

4. MATERIAŁ NAUCZANIA

4.1. Prądnice i silniki – rodzaje, parametry, zastosowanie

4.1.1. Materiał nauczania

Maszyny elektryczne są to urządzenia przeznaczone do przetwarzania energii elektrycznej na mechaniczną (**silnik**), mechanicznej na elektryczną (**prądnica**), elektrycznej na elektryczną (**transformator**).

Działanie maszyn elektrycznych opiera się na zjawiskach związanych z polem magnetycznym, takich jak:

- zjawisku indukcji elektromagnetycznej,
- dynamicznym oddziaływaniu pola magnetycznego na przewodnik z prądem,
- prawie przepływu.

Budowa ogólna maszyn elektrycznych

Podstawowymi częściami każdej maszyny elektrycznej (oprócz transformatora) wirującej są: ruchomy wirnik (rotor) i nieruchomy stojan (stator).

W maszynie elektrycznej można wyróżnić dwa obwody elektryczne:

- obwód uzwojenia stojana,
- obwód uzwojenia wirnika – wykonane z izolowanego drutu miedzianego lub aluminiowego.

Do doprowadzenia prądu do uzwojenia wirnika służą: szczotki węglowo- grafitowe, pierścienie ślizgowe, komutator. Jako materiały izolacyjne wykorzystuje się najczęściej: papier impregnowany, lakiery izolacyjne oraz izolacje mikowe. Trwałość tych materiałów zależy przede wszystkim od warunków pracy, takich jak: temperatura, wilgotność, toksyczność środowiska oraz wibracje.

Zadaniem obwodów magnetycznych jest rozprowadzenie strumieni magnetycznych wytworzonych przez prądy w uzwojeniach. Obwodami tymi są rdzenie stojana i wirnika wykonywane z materiałów ferromagnetycznych (stal i żeliwo).

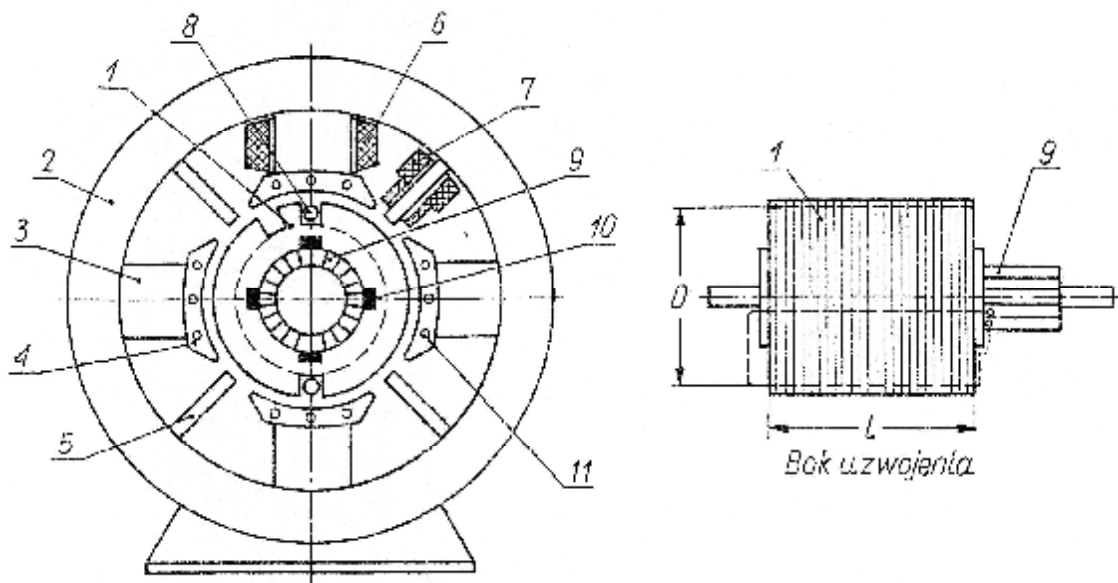
Całość wymienionych powyżej elementów składowych maszyny jest zabudowana w jarzmie, do którego są przymocowane łapy, tarcze łożyskowe, szczotkotrzymacze oraz wszelkiego rodzaju osłony części wirujących i części będących pod napięciem.

Maszyny są budowane w różnych odmianach zależnych od przeznaczenia (warunków pracy). Maszyny są klasyfikowane ze względu na klasę szczelności obudowy, temperaturę pracy, ułożenie (pionowe lub poziome) itp.

Maszyny prądu stałego

Budowa maszyny prądu stałego

W maszynach prądu stałego stojan i wirnik, z punktu widzenia spełnianych funkcji, nazywany jest odpowiednio **magneśnicą** i **twornikiem**. W magneśnicy jest wytworzony strumień magnetyczny, a w tworniku siła elektromotoryczna (w prądnicach) i moment elektromagnetyczny (w silnikach).



Rys. 1. Budowa maszyny prądu stałego: 1 – wirnik, 2 – jarzmo, 3 – rdzeń bieguna głównego, 4 – nabiegunnik, 5 – bieguny pomocnicze (komutacyjne), 6 – uzwojenie bieguna głównego, 7 – uzwojenie bieguna komutacyjnego, 8 – uzwojenie wirnika, 9 – komutator, 10 – szczotki, 11 – uzwojenie kompensacyjne [1, s. 344]

Na rysunku 1 przedstawiono przekrój maszyny prądu stałego. Do jarzma w kształcie cylindra są przymocowane **bieguny główne**, wytwarzające główny strumień magnetyczny oraz, w tej samej liczbie, **bieguny komutacyjne** służące do poprawy warunków pracy maszyny (występują tylko w maszynach dużej i średniej mocy). Bieguny główne mogą być wykonane jako elektromagnesy (w maszynach dużej mocy – napędowych) lub magnesy trwałe (w małych maszynach stosowanych w układach automatyki). Maszyna posiada zawsze parzystą liczbę biegunów głównych. Rdzenie biegunów (elektromagnesów) najczęściej są wykonane z cienkich blach magnetycznych, izolowanych między sobą.

Wirnik ma postać walca. Jest wykonany z izolowanych blach magnetycznych osadzonych na wale; w jego żłóbkach jest umieszczone uzwojenie. Końce uzwojenia są wyprowadzone na umieszczony na wale **komutator** wykonany z izolowanych między sobą wycinków cylindrycznego walca miedzianego. Komutator współpracuje ze szczotkami, które umożliwiają połączenie uzwojenia wirnika z obwodem zewnętrznym - źródłem napięcia w przypadku silników lub odbiornikiem w przypadku prądu.

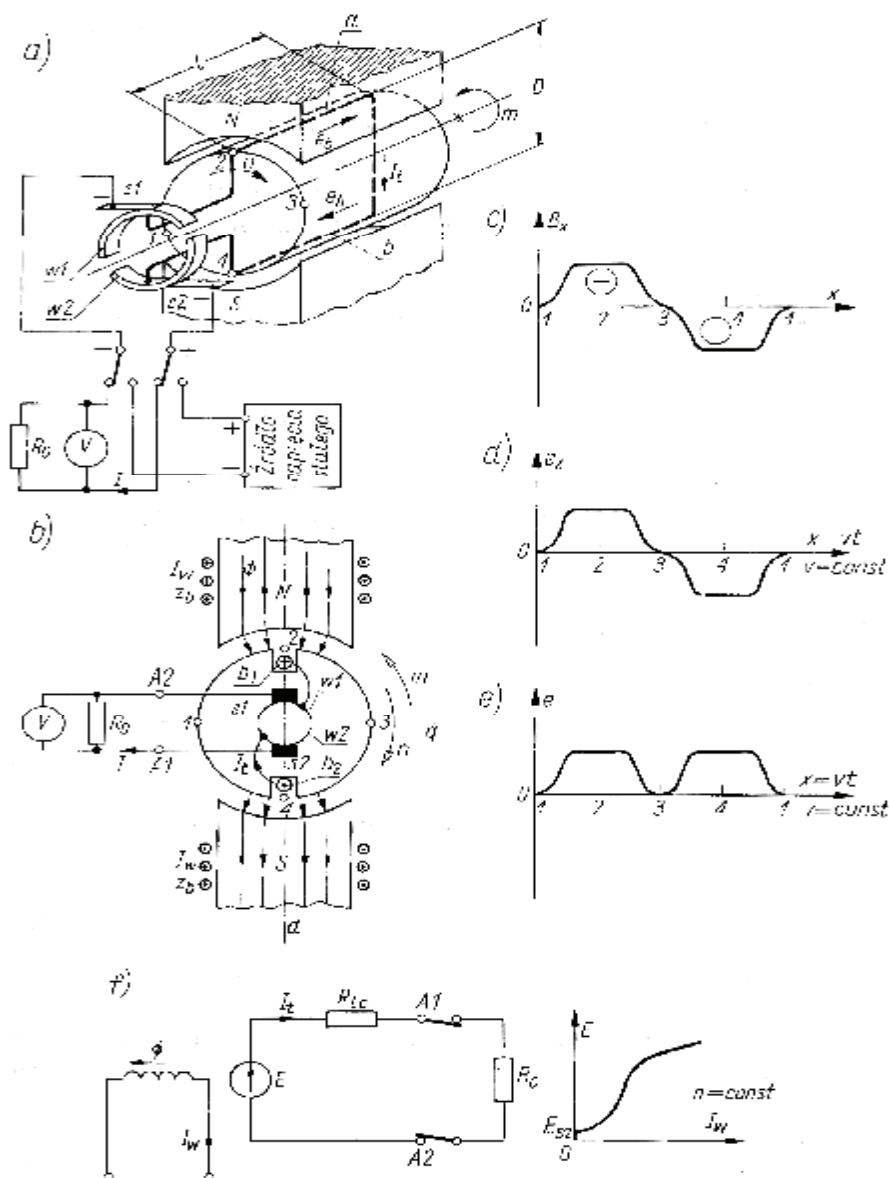
Zasada działania maszyny prądu stałego, zależności podstawowe

Na rysunku 2 przedstawiono zasadę działania maszyny, jako źródła napięcia (prądnicy). Posiada ona jedną parę biegunów ($p = 1$) oraz uzwojenie wirnika składające się z jednego zwoju, którego końce są przyłączone do dwóch wycinków komutatora w1 i w2. Szczotki s1 i s2, ślizgające się po komutatorze, łączą uzwojenie wirnika z siecią zewnętrzną.

Prąd wzbudzenia I_w płynący w uzwojeniu stojana (magneśnicy) wytwarza stały strumień magnetyczny Φ , który wywołuje pole magnetyczne o indukcji B_x . W osi obojętnej maszyny (prosta 1 – 3 na rys.2) indukcja jest równa zero.

