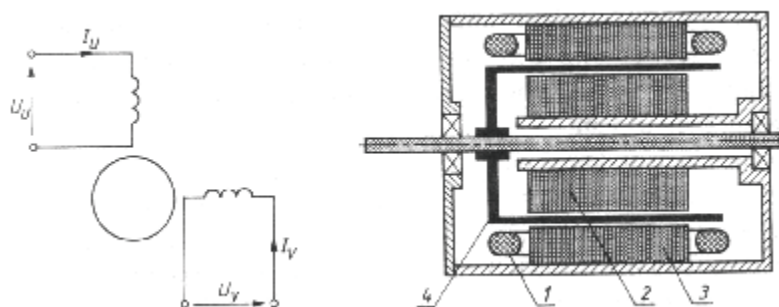
Rys. 7. Schemat zasilania uzwojeń stojana silnika dwufazowego: U1–U2 – uzwojenie wzbudzające, V1–V2 – uzwojenie sterujące [3, s. 263]

Najczęściej napięcie sterujące jest przesunięte w fazie o $\pi/2$ względem napięcia wzbudzenia i ma zmienną amplitudę. Zmiana znaku napięcia sterującego (czyli zmiana przesunięcia fazowego na $-\pi/2$) powoduje zmianę zwrotu momentu obrotowego wytwarzanego przez silnik i zmianę kierunku ruchu. Napięcie sterujące może mieć stałą amplitudę, natomiast zmienia się przesunięcie fazy względem napięcia wzbudzenia. W pierwszym przypadku mówimy o sterowaniu amplitudowym, w drugim – o sterowaniu fazowym (rys. 8).



Rys. 8. Charakterystyki mechaniczne silnika indukcyjnego wykonawczego: a) przy sterowaniu amplitudowym; b) przy sterowaniu fazowym [11, s. 109]

Wirnik silnika wykonawczego indukcyjnego nie ma komutatora, co zwiększa niezawodność silnika. Na ogół są to maszyny klatkowe, przy czym najczęściej – w celu zmniejszenia momentu bezwładności – klatkę wirnika stanowi niemagnetyczny kubek, wykonany z aluminium. Silniki z niemagnetycznym wirnikiem kubkowym noszą nazwę silników Ferrarisa (rys. 9).



Rys. 9. Zasada budowy silnika indukcyjnego kubkowego: 1 – uzwojenie stojana, 2, 3 – zewnętrzna i wewnętrzna część magnetowodu, 4 – wirnik kubkowy [3, s. 263]

Prędkość kątową reguluje się przez regulację amplitudy lub przesunięcie fazowe napięcia zasilającego uzwojenia sterujące względem napięcia zasilającego uzwojenie wzbudzenia.

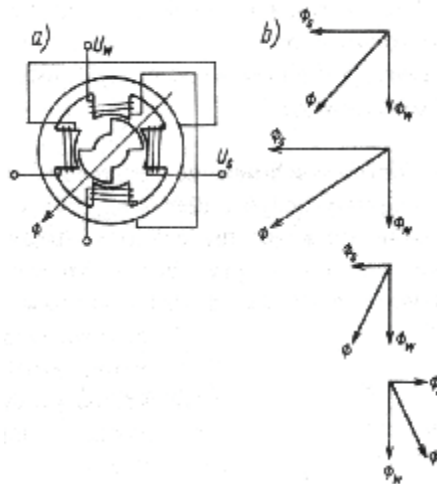
Moc dwufazowych silników indukcyjnych wynosi od około pół wata do kilkudziesięciu watów, znamionowa prędkość kątowna od 120 do 300 rad/s, a w szczególnych przypadkach osiąga 1500 rad/s (ok. 14000 obr./min). Są one najczęściej zasilane napięciem o częstotliwości 50Hz, a niekiedy 400Hz.

Silniki wykonawcze momentowe

Silniki momentowe nie są stosowane jako samodzielne elementy wykonawcze, lecz pełnią w nich rolę pomocniczą (np. w urządzeniach elektrohydraulicznych i elektropneumatycznych). Są natomiast stosowane, w urządzeniach autopilotów i stabilizatorów statków, jako korektory żyroskopów. Silnik wykonawczy momentowy jest przetwornikiem sygnału elektrycznego na położenie wału silnika. Przy braku obciążenia stałemu sygnałowi odpowiada ustalone położenie wału. Jeżeli pod wpływem zewnętrznego momentu sił wał silnika odchyli się od położenia ustalonego, to w silniku wytworzy się moment zwrotny (silnik zachowa się jak sprężyna).

Mikrosyn (rys. 10) jest przykładem silnika wykonawczego momentowego. Uzwojenia wzbudzenia oraz sterujące mikrosynu mogą być zasilane, zarówno napięciami stałymi jak i napięciami przemiennymi o jednakowej fazie. Zmianie ulega amplituda napięcia sterującego U_s , natomiast amplituda napięcia wzbudzenia U_w pozostaje stała. Wirnik reluktancyjny ustawia się tak, aby oś reluktancji minimalnej pokrywała się z wypadkowym strumieniem

magnetycznym $\Phi = \Phi_w + \Phi_s$, przy czym kierunek strumienia wypadkowego zależy od napięcia sterującego U_s .



Rys. 10. Mikroszyn: a) budowa; b), c), d), e) kierunek strumienia wypadkowego Φ i zarazem kierunek położenia wirnika przy różnych wartościach napięcia sterującego U_s [11, s. 111]

4.1.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jak możemy podzielić maszyny elektryczne ze względu na rodzaj prądu i zasadę działania?
2. Jakie charakterystyki mechaniczne mają silniki elektryczne?
3. Które silniki mają charakterystykę idealnie sztywną?
4. Które silniki mają charakterystykę sztywną, a które miękką?
5. Jakie wymagania muszą spełnić silniki elektryczne wykonawcze?
6. Jakie znasz silniki prądu stałego wykonawcze?
7. Jakie zalety mają silniki wykonawcze prądu stałego o wzbudzeniu przez magnesy trwałe?
8. Jak jest zbudowany silnik tarczowy?
9. Jak mogą być sterowane silniki wykonawcze indukcyjne dwufazowe?
10. Jak jest zbudowany silnik Ferrarisa?
11. Gdzie są stosowane silniki wykonawcze momentowe?

4.1.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Badanie silników prądu stałego. Celem ćwiczenia jest poznanie budowy, zasad obsługi i właściwości użytkowych wybranych silników prądu stałego, wyznaczenie charakterystyki silnika w różnych warunkach zasilania obciążenia. [7, s. 175 –181]

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się materiałem teoretycznym o silnikach prądu stałego,
- 2) zorganizować stanowisko pracy do wykonania ćwiczenia,
- 3) zapoznać się z aparaturą i układami pomiarowymi do badania silników,

- 4) wybrany silnik rozłożyć na części,
- 5) wykonać szkice i scharakteryzować konstrukcję silnika,
- 6) zmontować ponownie silnik,
- 7) zapoznać się z pozostałymi silnikami,
- 8) sporządzić charakterystyki poznanych silników, na podstawie obserwacji, tabliczek znamionowych, danych katalogowych,
- 9) wyznaczyć charakterystykę $\omega = f(M)$ silników dla kilku napięć zasilających,
- 10) dokonać analizę otrzymanych wyników, porównując z danymi katalogowymi,
- 11) wyznaczyć charakterystyki skokowe silników obserwując zmiany napięcia na wyjściu prądnicy tachometrycznej,
- 12) wyznaczyć stałe czasowe silnika,
- 13) sporządzić dokumentację z przebiegu ćwiczenia,
- 14) zaprezentować wykonane ćwiczenie,
- 15) dokonać oceny poprawności wykonania ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- silniki prądu stałego,
- modele silników,
- układ sterowania silników,
- układ pomiaru prędkości (np. z wyskalowaną prądnicą tachometryczną),
- hamownica do zadawania momentu obciążającego,
- rejestrator lub oscyloskop,
- katalogi silników,
- karty katalogowe, instrukcje, DTR,
- kartki papieru,
- przybory do pisania i rysowania,
- literatura z rozdziału 6.

Ćwiczenie 2

Badanie silników prądu stałego. Celem ćwiczenia jest poznanie budowy, charakterystyk i zasad użytkowania silników prądu przemiennego. [7, s. 182 – 187]

Uwaga: W trakcie ćwiczenia należy szczególnie przestrzegać zasad bhp.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z materiałem teoretycznym o silnikach prądu przemiennego,
- 2) zorganizować stanowisko pracy do wykonania ćwiczenia,
- 3) zapoznać się z aparaturą i układami pomiarowymi do badania silników,
- 4) sporządzić charakterystyki poznanych silników, na podstawie obserwacji, tabliczek znamionowych, danych katalogowych,
- 5) wybrany silnik rozłożyć na części,
- 6) wykonać szkice i scharakteryzować konstrukcję silnika,
- 7) zmontować ponownie silnik,
- 8) wyznaczyć charakterystykę $n = f(M)$ wybranego silnika,
- 9) wykonać pełną dokumentację badań,
- 10) narysować dla wskazanych silników schematy układów sterowania załączaniem, zmianą kierunku, prędkością,
- 11) scharakteryzować pod względem użytkowym wybrany silnik trójfazowy,
- 12) załączyć silnik trójfazowy i sprawdzić jego działanie,

- 13) sporządzić dokumentację z przebiegu ćwiczenia,
- 14) zaprezentować wykonane ćwiczenie,
- 15) dokonać oceny poprawności wykonania ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- silniki prądu przemiennego,
- modele silników,
- układy zasilające,
- urządzenia do pomiaru prędkości (skalowana prądnica tachometryczna),
- hamownica do zadawania momentu obciążenia,
- zestawy kondensatorów, styczniki,
- katalogi silników,
- karty katalogowe, instrukcje,
- kartki papieru,
- przybory do pisania i rysowania,
- literatura z rozdziału 6.

4.1.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:	Tak	Nie
1) na podstawie danych z tabliczek znamionowych scharakteryzować silnik?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) wyznaczyć charakterystykę mechaniczną silnika prądu stałego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) wyznaczyć charakterystyki skokowe silników?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) wykonać przełączenia zapewniające zmianę kierunku ruchu silnika trójfazowego prądu przemiennego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) korzystając z katalogów silników dobrać silnik do konkretnego zadania?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

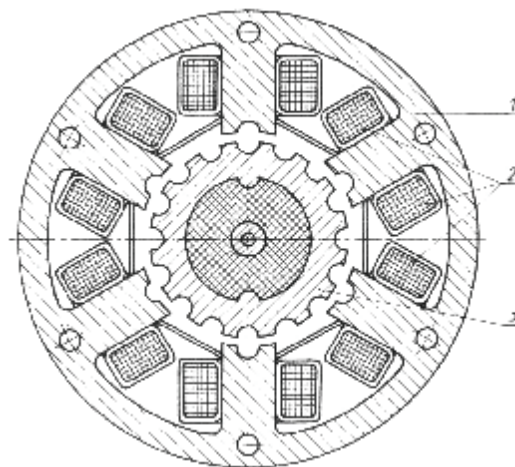
4.2. Silniki krokowe i silniki liniowe

4.2.1. Materiał nauczania

Silniki krokowe (skokowe)

Silniki krokowe przetwarzają impulsy elektryczne na przesunięcie kątowe lub liniowe, nazywane krokami lub skokami silnika, które zależnie od konstrukcji silnika wynoszą od 1° do 180° . Zasada działania silników krokowych opiera się na zjawisku zmiany położenia rdzenia ferromagnetycznego (wirnika) w polu magnetycznym w celu osiągnięcia optymalnej przewodności obwodu magnetycznego.

Występują różnorodne konstrukcje silników krokowych, w których część ruchoma może być wykonana w postaci magnesów trwałych lub obwodów drukowanych.



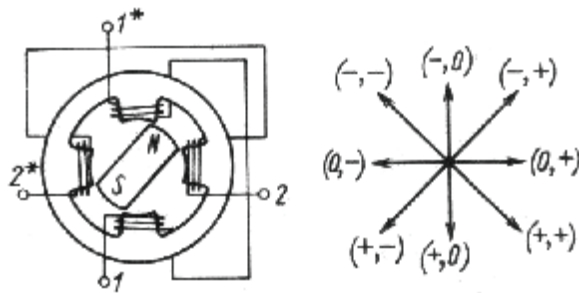
Rys. 11. Zasada budowy silnika krokowego [3, s. 396]

W najprostszym konstrukcyjnie silniku skokowym (rys.11) uzwojenie stojana jest zasilane impulsowo prądem stałym. Aby uzyskać dużą liczbę skoków w stojanie znajduje się dużo biegunów magnetycznych. Zasilane mogą być kolejno uzwojenia poszczególnych biegunów lub odpowiednich biegunów połączonych w układy, które wytwarzają strumień magnetyczny o określonym kierunku. Impulsy zasilające muszą zmieniać się w czasie aby otrzymać określoną częstotliwość skoków. Wytwarzane są przez układ elektroniczny, zwany komutatorem, w taki sposób, że strumień magnetyczny zmienia za każdym razem swój kierunek o taki sam kąt, wykonując stopniowo pełny obrót (cykl).

Silniki skokowe ze względu na wykonanie wirników dzielimy na:

- czynne, w których wirnik zawiera magnesy trwałe,
- i bierne, w których wirnik wykonano z materiału magnetycznie miękkiego.

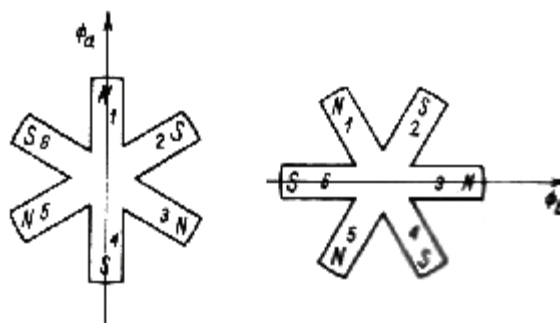
Wirniki obu typów silników ustawiają się zawsze w ten sposób, że ramię wirnika (jedno z ramion) przyjmuje kierunek zgodny z kierunkiem pola wytwarzanego przez stojan, przy czym wirnik czynny uwzględnia polaryzację pola, a bierny nie. Dlatego też, dla każdego kierunku pola magnetycznego wytwarzanego przez stojan, wirnik czynny np. dwubiegunowy (rys.12) przyjmuje tylko jedno położenie (zgodne z kierunkiem i zwrotem pola magnetycznego), a taki sam dwubiegunowy wirnik bierny przyjmuje jedno z dwóch możliwych położenia.



Rys. 12. Silnik krokowy z wirnikiem czynnym: a) schemat budowy, b) kierunki strumienia magnetycznego odpowiadające zasilaniu uzwojeń sterujących 1 i 2 od strony zaznaczonej gwiazdką napięciami o podanej polaryzacji. [11, s. 113]

Przy stałym kierunku pola magnetycznego wirnik silnika krokowego zajmuje stałe położenie. Zmiana kierunku pola magnetycznego powoduje zmianę położenia wirnika. Kąt pomiędzy sąsiednimi możliwymi położeniami wirnika nazywamy skokiem silnika. Od konstrukcji wirnika oraz liczby różnych kierunków pola magnetycznego wytwarzanych przez stojan zależy liczba możliwych położen przyjmowanych przez wirnik. W każdym z położen wirnik może być zatrzymany dowolnie długo. Od kolejności przełączania uzwojeń sterujących zależy kierunek ruchu wirnika. W silniku krokowym czynnym wirnik dwubiegunowy zmienia swoje położenie o taki sam kąt, o jaki zmienia się kierunek pola magnetycznego. Ma zatem dość duży skok – rzędu $\pi/10$. Cyklowi przełączeń odpowiada pełny obrót wirnika.

