

Ćwiczenie 14

ZABEZPIECZENIA I UKŁADY STEROWANIA STYCZNIKOWO - PRZEKAŹNIKOWEGO

1. Wiadomości ogólne

W skład układów sterowania wchodzi: styczniki, przekaźniki pomocnicze, przekaźniki reagujące na zmianę różnych wielkości fizycznych, przyciski, sterowniki, programatory, elementy sygnalizacyjne optyczne i akustyczne oraz aparaty zabezpieczające.

W układach sterowania silników wyróżnia się trzy rodzaje obwodów: robocze (zwane również głównym lub siłowym), sterownicze i sygnalizacyjne.

Obwody robocze zamykane przez styki (zestyki) główne styczników i aparatów zabezpieczających zapewniają bezpośrednią drogę przepływu prądu do urządzenia podlegającego sterowaniu.

Obwody sterownicze składają się z elementów, które powodują zadziałania styczników załączających lub wyłączających dany silnik a sygnalizacyjne informują o pracy.

1.1. Symbole i oznaczenia aparatów

Dla zrozumienia działania i obsługi układów sterowania niezbędna jest znajomość rysunku elektrycznego. Wybrane symbole zgodne z obowiązującymi polskimi i międzynarodowymi normami przedstawiono na rysunku 14.1. Przy rysowaniu schematów przedstawia się urządzenia łączeniowe lub ich części w stanie niewzbudzonym (beznapięciowym, bezprądowym).

Schematy w zależności od sposobu rozmieszczania elementów składowych można przedstawiać w postaci skupionej (rys. 14.3a) lub rozwiniętej (rys. 14.3b,c,d).

W schematach elektroenergetycznych zalecane jest takie rysowanie symboli styków ruchomych aby ich ruch odbywał się tylko z lewa na prawo lub z góry na dół.

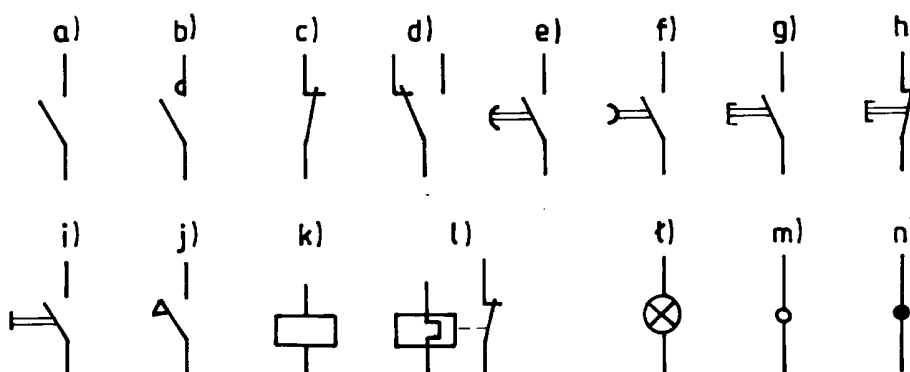
1.2. Aparaty łączeniowe i sygnalizacyjne

Czynności łączeniowe i zabezpieczeniowe w obwodach głównych silnika realizowane są za pomocą odłączników i wyłączników zwarciovych, a łączenia manewrowe za pomocą styczników.

Praca styczników kierowana jest przez przyciski sterownicze, sterowniki, wyłączniki krańcowe i przekaźniki różnego rodzaju jak termiczne, czasowe, pomocnicze i inne reagujące na zmianę różnych wielkości fizycznych.

Do sygnalizacji o stanie układu stosowane są lampki sygnalizacyjne - żarowe, neonówki, diody luminescencyjne i sygnalizatory akustyczne. Różne kolory lampek ułatwiają orientację obsługi o pracy maszyn. O stanach nienormalnych, awaryjnych zazwyczaj informuje lampka czerwona, o pracy normalnej - lampka zielona. Inne używane kolory jak biały, żółty, niebieski pozwalają na poprawę czytelności informacji świetlnej.

Sygnalizacja akustyczna stosowana jest jako ogólna, ostrzegawcza, alarmowa, przywołująca. W celu zróżnicowania sygnałów używane są dzwonki, brzęczyki, bucзки i syreny.