Jeśli wirnik obraca się z prędkością obrotową n , to w każdym boku jego uzwojenia indukuje się siła elektromotoryczna (sem). Ponieważ każdy zwój posiada dwa boki umieszczone w polu magnetycznym magneśnicy, to indukuje się w nim wówczas sem.

$$e_z = 2lB_xv$$



Rys. 2. Zasada działania maszyny prądu stałego: a) szkic maszyny, b) przekrój maszyny, c) przebieg indukcji magnetycznej w obwodzie wirnika, d) przebieg sem na końcówkach uzwojenia wirnika (na wycinkach w1, w2), e) przebieg sem na szczotkach s1-s2 maszyny, f) schemat maszyny jako źródła napięcia [1, s. 345]

Dzięki temu, że komutator dokonuje przełączeń końców uzwojenia twornika w1 – w2 ze szczotkami s1 – s2 w chwilach, gdy $e = 0$, na szczotkach utrzymuje się stale ten sam zwrot sem (rys. 2e). Komutator nazywany jest inaczej prostownikiem mechanicznym.

Jeżeli do uzwojenia wirnika podłączymy odbiornik (rys.2b), to przez uzwojenie wirnika płynie prąd I_t . Wytwarza on własne pole magnetyczne, które oddziałując z polem magnetycznym stojana doprowadza do obrotu wirnika. Wartość wytworzonego momentu w uzwojeniu wynosi:

$$m_z = l D B_x I_t$$

gdzie: l - czynna długość boku uzwojenia, D – średnica wirnika.

Otrzymana na szczotach siła elektromotoryczna oraz powstały w wirniku moment elektromagnetyczny są stałe w czasie i wyrażają się zależnościami:

– gdy ruch wirnika wyrazimy prędkością kątową ω [rad/s]

$$E = C\Phi\omega$$

$$M = C\Phi I_t$$

– gdy ruch wirnika wyrazimy prędkością obrotową n [obr/min]

$$E = C_e\Phi n$$

$$M = C_M\Phi I_t$$

gdzie: C , C_e i C_M – stałe współczynniki charakteryzujące uzwojenia i wymiary maszyny.

Praca prądnicowa maszyny występuje wówczas, gdy wirnik jest napędzany przez inną maszynę. Na zaciskach (szczotkach) prądnicy powstaje sem, której wartość można regulować przez zmianę prądu wzbudzenia I_w (prądu elektromagnesów stojana). Przyłączony do szczotek odbiornik, pobierając energię elektryczną, wywołuje w wirniku (tworniku) przepływ prądu I_t . Napięcie U na zaciskach prądnicy jest mniejsze od sem E o spadek napięcia na rezystancji twornika R_t i połączonych z nim szeregowo innych uzwojeń występujących w maszynie. Całkowitą rezystancję, przez którą płynie prąd twornika oznaczono R_{tc} . Stąd w przypadku prądnicy napięcie na jej zaciskach:

$$U = E - R_{tc} I_t$$

Prąd I_t ma zwrot zgodny ze zwrotem E , natomiast moment M jest skierowany przeciwnie do kierunku prędkości obrotowej n .

Przy pracy silnikowej zaciski wirnika są dołączone do źródła prądu stałego o napięciu U . Wywołuje to przepływ prądu twornika I_t , który oddziałując z polem magnetycznym stojana wytwarza moment obrotowy M , nadając wirnikowi prędkość obrotową n ; zwroty M i n są zgodne. Indukująca się w uzwojeniu twornika siła elektromotoryczna E ma zwrot przeciwny do zwrotu napięcia U i jest od niego mniejsza. Stąd w przypadku silnika:

$$U = E + R_{tc} I_t$$

Na podstawie powyższych wzorów możemy obliczyć prędkość wirowania maszyny prądu stałego:

$$n = (U - R_{tc} I_t) / C_e \Phi \text{ [obr/min] lub}$$

$$\omega = (U - R_{tc} I_t) / C \Phi \text{ [rad/s]}$$

Moc mechaniczną wirnika w watach określa wzór $P_m = M \cdot \omega$

$$P_m = 0,1047 M \cdot n$$

gdzie: n – prędkość obrotowa [obr/min], M – moment [Nm], ω – prędkość kątowna [rad/s].

Straty energii i sprawność maszyn

Procesowi przemiany energii elektrycznej w mechaniczną lub odwrotnie towarzyszą straty energii, które podzielić można na dwie grupy:

1) straty jałowe – niezależne od obciążenia, na które się składają:

- straty mechaniczne ΔP_m – wywołane przez tarcie w łożyskach, tarcie szczotek o komutator i na potrzeby wentylacji,
- straty w uzwojeniu wzbudzenia,
- straty w żelazie,

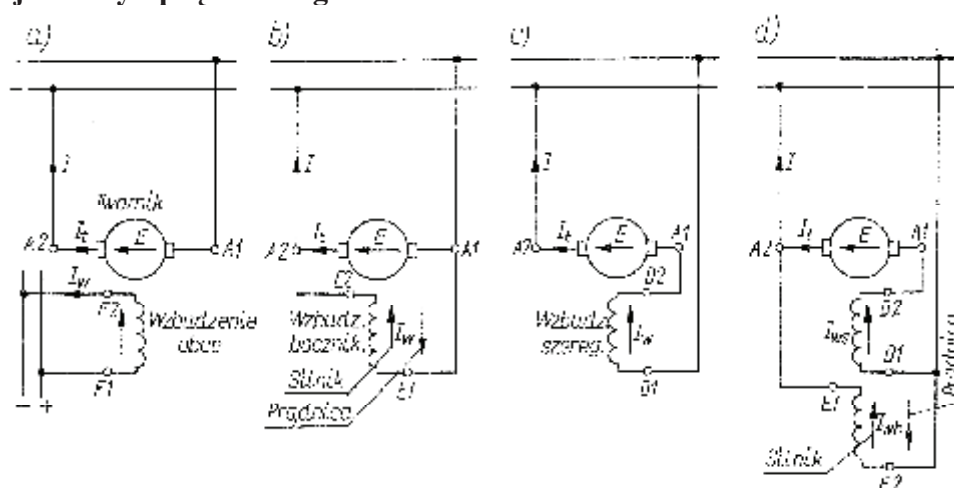
- 2) straty obciążeniowe – występujące tylko przy obciążeniu maszyny
 ΔP_{obc} – straty w rezystancji obwodu twornika.

Sprawność maszyny η określamy wzorem:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

gdzie: P_1 – moc pobierana przez maszynę; P_2 – moc oddawana przez maszynę.

Rodzaje maszyn prądu stałego



Rys. 3. Rodzaje maszyn prądu stałego a) obcowzbudna, b) bocznikowa, c) szeregową, d) szeregowo – bocznikowa [1, s. 351]

Nazwę maszyny określa sposób połączenia pomiędzy uzwojeniem twornika i uzwojeniem wzbudzenia. Występują zatem maszyny (rys. 3):

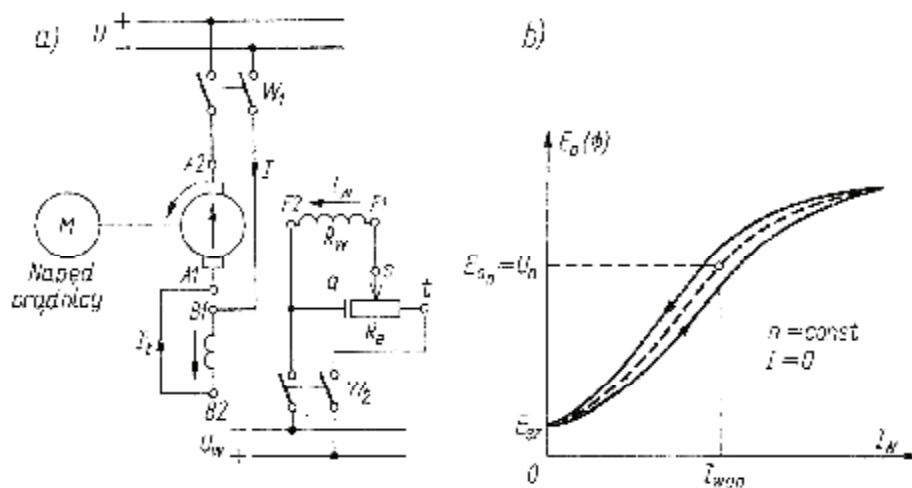
- obcowzbudna (nie ma elektrycznego połączenia pomiędzy uzwojeniem stojana i wzbudzenia)
- samowzbudna (bocznikowa, szeregową i szeregowo-bocznikowa).

Prądnica obcowzbudna

W prądnicach obcowzbudnych uzwojenie elektromagnesu, zwane uzwojeniem wzbudzenia jest zasilane z obcego źródła napięcia.

Schemat połączeń prądnicy obcowzbudnej przedstawiono na rys. 4. Rezystor R_e włączony w obwód prądu wzbudzenia służy do regulacji sem E przez regulację I_w .

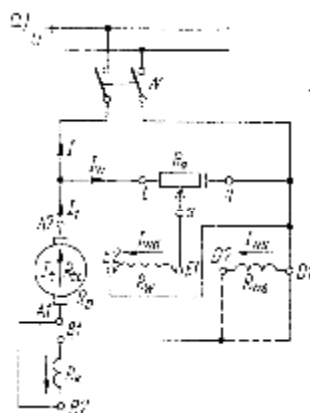
Przebieg charakterystyki biegu jałowego $E_0 = f(I_w)$ (rys. 4b) jest inny przy zwiększaniu i zmniejszaniu prądu – wpływa na to histereza obwodu magnetycznego. Do celów praktycznych posługujemy się krzywą wypośredkowaną (przerywaną).



Rys. 4. Prądnica obcowzbudna: a) schemat połączeń, b) charakterystyka biegu jałowego [1, s. 354]

Prądnica bocznikowa i bocznikowo-szeregowa

Obie maszyny są maszynami samowzbudnymi. Pełny schemat ich połączeń podano na rys. 5 (maszyna bez uzwojenia D1D2 jest bocznikową, natomiast gdy ma to uzwojenie, jest maszyną bocznikowo-szeregową). Prądnica może się wzbudzić, czyli uzyskać na swoich zaciskach żadaną sem E tylko wówczas, gdy istnieje w niej magnetyzm szczątkowy o strumieniu Φ_{sz} . Siła elektromotoryczna $E = E_{sz}$ powoduje przepływ prądu I_w i wzrost strumienia Φ . Zwiększa się E , ponownie zwiększa się I_w oraz ponownie zwiększa się E itd. do osiągnięcia stanu ustalonego.