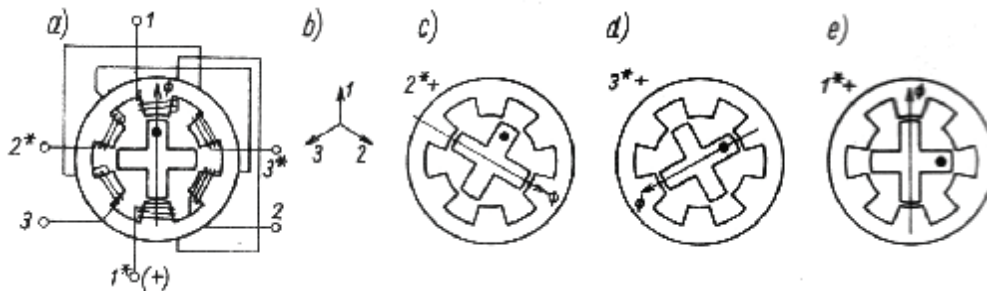
Konstrukcja silnika krokowego tzw. wielostojanowego umożliwia uzyskanie małych skoków. Charakteryzuje się ona tym, że w jednej osi silnika znajduje się kilka rzędów układów biegunowych, których osie biegunów są przesunięte w przestrzeni. Wirnik wielobiegunowy może zmieniać swoje położenie o kąt mniejszy niż kąt zmiany strumienia magnetycznego. Przykładowo, wirnik sześciobiegunowy (rys.13), który początkowo ma skierowane ramiona $1 \div 4$ wzdłuż strumienia Φ_a , po zmianie strumienia o kąt $\pi/2$ zmienia swoje położenie nie o kąt $\pi/2$, a zaledwie o $\pi/6$, ponieważ w kierunku strumienia Φ_b ustawiają się ramiona $3 \div 6$ (a nie $1 \div 4$), które znajdując się znacznie bliżej nowego kierunku strumienia są wielokrotnie silniej przyciągane. Ponieważ liczba biegunów wirnika czynnego jest, ze względów technologicznych, ograniczona do kilku, to silniki krokowe z takim wirnikiem nie mogą wykonywać skoków o bardzo małym kącie. Na wykonanie pełnego obrotu potrzebują od kilkudziesięciu do stu skoków.



Rys. 13. Zmiana położenia sześciobiegunowego wirnika czynnego spowodowana zmianą strumienia magnetycznego Φ_a na Φ_b [11, s. 114]

W silnikach krokowych z wirnikami biernymi można uzyskać znacznie mniejsze wartości skoku, ponieważ wirnik bierny ustawia się zawsze tak, by zapewnić największą przewodność

magnetyczną (reluktancję) na drodze strumienia magnetycznego. W silniku skokowym reluktancyjnym z wirnikiem biernym (rys. 14) strumień magnetyczny przyjmuje zaledwie trzy położenia, różniące się o $2\pi/3$. Wirnik czterobiegunowy zmienia za każdym razem swoje położenie tylko o kąt $\pi/6$, ponieważ w kierunku strumienia magnetycznego ustawiają się najbliższe ramiona wirnika (wirnik dwubiegunowy zmieniłby swoje położenie o kąt $\pi/3$). Cyklowi przełączeń pola odpowiada wykonanie przez czterobiegunowy wirnik bierny jednej czwartej obrotu (przez wirnik dwubiegunowy – jednej drugiej).

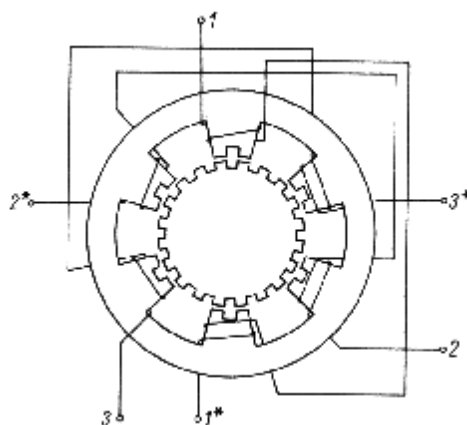


Rys. 14. Silnik skokowy reluktancyjny z wirnikiem biernym: a) schemat budowy z wirnikiem w położeniu odpowiadającym zasilaniu uzwojenia sterującego 1; b) kierunki wytwarzanego strumienia magnetycznego (odpowiadające zasilaniu uzwojeń 1, 2i 3); c), d), e) kolejne fazy ruchu wirnika odpowiadające pełnemu cyklowi komutacji [11, s. 114]

Wirnik bierny może mieć dużą liczbę biegunów (znacznie większą niż wirnik czynny), więc pojedynczy skok może być bardzo mały.

Przykładem innej konstrukcji silników krokowych są tzw. silniki reduktorowe ze żłobkowanymi biegunami stojana (rys. 15), w których podziałki zębów wirnika i stojana są takie same. Wirnik, w konstrukcjach tych silników, w czasie jednego cyklu przełączeń zmienia położenie o kąt odpowiadający podziałce (a nie odległości między biegunami). Wirnik silnika reduktorowego mający 20 zębów w czasie pełnego cyklu trzech połączeń wykona jedną dwudziestą obrotu. Dla wykonania pełnego obrotu wymaganych jest 60 skoków.

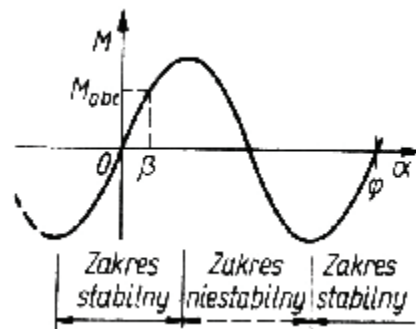
Silniki reduktorowe rzeczywiste mają wirniki o większej liczbie zębów, w których pełny obrót wymaga od kilkuset do tysiąca skoków.



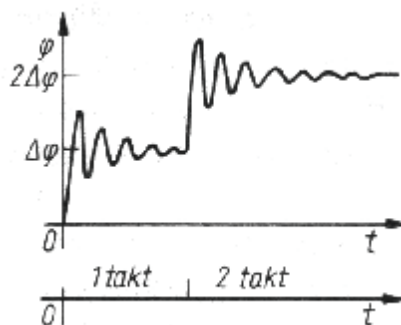
Rys. 15. Silnik krokowy reduktorowy z wirnikiem biernym [11, s. 115]

W silniku skokowym pracującym pod obciążeniem lub rozpędzonym, na wirnik oddziałuje zewnętrzny moment siły (rys. 16), który może ustawić w kierunku strumienia magnetycznego inne ramię silnika (niż podczas pracy bez obciążenia). Silnik wtedy zamiast wykonać wymaganą

liczbę skoków, może wykonać ich więcej lub pewną ich liczbę „zgubić”. W układzie sterowania otwartego jest to przyczyną nieprawidłowego działania całego układu sterowania, ponieważ położenie wirnika inne niż założone pozostaje niezauważone (położenie wirnika nie jest mierzone) przez układ sterowania. Takie nieprawidłowe zachowanie się silnika krokowego zależy od jego konstrukcji i obciążenia, a także od tego, że faktyczny ruch wirnika przy przełączeniu może mieć charakter oscylacyjny (rys.17).



Rys. 16. Charakterystyka statyczna silnika krokowego: φ – odległość kątowa między sąsiednimi zębami wirnika, β – odchylenie położenia kątownego pod wpływem obciążenia M_{obc} [11, s. 116]



Rys. 17. Przebieg zmian położenia wirnika podczas wykonywania skoków: φ – odległość kątowa między sąsiednimi zębami wirnika [11, s. 116]

Własności silników krokowych charakteryzują:

- dopuszczalny moment obciążenia przy różnych częstotliwościach sterujących,
- częstotliwość startowo-stopowa, przy której silnik nie „gubi skoków” po natychmiastowym zatrzymaniu lub natychmiastowym rozpędzeniu,
- maksymalna częstotliwość robocza, z którą silnik może pracować, gdy zmiana prędkości następuje stopniowo („łagodnie”).

Silniki krokowe z wirnikiem czynnym zapewniają moment obrotowy od kilkunastu do kilkudziesięciu N·m (silniki w obrabiarkach), przy częstotliwości skoków rzędu 100Hz; natomiast silniki skokowe z wirnikiem biernym wytwarzają znacznie mniejszy moment obrotowy ale częstotliwość skoków jest bardzo duża – od kilku do kilkunastu kHz. Koszt silnika krokowego i układu sterującego jest tym większy, im większa jest częstotliwość impulsów i mniejsze skoki.

Silniki krokowe w porównaniu z innymi silnikami wykonawczymi wykazują cenne zalety, między innymi: wpływają na zmniejszenie liczby elementów i uproszczenie systemu sterowania, charakteryzują się dużą dokładnością lub eliminują całkowicie sprzężenie zwrotne i układy

prądnic tachometrycznych. Układ otwarty jest znacznie prostszy niż układ zamknięty, nie wymaga urządzeń do pomiaru położenia ani urządzeń pomocniczych do pomiaru prędkości. Na przykład, w silniku krokowym, którego zadaniem jest przestawienie pisaka rejestratora do nowego położenia, wystarczy podanie tylko odpowiedniej liczby impulsów sterujących. Silniki krokowe szczególnie nadają się do współpracy z cyfrowymi urządzeniami sterującymi. Dlatego są m.in. stosowane w obrabiarkach sterowanych numerycznie.

Silniki liniowe

W silnikach liniowych następuje przemiana energii elektrycznej w energię ruchu postępowego. Dzięki temu unika się budowy kosztownych przekładni zębatych oraz poprawia własności dynamiczne.

Silniki liniowe dzieli się na silniki:

- prądu stałego,
- indukcyjne,
- synchroniczne, w tym reluktancyjne i krokowe,
- elektromagnetyczne,
- o ruchu drgającym (wibratory).

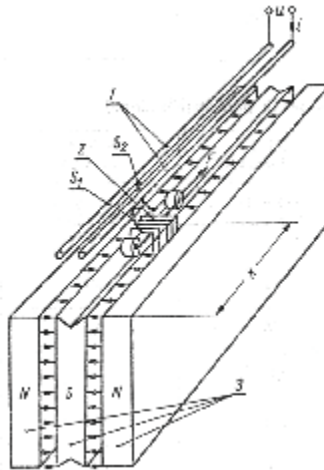
Silniki liniowe prądu stałego (rys. 18) wykonane są z nieruchomego elektromagnesu zasilanego prądem stałym. Część ruchomą stanowi cewka zasilana napięciem sterującym doprowadzanym przez szczotki ślizgające się po szynach. Siła F działająca na cewkę o kierunku wzdłuż elektromagnesów jest proporcjonalna do iloczynu indukcji B wytworzonej przez elektromagnes oraz prądu płynącego przez cewkę:

$$F = kBi,$$

przy czym: $i = (u - vBk)/R$ – prąd płynący przez cewkę; v – prędkość liniowa ruchu cewki; R – rezystancja cewki; k – stała równa sumie długości czynnych pionowych części zwojów cewki.

Siła F dla ustalonej wartości napięcia $u = U$ jest równa:

$$F = \frac{kB}{R}(U - kBv).$$



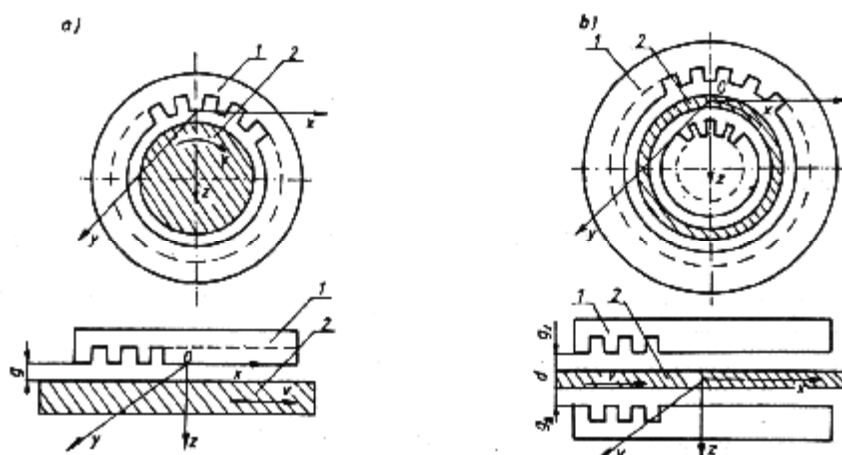
Rys. 18. Silnik liniowy prądu stałego: 1 – szyny; 2 – cewka; 3 – bieguny elektromagnesu [2, s. 224]

W trakcie konstruowania silników skokowych liniowych należy uporać się z problemem oddziaływania pola cewki ruchomej na pole magnetyczne stojana, które jest powodem, przy niekorzystnym kierunku prądu, znacznego spadku siły przy skrajnych położeniach cewki.

Silniki liniowe prądu stałego stosowane do rejestratorów mają zakres ruchu 0,2 m i siłę ok. 1 N.

Najbardziej rozpowszechnione są silniki indukcyjne liniowe. Znalazły zastosowanie w przemyśle włókienniczym (napęd czółenek tkackich), w trakcji, jako pompy do ciekłych metali oraz w przemysłowych procesach technologicznych.

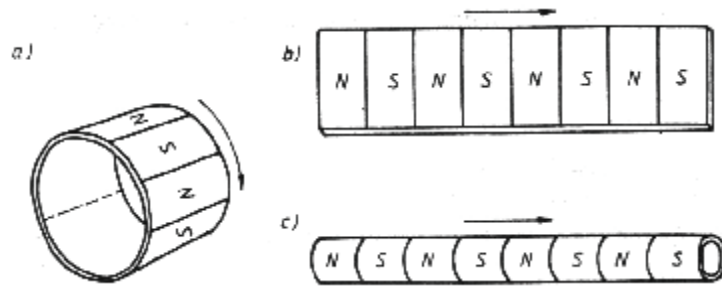
Silnik indukcyjny liniowy wywodzi się z przekształcenia silnika wirującego (rys.19). Przekształcenie to polega na przecięciu stojana i wirnika promieniowo do osi i rozwinięciu ich wraz z uzwojeniami. W silniku tym występuje działanie dynamiczne pola indukcji magnetycznej wzbudzonej w jednej części silnika na prądy indukowane w układzie elektrycznym części drugiej. W wyniku tego działania następuje ruch jednej części względem drugiej z prędkością mniejszą od prędkości przemieszczania się pola indukcji.



Rys. 19. Ewolucja silnika indukcyjnego wirującego: a) o wirniku masywnym w silnik indukcyjny liniowy płaski jednostronny, b) o wirniku kubkowym w silnik indukcyjny liniowy płaski dwustronny:
1 – część pierwotna, 2 – część wtórna [6, s. 342]

Z silnikami liniowymi indukcyjnymi są związane pewne określenia podstawowe, takie jak:

- część pierwotna - jest to część lub części silnika względem siebie nieruchome, z których przynajmniej jedno zawiera uzwojenia zasilane z sieci,
- część wtórna – jest to część silnika, w której indukują się prądy wywołane strumieniem magnetycznym wzbudzonym w części pierwotnej,
- powierzchnie aktywne w silniku liniowym – powierzchnie obydwu części silnika przedzielone szczeliną powietrzną, przy czym indukcja magnetyczna normalna do tych powierzchni warunkuje przemianę elektromagnetyczną energii w silniku,
- bieżnia (bieżnik) – element silnika liniowego, konieczny do uzyskania siły ciągu.
- Rozróżnia się następujące rodzaje silników indukcyjnych liniowych:
 - jednostronny (część pierwotna oddziałuje na część wtórna tylko z jednej strony),
 - dwustronny (dwie części pierwotne oddziałują na część wtórna z obu jej stron),
 - pojedynczy (o jednej części pierwotnej – rys. 19 a),
 - podwójny (dwie lub więcej części pierwotnych oddziałują na jedną część wtórna – rys. 19 b),
 - płaski (powierzchnie aktywne są płaskie w kształcie prostokątów),
 - łukowy (powierzchnia aktywna lub powierzchnie aktywne jednej części jest powierzchnią walcową, a części drugiej – wycinkiem powierzchni walcowej),
 - tubowy (powierzchnie aktywne cylindryczne – rys. 20),
 - pompa liniowa indukcyjna (częścią wtórna jest metal ciekły nieferromagnetyczny),
 - o ruchu wahadłowym (wykonuje ruch posuwisto-zwrotny).