Rys. 14.1. Symbole zestyków, łączników i elementów uruchamiających: a) zestyk zwierny - symbol ogólny, b) zestyk główny stycznika, c) zestyk rozwierny, d) zestyk przełączny, e) zestyk zamykający się ze zwłoką, f) zestyk otwierający się ze zwłoką, g) przycisk sterowniczy ze stykiem zwiernym, h) przycisk sterowniczy ze stykiem rozwiernym, i) łącznik z napędem ręcznym (ręczny), j) łącznik drogowy, krańcowy, k) cewka przekaźnika, stycznika, symbol ogólny, l) człon wejściowy przekaźnika termicznego z zestykiem rozwiernym, ł) lampka sygnalizacyjna, m) zacisk laboratoryjny (rozłączenie możliwe bez użycia narzędzi), n) zacisk nierozłączny (rozłączenie niemożliwe bez użycia narzędzi)

1.3. Aparaty zabezpieczające

Każdy obwód elektryczny musi być zabezpieczony od skutków zwarcia. Zadanie to jest realizowane przez bezpieczniki topikowe lub wyłączniki zwarciovowe z wyzwalaczami elektromagnetycznymi.

Bezpieczniki topikowe są to łączniki jednorazowego zadziałania, w których po przekroczeniu określonej wartości prądu następuje samoczynne przerwanie obwodu po czasie zależnym od prądu i rodzaju bezpiecznika.

Istotną częścią bezpiecznika jest metalowy element topikowy (topik), wykonany najczęściej z miedzi w postaci drutu, a w bezpiecznikach na większe wartości prądów w postaci paska lub wielu pasków. Elementy topikowe są umieszczone wewnątrz porcelanowych korpusów, wypełnionych piaskiem kwarcowym, który

- ułatwia gaszenie łuku po stopieniu się elementu topikowego,
- zmniejsza, dzięki dobrej przewodności cieplnej piasku, przekrój topików, przez co zwiększa się pewność przerywania prądów,
- ogranicza ciśnienie przenoszone na ścianki wkładki podczas palenia się łuku.

Do podstawowych wielkości charakteryzujących bezpiecznik topikowy zalicza się:

- prąd znamionowy wkładki - I_{bn} ,
- napięcie znamionowe,
- zdolność wyłączeniowa - najwyższa wartość skuteczna prądu spodziewanego, którą wkładka topikowa jest w stanie przerwać (instalacyjne 8÷50 kA, przemysłowe ponad 100 kA).

Wyłączniki samoczynne załączane mogą być zależnie od zastosowanego napędu w sposób ręczny lub samoczynny (napęd elektromagnetyczny, silnikowy, pneumatyczny).

Wyłączanie może być ręczne lub samoczynne w wyniku działania wyzwalaczy lub przekaźników reagujących na zmianę wartości takich wielkości fizycznych jak prąd (wyzwalacz elektromagnetyczny), napięcie (wyzwalacz zanikowy), temperatura (wyzwalacz termiczny) itp.

Wyłącznik w stanie załączonym pozostaje bez udziału sił zewnętrznych, dzięki specjalnemu mechanizmowi zwanym zamkiem.

Wyłączniki samoczynne instalacyjne wyposażone są w wyzwalacze zwarciovowe elektromagnetyczne bezzwłoczne, działające z czasem własnym 0,02÷0,04 s i wyzwalacze przeciążeniowe, termobimetalowe, powodujące otwarcie wyłącznika ze zwłoką czasową zależną od wartości prądu (zakreskowana część charakterystyki na rysunku 14.2).