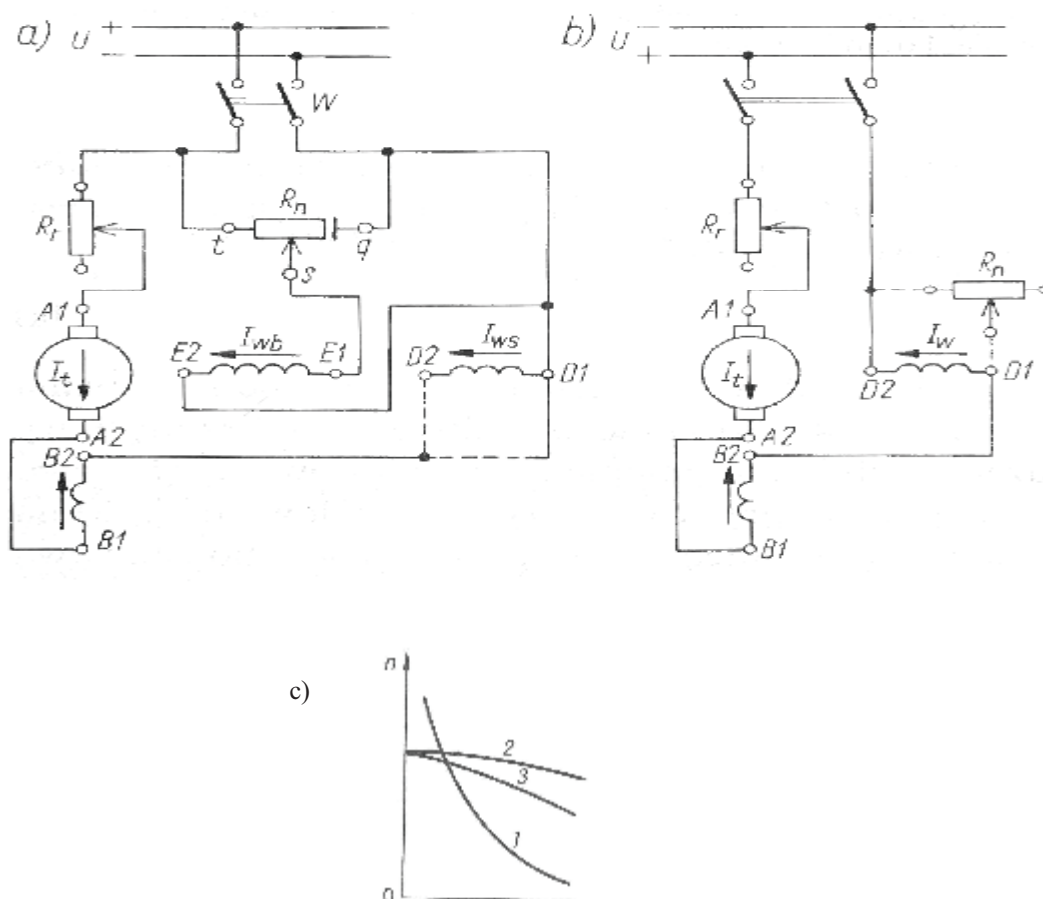
Rys. 5. Prądnica samowzbudna: a) schemat połączeń [1 s.353]

Silniki prądu stałego

Właściwości eksploatacyjne silników prądu stałego zależą od przebiegu **charakterystyk mechanicznych**.

Charakterystyki regulacji prędkości obrotowej. Zachowując moment $M = \text{const}$, prędkość obrotową silników prądu stałego możemy regulować przez:

- zmianę strumienia Φ – regulacja bocznikowa,
- zmianę rezystancji R_r – regulacja szeregową,
- przez zmianę napięcia zasilającego U .



Rys. 6. Schemat połączeń silników: a) bocznikowego, charakterystyka mechaniczna, b) szeregowego, charakterystyka mechaniczna, c) charakterystyki mechaniczne silników prądu stałego: 1 – szeregowego, 2 – bocznikowego, 3 – szeregowo-bocznikowego [1, s. 355]

Rozruch silnika prądu stałego. Silniki prądu stałego charakteryzują się dobrymi właściwościami ruchowymi, toteż znajdują zastosowanie w układach napędowych. Posiadają bardzo duży zakres regulacji prędkości obrotowej i duży moment rozruchowy. W chwili włączenia silnika do sieci jego prędkość $n = 0$ i sem $E = 0$. Pobierany wówczas prąd rozruchowy:

$$I_r = U / R_{tc}$$

Podczas załączenia przy $U = U_n$ wartość $I_r = (20 \div 30) I_n$, powodując szkodliwe iskrzenie na komutatorze, duży uder mechaniczny pochodzący od dużego momentu rozruchowego oraz chwilowe duże spadki napięcia w sieci zasilającej – nie pożądane dla innych odbiorników do niej przyłączonych.

Zmniejszenie prądu rozruchowego uzyskuje się przez włączenie rezystora R_r rozrusznika szeregowo z twornikiem na czas rozruchu, wówczas:

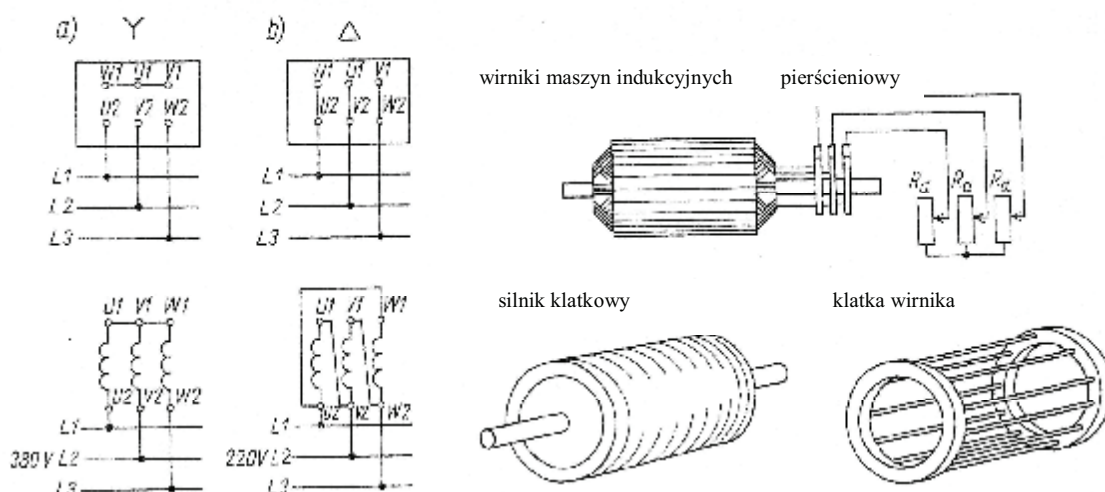
$$I_r = U / (R_{tc} + R_e)$$

Wartość rezystancji R_r oblicza się z wymaganej wartości momentu rozruchowego M_r . Prąd rozruchowy I_r będzie miał wartość najmniejszą wtedy, gdy strumień Φ będzie największy. Stąd też w chwili rozruchu rezystor rozruchowy R_r ustawić należy na $R_{r \max}$, a rezystor regulacyjny w obwodzie wzbudzenia na $R_n = 0$ – w silnikach bocznikowych i $R_n = \infty$ – w silnikach szeregowych.

Silniki indukcyjne. Silniki indukcyjne są najczęściej stosowanymi maszynami napędowymi ze względu na łatwy dostęp do źródła zasilania – prądu przemiennego jedno – i trójfazowego.

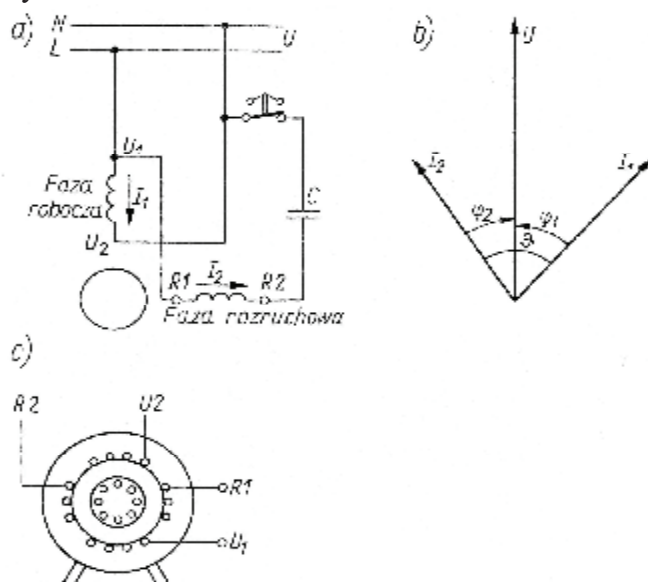
W maszynach trójfazowych uzwojenia stojana łączy się w gwiazdę lub w trójkąt.

W maszynach jednofazowych występują dwa uzwojenia przesunięte w przestrzeni o kąt $\Pi/2$. Jedno z nich stanowi uzwojenie rozruchowe a drugie jest uzwojeniem głównym (roboczym).



Rys. 7. Połączenia uzwojeń stojanów i wirników trójfazowych maszyn indukcyjnych [1, s. 390]

Rdzenie stojanów maszyny wykonane są z pakietów blach. Na ich obwodzie wewnętrznym umieszczone są żłobki, w których umieszczone jest uzwojenie. W podobny sposób zbudowany jest wirnik. Może on mieć uzwojenia wykonane jako zwoje wykonane z drutu miedzianego (silniki pierścieniowe) lub w formie klatki – (pręty aluminiowe) inaczej zwane uzwojeniem zwartym.