Rys. 20. Ewolucja silnika cylindrycznego w silnik tubowy: a) silnik cylindryczny, b) silnik liniowy płaski, c) silnik liniowy tubowy [6, s. 343]

W silnikach indukcyjnych liniowych dwufazowych (rys. 21) część ruchomą stanowi induktor złożony z dwóch współpracujących części, pomiędzy którymi znajduje się aluminiowy bieżnik. Cewki o numerach nieparzystych na rysunku są połączone szeregowo i zasilane napięciem u_1 o stałej amplitudzie U_1 . Cewki parzyste, też połączone szeregowo, zasilane są napięciem u_2 o amplitudzie U_2 przesuniętym w fazie o 90° . Przy większej liczbie kolumn i uzwojeń induktora wskaźy wszystkich strumieni magnetycznych poza skrajnymi kolumnami pozostają przesunięte względem siebie kolejno o 90° (rys. 19 b). Otrzymane pole magnetyczne przesuwa się względem induktora z prędkością synchroniczną

$$v_s = 2f\tau$$

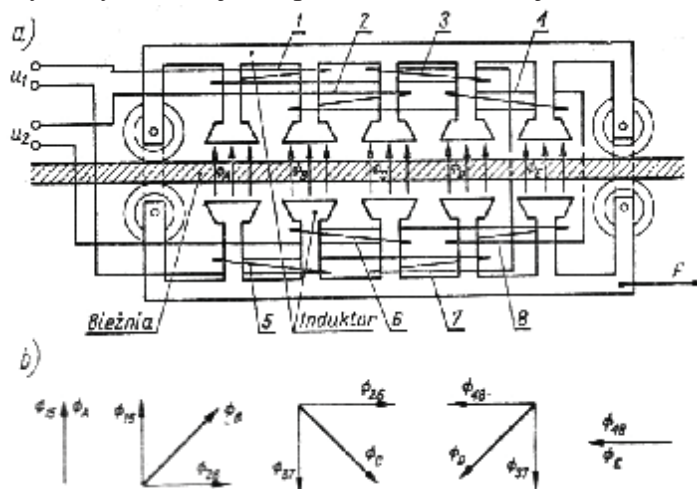
przy czym: f – częstotliwość sieci (najczęściej 50 Hz); τ – długość podziałki biegunowej w [m], w przypadku uzwojenia dwufazowego równa podwójnej odległości między kolumnami. Prędkość liniowa nie zależy od liczby par biegunów.

Siła pociągowa uzyskiwana w układzie

$$F = \frac{kU^2s}{R_{\text{wir}} + \left(2\pi \frac{L_{\text{wir}}}{R_{\text{wir}}} fs\right)^2}$$

przy czym: R_{wir} i L_{wir} – rezystancja i indukcyjność bieżni dla prądów wirowych; $s = (v_s - v) / v_s$ – poślizg; v – prędkość rzeczywista przemieszczania się induktora względem bieżni.

W napędach pojazdów szynowych stosuje się podobne silniki trójfazowe.



Rys. 21. Silnik liniowy dwufazowy: a) konstrukcja silnika – 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 cewki; b) wykres wskazowy strumieni magnetycznych w poszczególnych kolumnach [2, s. 225]

Małe silniczki są wykonywane z induktorem jednoczęściowym, w których bieźnia musi mieć podłoże magnetyczne po przeciwnej stronie niż induktor oraz szczególnie staranne powinno być łożyskowanie ze względu na duże siły przyciągania do bieźni.

W silnikach bardzo małej mocy część nieruchomą stanowią induktory o wielu kolumnach i uzwojeniach wytwarzających pole, w którym porusza się aluminiowa lub miedziana płytka.

Właściwości dynamiczne silnika indukcyjnego liniowego są analogiczne jak dla zwykłego silnika obrotowego.

4.2.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jaka jest zasada działania silników krokowych?
2. Jak może być wykonany wirnik silników krokowych?
3. Jakie znasz rodzaje silników krokowych ze względu na wykonanie wirników?
4. Dlaczego w silnikach krokowych tzw. wielostojanowych możliwe jest uzyskanie małych skoków?
5. Dlaczego w silniku krokowym z wirnikiem biernym można uzyskać znacznie mniejsze skoki niż w silniku krokowym z wirnikiem czynnym?
6. Dlaczego silniki krokowe są stosowane w układach sterowania?
7. Jak jest wykonany silnik liniowy prądu stałego?
8. W jaki sposób przekształcono silnik indukcyjny wirujący w silnik indukcyjny liniowy?
9. Jaka jest zasada działania silnika indukcyjnego dwufazowego liniowego?
10. Jaka jest różnica w konstrukcji silników indukcyjnych liniowych małej mocy?

4.2.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Badanie silnika skokowego. Celem ćwiczenia jest poznanie właściwości użytkowych silnika skokowego.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

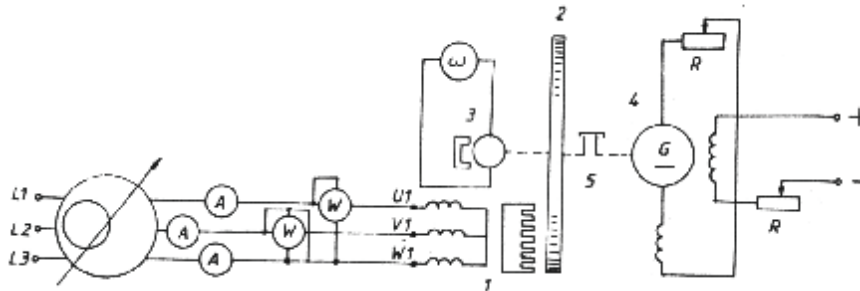
- 1) zorganizować stanowisko pracy do wykonania ćwiczenia,
- 2) zapoznać się z aparaturą i układami pomiarowymi do badania silnika skokowego,
- 3) zapoznać się działaniem sterownika,
- 4) połączyć silnik ze sterownikiem,
- 5) sprawdzić działanie układu,
- 6) zaobserwować przebiegi napięć na pasmach silnika,
- 7) wyznaczyć charakterystykę statycznego momentu synchronizującego w funkcji odchylenia od położenia równowagi,
- 8) zaobserwować zachowanie silnika przy płynnym zwiększaniu częstotliwości, starcie ze stanu zatrzymanego, zmianie kierunku ruchu,
- 9) zanotować wyniki i porównać z danymi katalogowymi silnika,
- 10) wykonać dokumentację z przebiegu ćwiczenia,
- 11) zaprezentować wykonane ćwiczenie,
- 12) dokonać oceny ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- silnik skokowy,
- sterownik silnika skokowego,
- dynamometr,
- układ do pomiaru położenia kąowego,
- generator fali prostokątnej,
- katalogi silników,
- karty katalogowe,
- papier, przybory do pisania,
- literatura z rozdziału 6.

Ćwiczenie 2

Badanie silnika liniowego. W układzie jak na rysunku induktor zasilany jest bezpośrednio z autotransformatora włączonego do sieci prądu przemiennego. Induktor powoduje obrót tarczy osadzonej na osi. Tarcza sprzęgnięta jest z jednej strony z prądnicą tachometryczną, a z drugiej – z maszyną prądu stałego dla pomiaru momentu rozruchowego i wyznaczania charakterystyk obciążenia.



Rysunek do ćwiczenia 1. [6, s. 346]

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zorganizować stanowisko pracy do wykonania ćwiczenia,
- 2) zapoznać się z urządzeniami i przyrządami,
- 3) zmontować układ według projektu,
- 4) zapoznać się z budową silnika liniowego,
- 5) wyznaczyć dla biegu jałowego zależności $I_0 = f(U)$, $\omega_0 = F(U)$, $P_0 = f(U)$,
- 6) wyznaczyć prąd początkowy,
- 7) zmierzyć moment rozruchowy tarczy,
- 8) obciążyć silnik przy stałej wartości napięcia prądnicą prądu stałego,
- 9) wyznaczyć charakterystyki obciążenia,
- 10) wykonać dokumentację ćwiczenia,
- 11) dokonać oceny ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- induktor,
- 2 – 3 tarcze (bieżnie),
- prądnica tachometryczna,
- mierniki uniwersalne,
- prądnica prądu stałego (hamownica),

- sprzęgło rozłączne,
- katalogi silników,
- instrukcje, karty katalogowe urządzeń,
- papier,
- przybory do pisania i rysowania,
- literatura z rozdziału 6.

4.2.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:	Tak	Nie
1) rozpoznać doświadczalnie rodzaj wirnika silnika skokowego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) narysować kształt charakterystyki statycznego momentu synchronizującego w dużym zakresie zmian kąta α ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) wyznaczyć początkową siłę ciągu induktora?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) zmienić kierunek wirowania tarczy?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) podać jakie są możliwości regulacji prędkości bieżni?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.3. Przekładniki i styczniki elektromagnetyczne

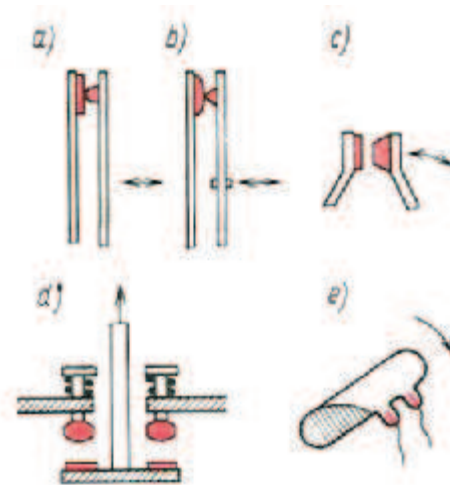
4.3.1. Materiał nauczania

Łączniki

Łącznikami nazywamy urządzenia służące do zamykania i otwierania obwodów elektrycznych. Rozróżnia się łączniki zestykowe i bezzestykowe (np. półprzewodnikowe) oraz bezpieczniki i złącza stykowe (wtyczki i gniazda).

Zestykiem nazywa się parę składającą się ze styku ruchomego i nieruchomego, zwierany ze sobą (styk zwierny) i rozwierany (styk rozwierny).

Do najważniejszych części łączników należy zaliczyć styki. Zetknięcie styków umożliwia bowiem przepływ prądu w obwodzie elektrycznym. Budowa zestyków zależy od wartości prądów i napięć, jakie mają być przełączane. Im większa wartość prądu płynącego przez styki, tym większa musi być powierzchnia zetknięcia styków, natomiast przełączanie dużych napięć wymaga stosowania dużych odległości między stykami (rys. 22). Rezystancja przejścia styku zależy od powierzchni i siły docisku styków. Przy przepływie prądu moc wydzielająca się na rezystancji przejścia powoduje nagrzewanie styków. Wzrost temperatury styków powoduje dalsze zwiększanie rezystancji przejścia, a to z kolei powoduje dalsze nagrzewanie, itd. W końcowym efekcie wydzielania nadmiernej mocy na stykach prowadzi to do ich uszkodzenia przez stopienie. Dla każdego styku istnieje więc wartość maksymalna prądu, której przekroczenie może doprowadzić do uszkodzenia zestyku. Przyczyną zwiększenia rezystancji przejścia może być słaba siła docisku styków oraz zanieczyszczenia.



Rys. 22. Styki elektryczne: a); b) słaboprądowe; c); d) silnoprądowe; e) rtęciowe [9, s. 306]

Na rysunku 22 przedstawione są także styki rtęciowe. Dwa pręciki metalowe zatopione w hermetycznie zamkniętej szklanej bańce są zwierane przez kroplę rtęci znajdującą się w bańce. Odpowiednie nachylenie bańki umożliwia więc przepływ prądu. Zaletą styków rtęciowych jest to, że nie ulegają zanieczyszczeniom, a do ich przełączania potrzebna jest niewielka siła. Muszą tylko pracować w określonej pozycji.

Od odległości między stykami oraz od sposobu ich przełączania zależy wartość przełączanego napięcia. Odległość musi uniemożliwić, z odpowiednim zapasem bezpieczeństwa, przeskoczenie iskry między stykami, gdy są one rozwarte. Iskrozenie pomiędzy stykami powoduje ich wypalanie oraz zwiększa rezystancję przejścia. W celu ograniczenia iskrozenia stosuje się tzw. przełączanie migowe, które skraca czas przełączania oraz zapobiega przyjmowaniu przez styki trwałych położeń pośrednich będących źródłem iskrozenia styków.

Czynności łączeniowe są wykonywane przez napęd łącznika (np. ręczny, elektromagnesowy, za pomocą silnika elektrycznego, siłownika pneumatycznego).

Jeżeli w jednym położeniu łącznika wszystkie jego zestyki są zwarte, a w drugim rozwarne, to mówimy o otwarciu i zamknięciu łącznika. Często łączniki zawierają wiele zestyków, z których jedne są rozwarne, a drugie są zwarte. Stan łącznika o napędzie elektromagnetycznym określa się w stosunku do jego obwodu wzbudzenia. W przypadku łączników wielopolożeniowych poszczególne położenia oznacza się numerami.

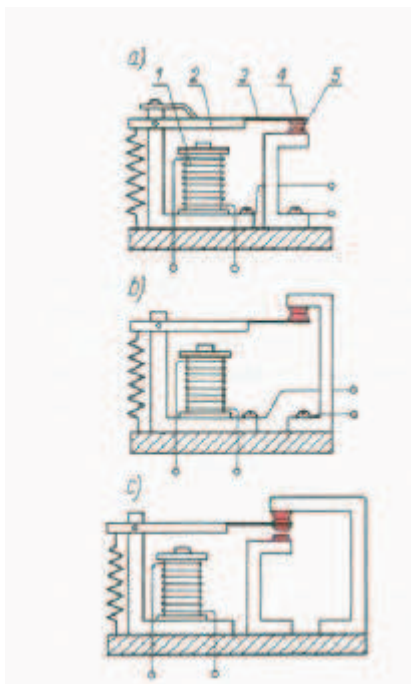
Łączniki, których zestyki zajmują zawsze takie samo położenie przy braku zewnętrznych sił napędowych, nazywa się łącznikami zwrotnymi, a to położenie – spoczynkowym; po przyłożeniu zewnętrznej siły napędowej zestyki i łączniki przyjmują położenie wymuszone. Do łączników zwrotnych należą przyciski sterownicze, a także typowe przekaźniki i styczniki. Są one istotnym składnikiem aparatury automatyki. W układach automatyki są używane jako elementy wykonawcze (i nastawcze równocześnie), elementy wzmacniające, czujniki pomiarowe, urządzenia sygnalizacyjne, elementy logiczne przetwarzające informacje, zabezpieczenia lub łączyć kilka z wymienionych funkcji równocześnie.

Istnieje olbrzymia różnorodność łączników wynikająca z dążenia do opracowania optymalnych konstrukcji dla konkretnego zastosowania.

Przekaźniki elektromagnetyczne

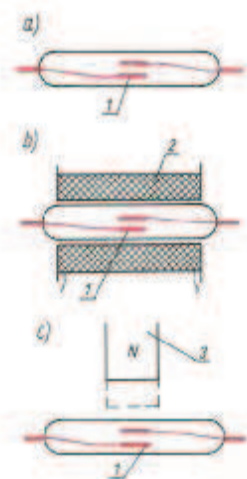
Podstawowymi łącznikami stosowanymi w automatyce są przekaźniki elektromagnetyczne (rys. 23), w których ruchomą zworę i związane z nią zestyki porusza elektromagnes, zapewniając przy tym minimalną reluktancję (opór magnetyczny) obwodu magnetycznego.

Przepływ prądu przez cewkę nawiniętą na rdzeniu ferromagnetycznym powoduje przyciągnięcie zwory, która jest przedłużoną sprężystą blaszką zakończoną stykiem ruchomym. Drugi styk, zwany nieruchomym umieszczony jest na wsporniku umocowanym do podstawy przekaźnika. Przekaźnik może mieć styki zwiernie (normalnie otwarte), rozwiernie (normalnie zamknięte) oraz przełączne. Przyciągnięcie zwory do rdzenia elektromagnesu powoduje zwarcie styków zwiernych, rozwarcie styków rozwiernych i przełączenie styków przełącznych.