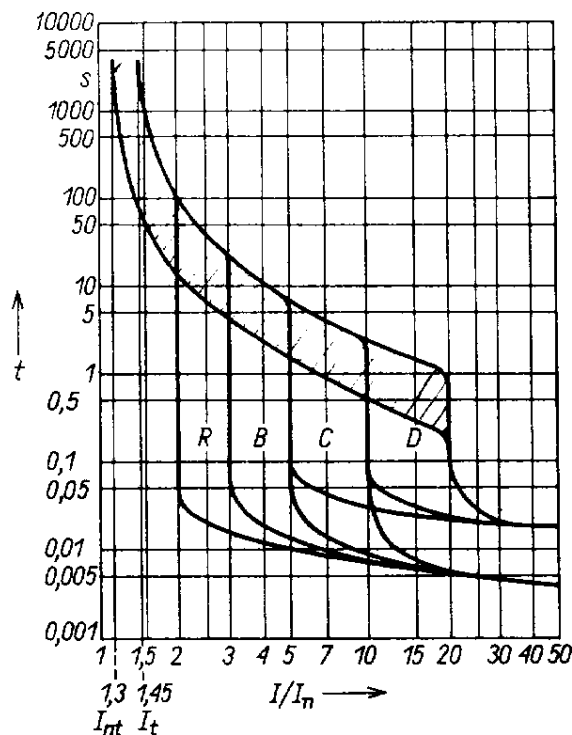
W zależności od wartości prądów zadziałania wyzwalaczy zwarciovych obecnie są wytwarzane wyłączniki instalacyjne o różnych charakterystykach czasowo-prądowych, typu R, B, C, D przedstawionych na rysunku 14.2:

- R - prąd niezadziałania $2I_n$; prąd zadziałania $3I_n$,
- B - prąd niezadziałania $3I_n$; prąd zadziałania $5I_n$,
- C - prąd niezadziałania $5I_n$; prąd zadziałania $10I_n$,
- D - prąd niezadziałania $10I_n$; prąd zadziałania $20I_n$,

gdzie: I_n - prąd znamionowy wyłącznika.

Wyłączniki instalacyjne:

- z charakterystyką R są stosowane do zabezpieczania odbiorników rezystancyjnych,
- z charakterystyką B do zabezpieczania silników pierścieniowych,
- z charakterystykami C i D do zabezpieczania silników zwartych i transformatorów.



Rys. 14.2. Charakterystyki czasowo-prądowe wyzwalaczy nadprądowych wyłączników typu R, B, C, D

I_n - prąd znamionowy wyzwalacza przeciążeniowego; I_{nt} , I_t - prądy niezadziałania (I_{nt}) i zadziałania (I_t) wyzwalacza

1.4. Zabezpieczenia silników asynchronicznych trójfazowych

Silnik asynchroniczny trójfazowy powinien posiadać zabezpieczenia od skutków zwarcia, przeciążenia i samorozruchu po zaniku napięcia.

Zabezpieczenie od skutków zwarcia stanowiąc mogą bezpieczniki topikowe dobierane przy rozruchu bezpośrednim silnika według warunku:

$$I_{bn} \geq \frac{I_r}{\alpha} \quad (14.1)$$

a przy rozruchu silnika z przełącznikiem gwiazda-trójkąt, kiedy prąd rozruchowy jest trzykrotnie zmniejszony, z warunkami:

$$I_{bn} \geq I_n \quad (14.2)$$

$$I_{bn} \geq \frac{I_r/3}{\alpha} \quad (14.3)$$

gdzie: I_{bn} - prąd znamionowy bezpiecznika,

I_r - prąd rozruchowy silnika,

I_n - prąd znamionowy silnika,

α - współczynnik o wartości zależnej od rodzaju rozruchu i typu bezpiecznika:

- rozruch lekki, $t_r \leq 5$ s, $\alpha_{sz} = 2,5$, $\alpha_{op} = 3,0$ (sz - szybki, op - opóźniony);
- rozruch średni, $5s < t_r \leq 15s$, $\alpha_{sz} = 2,0$, $\alpha_{op} = 2,5$;
- rozruch ciężki, $t_r > 15s$, $\alpha_{sz} = \alpha_{op} = 1,6$.

Przy zabezpieczeniu silnika od skutków zwarcia za pomocą wyłącznika samoczynnego jego wyzwalacz elektromagnetyczny powinien mieć prąd niezadziałania większy od prądu rozruchowego silnika zgodnie z warunkiem:

$$I_{EM} \geq 1,2I_r \quad (14.4)$$

gdzie: I_{EM} - prąd niezadziałania wyłącznika,

I_r - prąd rozruchowy silnika.