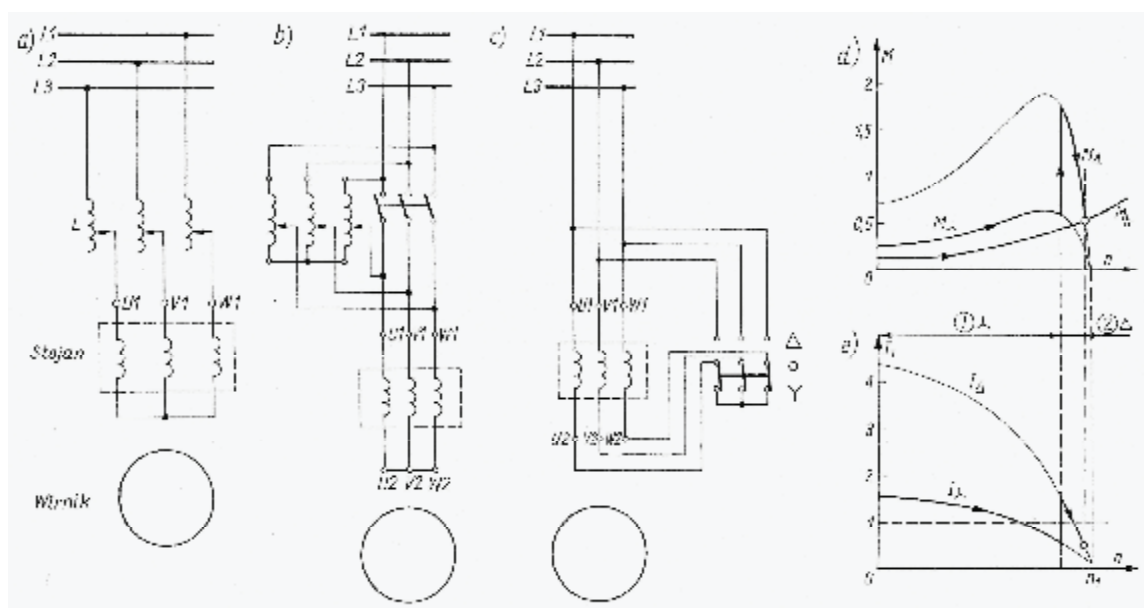
Rys. 8. Połączenia uzwojeń silników jednofazowych maszyn indukcyjnych [1, s. 398]

Rozruch silników klatkowych i pierścieniowych trwa od chwili przyłączenia obwodu stojana do sieci zasilającej do chwili osiągnięcia przez wirnik ustalonej prędkości obrotowej. W małych silnikach stosuje się rozruch bezpośredni, polegający na zasileniu silnika od razu

napięciem znamionowym. W silnikach większej mocy stosuje się różne sposoby ograniczenia prądu rozruchowego. Należą do nich przede wszystkim:

- zastosowanie przełącznika gwiazda - trójkąt (rys. 9c),
- zastosowanie rozrusznika (rezystora dołączonego do obwodu wirnika w silnikach pierścieniowych), pozwalające dodatkowo na zwiększenie momentu rozruchowego,
- zastosowanie rozrusznika energoelektronicznego (tzw. układu miękkiego rozruchu, pozwalającego na płynny wzrost napięcia w czasie rozruchu przy zachowaniu zadanych wartości innych parametrów, np. stałej wartości prądu rozruchowego).

Rzadziej do rozruchu stosuje się autotransformator lub dławiki załączane w obwód stojana (rys. 9a i 9b).



Rys. 9. Rozruch silników klatkowych: a) przy użyciu dławików, b) z autotransformatorem, c) przy użyciu przełącznika gwiazda – trójkąt, d,e) charakterystyki momentów i prądu rozruchu przy użyciu przełącznika gwiazda – trójkąt [1, s. 395]

Podczas rozruchu maszyny przełącznikiem Y / Δ prąd rozruchu pobierany z sieci maleje trzykrotnie. Wywołuje to również trzykrotne obniżenie momentu rozruchowego. Dlatego należy pamiętać, aby podczas takiego typu rozruchu maszyna nie była nadmiernie obciążona momentem mechanicznym na wale, gdyż może ulec uszkodzeniu.

4.1.2. Pytania sprawdzające

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

1. Z jakich podstawowych elementów zbudowane są maszyny elektryczne?
2. W jaki sposób wytwarza się siłę elektromotoryczną w maszynach prądu stałego?
3. Jakie znasz rodzaje maszyn elektrycznych?
4. Jakie znasz rodzaje rozruchu w maszynach prądu stałego?
5. Jak dzielimy maszyny prądu stałego w zależności od sposobu połączeń uzwojeń maszyny?
6. Jak zbudowane są maszyny indukcyjne?

4.1.3 Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Silnik z wirnikiem tarczowym ma następujące dane znamionowe: 24 V ; 2,2 A; 33 W 3500 obr/min. Ile wynosi jego sprawność i jaka jest wartość momentu obrotowego silnika?

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) skorzystać ze wzoru na sprawność,
- 2) obliczyć wartość momentu obrotowego silnika na wale.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zeszyt,
- kalkulator,
- literatura z rozdziału 6.

Ćwiczenie 2

Silnik prądu stałego ma następujące dane znamionowe: $P_N=10,6$ kW; $U_N= 400$ V; $I_N=29$ A; $I_{wz}=1$ A. Jakie są wartości sprawności i prądu twornika?

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) skorzystać ze wzoru na sprawność,
- 2) obliczyć wartość prądu twornika.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zeszyt,
- kalkulator,
- literatura z rozdziału 6.

Ćwiczenie 3

Badanie silników elektrycznych małej mocy.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z instrukcją wykonania ćwiczenia,
- 2) zorganizować stanowisko pracy do wykonania ćwiczenia,
- 3) zastosować się do poleceń zawartych w instrukcji,
- 4) przeprowadzić badania zwracając szczególną uwagę na dokładność pomiarów (w razie trudności skorzystać z pomocy nauczyciela),
- 5) sporządzić charakterystyki badanej maszyny na podstawie otrzymanych wyników pomiarowych, zgodnie z instrukcją,
- 6) zaprezentować wykonane ćwiczenie,
- 7) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- silnik prądu stałego małej mocy przystosowany do badania,
- instrukcja stanowiskowa,
- przyrządy pomiarowe, przewody łączeniowe,
- przygotowany przez ucznia protokół pomiarowy, papier milimetrowy.

4.1.3. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) wymienić urządzenia w swoim domu, w których są zainstalowane maszyny elektryczne?	☐	☐
2) wymienić zastosowania maszyn elektrycznych?	☐	☐
3) wymienić rodzaje maszyn w zależności od zastosowania?	☐	☐
4) wyjaśnić, co to jest obwód elektryczny maszyny?	☐	☐
5) wyjaśnić, co to jest obwód magnetyczny maszyny?	☐	☐
6) wymienić zjawiska fizyczne występujące w maszynach elektrycznych?	☐	☐
7) wymienić, w jaki sposób mogą być wytwarzane pola magnetyczne w maszynach elektrycznych?	☐	☐
8) wymienić, z jakich części składa się każda maszyna wirująca?	☐	☐
9) wyjaśnić, jakie informacje zawiera tabliczka znamionowa maszyny elektrycznej?	☐	☐
10) wyjaśnić, co to są dane znamionowe maszyny elektrycznej?	☐	☐
11) podać wzory na moce znamionowe silników prądu stałego, prądu przemiennego jednofazowego i trójfazowego?	☐	☐

4.2. Styczniki, przekaźniki – rodzaje, parametry, zastosowanie

4.2.1. Materiał nauczania

Klasyfikacja łączników niskiego napięcia

Łączniki służą do wykonywania czynności łączeniowych w obwodach elektrycznych w różnych warunkach pracy oraz do przewodzenia w stanie załączonym (zamknięte styki).

Ze względu na przeznaczenie łączniki dzielimy na:

- **izolacyjne** – sporadycznie zamykane i otwierane, mające na celu stworzenie widocznej przerwy izolacyjnej w obwodzie,
- **manewrowe** – wykonujące czynności łączeniowe w warunkach roboczych, do sterowania np. silników,
- **zabezpieczeniowe** – do przerywania obwodów w stanach zakłóceń,
- przeznaczone do innych zadań.

Klasyfikacja łączników ze względu na zasadę działania i zakres stosowania:

- **ręczne** – puszkowe, instalacyjne, warstwowe (krzywkowe, drążkowe, walcowe) – stosowane głównie w obwodach oświetleniowych i manewrowych, w których przełączenia dokonuje się ręcznie,
- **automatyczne** – styczniki, przekaźniki, wyłączniki - zmiana położenia styków następuje poprzez zmianę parametrów fizycznych obwodu zasilającego, np. wzrost lub spadek napięcia, wzrost prądu, temperatury itp.

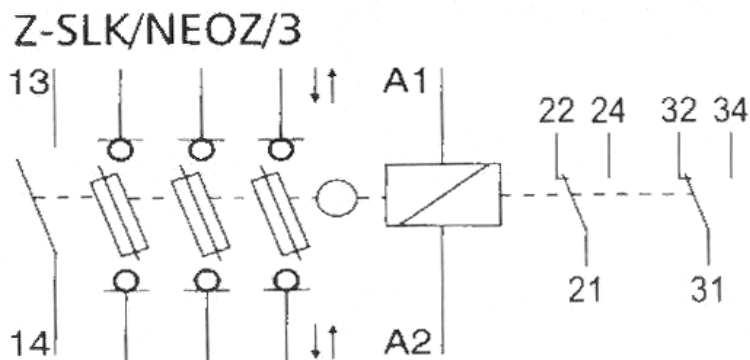
Osobną grupę łączników niskonapięciowych stanowią **łączniki instalacyjne**, do których zalicza się łączniki na napięcie 250V na małe prądy znamionowe: 6 lub 10 A, stosowane do jednofazowych obwodów w instalacjach mieszkaniowych i biurowych, w obwodach oświetleniowych zakładów przemysłowych itd.

Łączniki warstwowe są łącznikami, w których załączanie i wyłączanie odbywa się migowo (szybki przerzut styków za pomocą sprężyny napinanej przy pokręcaniu dźwigni napędowej), styki rozchodzą się wówczas z dużą prędkością doprowadzając do szybkiego gaszenia łuku elektrycznego. Łączniki warstwowe buduje się na prądy 10 ÷ 200 A; można je stosować nie tylko do załączania i wyłączania, ale także do przełączeń (np. do zmiany konfiguracji sieci), jak przełączenie uzwojeń silnika lub zmiany kierunku wirowania.

Łączniki statyczne (bezstykowe) rozpowszechniły się obecnie w układach sterowania, w których mamy do czynienia z obwodami dużej mocy o bardzo dużej częstotliwości łączeń. Łączniki te są zbudowane z elementów półprzewodnikowych mocy. Są to przede wszystkim układy tyrystorowe lub tranzystorowe, które przewyższają układy mechaniczne łączników pod względem trwałości i możliwości skracania czasów załączania i wyłączania obwodów.

Stycznikami są łączniki manewrowe – automatyczne o dużej częstotliwości łączeń. Najczęściej występują styczniki z napędem elektromagnetycznym, spotyka się też styczniki z napędem pneumatycznym np. w pojazdach trakcyjnych, a nawet napędem mechanicznym.