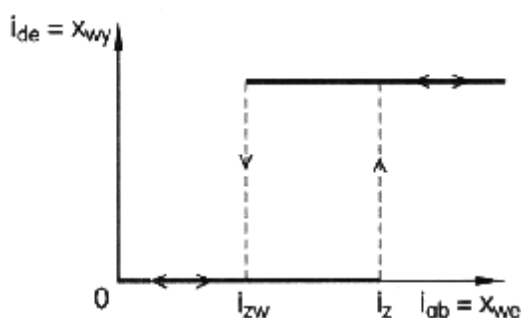
Rys. 23. Schemat budowy przekaźnika ze stykami: a) zwiernymi; b) rozwiernymi; c) przełącznymi
1 – cewka, 2 – zwora, 3 – sprężyna, 4 – styk ruchomy, 5 – styk nieruchomy [9, s. 306]

Styki przekaźników muszą być wykonane z materiałów o dużej wytrzymałości mechanicznej i odpornych na korozję. Dlatego styki wykonuje się ze stopów srebra, a w przekaźnikach miniaturowych – ze stopów platyny i złota. W jednej z odmian przekaźników miniaturowych tzw. kontaktronach (rys. 24) stosuje się styki wykonane w postaci sprężystych blaszek wykonanych z materiału ferromagnetycznego miękkiego ze złoconymi końcami, które są zatopione w szklanej bańce o kształcie rurki. Bańka wypełniona jest gazem obojętnym. Zwarcie styków przekaźnika kontaktronowego następuje pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego wytworzonego przez uzwojenie nawinięte na rurce zawierającej styki. Przekaźniki kontaktronowe charakteryzują się dużą niezawodnością i trwałością.



Rys. 24. Przekaźnik kontaktronowy: a) rurka ze stykami; b) uruchamiany polem magnetycznym wytwarzanym przez cewkę; c) uruchamiany na skutek zbliżenia magnesu trwałego
1 – styk, 2 – cewka, 3 – magnes trwały {9, s. 308}

Charakterystyka statyczna idealnego przekaźnika przedstawiona jest na rys. 25. Podstawowe parametry to próg załączenia i_z i próg wyłączenia i_{zw} . W praktyce $i_z < i_{zw}$, a różnica $h = i_z - i_{zw}$ nazywa się strefą niejednoznaczności (histerezą) przekaźnika. Najważniejszymi parametrami dynamicznymi przekaźnika to: czas zadziałania t_z i czas zwalniania t_{zw} . Czasy te definiuje się jako czas upływający od chwili osiągnięcia przez sygnał sterujący wartości wystarczającej do przełączenia, do chwili przyjęcia przez wyjście określonego stanu. Suma czasów zadziałania i zwalniania pozwala oszacować dopuszczalną częstość przełączeń, która jest mniejsza od $1/(t_z + t_{zw})$.



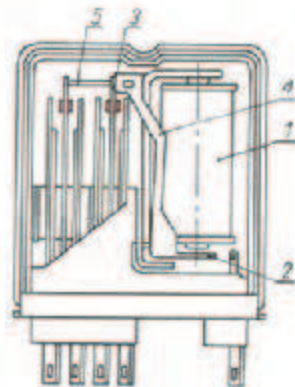
Rys. 25. Charakterystyka statyczna przekaźnika {7, s. 72}

- Ponadto ważnymi parametrami przekaźnika są:
- poziom sygnału na wejściu i wyjściu (przy określonej konstrukcji decyduje o rozmiarach przekaźnika),
 - wzmacnienie mocy (osiąga wartość rzędu 10^2),

- współczynnik mocy przełączanej (korzystniejszy niż dla elementów ciągłych o podobnym przeznaczeniu),
- trwałość jako dopuszczalna liczba przełączeń (od $1 \div 100 \cdot 10^6$).

Istnieje olbrzymia różnorodność przekaźników, dlatego przy projektowaniu należy posługiwać się katalogami. Podstawowe dane, na które dobieramy przekaźniki to napięcie zasilania cewki i obciążalność styków.

Przykładowy przekaźnik pomocniczy stosowany w układach automatyki to przekaźnik typu MT-12 (rys. 26). Ma on cztery pary styków przełącznych. Przełączenie następuje na skutek ruchu sprężyn jako wynik przyciągnięcia zwory, której ruch przenoszony jest na sprężyny przez dźwignię i popychacz. Przekaźnik MT-12 przełącza prądy nie większe niż 0,3 A, przy napięciach nie przekraczających 125V. Trwałość przekaźnika wynosi $5 \cdot 10^6$ przełączeń.

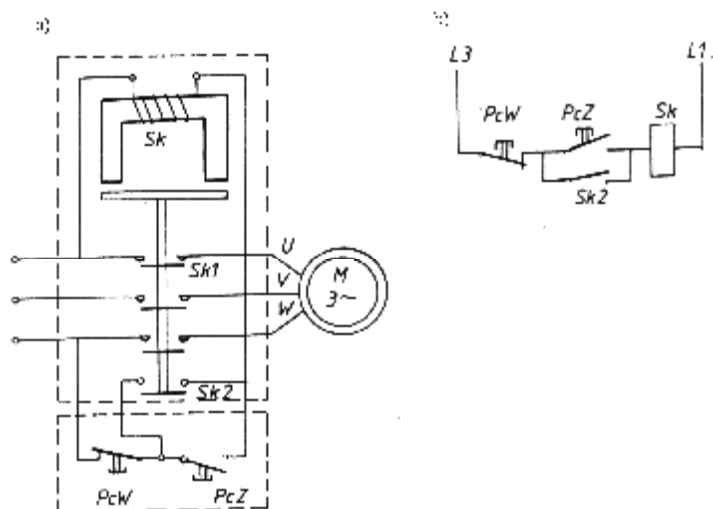


Rys. 26. Przekaźnik MT-12: 1 – cewka, 2 – zwora, 3 – sprężyny przełączne, 4 – dźwignia, 5 - popychacz [9, s. 307]

Styczniki elektromagnetyczne

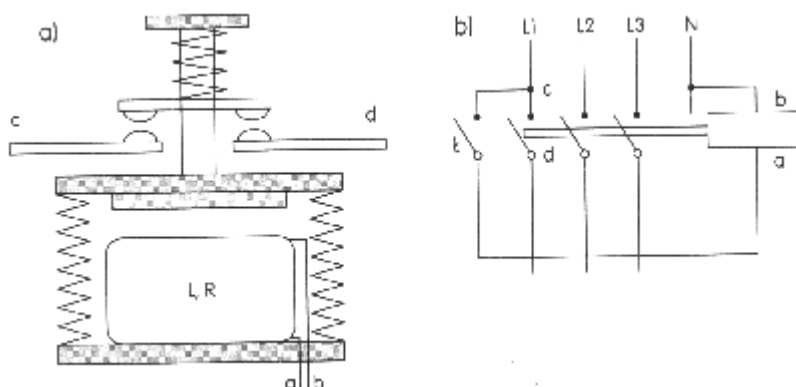
Styczniki pod względem zdolności łączenia zaliczają się do rozłączników. Wyposażone w przekaźniki termobimetalowe mogą samoczynnie przerywać obwód przy przeciążeniu. W obwodach ze stycznikami prądy zwarciove są przerywane przez odpowiednio dobrane bezpieczniki topikowe lub wyłączniki samoczynne. Jeśli cewka elektromagnesu zasilana jest napięciem obwodu głównego stycznika, to cewka spełnia rolę zabezpieczenia podnapięciowego. Gdy napięcie w sieci zaniknie to wtedy obwód zostanie przerwany. Ze zwoją elektromagnesu są sprzęgnięte styki pomocnicze tworzące zestyki zwiernie i rozwiernie, które mogą być wykorzystane do zasilania stycznika w układzie z samopodtrzymaniem, w obwodach cewek innych styczników jako zestyki uzależniające, w układach sygnalizacji, itp. Styki pozwalają przełączać większe prądy w warunkach silnego iskrzenia, ponieważ stosuje się komory gaszące łuk lub umieszcza się stycznik w oleju. W konstrukcji styczników stosuje się dodatkowe uzwojenia w cewce zapobiegające drganiom zwory przy przechodzeniu strumienia przez zero.

Bardzo często spotykany jest układ stycznika sterowanego dwoma przyciskami (załączającym i wyłączającym - rys. 27). Jest to tzw. układ z samopodtrzymaniem. Po zwolnieniu przycisku załączającego cewkę elektromagnesu elektromagnes nadal przytrzymuje zwoję ze stykami, gdyż cewka zasilana jest poprzez zestyk zwierny łącznika pomocniczego.



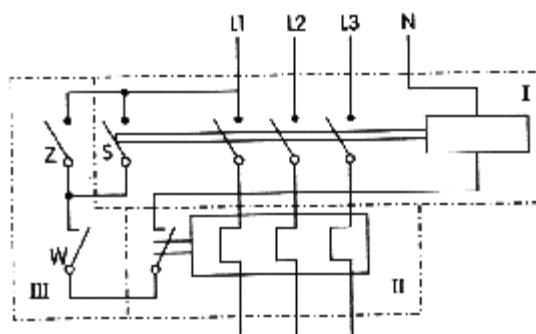
Rys. 27. Schemat połączeń stycznika w układzie z samopodtrzymaniem dla sterowania silnika klatkowego przyciskiem podwójnym: a) schemat ideowy; b) schemat rozwinięty (obwodowy)
Sk – cewka elektromagnesu, Sk1 – zestyk głównego toruprądowego stycznika,
Sk2 – zestaw pomocniczy zwierny, PcW – przycisk wyłączający, PcZ – przycisk załączający [6, s. 72]

Konstrukcja stycznika przedstawiona na rys. 28 zapewnia silny i równomierny docisk oraz pewne rozłączenie styków. Cewka jest dołączona między fazę i przewód zerowy poprzez łącznik jednobiegunowy \bar{L} stale zamknięty podczas pracy odbiornika.



Rys. 28. Stycznik: a) konstrukcja; b) sposób wykorzystania [7, s. 75]

Poniższy układ połączeń stycznika (rys. 29) ma inne cechy niż poprzedni stycznik z rys. 28. W obwodzie cewki znajduje się jego własny zestyk zwierny S, przycisk załączający Z i wyłączający W. Dodatkowo w obwodzie znajduje się przekaźnik termobimetalowy chroniący odbiornik przed przeciążeniem. Jest on uruchamiany energią cieplną elementów grzejnych włączonych w obwód główny zestyków stycznika. Wyłączony przekaźnik termobimetalowy może ryglować mechanicznie położenie zestyków, uniemożliwiając ich zwarcie po wystygnięciu. Dlatego wyposażony jest on we własny przycisk wyłączający W odryglowujący styki.



Rys. 29. Stycznik w obwodzie zasilania: I – stycznik, II – przekaźnik termobimetalowy, III - przyciski [7, s. 75]

Styczniki prądu przemiennego dla mniejszych wartości prądu są wykonywane jako dwuprzzerwowe (z dwoma zestykami) w każdym biegunie. Styczniki prądu stałego mają najczęściej komory magnetowdmuchowe z elektromagnesem wytwarzającym pole magnetyczne, który włączony jest szeregowo w tor prądowy łącznika.

Produkowane są różne rodzaje styczników, np.: olejowe, suche, nisko- i wysokonapięciowe.

4.3.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie rozróżniamy łączniki?
2. Co to jest zestyk?
3. Od czego zależy budowa zestyków?
4. W jaki sposób może dojść do uszkodzenia styków przez ich stopienie?
5. Jaka jest zasada działania styków rtęciowych?
6. W jaki sposób ogranicza się iskrzenie pomiędzy stykami?
7. Jakie łączniki nazywamy zwrotnymi?
8. Jaka jest zasada działania przekaźników ze stykami: zwiernymi, rozwiernymi i przełącznymi?
9. Jak jest zbudowany przekaźnik kontaktronowy?
10. Jaka jest zasada działania przekaźnika MT-12?
11. Jak samoczynnie stycznik może przerwać obwód przy przeciążeniu?
12. Jaka jest zasada działania stycznika w układzie z samopodtrzymaniem?

4.3.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Badanie przekaźników i styczników. Celem ćwiczenia jest poznanie budowy przekaźników i styczników.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się wiadomościami dotyczącymi przekaźników i styczników,
- 2) zorganizować stanowisko do badań,

- 3) zapoznać się z budową mechaniczną badanych elementów,
- 4) wykonać odpowiednie szkice,
- 5) wypisać z katalogu podstawowe dane użytkowe badanych przekaźników i styczników,
- 6) zbadać i narysować charakterystykę wskazanego przekaźnika,
- 7) zaproponować schemat układu do pomiaru czasów załączania i wyłączenia przekaźnika (wykorzystać oscyloskop),
- 8) wykonać pomiary wybranego przekaźnika,
- 9) dobrać na podstawie danych katalogowych, do układu podanego przez nauczyciela, przekaźnik,
- 10) podać możliwe schematy zasilania odbiornika z wykorzystaniem posiadanego stycznika,
- 11) zrealizować jeden z podanych schematów,
- 12) wykonać dokumentację z przebiegu ćwiczenia,
- 13) zaprezentować wykonane ćwiczenie,
- 14) dokonać oceny ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zestawy przekaźników i styczników (również uszkodzonych),
- katalogi elementów,
- układy zasilania,
- oscyloskop dwukanałowy,
- miernik uniwersalny,
- papier,
- przybory do pisania,
- literatura z rozdziału 6.

4.3.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:	Tak	Nie
1) na podstawie analizy konstrukcji przekaźników i styczników wskazać właściwe układy ich zastosowania?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) posługując się katalogiem wypisać podstawowe dane użytkowe przekaźników i styczników?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) wykonać pomiary czasów załączania i wyłączenia przekaźnika?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.4. Siłowniki

4.4.1. Materiał nauczania

Siłowniki pneumatyczne

Siłowniki są to elementy napędowe służące w układach regulacji automatycznej do nastawiania położenia zaworów i przepustnic. Stosowane są siłowniki pneumatyczne, hydrauliczne, elektryczne oraz elektrohydrauliczne i elektropneumatyczne. Do najbardziej rozpowszechnionych, szczególnie w przemyśle chemicznym i spożywczym, należą siłowniki pneumatyczne.

Siłowniki pneumatyczne dzielimy na trzy zasadnicze grupy:

- siłowniki membranowe,
- siłowniki tłokowe,
- siłowniki wirnikowe (silniki pneumatyczne).

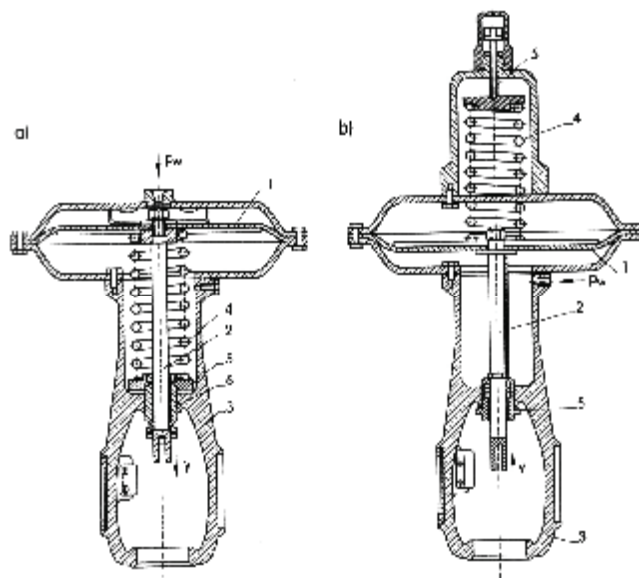
Siłowniki membranowe i tłokowe stosowane są jako:

- siłowniki ze sprężyną zwrotną,
- siłowniki bezsprężynowe,
- nastawniki pozycyjne.

Siłowniki membranowe występują ponadto w dwóch typach rozwiązań konstrukcyjnych, tj. jako:

- siłowniki o działaniu prostym (rys. 30 a),
- siłowniki o działaniu odwrotnym (rys. 30 b).