Na przykład przy prądzie znamionowym wyłącznika $I_{nw} = 10$ A, prądzie rozruchowym silnika $I_r = 30$ A niezbędny jest wyłącznik typu C, którego prąd niezadziałania wynosi 50 A przy wymaganej wartości minimalnej $I_{EM} = 1,2 \cdot 30 = 36$ A.

Zabezpieczenie od przeciążeń może być zrealizowane za pomocą czujników temperaturowych wbudowanych w uzwojenie silnika lub przekaźników termicznych instalowanych na zewnątrz silnika, najczęściej przy aparatach

manewrowych. Przekazniki termiczne reagują na prądy silnika i powinny być nastawiane na prąd I_T

$$I_T = (1 \div 1,1) I_n \quad (14.5)$$

gdzie: I_T - prąd nastawy przekąźnika termicznego,
 I_n - prąd znamionowy silnika.

Zabezpieczenie zanikowe silnika przed samorozruchem stanowi najczęściej stycznik, którego cewka jest włączona za pomocą przycisku załączającego i podtrzymywana jest własnym stykiem czynnym - styk podtrzymania. Po zaniku napięcia otworzą się styki czynne stycznika i odłączą silnik. Bez impulsu z przycisku załączającego uruchomienie silnika nie nastąpi.

1.5. Czynniki powodujące przeciążenie silnika

Przeciążenie silnika ma miejsce wówczas, kiedy prąd w dowolnym jego uzwojeniu przekracza wartość znamionową.

Do takiego stanu dochodzi z następujących przyczyn:

- moment obciążający silnik przekracza wartość momentu znamionowego,
- występują odchyłki napięcia zasilającego od wartości znamionowej,
- wystąpi zanik jednej fazy.

Przy obciążeniu silnika momentem przekraczającym wartość momentu znamionowego moc pobierana przez silnik przekracza wartość mocy znamionowej. Wtedy przy znamionowym napięciu zasilania wystąpi przekroczenie prądu znamionowego silnika.

Obniżenie napięcia przy obciążeniu momentem znamionowym prowadzi do wzrostu prądu ponad wartość znamionową. Wzrost prądu jest praktycznie liniowo związany z obniżeniem napięcia ($\sqrt{3} UI \cos \varphi = \text{const}$).

Wzrost napięcia ponad wartość znamionową powoduje proporcjonalne zmniejszenie prądu czynnego silnika, ale równocześnie wywołuje znacznie większe przyrosty prądu biernego silnika. To również prowadzi do gwałtownego wzrostu prądu silnika mało zależnego od obciążenia momentem.

Zanik fazy podczas pracy silnika powoduje wzrost prądu do około $\sqrt{3}$ razy prądu przed jej zanikiem. Przy takim zakłóceniu i obciążeniu mechanicznym ponad połowę momentu znamionowego może już wystąpić przeciążenie silnika.

1.6. Układy sterowania

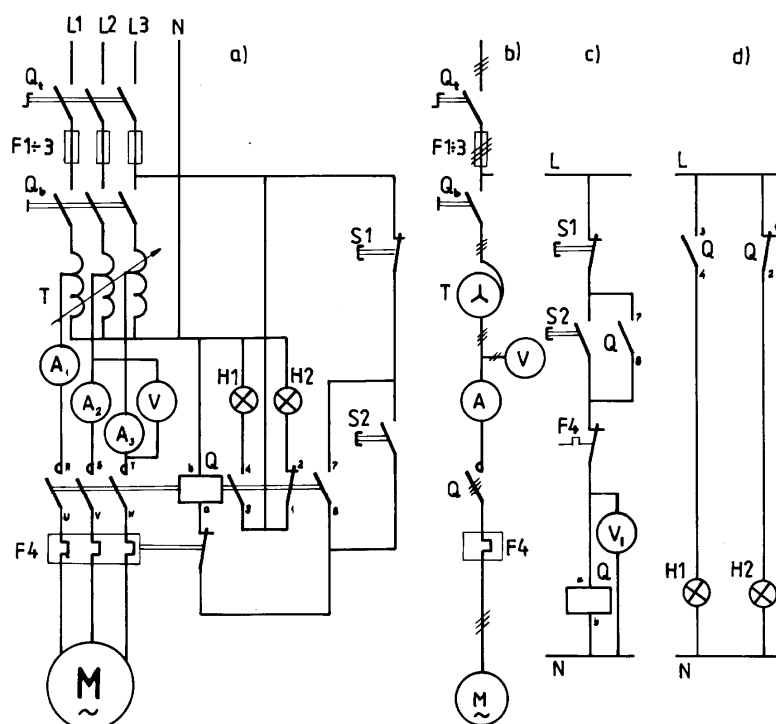
Wśród układów sterowania pracą silników trójfazowych wyróżniamy:

- jednokierunkowy z rozruchem bezpośrednim (rys. 14.3),
- jednokierunkowy z rozruchem gwiazda-trójkąt (rys. 14.4),
- dwukierunkowy (rys. 14.5).

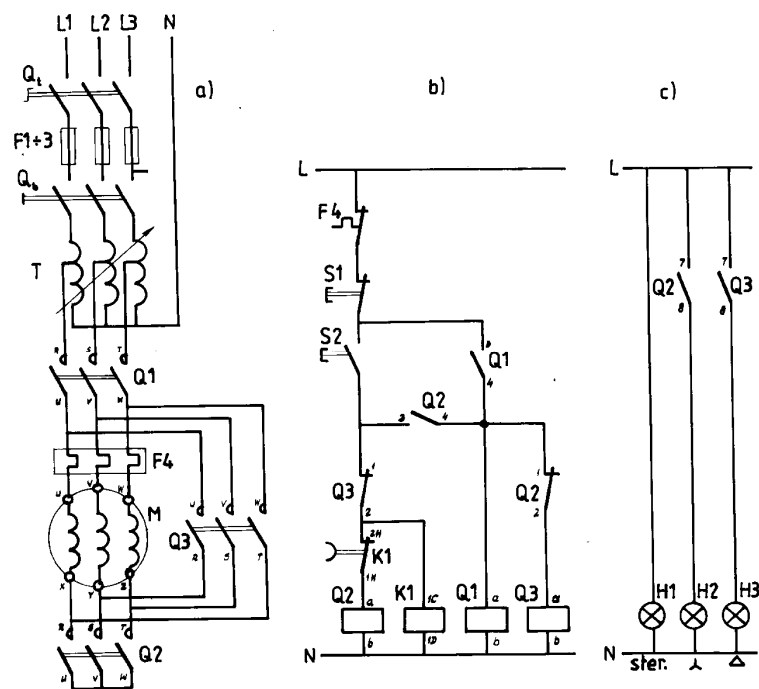
Do uruchomienia silnika (schemat 14.3) służy przycisk S2, którego naciśnięcie zamyka obwód cewki stycznika Q.

Zestyk Q - 7, 8 podtrzymuje ciągłość obwodu cewki stycznika Q po zwolnieniu przycisku S2.

Robocze zatrzymanie silnika nastąpi po naciśnięciu przycisku S1. Wyłączenie może nastąpić również przy przeciążeniu silnika, na skutek zadziałania przekaźnika termicznego F4, przez otwarcie biernego styku F4, jak też przy zaniku napięcia.