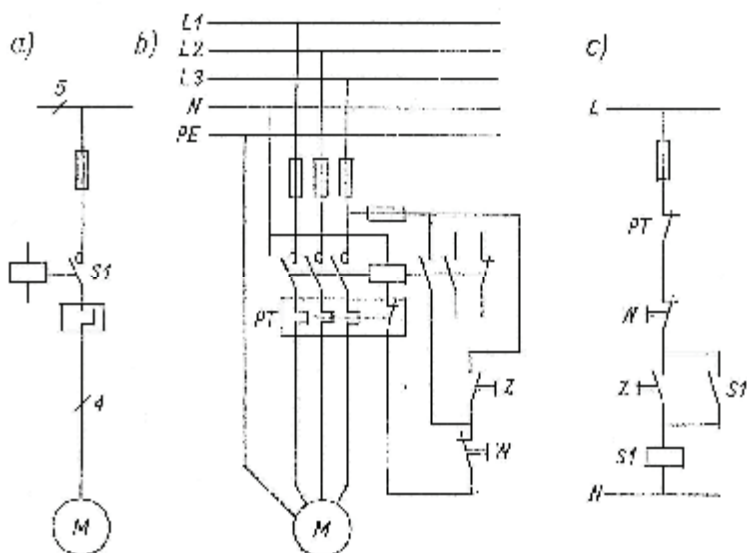
Styczniki elektromagnetyczne są sterowane tylko sygnałem napięciowym. Otwarcie lub zamknięcie styków następuje na skutek zaniku lub pojawienia się napięcia sterującego. Zaliczamy je do grupy rozłączników, które mają zdolność załączania i wyłączania prądów roboczych i przeciążeniowych. Coraz częściej do łączenia obwodów dużej mocy stosuje się łączniki próżniowe – styczniki próżniowe, wyłączniki próżniowe. Styki tych łączników umieszczone są w komorach próżniowych. Konstrukcja ta zapewnia bardzo krótki i bezłukowy proces wyłączenia (próżnia nie posiada nośników energii).



Rys. 10. Układy styków stycznika typu Z-SCH firmy Moeller [2, s.52]

Podstawą doboru stycznika do pracy w obwodach sterowniczych są parametry znamionowe zawarte w kartach katalogowych. Podstawowe parametry znamionowe:

- prąd znamionowy ciągły,
- napięcie znamionowe (łączeniowe),
- prąd łączeniowy,
- napięcie sterowania,
- kategorie użytkowania,
- moc łączeniowa,
- trwałość łączeniowa.



Rys.11. Układy sterowania pracą silnika za pomocą stycznika: a) schemat ideowy połączeń, b) schemat połączeń torów głównych zasilania, c) schemat połączeń torów sterowniczych, S1 – styki główne stycznika i cewka, PT – przekaźnik termobimetalowy, W – przycisk wyłącz, Z – przycisk załącz [2, s. 56]

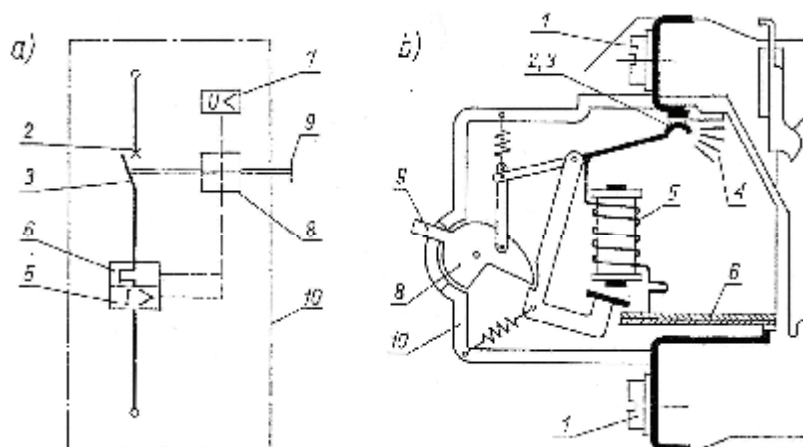
Styki główne stycznika umieszczone są w torze głównym zasilającym odbiornika (płynie przez nie prąd roboczy odbiornika). Stycznik może posiadać również styki pomocnicze stosowane w obwodach współpracujących z obwodem danego odbiornika. Np. styki pomocnicze mogą uruchamiać układ sygnalizacji alarmowej lub mogą sterować pracą innego obwodu elektrycznego. Styki pomocnicze mogą być zwierne (zamykają się przy wysterowaniu stycznika) lub rozwierne (otwierają się przy wysterowaniu stycznika). Stan wysterowania określony jest tu jako stan pracy, w którym podany jest impuls na zamknięcie styków stycznika.

Innym łącznikiem automatycznym stosowanym w układach automatyki przemysłowej jest **przełącznik**. Może być on sterowany różnymi wielkościami elektrycznymi,

np. napięciem, prądem, temperaturą, mocą itp. Posiada styki zarówno zwierne jak i rozwierne są one najczęściej o niskiej obciążalności prądowej. Poniżej podane są różne zestawienia styków przekąźnikowych.

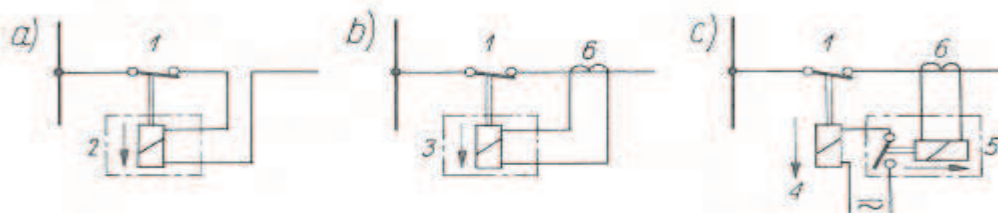
Do łączników zaliczane są również są **wyłączniki**, stosowane do załączania i wyłączania prądów roboczych, przeciążeniowych i zwarciovych. Załączanie i wyłączanie wyłącznika może odbywać się ręcznie i/lub samoczynnie. Wyłączniki wyposażone są w wyzwalacze lub przekąźniki, które oddziałują na zamek wyłącznika powodując jego zadziałanie (otwarcie styków) w stanie zakłócenia pracy obwodu.

Rozróżniamy wyzwalacze pierwotne lub wtórne. Do najprostszych należą wyzwalacze pierwotne, w których prąd roboczy urządzenia przepływa bezpośrednio przez elementy wyzwalacza. Wyzwalacze wtórne zasilane są z przekładników prądowych lub napięciowych. Przykładem wyzwalacza pierwotnego jest niskonapięciowy wyzwalacz termiczny – bimetalowy, przez który przepływa prąd roboczy. Przy przepływie prądu przeciążeniowego wygina się i powoduje wyłączenie styków łącznika. Inny typ wyzwalacza to wyzwalacz elektromagnetyczny, którego zasada pracy pokazana jest na rysunku poniżej.

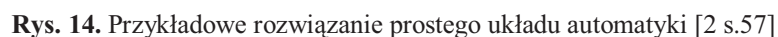


Rys. 12. Kompaktowe wyłączniki dużej mocy: a) schemat połączeń, b) szkic budowy, 1 – zacisk przyłączeniowy, 2,3 – styki, 4 – komora gaszeniowa, 5 – wyzwalacz nadprądowy, 6 – wyzwalacz cieplny, 7 – cewka podnapięciowa, 8 – zamek, 9 – dźwignia napędu, 10 – obudowa [2, s.70]

Otwarcie styków wyłącznika następuje pod wpływem wyzwalacza (lub przekąźnika), który mechanicznie oddziałuje na zamek.



Rys. 13. Zasada działania urządzeń wyzwalających: a) wyzwalacz pierwotny, b) wyzwalacz wtórny, c) przekąźnik, 1 – łącznik, 2- wyzwalacz pierwotny, 3 – wyzwalacz wtórny, 4 – cewka wybijałowa wyłącznika, 5 – przekąźnik, 6 – przekładnik prądowy [1, s.508]



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

- ### 4.2.3. Ćwiczenia

Rozpoznawanie stycznych i przekąźników

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) wskazać wymagane urządzenia na schematach elektrycznych, eksponatach, katalogach,
- 2) rozpoznać jak najwięcej elementów różnych rodzajów,
- 3) zastosować poprawne nazewnictwo wskazanych elementów,
- 4) proponować zastosowanie elementów w praktyce.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- treść zadania dla pary uczniów,
- katalogi, zdjęcia, makiety, eksponaty omawianych urządzeń.

Ćwiczenie 2

Odczytywanie parametrów znamionowych z tabliczek znamionowych styczników i przekaźników.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) poprawnie nazwać wielkości przedstawione na tabliczce znamionowej urządzenia,
- 2) wykorzystać odczytany parametr przy doborze urządzenia do pracy w obwodzie elektrycznym zaproponowanym przez nauczyciela,

Wyposażenie stanowiska pracy:

- treść zadania,
- katalogi, zdjęcia, makiety, eksponaty omawianych urządzeń.

Ćwiczenie 3

Analiza pracy układu sterowania, w którym zastosowano styczniki i przekaźniki.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) wskazać wymagane urządzenia na schematach elektrycznych,
- 2) poprawnie nazwać wskazane elementy,
- 3) dokonać analizy pracy układu zaproponowanego na schemacie elektrycznym.

Wyposażenie stanowiska pracy

- treść zadania dla pary uczniów,
- fragment schematu elektrycznego z zastosowaniem przekaźników i styczników.