W siłowniku membranowym ze sprężyną zwrotną o działaniu prostym (rys. 30 a) ciśnienie sterujące, doprowadzone nad górną pokrywę siłownika, działa na elastyczną membranę, powodując jej ugięcie. Membrana (za pośrednictwem sztywnego talerza) naciska na sprężynę.

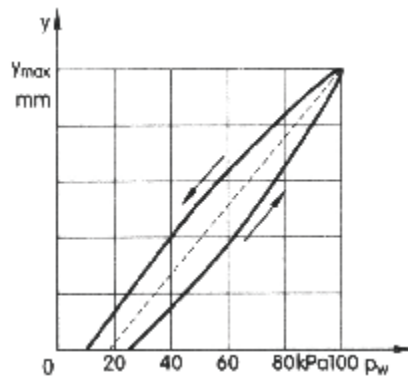


Rys. 30. Siłowniki pneumatyczne membranowe ze sprężyną: a) prosty; b) odwrócony 1 – membrana, 2 – trzpień, 3 – obudowa, 4 – sprężyna, 5 – nakrętka (rys. a) lub śruba (rys. b), 6 – śruba regulacyjna [15, s. 87]

Ruch membrany jest przenoszony za pośrednictwem trzpienia na zewnątrz obudowy siłownika. Sprężyna służy do nastawienia początkowego punktu pracy siłownika. Do regulacji wstępnego naciągu sprężyny służy wkręcana w obudowę śruba regulacyjna. Siłownik o działaniu odwrotnym (rys. 30 b) różni się umieszczeniem sprężyny zwrotnej. Jest ona umieszczona nad membraną, a ciśnienie sterujące podawane jest pod membranę. W tym wypadku ciśnienie

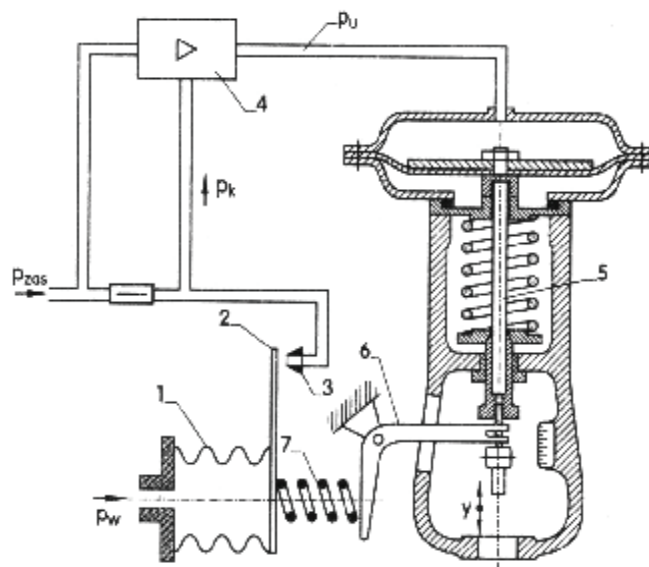
sterujące powoduje, nie wysuwanie trzpienia jak w poprzednim przypadku, ale wciąganie trzpienia. W przypadku zaniku ciśnienia sterującego trzpień siłownika o działaniu prostym przyjmie położenie krańcowe górne, a trzpień siłownika o działaniu odwrotnym – położenie krańcowe dolne. Oznacza to, że zależnie od zastosowanego zaworu, zawór po zaniku ciśnienia sterującego zostanie otwarty lub zamknięty.

Zaletą siłowników membranowych jest ich prosta budowa, duża niezawodność działania oraz bezpieczeństwo pracy w atmosferze wybuchowej. Wadą siłowników membranowych jest ograniczony skok trzpienia (np. $12,7 \div 101,6$ mm dla siłowników produkcji Zakładów Automatyki POLNA w Przemyśle) oraz występowanie histerezy w charakterystyce statycznej siłownika (rys.31), powodującej niedokładne ustawienie się grzybka zaworu. Występowanie histerezy w charakterystyce statycznej jest wynikiem tarcia suchego trzpienia w prowadnicy oraz w dławicy zaworu.



Rys. 31. Charakterystyka statyczna siłownika pneumatycznego [15, s. 89]

Poprawę właściwości statycznych i dynamicznych pneumatycznych siłowników membranowych można uzyskać, stosując ustawnik pozycyjny (rys. 32).

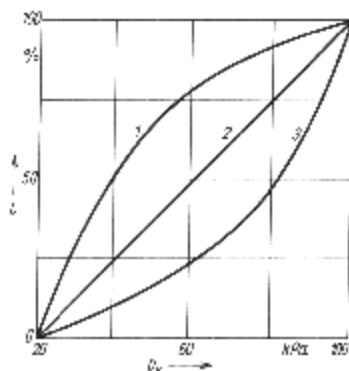


Rys. 32. Siłownik membranowy z ustawnikiem pozycyjnym [15, s. 90]

W siłowniku z ustawnikiem pozycyjnym, zmiana ciśnienia sterującego p_u powoduje zmianę ugięcia mieszka sprężystego oraz zmianę odległości między dyszą a przysłoną., a to wywołuje

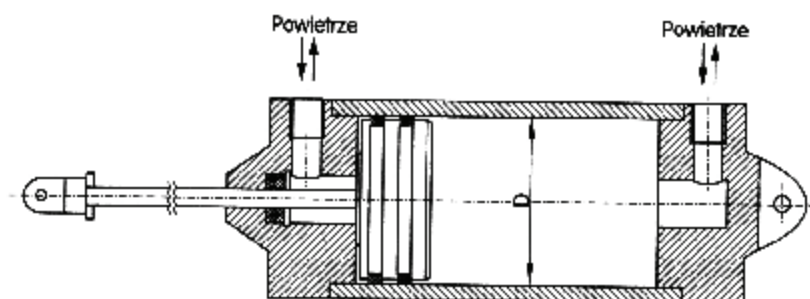
zmianę ciśnienia kaskadowego p_k . Wzmocnione we wzmacniaczu mocy ciśnienie kaskadowe działa na membranę, powodując przesunięcie trzpienia. Z trzpieniem połączona jest dźwignia naciskająca na sprężynę, przez którą zrealizowane jest sprzężenie zwrotne, zapewniające dużą dokładność ustawienia trzpienia siłownika.

Zastosowanie nastawnika daje kilkunastokrotne zmniejszenie histerezy (rys. 33) i wpływu sił obciążenia na położenie trzpienia. Dodatkowo zwiększa szybkość działania siłownika i umożliwia podwyższenie zakresu ciśnienia działającego na membranę. Dzięki nastawnikowi można usunąć z siłownika sprężynę. Zaletą takich bezsprężynowych siłowników jest wzrost nawet pięciokrotny siły użytecznej, w porównaniu do siłowników sprężynowych; wadą - przyjmowanie nieokreślonego położenia w przypadku awarii zasilania.



Rys. 33. Charakterystyka statyczna siłownika pneumatycznego z nastawnikiem: 1 – przyspieszona, 2 – liniowa, 3 – opóźniona [9, s. 144]

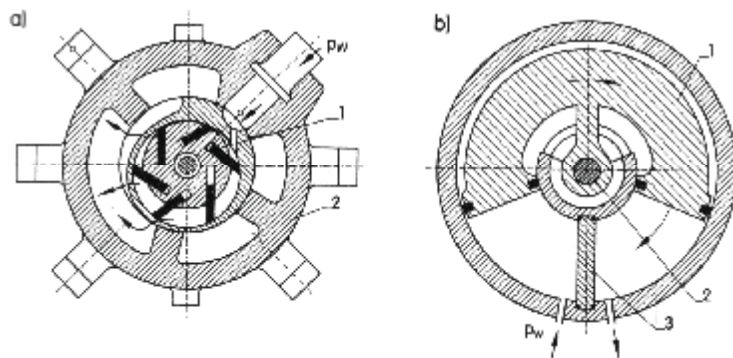
Dla większych przesunięć stosowane są siłowniki tłokowe. Rozróżnia się siłowniki tłokowe jednostronnego działania (ze sprężyną powrotną) i dwustronnego działania (rys. 34). Z reguły zasilane są podwyższonym ciśnieniem – zwykle 600 kPa. Siłowniki tłokowe, szczególnie dwustronnego działania, wyposażone w nastawniki pozycyjne.



Rys. 34. Siłownik pneumatyczny tłokowy dwustronnego działania [15, s. 88]

Siłowniki pneumatyczne wirnikowe (rotacyjne – rys. 35 a) stosuje się w przypadku konieczności uzyskania dużej mocy (do 10 kW) i przesunięć. W silniku tym łopatkowy wirnik jest osadzony mimośrodowo. Umieszczone w wirniku łopatki, pod wpływem działania siły odśrodkowej wysuwają się, oddzielając ściśle poszczególne komory. Wpływający pod ciśnieniem czynnik roboczy wymusza ruch obrotowy wirnika.

Ruch obrotowy można także uzyskać za pomocą siłowników z wahadłowo-obrotowym ruchem tłoczyska (rys. 35 b) napędzanego przez tłok torusowy.

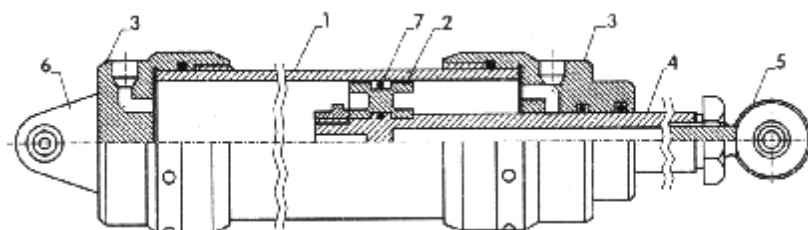


Rys. 35. Siłowniki pneumatyczne obrotowe: a) wirnikowy: 1 – wirnik, 2 – obudowa; b) wahadłowo-obrotowy: 1 – tłok torusowy, 2 – wał napędowy, 3 – obudowa z przegrodą [15, s. 89]

Siłowniki hydrauliczne

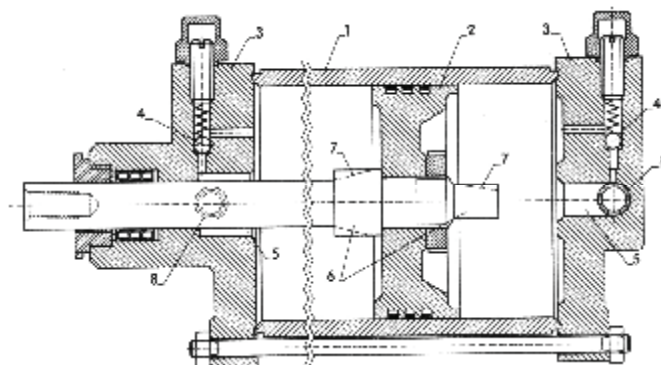
Siłowniki hydrauliczne (silniki) są wykonywane najczęściej jako tłokowe i obrotowe. Silniki obrotowe stosuje się w napędach obrabiarek. W automatyce przemysłowej wykorzystuje się głównie silniki tłokowe budowane w dwóch odmianach: jako siłowniki proste i korbowe.

Siłownik hydrauliczny tłokowy prosty (rys. 36) jest siłownikiem działania dwustronnego.



Rys. 36. Siłownik hydrauliczny tłokowy dwustronnego działania: 1 – cylinder, 2 – tłok, 3 – głowice, 4 – tłocznisko, 5 – zaczep nastawny, 6 – ucho, 7 – gumowe pierścienie uszczelniające [15, s. 91]

W celu spowolnienia ruchu tłoka w pobliżu jego skrajnych położeń, stosuje się tłumiki krańcowe (amortyzatory – rys. 37).

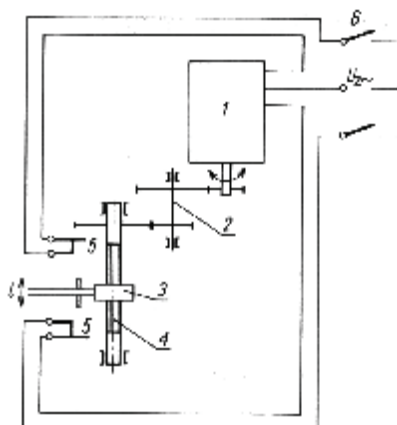


Rys. 37. Siłownik hydrauliczny tłokowy dwustronnego działania z tłumikami krańcowymi ruchu tłoka: 1 – cylinder, 2 – tłok, 3 – głowica, 4 – zawory obejściowe, 5 – otwory amortyzacyjne, 6 – czopy cylindryczne z kanalikami 7, 8 – przewód odpływowy [15, s. 91]

Siłowniki hydrauliczne pracują przy ciśnieniu w granicach 600 ... 8000 kPa. Siły uzyskiwane na tłoczysku osiągają wartości rzędu kilkudziesięciu tysięcy niutonów. Siłowniki hydrauliczne są używane przede wszystkim tam, gdzie są potrzebne duże siły, a ruch nie może być za wolny, np. do przestawiania sterów dużych samolotów, poruszania maszyn budowlanych, do przestawiania zaworów dławiących dopływ pary do turbin. Siłowniki hydrauliczne konkurują z silnikami elektrycznymi, o podobnej mocy gabarytami. W porównaniu z nimi są mniejsze i lżejsze.

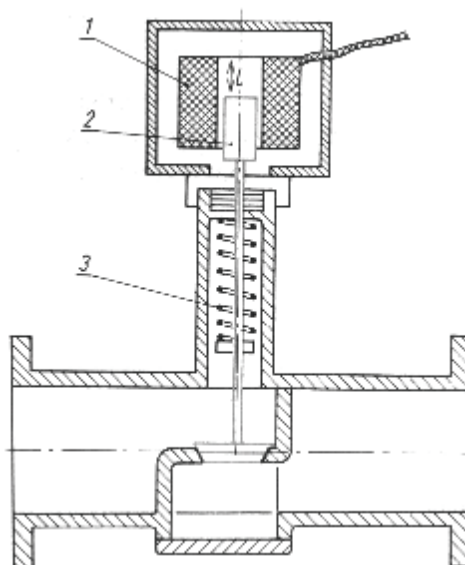
Siłowniki elektryczne

Siłowniki elektryczne wykonuje się w dwóch odmianach: silnikowe i elektromagnetyczne. Elementem napędowym w siłowniku elektrycznym silnikowym (rys. 38) jest wirujący silnik elektryczny, najczęściej silnik indukcyjny dwufazowy (przy mocach rzędu kilkudziesięciu watów) lub trójfazowy (przy mocach rzędu kilkuset watów). Dla zmniejszenia prędkości kątowej i zwiększenia momentu wału wyjściowego stosuje się przekładnie mechaniczne. Dla celów sterowania w układzie otwartym stosuje się przekładnie o niewielkim przełożeniu, natomiast do celów regulacji – o dużym przełożeniu, nawet do kilku tysięcy. Siłowniki elektryczne silnikowe mogą być wykonane jako korbowe lub liniowe. Silniki w siłowniku pracują systemem załączony-wyłączony. Kierunek ruchu zależy od tego, która z dwóch par styków służących do załączania silnika zostanie zwarta. Prędkość kątowa jest zawsze taka sama. Korba lub trzpień poruszają się ze stałą prędkością tak długo aż silnik zostanie wyłączony. Siłowniki elektryczne są wyposażone w wyłączniki krańcowe do wyłączenia silnika zanim zostanie on zahamowany (zabronione jest pozostawienie silnika pod napięciem znamionowym w stanie zahamowanym) oraz urządzenia do sygnalizacji położenia (najczęściej są to potencjometry).



Rys. 38. Siłownik elektryczny silnikowy: 1 – silnik, 2 – przekładnia zębata, 3 – nakrętka, 4 – śruba, 5 – wyłącznik krańcowy, 6 – styki przekaźników załączających silnik [9, s. 149]

Siłowniki elektromagnetyczne (rys. 39) stosuje się do sterowania zaworów „otwarty – zamknięty” o niewielkich średnicach nominalnych, szczególnie w napędach zaworów odcinających. przepływ prądu przez uzwojenie elektromagnesu powoduje powstanie siły wciągającej rdzeń do góry. Ruch ten powoduje całkowite otwarcie zaworu. Gdy zostanie wyłączony prąd zasilający to sprężyna zamknie zawór. Spotyka się konstrukcje odwrotne tzn., że załączenie elektromagnesu spowoduje zamknięcie zaworu, a wyłączenie – otwarcie.