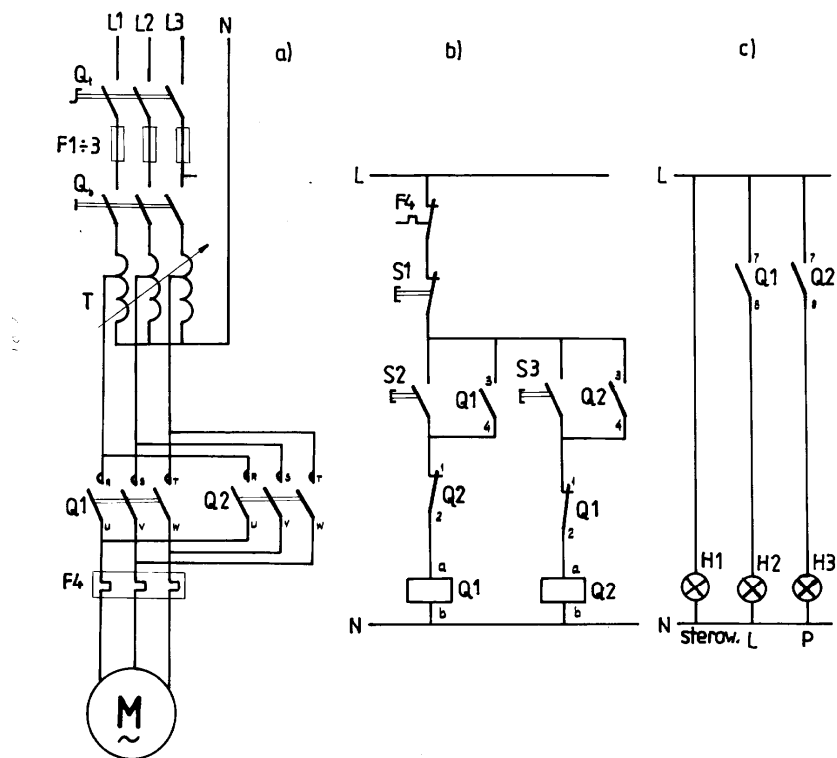
Rys. 14.3. Schemat sterowania i zabezpieczeń silnika trójfazowego uruchamianego bezpośrednio: a) forma skupiona, b, c, d) forma rozwinięta: b - obwód główny, c - obwód sterowania, d - obwód sygnalizacji



Rys. 14.4. Schemat sterowania i zabezpieczeń silnika trójfazowego uruchamianego przez przełącznik gwiazda-trójkąt: a) obwód główny, b) obwód sterowania, c) obwód sygnalizacyjny

W przedstawionym układzie na rysunku 14.4 po naciśnięciu przycisku S2 cewka przekaźnika czasowego K1 i stycznika Q2 znajdzie się pod napięciem. Styk Q2 - 3, 4 włączy pod napięcie cewkę stycznika Q1 a styk rozwierny Q2 - 1,2 zablokuje możliwość jednoczesnego załączenia stycznika Q3. Styk Q1 - 3, 4 podtrzyma napięcie na cewkach styczników Q2, Q1 i przekaźnika K1, po impulsie włączającym z S2. Z chwilą zamknięcia styków głównych Q1 rozpoczyna się rozruch silnika z uzwojeniami połączonymi w gwiazdę przez styki główne stycznika Q2.

Po czasie rozruchu nastąpi otwarcie styku zwłocznego K1- 1H, 2H, co spowoduje wyłączenie stycznika Q2. Zamykający się styk bierny Q2 - 1,2 załączy napięcie na cewkę stycznika Q3. Jego styki główne połączą uzwojenia silnika w trójkąt. Zatrzymanie silnika w dowolnej chwili rozruchu lub pracy może nastąpić: - przez celowe naciśnięcie przycisku wyłączającego S1, - po zaniku napięcia lub po zadziałaniu zabezpieczenia przeciążeniowego F4 (przekaźnika termicznego). Przedstawione na rysunku 14.4a usytuowanie elementów bimetalowych przekaźnika (znajdują się pod działaniem prądów fazowych silnika) zabezpiecza silnik od przeciążeń zarówno przy skojarzeniu w trójkąt jak też w gwiazdę.



Rys. 14.5. Schemat sterowania pracą dwukierunkową silnika trójfazowego z rozruchem bezpośrednim: a) obwód główny, b) obwody sterowania, c) obwody sygnalizacji

Załączenie silnika do pracy w kierunku wybranym (np. w lewo L) nastąpi po naciśnięciu przycisku S2. Stycznik Q1 zamknie styki główne a stykiem Q1 - 3, 4 podtrzyma napięcie na zaciskach swojej cewki. Styk rozwierny Q1 - 1, 2 zablokuje możliwość załączenia stycznika Q2 (blokada wykluczająca).

Załączenie kierunku prawego (P) może nastąpić po wyłączeniu stycznika Q1 przez naciśnięcie przycisku S1 a następnie S3.