4.2.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

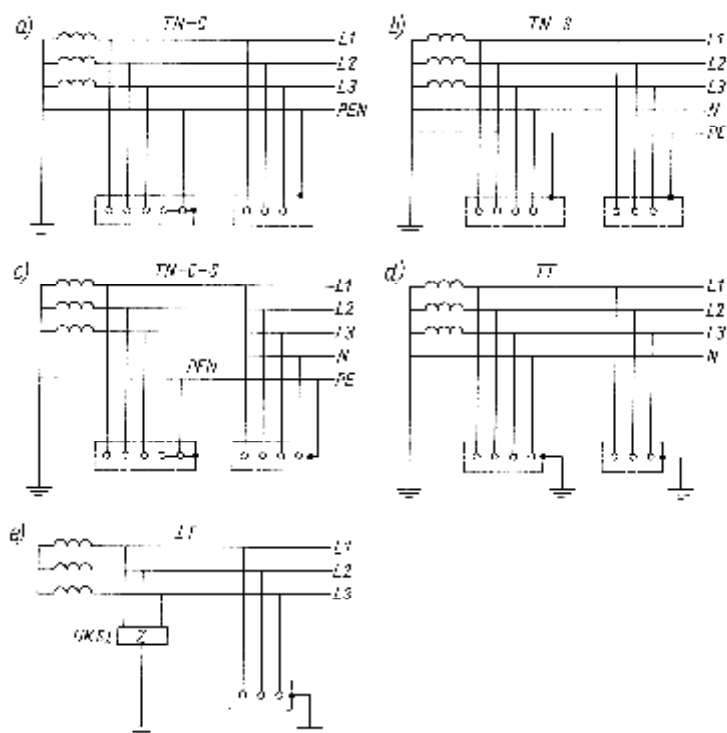
	Tak	Nie
1) omówić działanie stycznika elektrycznego?	☐	☐
2) narysować symbol elektryczny stycznika?	☐	☐
3) określić zastosowanie stycznika?	☐	☐
4) wskazać różnice pomiędzy stycznikiem i przekaźnikiem?	☐	☐
5) wskazać zastosowanie przekaźnika w obwodach elektrycznych?	☐	☐
6) narysować prosty schemat elektryczny z zastosowaniem styczników i przekaźników?	☐	☐
7) wskazać na schemacie elektrycznym stycznik i przekaźnik?	☐	☐
8) wskazać stycznik i przekaźnik wśród eksponatów?	☐	☐
9) zmontować prosty układ z zastosowaniem stycznika i przekaźnika?	☐	☐

4.3. Instalacje elektryczne – rodzaje, przewody, osprzęt instalacyjny

4.3.1. Materiał nauczania

Instalacja elektryczna. Układy pracy sieci niskiego napięcia

Norma elektryczna PN-IEC 60364-3 wprowadza oznaczenia literowe charakteryzujące połączenia sieci z ziemią oraz połączenia odbiorników (ich części przewodzących dostępnych) z ziemią.



Rys.15. Schematy układów sieciowych niskiego napięcia [6, s.17]

TN- C – w całym układzie występuje wspólny przewód **PEN**, tzn. nie ma przewodów ochronnych,

TN- S - w całym układzie występują osobno przewody **PE** i **N**,

TN- C-S – w liniach rozdzielczych i odbiorczych o dużym przekroju występuje przewód **PEN**, natomiast w obwodach odbiorczych o małym przekroju przewodów – osobne przewody **PE** i **N**.

Tabela 1. Oznaczenia klasy ochronności urządzeń elektrycznych warunkujących sposób podłączenia urządzenia do sieci zasilającej.

Oznaczenie cyfrowe klasy ochronności urządzenia	Główne cechy urządzenia istotne dla ochrony przeciwpożarowej	Oznaczenie graficzne klasy ochronności
0	– izolacja podstawowa, – brak zacisku ochronnego, – przewód ruchomy zasilający (jeżeli jest) bez żyły ochronnej, wtyczka bez styku ochronnego	Brak oznaczenia

I	– izolacja podstawowa, – zacisk ochronny, – przewód ruchomy zasilający (jeżeli jest) bez żyły ochronnej, a wtyczka ze stykiem ochronnym	
II	– izolacja podwójna lub izolacja wzmocniona, – brak zacisku ochronnego, – przewód ruchomy zasilający (jeżeli jest) bez żyły ochronnej, wtyczka bez styku ochronnego	
III	– bardzo niskie napięcie znamionowe ($U \leq 50$ V), – izolacja podstawowa, – przewód ruchomy zasilający (jeżeli jest) bez żyły ochronnej, wtyczka bez styku ochronnego	

Instalacja dedykowana

Przewidując budowę instalacji do zasilania urządzeń elektronicznych staramy się wydzielić i uniezależnić od instalacji elektrycznej ogólnej. Jest to podyktowane specyfiką zabezpieczeń stosowanych przy zasilaniu urządzeń elektronicznych, niezmiernie czułych na wszelkiego rodzaju zakłócenia. Urządzenia takie, jak komputery, serwery, wymagają zasilania gwarantowanego – bezprzerwowe zasilanie, dopuszcza się przerwy w zasilaniu nie dłuższe niż 10 ms. Nie dopuszcza się również wahań napięcia, dużych spadków napięć, przepięć, odkształceń ze względu na wysoki poziom zakłóceń harmoniczných, wahań częstotliwości. Środkiem zapewniającym zasilanie gwarantowane są UPS- tzw. zasilacze bezprzerwowe.

Przewody elektryczne

Podstawowym elementem umożliwiającym połączenie odbiornika do sieci zasilającej są przewody elektryczne. Składają się one z dwóch zasadniczych części: przewodzącej (żyły) oraz izolacyjnej (często bardzo rozbudowanej izolacji podstawowej i dodatkowej). Materiałem najczęściej stosowanym na żyły przewodów elektrycznych jest miedź i aluminium. Jako materiał izolacyjny stosuje się polwinit, polietylen i gumę.

Tabela 2. Podstawowe oznaczenia określające przewody instalacyjne.

Budowa	oznaczenia	przykłady
Konstrukcja żyły – jednodrutowe – wielodrutowe – wielodrutowe giętkie	D L LG	DY LY LgY
Materiał żyły: – miedź – aluminium	Brak oznaczenia A	YDY YADY
Materiał izolacji: – polwinit PCV – polietylen – guma (oponowy)	Y X O	YKY YAKXS Opd
Oznaczenia dodatkowe: – wtynkowy – wzmocniona izolacja – ciepłoodporny	t d c p	YDYt OPd DYc YDYp

– płaski – samonośny – niepalny – żyła ochronna – górniczy – sterowniczy – sygnalizacyjny	s n(N) żo G St S	AsXS AsXS _n YKY _{żo} YKGY YstY _{żo} YKSY, OS
komputerowe: – nieekranowany – ekranowany – indywidualnie ekranowane pary – indywidualnie ekranowane pary + ekran wspólny	UTP FTP STP S-STP	
Optotelekomunikacyjny: – rozetowy – tubowy	OTKr OTKt	XOTKr YOTKtd
Instalacyjny samochodowy	-S	YLY-S

Przekroje przewodów dobierane są w zależności od obciążalności prądowej w danym fragmencie zaprojektowanego obwodu elektrycznego. Normy określające dobór przekroju przewodów w instalacjach elektrycznych: norma wieloarkuszowa **PN – IEC 60364** – Instalacje elektryczne w budownictwie, w tym: PN – IEC 60364-5-52 – Ogólne wytyczne doboru przewodów. PN – IEC 60364-5-523 - Obciążalność prądowa długotrwała dla 50 sposobów ułożenia instalacji elektrycznej. Przekrój przewodów w instalacjach elektrycznych ustala się w oparciu o następujące czynniki:

- 1) obciążalność prądową długotrwałą
- 2) wytrzymałość mechaniczną
- 3) dopuszczalny spadek napięcia
- 4) skuteczność ochrony przeciwporażeniowej
- 5) wytrzymałość zwarciorowa (ciepłe działanie prądów zwarciorowych)
- 6) czynniki dodatkowe takie jak:
 - sposób układania przewodów
 - temperatura otoczenia
 - rodzaj zasilanych odbiorników

Minimalne przekroje przewodów:

1. W instalacji należy stosować – do przekroju 10 mm² przewody wyłącznie z miedzi
2. Przewód ochronno – neutralny PEN w instalacjach ułożonych na stałe w układzie TN – 10 mm² w przypadku miedzi lub 16 mm² dla przewodów aluminiowych
3. Przewód ochronny PE (nie będący częścią przewodu zasilającego) nie powinien być mniejszy niż:
 - 2,5 mm² gdy stosujemy ochronę mechaniczną,
 - 4 mm² w przypadku braku ochrony przed uszkodzeniami mechanicznymi.

Osprzęt elektryczny

Podczas układania instalacji elektrycznej zasilającej różnego rodzaju odbiorniki energii elektrycznej zachodzi konieczność dokonywania połączeń pomiędzy poszczególnymi fragmentami obwodu. W celu wykonania połączenia, zamocowania przewodów lub łączników stosujemy urządzenia umożliwiające estetyczne wykonanie instalacji, jak i jej późniejszą bezpieczną eksploatację. Urządzenia spełniające powyższą funkcję określa się mianem osprzętu elektrycznego.

Tabela 3. Zestawienie niektórych elementów osprzętu elektrycznego i jego przeznaczenie

Nazwa elementu	Zastosowanie w instalacji
Rury i korytka instalacyjne	Służą do zabezpieczania przewodów przed uszkodzeniami mechanicznymi, działaniem pyłu, wilgoci, gazów itp.
Osprzęt odgałęźny: – puszki – końcówki – pierścienie odgałęźne	Są to elementy umożliwiające osłonę miejsca połączenia przewodu lub dokonanie rozgałęzienia oraz przeprowadzenie przewodu lub jego wyprowadzenie przez strop czy ścianę
Osprzęt do mocowania rur instalacyjnych, sprzęt do łączenia i kończenia instalacji	Są to uchwyty dostosowane do mocowania przewodów lub korytek czy rur do ściany (stropu), złączki do łączenia rur instalacyjnych, itp.

4.3.2. Pytania sprawdzające

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

1. W jaki sposób podłączamy odbiorniki do sieci jedno- i trójfazowej w zależności od klasy ochrony?
2. Jakie znasz układy sieciowe nn i czym one się charakteryzują?
3. Jakie są poziomy napięcie bezpiecznych w sieci elektrycznej?
4. Jaki osprzęt zastosujesz do montażu prostej instalacji zasilającej dany odbiornik?
5. Jak dobierzesz przekroje przewodów do zasilania danego odbiornika?
6. Wyjaśnij co nazywamy instalacją dedykowaną?

4.3.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Rysowanie schematów sieci elektrycznej z podłączonymi odbiornikami jednofazowymi i trójfazowymi.

Sposób wykonania ćwiczenia.

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) poprawnie zastosować na schemacie oznaczenia i symbole elektryczne,
- 2) używać poprawnego nazewnictwa elektrycznego,
- 3) dokonać analizy pracy układu zaproponowanego na schemacie elektrycznym.

Wypożyczenie stanowiska pracy:

- treść zadania dla pary uczniów,
- fragment schematu elektrycznego z zastosowaniem przekaźników i styczników,
- makiety instalacji elektrycznej.

Ćwiczenie 2

Rozpoznawanie osprzętu elektrycznego

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) wskazać umiejscowienie danego elementu na schemacie elektrycznym,
- 2) poprawnie nazwać elementy wskazane,
- 3) określić zastosowanie wskazanego elementu oraz sposób jego zamontowania.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- treść zadania dla pary uczniów,
- katalogi, zdjęcia,
- makiety, eksponaty omawianych urządzeń.