Rys. 39. Siłownik elektromagnetyczny: 1 – uzwojenie, 2 – rdzeń, 3 – sprężyna zwrotna [9, s. 149]

4.4.2. Pytania sprawdzające

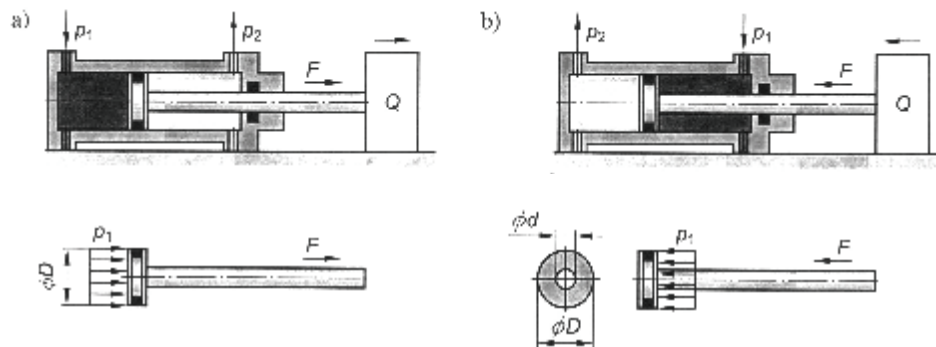
Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Do czego służą siłowniki w układach regulacji automatycznej?
2. Jaka jest zasada działania siłownika pneumatycznego membranowego ze sprężyną prostego?
3. Jakie zalety i wady mają siłowniki membranowe?
4. W jaki sposób uzyskuje się poprawę właściwości statycznych i dynamicznych pneumatycznych siłowników membranowych?
5. Po co stosuje się nastawnik pozycyjny w siłownikach membranowych?
6. Kiedy stosuje się siłowniki pneumatyczne tłokowe a kiedy wirnikowe?
7. W jakim celu stosuje się tłumiki krańcowe w siłownikach hydraulicznych tłokowych?
8. Gdzie znalazły zastosowanie i dlaczego siłowniki hydrauliczne?
9. Jaka jest zasada działania siłownika elektrycznego silnikowego?
10. Jak działa siłownik elektromagnetyczny?

4.4.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Na podstawie zaznaczonych na rysunku parametrów oblicz siły: ciągnącą i pchającą w siłowniku. Porównaj, która siła jest większa i wyjaśnij dlaczego. Przeprowadź podobne obliczenia dla siłownika z tłoczyskiem dwustronnym. Rozważ sytuację, gdy współczynnik tarcia $\eta = 0$ oraz gdy $\eta \neq 0$. [8, s. 27]



Rysunek do ćwiczenia 1[5, s. 76]

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z materiałem teoretycznym dotyczącym siłowników,
- 2) przeanalizować różnice w powierzchniach tłoczków,
- 3) wykonać obliczenia sił; ciągnącej i pchającej,
- 4) porównać otrzymane wyniki i wyjaśnić różnice,
- 5) przeprowadzić obliczenia dla siłownika z tłoczyskiem podwójnym,
- 6) wyjaśnić wpływ tarcia na otrzymane wyniki,
- 7) zapisać wnioski,
- 8) przedstawić wykonane ćwiczenie,
- 9) dokonać oceny pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura z rozdziału 6 poradnika,
- zeszyt, przybory do pisania,
- kalkulator.

Ćwiczenie 2

Badanie siłownika elektrycznego. Celem ćwiczenia jest poznanie budowy i właściwości użytkowych przemysłowego siłownika elektrycznego.[7, s. 197]

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z materiałem teoretycznym dotyczącym siłowników elektrycznych,
- 2) zorganizować stanowisko do badania siłownika,
- 3) zapoznać się z siłownikiem i sprzętem pomiarowym,
- 4) zapoznać się z konstrukcją siłownika,
- 5) przepisać z tabliczki znamionowej lub z katalogu dane siłownika,
- 6) załączyć zasilanie i zaobserwować działanie siłownika przy sterowaniu ręcznym elektrycznym,
- 7) wyznaczyć czas przejścia między położeniami krańcowymi,
- 8) zdjąć pokrywę i zaobserwować współdziałanie elementów siłownika,
- 9) zaobserwować kinematykę układu od osi silnika do osi wyjściowej siłownika,
- 10) zaobserwować działanie napędu ręcznego,
- 11) wyznaczyć wartość prądu w silniku w obszarze działania ogranicznika siły,
- 12) narysować schemat układu zasilania silnika ze stycznikami i wyłącznikami krańcowymi,

- 13) wykonać dokumentację z przeprowadzonego badania siłownika,
- 14) zaprezentować wykonaną pracę,
- 15) dokonać oceny ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- siłownik elektryczny przemysłowy,
- mierniki (omomierz, woltomierz i amperomierz prądu przemiennego),
- katalogi siłowników,
- instrukcje, dokumentacja siłownika,
- układ ręcznego sterowania siłownikiem,
- stoper,
- narzędzia (śrubokręty, klucze, itp.),
- zeszyt, przybory do pisania,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika.

4.4.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:	Tak	Nie
1) wyjaśnić zasadę działania siłowników dwustronnego działania z tłoczyskiem jednostronnym?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) obliczyć siły: ciągnącą i pchającą w siłowniku?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) sterować ręcznie siłownikiem przemysłowym?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) wyjaśnić kinematykę układu od osi silnika do osi wyjściowej siłownika?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) dobrać siłownik z katalogu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.5. Bezstykowe elementy załączające i sterujące mocą

4.5.1. Materiał nauczania

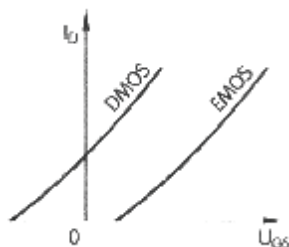
Półprzewodnikowe elementy załączające

W układach elektrycznych w zakresie małych i średnich wartości napięć i prądów funkcje przełączające pełnią elementy półprzewodnikowe, zwane popularnie kluczami. Pracują w dwóch stanach: dużej rezystancji (element zablokowany – klucz rozarty) i małej rezystancji (element przewodzi – klucz zwarty). Funkcje przełączników mogą pełnić tranzystory bipolarne, unipolarne, tyrystory. Przełączniki półprzewodnikowe używa się do budowy multiplekserów, demultiplekserów, układów próbkująco-pamiętających, przetworników a/c i c/a, w układach sterowania silników.

Przełączniki z tranzystorami polowymi

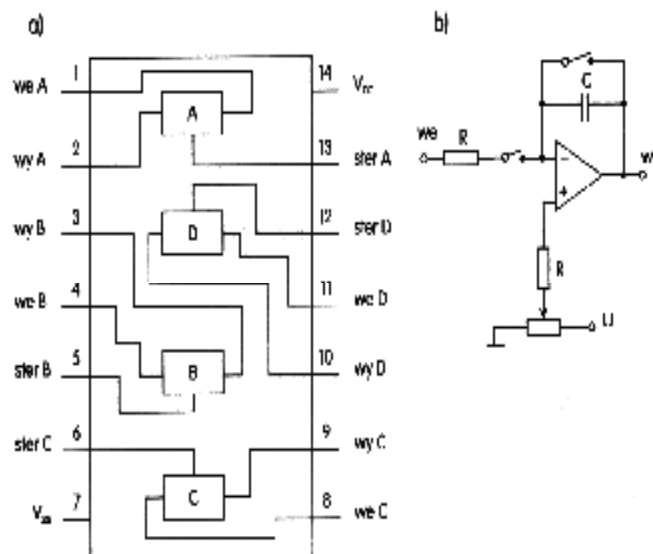
Elementami przełączników scalonych mogą być tranzystory polowe FET, w których sterowanie prądem płynącym przez tranzystor odbywa się za pomocą oddziaływania pola elektrycznego na półprzewodnik. Tranzystory polowe dzielimy na złączowe (PNFET) i z izolowaną bramką (MOS). W tranzystorach z izolowaną bramką występuje w pobliżu warstwy izolacyjnej kanał przewodzący między źródłem a drenem. Tranzystory MOS dzieli się na dwie grupy (rys.40):

- z kanałem zubożanym (DMOS), jeśli kanał między drenem i źródłem istnieje bez polaryzacji bramki – żeby kanał zamknąć należy doprowadzić do elektrod napięcie odcięcia,
- z kanałem wzbogacanym (EMOS), jeśli w zwykłych warunkach kanał nie istnieje – pojawia się po spolaryzowaniu bramki odpowiednim napięciem.



Rys. 40. Charakterystyki tranzystorów MOS jako elementów przełączających [7, s. 78]

Dzięki możliwości sterowania kanałem dwuwartościowo tak, aby punkt pracy znajdował się raz po jednej raz po drugiej stronie punktu odcięcia prądu na charakterystyce, możemy wykorzystać tranzystor MOS jako klucz przełączający. Klucz ten charakteryzuje się małą rezystancją zastępczą w stanie przewodzenia i bardzo dużą w stanie odcięcia. W układzie przełączającym elementy MOS zachowują się jak sterowane, dwustawne rezystory. Układy z elementami MOS szczególnie nadają się do scalania (przykład – układ scalony 4066 zawierający w jednej obudowie cztery bilateralne przełączniki analogowe sterowane indywidualnie cyfrowo – rys. 41).

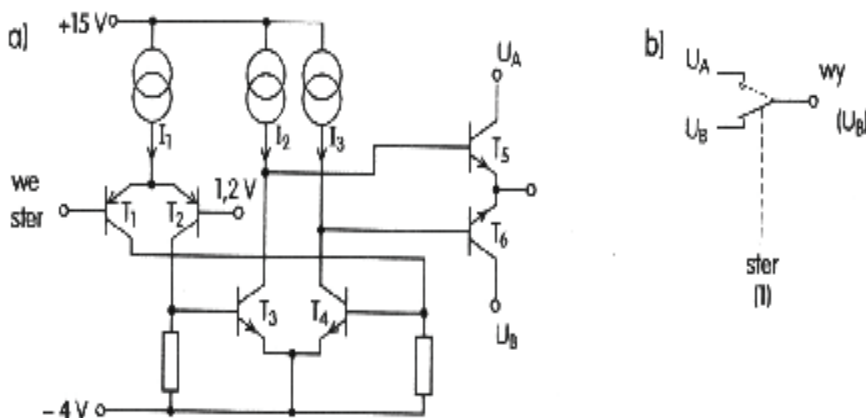


Rys. 41. Poczwórny przełącznik 4066: a) wersja scalona; b) przykładowy sposób jego użycia [7, s. 79]

Przełączniki z tranzystorami bipolarnymi

Przełączniki z tranzystorami bipolarnymi mogą być zarówno w wersji monolitycznej, jak i scalonej. Przedstawiony na rys. 42 przełącznik bipolarny jest częścią monolitycznego poczwórnego przełącznika AD555, ze stykami przełącznymi, sterowanego sygnałem TTL.

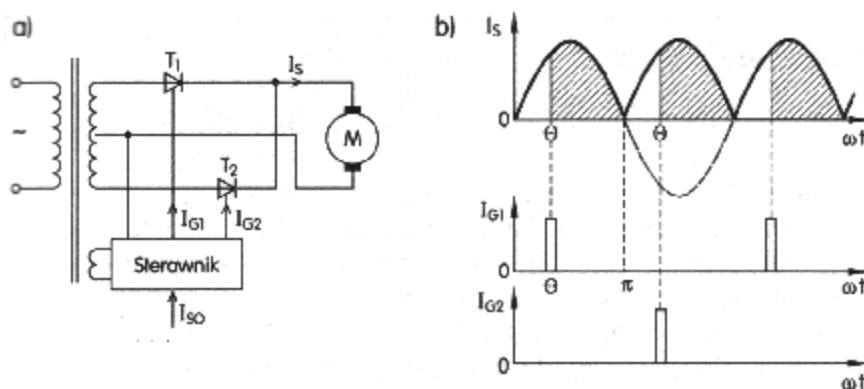
Para tranzystorów przełączających T_5 i T_6 może przewodzić prąd w obydwu kierunkach. Jest ona dołączona do napięć odniesienia U_B i U_A nie przekraczających $\pm 4V$ względem masy. Układ sterujący tworzą pary tranzystorów T_1, T_2 i T_3, T_4 ze źródłami prądowymi o wydajności ok. $300 \mu A$. Napięcie $1,2 V$ na bazie tranzystora T_2 pochodzi z wewnętrznego dzielnika. Jeśli na wejściu będzie stan 1, to tranzystor T_1 zostanie odcięty, a tranzystor T_2 i wysterowany przez niego T_3 będą przewodziły, spowoduje to wyłączenie tranzystora T_5 i nasycenie prądem I_3 tranzystora T_6 , który przełącza napięcie U_2 na wyjście. Jest to przełącznik małej mocy. Przy sterowaniu silników należałoby zastosować tranzystory bipolarne mocy.



Rys. 42. Przełącznik bipolarny: a) schemat; b) oznaczenie [7, s. 80]

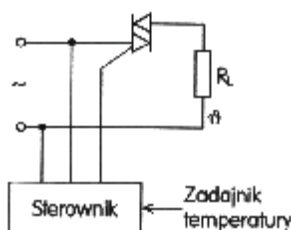
Przełączniki tyrystorowe

Tyrystory stosuje się w układach zasilania odbiorników prądu stałego (np. silników) ze źródła napięcia przemiennego kiedy wymagane jest sterowanie wartością skuteczną prądu. Takie sterowanie przedstawia rys. 43. Sterownik generuje impulsy I_{G1}, I_{G2} załączające tyrystory, przesunięte w fazie o kąt Θ ($0 \leq \Theta \leq \pi$) względem napięcia zasilającego.



Rys. 43. Wykorzystanie tyrystorów; a) schemat; b) przebiegi sygnałów [7, s. 83]

Tyrystor dwukierunkowy – triak (rys. 44) może być wykorzystany do zasilania ze źródła napięcia przemiennego odbiorników, takich jak urządzenia grzejne i oświetleniowe, które nie wymagają prądu jednokierunkowego, tylko sterowanie jego wartością skuteczną.



Rys. 44. Sposób wykorzystania triaka [7, s. 83]

Wzmacniacze mocy tranzystorowe

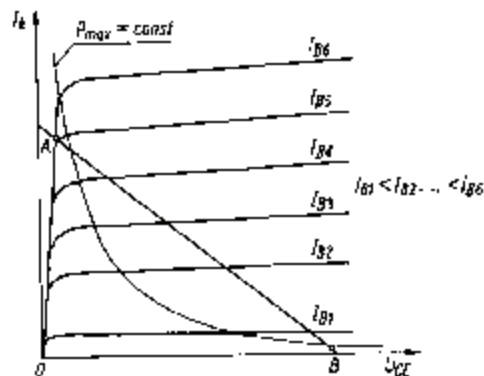
W układach automatyki spotyka się cztery zasadnicze grupy wzmacniaczy elektrycznych: tyrystorowe, tranzystorowe, magnetyczne i elektromaszynowe.

Wzmacniacze tranzystorowe są obecnie najbardziej rozpowszechnionym rodzajem wzmacniaczy prądu stałego małej i średniej mocy. Zalety wzmacniaczy to:

- możliwość uzyskania dużego wzmocnienia,
- małe stałe czasowe,
- małe wymiary,
- duża sprawność,
- łatwość formowania pożądanej charakterystyki.