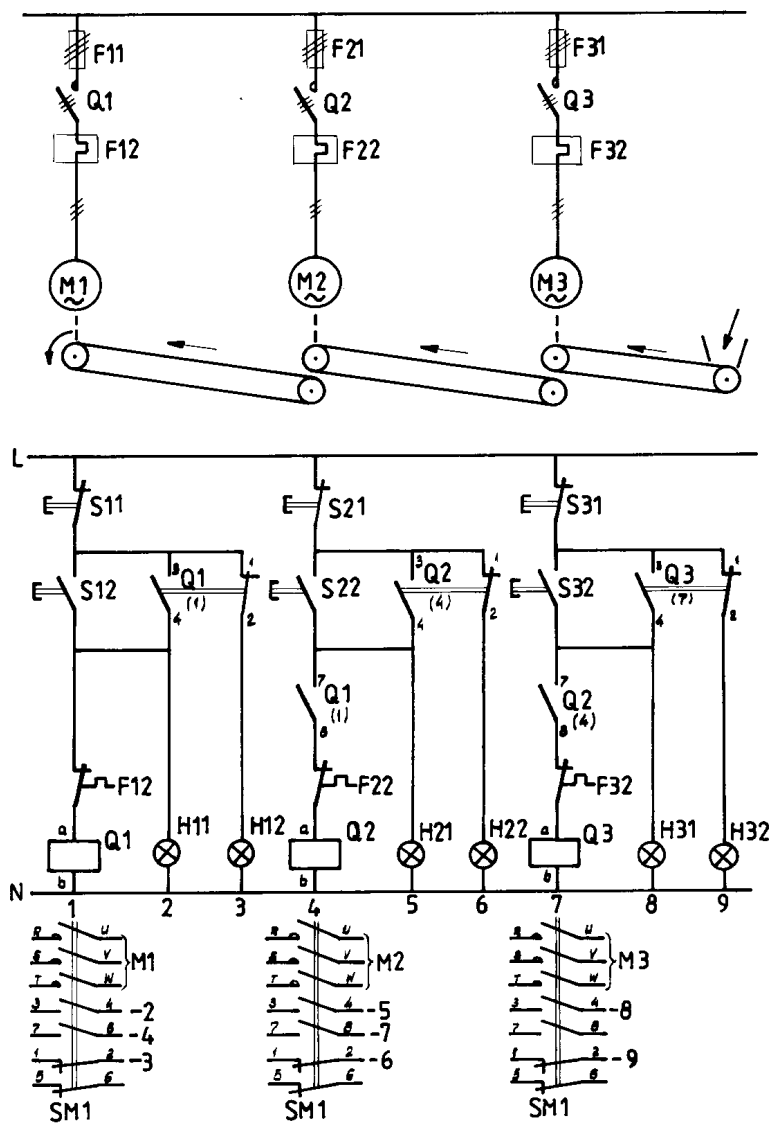
Przykładowy układ sterowania pracą trzech silników (układ kaskadowy) napędzających współpracujące ze sobą transportery taśmowe pokazano na rysunku 14.6.

W tym układzie sterowania pojawia się blokada sekwencyjna – kolejnościowa.

Funkcję tej blokady pełnią styki Q1 - 7, 8 i Q2 - 7, 8. Styk Q1 7, 8 będzie zamknięty podczas pracy transportera odbiorczego M1 - przygotowuje on drogę prądu do cewki stycznika Q2, który załącza silnik M2 po naciśnięciu przycisku

S22. Podobnie w gałęzi stycznika Q3 uruchomienie będzie możliwe po włączeniu Q2.

Przy zatrzymaniu celowym lub awaryjnym napędu transportera odbiorczego blokada kolejnościowa powoduje samoczynne wyłączenie napędów transporterów podających.



Rys. 14.6. Schemat układu sterowania trzech transporterów

2. Wykonanie ćwiczenia

Część praktyczna ćwiczenia obejmuje:

- dane znamionowe silników i warunki rozruchu,
- dobór zabezpieczeń zwarciovych i przeciążeniowych,
- wybór układów i ustalenie warunków zasilania.

2.1. Dane znamionowe silnika

W tabeli 14.1 należy zapisać dane znamionowe wskazanych silników. Rodzaje rozruchów i rodzaje zabezpieczeń dla poszczególnych silników ustalić z prowadzącym zajęcia.

Tabela 14.1.