Ćwiczenie 3

Montaż prostej instalacji elektrycznej według zaproponowanego schematu.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) omówić zasady tworzenia rysunków technicznych,
- 2) dobrać materiały do wykonania instalacji elektrycznej,
- 3) zorganizować stanowisko do montażu instalacji zgodnie z zasadami bezpieczeństwa i higieny pracy,
- 4) zamontować podstawowe zabezpieczenia zwarciovowe,
- 5) wymienić zastosowane środki ochrony przeciwporażeniowej,
- 6) wykonać poprawne połączenia pomiędzy elementami obwodu zasilającego i odbiorczego.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- tablica (ściana) montażowa,
- osprzęt elektryczny,
- narzędzia elektrotechniczne (wkręta, kombinerki),
- zabezpieczenia zwarciovowe, przepięciowe i przeciwporażeniowe,
- proste odbiory elektryczne np. żarówki,
- zestaw komputerowy z drukarką wyposażony w program wspomagający projektowanie instalacji elektrycznej,
- normy elektryczne.

4.3.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) narysować układy pracy sieci elektrycznej niskiego napięcia?	☐	☐
2) wyjaśnić, co oznaczają kody opisujące sposoby połączenia sieci?	☐	☐
3) podać oznaczenia literowe popularnych przewodów elektrycznych?	☐	☐
4) dobrać przekroje przewodów elektrycznych do obciążenia?	☐	☐
5) wskazać zastosowanie przewodu na podstawie jego oznaczenia i koloru?	☐	☐
6) narysować prosty układ sieci zasilającej z załączonym odbiornikiem energii?	☐	☐
7) zmontować prostą instalację elektryczną?	☐	☐
8) rozpoznać podstawowy osprzęt elektryczny?	☐	☐

4.4. Zabezpieczenia instalacji elektrycznych

4.4.1. Materiał nauczania

- Urządzenia elektryczne mogą być narażone na różne rodzaje zakłóceń, są to np.:
- zwarcia fazowe i międzyfazowe, czyli wzrost prądu wielokrotnie przekraczający wartość znamionową,
 - przeciążenia, czyli wzrosty prądu powyżej wartości znamionowej lecz nie przekraczające dwukrotnej jej wartości,
 - przepięcia – stany, w których w obwodach występują napięcia wyższe niż najwyższa dopuszczalna wartość napięcia długotrwałego.

Zabezpieczenia klasyfikujemy ze względu na wielkości fizyczne, które wywołują ich zadziałania, czyli:

- zabezpieczenia przeciążeniowo-zwarciovowe reagują na wzrost prądu w obwodzie,
- zabezpieczenia przepięciowe reagują na wzrost napięcia zasilającego.

Zabezpieczenia nadprądowe (przeciążeniowo – zwarciovowe)

Każdy obwód instalacji elektrycznej (sieci zasilającej) musi być chroniony przed:

- **przeciążeniami**, tj. przepływem prądów większych niż dopuszczalne ze względu na nagrzewanie, zwłaszcza przewodów oraz wrażliwych na przeciążenia odbiorników, takich jak np. silniki,
- **zwarciami**, tj. przepływem prądów w warunkach uszkodzenia izolacji.

Powyższym wymaganiom podlegają również sieci zasilające urządzenia elektroniczne i komputerowe. Jednak w tych przypadkach normalnie stosowane zabezpieczenia mogą okazać się niewystarczające, wartość prądu w przewodzie neutralnym przekracza znacznie wartości prądów w przewodach fazowych – $I_N = \sqrt{3}I_L$.

Zabezpieczenie przetężeniowe tzn. przeciążeniowe i zwarciovowe może być realizowane za pomocą:

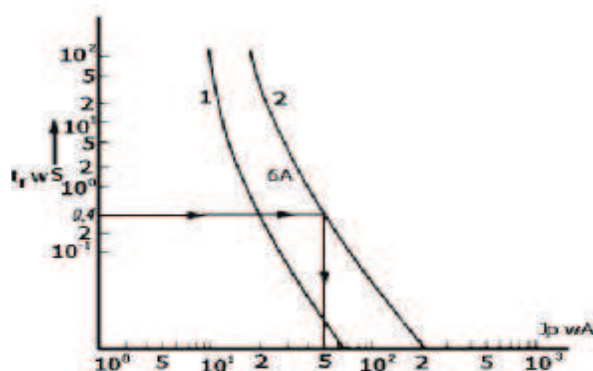
- bezpieczników z wkładkami topikowymi, albo
- wyłączników z zabezpieczeniami przeciążeniowymi i zwarciovymi.

Bezpieczniki

Zadaniem bezpieczników topikowych jest otwarcie obwodu w przypadku, gdy prąd w zabezpieczonym obwodzie przekracza określoną wartość.

Zasadniczą częścią bezpiecznika topikowego jest jeden lub kilka równolegle połączonych elementów topikowych (drucików lub pasków). Elementy te zasypane są piaskiem kwarcowym, który ma za zadanie odbieranie ciepła od topików w trakcie normalnej pracy oraz gaszenie łuku elektrycznego podczas awarii. Całość umieszczona jest w porcelanowej obudowie z wyprowadzonymi stykami umożliwiającymi zabudowanie elementu w gnieździe bezpiecznikowym.

Zależność czasu stopienia się elementów topikowych od wartości prądu nazywamy charakterystyką czasowo- prądową bezpiecznika. W zależności od czasu przepalania się wkładki, rozróżniamy bezpieczniki o działaniu szybkim i zwłocznym. Ze względu na rozrzut czasu przepalania się elementów topikowych charakterystyka jest podana w postaci pasmowej.



Rys.16. Charakterystyka czasowo – prądowa bezpiecznika: 1- o działaniu szybkim, 2- o działaniu zwłocznym

Bezpieczniki topikowe spełniają też funkcje odłączników, ponieważ po wyjęciu rury bezpiecznikowej albo po wykręceniu wkładki topikowej powstaje widoczna przerwa izolacyjna w obwodzie, umożliwiającą bezpieczną pracę elektryka na odłączonym fragmencie sieci zasilającej.

Bezpieczniki niskonapięciowe można podzielić ze względu na budowę na:

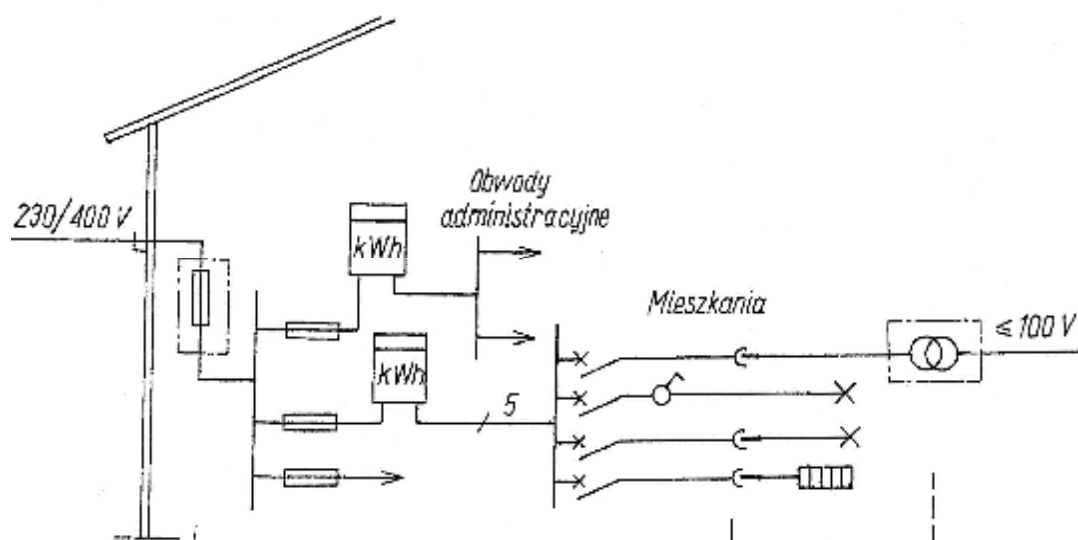
- **instalacyjne**, popularne w instalacjach mieszkaniowych,
- **stacyjne** (zwane też bezpiecznikami wielkiej mocy), stosowane głównie w instalacjach przemysłowych,
- **aparatowe** – do zabezpieczania urządzeń elektronicznych lub elektrycznych małej mocy,
- **specjalne**.

Bezpiecznik instalacyjny **Bi** składa się z wielozakresowego gniazda jednobiegunowego, wkładki kalibracyjnej (wkręcanej w dno gniazda) dopasowującej powierzchnię styku do zastosowanej wkładki topikowej i główki mocującej wkładkę. Prądy znamionowe bezpieczników instalacyjnych o charakterystykach szybkich (**Bi – Wts**) oraz zwłoczných (**Bi – Wtz**) wynoszą od 6 do 200 A. Np. jeśli wkładki o działaniu szybkim stosuje się jako zabezpieczenie silnika, to mogą one przepalać się przy rozruchu, zwłaszcza gdy rozruch jest ciężki i prąd rozruchu płynie przez kilka sekund. W takich przypadkach stosuje się wkładki o działaniu zwłocznym. Obecnie wprowadzono inne oznaczenia wkładek topikowych bezpieczników np. **gG**; **gL**, **aM**, **gR**, **gTr**. W oznaczeniu na pierwszym miejscu pojawia się mała litera **g** lub **a** określająca jaką część charakterystyki czasowo- prądowej bezpiecznika jest wykorzystywana. Mała litera **g** oznacza, że stanowi on zabezpieczenie w pełnym zakresie charakterystyki, czyli zabezpiecza zarówno przed zwarcie jak i przeciążeniem. Mała litera **a** oznacza, że wkładka stanowi zabezpieczenie tylko przed zwarcie – urządzenie musi być dobezpieczone przed przeciążeniem dodatkowym urządzeniem zabezpieczającym. Druga (duża) litera mówi o zastosowaniu wkładki i tak:

- **G** - wkładka przeznaczenia ogólnego,
- **L** - wkładka do zabezpieczania linii,
- **Tr** - stosowana do zabezpieczania obwodów o dużej indukcyjności np. transformatorów,
- **R** - do zabezpieczeń urządzeń elektronicznych (szybka),
- **M** - do zabezpieczania maszyn elektrycznych.

Bezpieczniki stacyjne typu **BM** mają większą mocą wyłączalną i posiadają podstawy ze szczękami do osadzenia wkładki bezpiecznikowej. Służą zarówno do zabezpieczania linii jak i do zabezpieczenia maszyn o ciężkich i częstych rozruchach. Prądy znamionowe bezpieczników stacyjnych o charakterystykach szybkich wynoszą od 6 do 630 A.

Do zabezpieczenia przyrządów pomiarowych lub odbiorników radiowych i telewizyjnych oraz obwodów pomocniczych służą bezpieczniki aparaturowe (na prądy znamionowe od kilkudziesięciu miliamperów do kilku amperów).