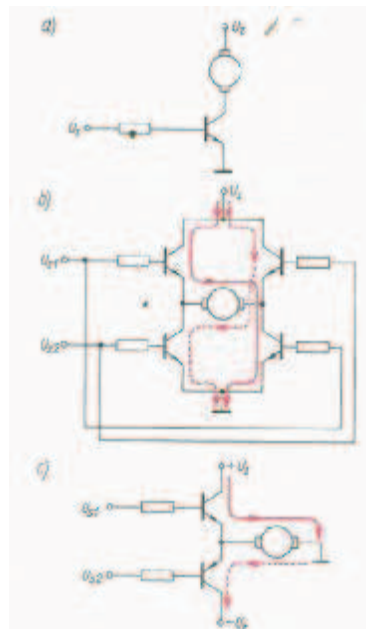
Stosowane są dwa typy wzmacniaczy tranzystorowych: wzmacniacze liniowe i wzmacniacze kluczowane. Wzmacniacze liniowe (ciągłe) stosuje się do sterowania silnikami o mocach do kilkudziesięciu watów (ograniczenie wynika z dopuszczalnej wartości mocy wydzielanej na tranzystorach). Wzmacniacze kluczowane mają dużo większą sprawność od wzmacniaczy liniowych, a ponadto mniejsza jest moc tracona w tych wzmacniaczach. Dlatego mogą być stosowane do sterowania silników o dużych mocach. We wzmacniaczu liniowym punkt pracy tranzystora może przyjmować dowolne położenie na charakterystyce obciążenia (rys. 45). Aby nie przekroczyć dopuszczalnej wartości strat, należy znacznie obniżyć napięcie zasilające, czyli ograniczyć moc dostarczaną do silnika. We wzmacniaczu kluczowanym tak dobiera się sygnał sterujący tranzystorem, że tranzystor znajduje się albo w stanie głębokiego

nasycenia (punkt A na charakterystyce – rys. 45), albo w stanie nieprzewodzenia (punkt B na charakterystyce). W czasie przełączania tranzystora następuje przejście wzdłuż charakterystyki obciążenia - przez obszar zabroniony - z punktu A do punktu B, lub odwrotnie. Przejście to musi być bardzo szybkie. W związku z tym sygnał sterujący prostokątny musi być o dużej stromości zboczny i odpowiedniej mocy a tranzystory o krótkim czasie przełączania.



Rys. 45. Charakterystyki tranzystora, krzywa mocy maksymalnej, charakterystyka obciążenia U_{CE} – napięcie kolektor-emiter tranzystora, I_C – prąd kolektora, I_B – prąd bazy [9, s. 294]

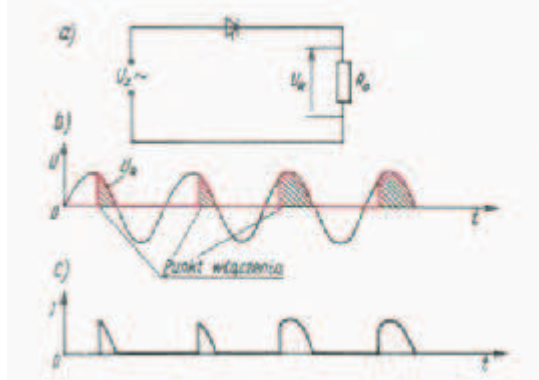
Ostatni stopień wzmacniacza mocy, zarówno we wzmacniaczach liniowych jak i kluczowanych może pracować w jednym z układów przedstawionych na rys. 46. Układ przedstawiony na rys. 46 a jest stosowany tylko w jednokierunkowych układach sterowania prędkością. W nawrotnych układach regulacji prędkości oraz w serwomechanizmach stosuje się układy przedstawione na rys. 46 b i c. Są to odpowiednio: układ mostkowy, nazywany układem typu H oraz układ typu T. W układzie typu H kłopotliwa jest realizacja prądowych sprzężeń zwrotnych (silnik jest włączony między dwa punkty o zmieniających się potencjałach). Natomiast w układzie typu T możliwa jest prosta realizacja prądowych i napięciowych sprzężeń zwrotnych.



Rys. 46. Trzy warianty końcowego stopnia tranzystorowego wzmacniacza mocy: a) układ stosowany w jednokierunkowych układach sterowania prędkości; b) układ typu H; c) układ typu T [9, s. 295]

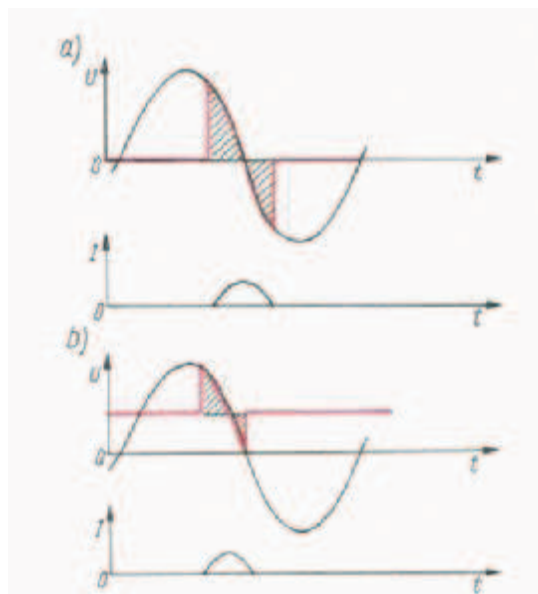
Wzmacniacze tyrystorowe mocy

W jednofazowym układzie tyrystorowym zasilanym napięciem przemiennym (rys. 47) z obciążeniem o charakterze rezystancyjnym, sterowanie wartością średnią mocy oddawanej do obciążenia odbywa się na drogą zmiany chwili włączenia tyrystora. tyrystor od chwili włączenia jest w stanie przewodzenia, aż do chwili gdy prąd płynący przez niego zmaleje do wartości prądu wyłączenia. Dla obciążenia czysto rezystancyjnego, wyłączenie tyrystora nastąpi gdy napięcie zasilające obniży się do zera. Im dłużej tyrystor przewodzi (mniejszy jest kąt załączenia tyrystora) tym dłuższy otrzymamy impuls prądu w obciążeniu i tym większa wydzieli się w nim moc.



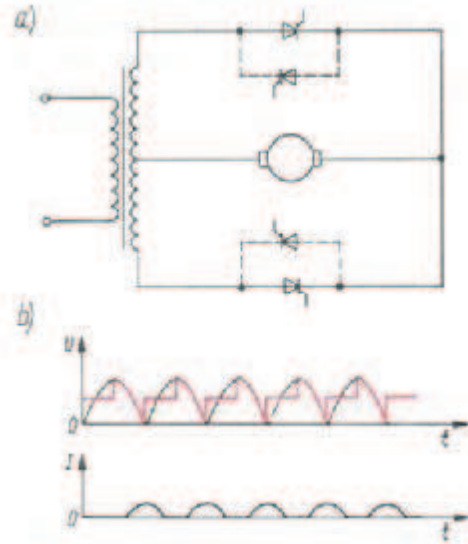
Rys. 47. Jednofazowy układ tyrystorowy z obciążeniem rezystancyjnym: a) schemat układu; b) przebieg napięcia; c) przebieg prądu [9, s. 299]

Dla obciążenia indukcyjnego (rys. 48 a) tyrystor nie zostaje wyłączony w chwili zakończenia dodatniego półokresu napięcia zasilającego. Tyrystor zostaje wyłączony z opóźnieniem, ale długość impulsu prądowego jest regulowana kątem załączenia tyrystora. Jeżeli obciążeniem jest silnik prądu stałego (rys. 48 c) reprezentujący sobą obciążenie szeregowe rezystancyjno-indukcyjne ze źródłem siły elektromotorycznej., to zmieniając kąt załączenia tyrystora możemy regulować wartość średnią prądu, a więc wartość średnią momentu napędowego silnika. Układy jednofazowe rzadko są stosowane ze względu na zbyt duże tętnienia prądu wirnika.



Rys. 48. Przebiegi napięć i prądów w układach tyrystorowych: a) z obciążeniem indukcyjnym; b) w układzie sterowania silnikiem prądu stałego [9, s. 300]

Najczęściej stosuje się tyrystorowy układ dwufazowy sterowania silnikiem (rys. 49). Do sterowania silników dużych mocy stosuje się układy trójfazowe. Układy te pozwalają na regulację prędkości wirowania silnika, bez zmiany kierunku wirowania. Dla układów nawrotnego sterowania prędkością silników należy dołączyć równolegle do już pracujących tyrystorów, tyrystory o przeciwnej polaryzacji (na rys. 49 zaznaczono je linią przerywaną).

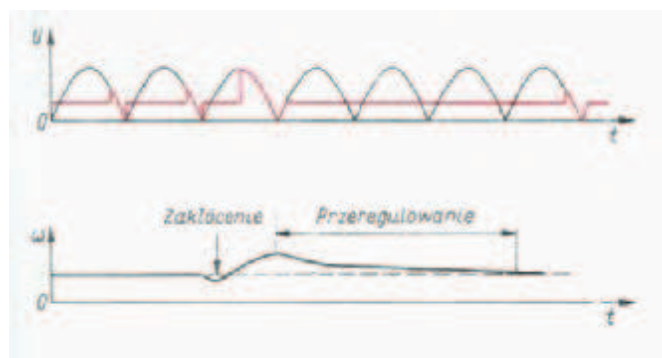


Rys. 49. Tyristorowy układ dwufazowy sterowania silnikiem: a) schemat układu; b) przebiegi napięć i prądów [9, s. 300]

Wzmacniacze tyrystorowe mają następujące zalety:

- dużą sprawność,
- duże wzmocnienie mocy,
- możliwość zasilania bezpośrednio napięciem przemiennym.

Wadą wzmacniaczy tyrystorowych zasilanych napięciem przemiennym jest wprowadzane przez nie opóźnienia, szczególnie istotne w układach serwomechanizmów (rys.50). Wynika ono z działania tyrystora, który może zostać wyłączony nie wcześniej (nawet w przypadku zmiany sygnału sterującego) niż sam się wyłączy na skutek zaniku prądu.



Rys. 50. Przebiegi regulacji zakłócenia prędkości w układzie ze wzmacniaczem tyrystorowym [9, s. 301]

4.5.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie elementy w układach elektrycznych w zakresie małych i średnich mocy pełnią funkcje przełączające?
2. Jakie elementy mogą pełnić funkcję przełączników półprzewodnikowych?
3. Dlaczego można wykorzystać tranzystor MOS jako klucz przełączający?
4. Jaka jest zasada działania bipolarnego przełącznika?
5. Do czego mogą być wykorzystane triaki?
6. Jakie poznałeś typy wzmacniaczy tranzystorowych mocy?
7. Dlaczego wzmacniacze kluczowane mają dużą sprawność?
8. Jakie układy końcowego stopnia tranzystorowego wzmacniacz mocy stosowane są w układach jednokierunkowych a jakie w układach nawrotnych?
9. W jaki sposób odbywa się sterowanie wartością średnią mocy oddawanej do obciążenia w jednofazowym układzie tyrystorowym?
10. Jak należy zmienić układ tyrystorowy dwufazowy sterowania silnika aby możliwa była regulacja w układzie nawrotnym?

4.5.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Poznanie działania bezstykowych elementów przełączających.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z materiałem dotyczącym bezstykowych elementów przełączających,
- 2) zorganizować stanowisko pracy,
- 3) wyszukać w katalogu dane użytkowe badanych elementów,
- 4) zanotować parametry badanych elementów,
- 5) zaproponować układ do sprawdzenia niektórych parametrów badanych elementów,
- 6) zapoznać się ze schematami i budową układów zasilania zawierających tyrystory i triaki,
- 7) zaobserwować na ekranie oscyloskopu przebiegi napięć w wybranych punktach układów zasilania,
- 8) narysować te przebiegi,
- 9) wyznaczyć charakterystykę sterowania jako zależność prądu w odbiorniku w funkcji położenia nastawnika kąta załączenia tyrystora,
- 10) porównać wyniki z danymi katalogowymi,
- 11) zaprezentować wynik swojej pracy,
- 12) ocenić ćwiczenie.

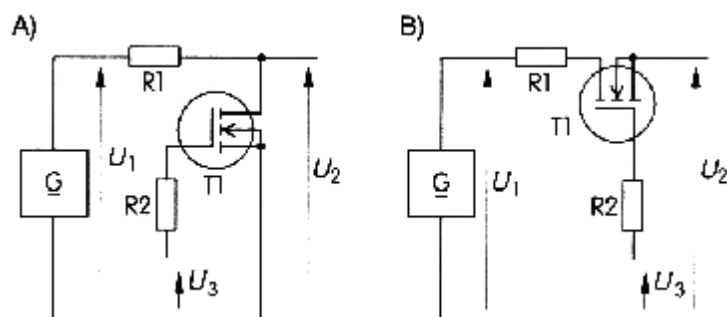
Wyposażenie stanowiska pracy:

- zestaw elementów przełączających,
- rezystory regulowane,
- generator,
- oscyloskop dwukanałowy,
- woltomierz cyfrowy,
- autotransformator,

- katalogi elementów,
- instrukcja obsługi oscyloskopu,
- przybory do pisania i rysowania, papier,
- literatura z rozdziału 6.

Ćwiczenie 2

Na rysunku przedstawione są schematy łączników elektronicznych z tranzystorami polowymi. Opisz zasadę działania układów.



Rysunek do ćwiczenia 2

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z materiałem dotyczącym zasady działania łączników elektronicznych,
- 2) zorganizować stanowisko pracy,
- 3) przeanalizować działanie przedstawionych układów,
- 4) opisać działanie układów,
- 5) zaprezentować efekty swojej pracy,
- 6) dokonać oceny ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zeszyt,
- przybory do pisania i rysowania,
- literatura z rozdziału 6.

4.5.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

- 1) odszukać w katalogu podstawowe dane użytkowe bezstykowych elementów przełączających?
- 2) podać parametry charakteryzujące stan dynamiczny tranzystora polowego?
- 3) omówić procesy załączania i wyłączania tranzystora bipolarnego?
- 4) wyjaśnić co to jest obszar bezpiecznej pracy tranzystora?
- 5) wyznaczyć napięcie progowe tyrystora?

Tak Nie

- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

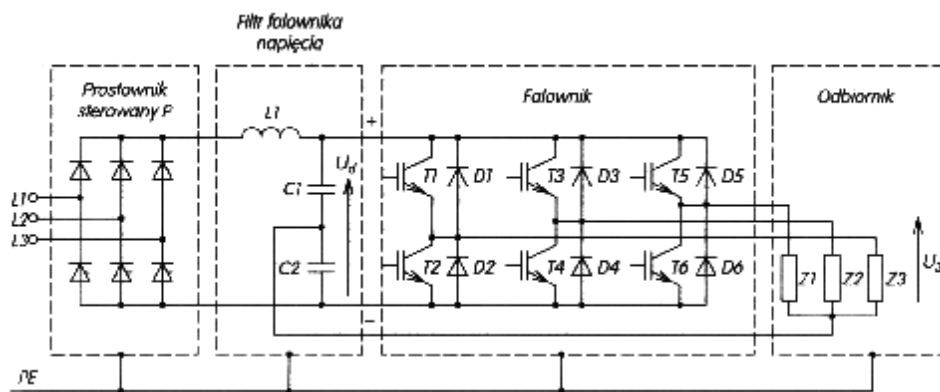
4.6. Przemienneiki częstotliwości

4.6.1. Materiał nauczania

Falowniki

Falowniki są to przekształtniki energoelektroniczne zmieniające energię prądu stałego na energię prądu przemiennego o stałych lub regulowanych parametrach (częstotliwości, napięcia i prądu). W zależności od sposobu zasilania falowników dzielimy je na falowniki napięcia i falowniki prądu. W zależności od liczby wyjść fazowych rozróżnia się falowniki jednofazowe lub trójfazowe.

Trójfazowy falownik napięcia (rys.51) zasilany jest ze źródła napięcia stałego (prostownika sterowalnego lub niesterowalnego przez filtr LC o dużej pojemności). Zawiera 6 modułów (M1 ÷ M2) z tranzystorami IGBT (T1 ÷ T2) bocznikowanymi diodami zwrotnymi (D1 ÷ D2). Każdy tranzystor w gałęzi falownika pracuje dwustanowo jako łącznik. Tranzystor jest załączany i wyłączany impulsem napięcia wyprowadzonym ze sterownika. Falownik ten przekształca wejściowe napięcie stałe na napięcie przemienne poprzez cykliczne przełączenie łączników (T1 ÷ T6) w gałęziach falownika.