Typ	Dane silników							Rodzaj rozruchu	Rodzaj zabezpieczenia
	P_n	U_n	I_n	n_n	η	$\cos\varphi$	$\frac{I_r}{I_n}$		
	kW	V	A	obr/min	%	-	-		

2.3. Dobór zabezpieczeń

Doboru zabezpieczeń wymienionych w tabeli 14.1 silników dokonać zgodnie z zasadami podanymi w p. 1.4 ćwiczenia. Rezultaty obliczeń zestawzić w tabeli 14.2.

Tabela 14.2.

Typ silnika	I_n	I_r	α	I_{bn}	I_{EM}	I_T	Typ bezpiecznika lub wyłącznika instal.
	A	A	-	A	A	A	

W realizowanych układach, zabezpieczenia silników od skutków zwarcia stanowić będą bezpieczniki topikowe na tablicy laboratoryjnej.

2.3. Wybór układów i warunków zasilania

Wybór układów sterowania uzgodnić z prowadzącym zajęcia. Przed rozpoczęciem montażu należy uzgodnić sposób zasilania obwodów sterowania, sygnalizacji oraz obwodu głównego.

Schematy wykonanych układów i opis ich działania zamieścić w sprawozdaniu.

2.4. Montaż obwodów i sprawdzenie działania układów

W pierwszej kolejności należy połączyć obwody sterowania i sygnalizacji, a po doprowadzeniu do ich sprawnego działania przystąpić do montażu obwodów głównych. Pierwsze próbne uruchomienia obwodów sterowania i sygnalizacji należy wykonywać przy wyłączonym obwodzie głównym (Q_b otwarty) w porozumieniu z prowadzącym zajęcia. Po stwierdzeniu poprawnego działania układów sterowania i sygnalizacji, sprowadzeniu ich do stanu spoczynkowego, można zamknąć wyłącznik Q_b i przystąpić do rozruchu silników.

Przy pierwszym uruchomieniu silnika należy uważnie obserwować przebieg rozruchu i w razie zakłóceń przerwać proces przyciskiem wyłączającym. Nie można otwierać wyłącznika Q_b podczas rozruchu silnika a wszystkie zmiany w działaniu układu realizować za pomocą styczników.

2.5. Sprawdzenie działania zabezpieczeń

Po uruchomieniu układu sprawdzić reakcję styczników na zanik napięcia na fazie zasilającej obwód sterowania.

Sprawdzenie zabezpieczenia zanikowego dokonać wyłącznikiem tablicowym Q_t przez wyłączenie napięcia i ponowne załączenie. Spostrzeżenia dotyczące zachowania układu w obu badaniach zamieścić w sprawozdaniu.

Zagadnienia do samodzielnego opracowania

1. Symbole graficzne i oznaczenia podstawowych aparatów stosowanych w układach elektrycznych silników.
2. Rodzaje aparatów zabezpieczających silnik i instalację zasilającą przed skutkami zwarć.

3. Zasady doboru zabezpieczenia zwarciovego silnika uruchamianego bezpośrednio i za pomocą przełącznika gwiazda-trójkąt.
4. Czynniki powodujące przeciążenie silnika.
5. Zasada działania przekaźnika i wyzwalacza termicznego.
6. Wybór miejsca zainstalowania przekaźnika termicznego w obwodzie głównym silnika uruchamianego przez przełącznik gwiazda-trójkąt i określenie nastawy prądowej I_T .
7. Na czym polega blokada elektryczna w układzie sterowania silnika uruchamianego przez przełącznik gwiazda-trójkąt i silnika pracującego cyklicznie w obu kierunkach.
8. W jakich przypadkach musi być stosowane zabezpieczenie zanikowe oraz jakie elementy w układzie sterowania pełnią tę funkcję.
9. Ochrona silnika trójfazowego przez cewkę stycznika przed rozruchem i pracą jednofazową.

Literatura

1. Markiewicz H.: Instalacje elektryczne. WNT, Warszawa 1996.
2. Michel K., Sapiński T.: Rysunek techniczny elektryczny. WNT, Warszawa 1987.
3. Opolski A., Przeździecki F.: Elektrotechnika i elektronika. PWRiL, Warszawa 1986.
4. Praca zbiorowa pod redakcją W. Pietrzyka: Laboratorium z elektrotechniki i elektroniki. Skrypt Politechniki Lubelskiej. Lublin 1994.