Rys. 51. Uproszczony schemat ideowy obwodu głównego trójfazowego falownika napięcia [4, s. 96]

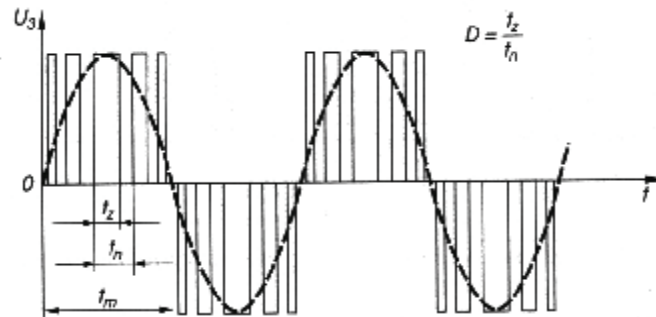
W wyniku przełączania tranzystora T1 w przedziale czasu $0 < t < t_m$ oraz tranzystora T2 w przedziale czasu $t_m < t < 2t_m$ otrzymuje się na wyjściu przebieg napięcia U_3 na impedancji Z3 w postaci bipolarnych impulsów (rys. 52). Przełączanie odbywa się ze stałą częstotliwością $f_r = 1/t_n$ przy zmiennym współczynniku wypełnienia $D = t_z/t_n$. Średnią wartość napięcia (pierwszą harmoniczną) na odbiorniku Z3 odwzorowuje przebieg sinusoidalny (na rys. 52 narysowany linią kreskową). Odbiornik Z3 rezystancyjno-indukcyjny nie pozwala na skokowy zanik prądu fazowego płynącego przez jego impedancję. Z chwilą wyłączenia tranzystora T1 prąd zaczyna płynąć przez diodę D2, aż do następnego załączenia tranzystora T1. Prąd płynący przez impedancję odbiornika Z3 jest sumą prądów płynących przez tranzystor T1 i diodę D2. Prądy płynące przez odbiorniki Z1 i Z2 są wynikiem przełączania pozostałych tranzystorów T3 ÷ T4.

W celu uzyskania na wyjściu falownika przebiegu napięcia o kształcie zbliżonym do sinusoidy stosuje się modulację szerokości impulsów (PWM). Falowniki, w których zastosowano modulację PWM są używane, gdy jest wymagany szeroki zakres regulacji częstotliwości.

Układy falowników napięcia są stosowane głównie w napędzie elektrycznym prądu przemiennego, elektrotermii oraz technice oświetleniowej.

Falownik prądu przekształca wejściowy prąd stały na prąd przemienny jedno- lub wielofazowy o regulowanej wartości i częstotliwości, podobnie jak falownik napięcia,

poprzez cykliczne przełączanie łączników w gałęziach. Podstawową dziedziną zastosowań falowników prądu jest napęd elektryczny prądu przemiennego, kompensatory mocy biernej oraz grzejnictwo indukcyjne. Falowniki prądu są rzadziej stosowane w porównaniu do falowników napięcia.



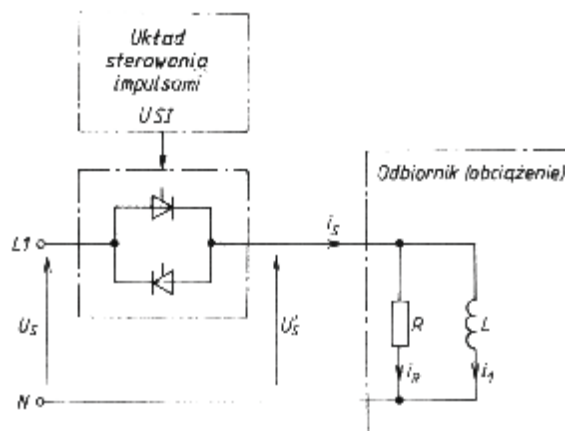
Rys. 52. Kształt przebiegu fazowego napięcia wyjściowego na impedancji Z_3 w przypadku modulacji szerokości impulsów (PWM [4, s. 97])

Sterowniki prądu przemiennego

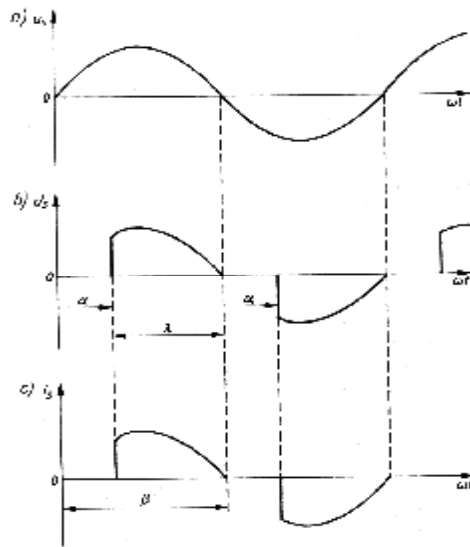
Sterowniki prądu przemiennego nazywane również regulatorami napięcia są stosowane do bezstopniowej zmiany wartości skutecznej napięcia, prądu lub mocy czynnej dostarczanej do jedno- lub trójfazowego odbiornika prądu przemiennego. Regulatorów napięcia używa się do:

- regulacji natężenia oświetlenia,
- płynnego rozruchu silników, w celu ograniczenia momentu rozruchowego,
- płynnego rozruchu silników prądu przemiennego, w celu ograniczenia prądu rozruchu do określonej wartości zadanej,
- regulacji prędkości kątowej silników indukcyjnych,
- płynnego zatrzymania silników.

W jednofazowym sterowniku prądu przemiennego (rys. 53) układ sterowania impulsami USI umożliwi zmianę kąta wysterowania α w granicach $0 \div 180^\circ$ el. Dzięki temu zmienia się prąd i przebieg napięcia wyjściowego sterownika (rys. 54). W tyrystorze kąt przewodzenia λ i kąt wyłączenia β zależą od kąta załączenia α oraz od stałej czasowej obwodu wyjściowego $\tau = L/R$. Wartość skuteczna napięcia wyjściowego U_S' jest funkcją nie tylko kąta wysterowania α , ale również stałej czasowej obwodu wyjściowego.

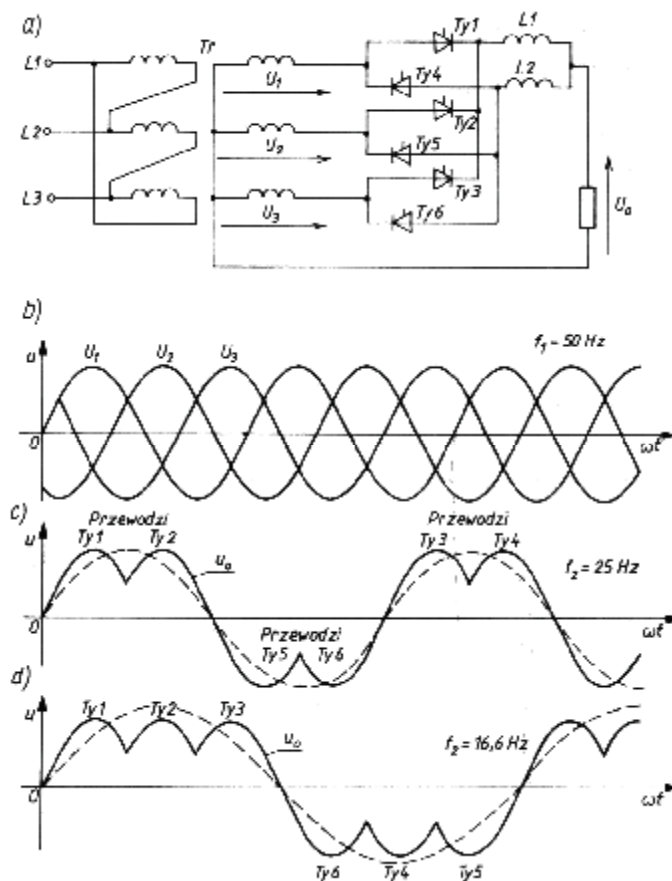


Rys. 53. Układ połączeń jednofazowego sterownika prądu przemiennego [4, s. 104]



Rys. 54. Przebiegi występujące w jednofazowym sterowniku prądu przemiennego z obciążeniem rezystancyjnym: a) napięcia wyjściowego; b) napięcia na odbiorniku; c) prądu odbiornika [4, s. 105]

Bezpośrednie przekształtniki częstotliwości



Rys. 55. Bezpośredni przekształtnik częstotliwości bez sterowania fazowego: a) schemat funkcjonalny; b) przebieg napięć fazowych; c), d) przebieg napięcia wyjściowego przekształtnika pracującego przy częstotliwości $f_2 = 25 \text{ Hz}$ i $f_2 = 16,6 \text{ Hz}$ [4, s. 107]

Bezpośrednie przekształtniki częstotliwości zwane cyklokonwerterami, są układami, w których energia prądu przemiennego jest przekształcana bezpośrednio w energię prądu przemiennego o częstotliwości f_2 ; przy czym częstotliwość ta jest mniejsza od częstotliwości f_1 sieci zasilającej (rys. 55). Na wyjściu uzyskuje się napięcie przemiennie odkształcone, o regulowanej wartości skutecznej i częstotliwości. Przedstawiony na rys. 55 bezpośredni przekształtnik częstotliwości umożliwia przekształcenie trójfazowego napięcia w jednofazowe napięcie o częstotliwości f_2 równej: f_1 , $0,5 f_1$, $0,3 f_1$, $0,25 f_1$, itd. W przekształtniku tym kolejno załączane są poszczególne tyrystory, gdy między anodą i katodą łączonego tyrystora jest dodatnie napięcie. W układzie tym nie występuje sterowanie fazowe kątem α .

W praktyce, układ przekształtnika bez sterowania fazowego jest rzadko stosowany. W rozwiązaniach praktycznych stosuje się bezpośrednio przekształtniki częstotliwości sterowane fazowo, a zbudowane z nawrotnych trójfazowych przekształtników mostkowych. Znalazły one zastosowanie w układach napędowych dużej mocy.

4.6.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Do czego służą falowniki?
2. Jak klasyfikujemy falowniki?
3. Jaka jest zasada działania trójfazowego falownika napięcia?
4. W jakim celu stosuje się modulacje PWM w falownikach?
5. Do czego są używane sterowniki prądu przemiennego?
6. Jaka jest zasada działania jednofazowego sterownika prądu przemiennego?
7. Jaka jest zasada działania cyklokonwertera bez sterowania fazowego?

4.6.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Pomiar i obserwacja czasowych przebiegów napięć i prądów w układzie jednofazowego falownika napięcia dla różnych rodzajów obciążeń.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z materiałem dotyczącym falowników,
- 2) zorganizować stanowisko pracy,
- 3) połączyć układ pomiarowy jednofazowego falownika napięcia,
- 4) włączyć zasilanie, dołączyć oscyloskop,
- 5) ustawić częstotliwość wejściowego przebiegu sterującego,
- 6) sprawdzić poprawność sekwencji impulsów sterujących,
- 7) ustawić zakresy pomiarowe woltomierza i amperomierza,
- 8) włączyć trójfazowe napięcie zasilające,
- 9) obliczyć moc dostarczaną do falownika,
- 10) zaobserwować na ekranie oscyloskopu czasowe przebiegi napięcia wyjściowego falownika,
- 11) narysować obserwowane przebiegi czasowe i zaznaczyć wartości chwilowe,
- 12) zaobserwować przebiegi prądów i napięć na tranzystorze i diodzie,
- 13) narysować obserwowane przebiegi,
- 14) powtórzyć badania dla różnych obciążeń falownika
- 15) wykonać dokumentację ćwiczenia,
- 16) przedstawić efekty pracy,
- 17) dokonać oceny ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- układ pomiarowy jednofazowego falownika napięcia,
- elektroniczny układ sterujący,
- oscyloskop dwukanałowy,
- sondy pomiarowe 1 : 1/1 : 10, 100MHz,
- uniwersalne mierniki cyfrowe,
- transformator trójfazowy 230 V/45 V (300 ÷ 600 W),
- instrukcja do ćwiczenia,
- kartki papieru,
- przybory do pisania i rysowania,
- literatura z rozdziału 6.

Ćwiczenie 2

Pomiar i obserwacja czasowych przebiegów napięć i prądów w układzie jednofazowego sterownika napięcia przemiennego.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z materiałem dotyczącym sterowników napięcia przemiennego,
- 3) zorganizować stanowisko pracy,
- 4) zapoznać się z instrukcją obsługi oscyloskopu,
- 5) załączyć napięcie zasilające układ sterowania tyrystorów,
- 6) zaobserwować na ekranie oscyloskopu kształt impulsów bramkowych tyrystorów,
- 7) załączyć jednofazowe napięcie zasilające układ sterownika,
- 8) zaobserwować na ekranie oscyloskopu przebiegi napięć na odbiorniku o charakterze rezystancyjnym i łączniku tranzystorowym dla różnych kątów wysterowania tyrystorów,
- 9) powtórzyć badania dla odbiornika o charakterze indukcyjnym i rezystancyjno-indukcyjnym,
- 10) narysować obserwowane przebiegi,
- 11) wyznaczyć charakterystyki sterowania układu $U_{wy} = f(\alpha)$,
- 12) zinterpretować otrzymane wyniki,
- 13) zaprezentować efekty swojej pracy,
- 14) dokonać oceny ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- układ pomiarowy do badania jednofazowego sterownika napięcia przemiennego,
- oscyloskop dwukanałowy,
- sondy pomiarowe 1 : 1/1 : 10, 100 MHz,
- uniwersalny miernik cyfrowy,
- transformator jednofazowy 230 V/45 V (100 W ÷ 300 W),
- kartki papieru, przybory do pisania i rysowania,
- literatura z rozdziału 6.

4.6.4. Sprawdźan postępów

Czy potrafisz:	Tak	Nie
1) zdjąć przebiegi napięć i prądów na wyjściu falownika napięcia?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) zdjąć przebiegi napięć i prądów na różnych odbiornikach zasilanych napięciem falownika?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) wyznaczyć charakterystykę sterowania układu sterownika $U_{wy} = f(\alpha)$?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) narysować czasowy przebieg napięcia wyjściowego w układzie obciążonym rezystancyjnie dla kąta wysterowania $\alpha = \pi/2$ tyrystorów sterownika?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

6. LITERATURA

1. Fabijański P., Pytlak A., Świątek H.: Pracownia układów energoelektronicznych. WSiP SA, Warszawa 2000
2. Findeisen Wł. (red): Poradnik inżyniera automatyka. WNT, Warszawa 1973
3. Goźlińska E.: Maszyny elektryczne. WSiP, Warszawa 1995
4. Januszewski S., Pytlak A., Rosnowska-Nowaczyk M., Świątek H.: Energoelektronika. WSiP SA, Warszawa 2004
5. Kacejko L. (red.): Poradnik elektryka. WSiP, Warszawa 1995
6. Kacejko L.: Pracownia elektryczna. WMRCNEMT, Radom 1993
7. Komor Z.: Pracownia automatyki. WSiP, Warszawa 1996
8. Kordowicz-Sot A.: Automatyka i robotyka. Napęd i sterowanie hydrauliczne i pneumatyczne. WSiP, Warszawa 1999
9. Kostro J.: Elementy, urządzenia i układy automatyki. WSiP, Warszawa 1997
10. Partyka J.: Podstawy automatyki dla technikum elektronicznego. PWSZ, Warszawa 1970
11. Płoszajski G.: Automatyka. WSiP, Warszawa 1995
12. Pokutycki J.: Elementy automatyki elektryczne i elektroniczne. WSiP, Warszawa 1977
13. Pułaczewski J.: Automatyka. PWSZ, Warszawa 1969
14. Schmid D. (red): Mechatronika. REA, Warszawa 2002
15. Siemianko Fr., Gawrysiak M.: Automatyka i robotyka. WSiP, Warszawa 1996