Rys. 17. Przykład zabezpieczenia instalacji mieszkaniowej: bezpiecznikami w obwodach przed licznikiem energii elektrycznej, wyłącznikami instalacyjnymi w obwodach mieszkaniowych [7, s.226]

Przy zastosowaniu bezpieczników w obwodach trójfazowych instalacji, należy je instalować jedynie w przewodach fazowych, gdyż w przypadku przepalenia się lub wyjęcia wkładki topikowej zainstalowanej w przewodzie neutralnym, rozkład napięcia 400V na odbiornikach zasilanych z różnych faz, będzie odwrotnie proporcjonalny do ich mocy, co oczywiście spowoduje uszkodzenie odbiornika o większej impedancji (mniejszej mocy). Tak więc instalowanie bezpieczników w przewodach neutralnych obwodów trójfazowych jest niedopuszczalne. W omawianym przypadku, jeśli bezpieczniki są dobrane do dopuszczalnej obciążalności przewodów fazowych, przewód neutralny może zostać długotrwale przeciążony, co w konsekwencji spowoduje jego uszkodzenie lub zniszczenie. W związku z powyższym, bezpieczniki w przewodach fazowych muszą być tak dobrane, aby mogły zabezpieczać również przewód neutralny. Np. [5] jeżeli w przewodzie neutralnym o takim samym przekroju jak przewody fazowe spodziewany prąd obciążenia wynosi 18 A, to przewody fazowe muszą być zabezpieczone bezpiecznikami o prądzie znamionowym nie większym niż $18 : \sqrt{3} = 10,4$ A, tj. co najwyżej za pomocą bezpieczników 10 A. Innym rozwiązaniem może być odpowiednie zwiększenie przekroju przewodów. Na przykład w przypadku konieczności zabezpieczenia przewodów fazowych bezpiecznikami 16 A, należy:

- odpowiednio zwiększyć przekrój przewodu neutralnego, albo
- odpowiednio zwiększyć przekroje wszystkich przewodów tak, aby dopuszczalna obciążalność przewodu neutralnego nie była mniejsza niż $16 \cdot \sqrt{3} = 27,7$ A.

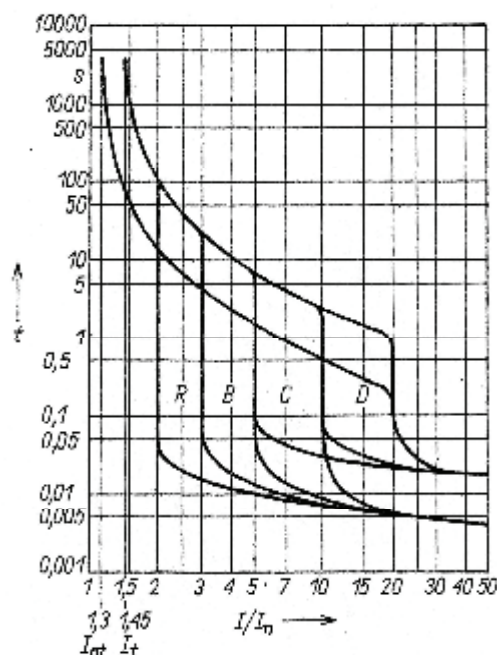
Przy zastosowaniu wyłączników w obwodach trójfazowych, muszą to być [5]:

- wyłączniki czterobiegunowe z odpowiednio dobranymi do przekroju przewodów zabezpieczeniami przeciążeniowymi, albo
- wyłączniki trójbiegunowe z zabezpieczeniami przeciążeniowymi w przewodach fazowych, dobrane w sposób uniemożliwiający przeciążenie przewodu neutralnego, tj. tak jak bezpieczniki opisane powyżej.

Wyłączniki instalacyjne

W zależności od wartości prądu zadziałania zabezpieczeń zwarciovych powszechnie stosowane są wyłączniki o charakterystykach:

- **B** – dla których prąd zadziałania zawiera się w granicach $(3 \div 5)I_n$, (do zabezpieczenia instalacji oświetleniowych),
- **C** dla których prąd zadziałania zawiera się w granicach $(5 \div 10) I_n$ (do zabezpieczania silników o lekkim rozruchu),
- **D** dla których prąd zadziałania zawiera się w granicach $(10 \div 20) I_n$ (.do zabezpieczania silników o ciężkim rozruchu).

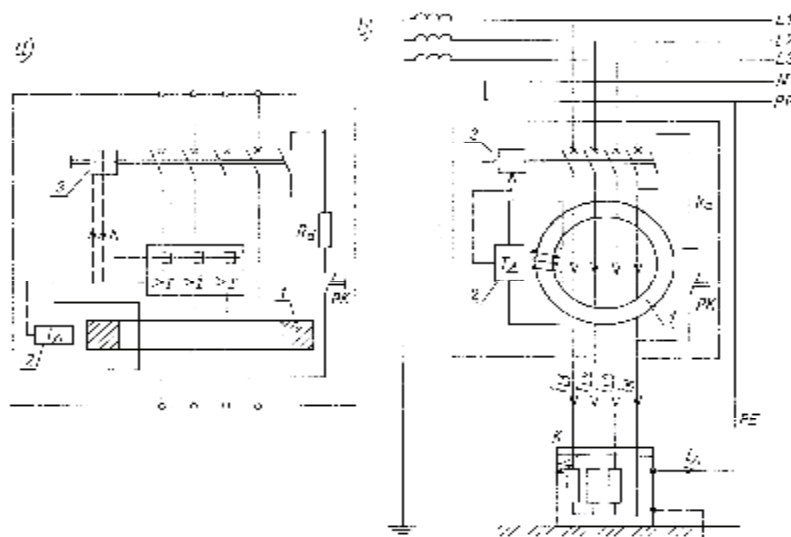


Rys. 18. Charakterystyki czasowo – prądowe wyłączników instalacyjnych: I_n – prąd znamionowy wyzwalacza przeciążeniowego, I_{nt} , I_t – prądy niezadziałania i zadziałania wyzwalacza [7, s.72]

Wyłączniki różnicowoprądowe

Urządzeniem zabezpieczeniowym bardzo rozpowszechnionym w instalacjach niskiego napięcia jest wyłącznik różnicowoprądowy. Są one budowane na różne wartości prądów wyłączeniowych ($I_{\Delta n}$): 10, 30, 100, 300, 500, 1000 mA. Oprócz zabezpieczenia przeciwporażeniowego stanowią one zabezpieczenie przeciwpożarowe – nie dopuszczając do rozgrzania izolacji przy prądach upływnościowych (płynących przez izolację urządzenia). Przy zastosowaniu wyłączników należy zwrócić uwagę na spodziewany charakter prądu pobieranego przez odbiorniki. Źle dobrany wyłącznik może spowodować błędne zadziałanie lub nie zadziała. Rozróżniamy następujące typy wyłączników:

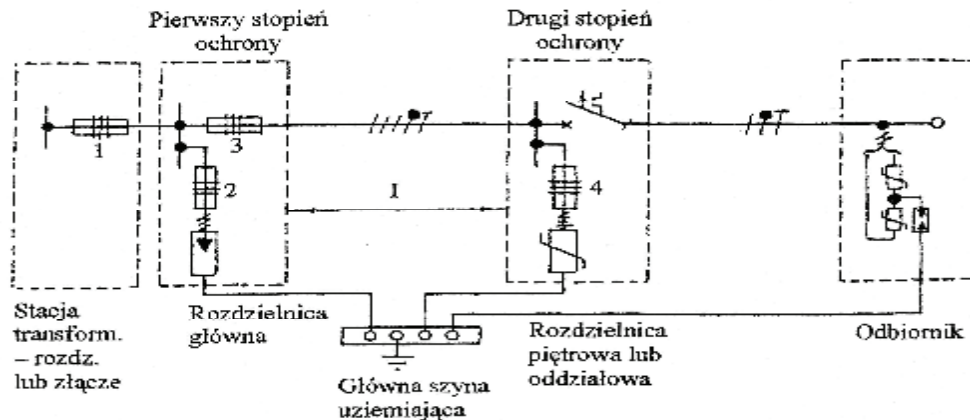
- **AC** – działające przy prądach sinusoidalnych zmiennych (nie zaleca się stosować do zabezpieczania urządzeń elektronicznych),
- **A** – działające przy prądach sinusoidalnie zmiennych i pulsujących,
- **B** – działające przy prądach sinusoidalnie zmiennych, pulsujących i stałych.



Rys. 19. Zasada podłączenia wyłącznika różnicowoprądowego o działaniu bezpośrednim: a) układ połączeń, b) szkic przedstawiający budowę, 1 – przekładnik sumujący, 2 – przekaźnik różnicowy, 3 – zamek wyłącznika, R_d – rezystor ograniczający, PK – przycisk kontrolny, K – urządzenie chronione [7, s.79]

Zabezpieczenia przepięciowe urządzeń elektronicznych

Zgodnie z przepisami instalacje muszą być wyposażone w ograniczniki przepięć o parametrach stosownych do miejsca zainstalowania. Do poprawnego zabezpieczenia instalacji wystarczają dwa stopnie ochrony - trzeci stopień, w bezpośrednim sąsiedztwie urządzenia lub wewnątrz niego umieszczamy na wyraźne wskazanie producenta urządzenia.



Rys. 20. Zabezpieczenie obwodów niskiego napięcia przed przepięciami [8, s.77]

4.4.2. Pytania sprawdzające

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

- 1) Jak zasz urządzenia zabezpieczające instalacje przed skutkami awarii?
- 2) Co oznaczają pojęcia: zwarcie, przeciążenie, przepięcie?
- 3) Jak wyjaśnisz działanie urządzeń zabezpieczeniowych za pomocą charakterystyk?
- 4) Jak podłączyć podstawowe urządzenia zabezpieczające do układu elektrycznego (przedstaw na schemacie)?

4.4.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Wyłącznik różnicowoprądowy jest wyzwalany prądem o natężeniu 10 mA lub 30 mA. Jaką maksymalną wartość może mieć napięcie dotykowe, jeśli wartość rezystancji uziomu $R_A = 1,5 \Omega$?

$$U_d = I_{\Delta N} \cdot R_A$$

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) skorzystać ze wzoru na napięcie (U_d),
- 2) obliczyć wartość napięcia dotykowego dla dwóch przypadków.

Wyposażenie stanowiska pracy

- zeszyt,
- kalkulator,
- literatura z rozdziału 6.

Ćwiczenie 2

Sprawdzenie działania wybranych zabezpieczeń.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z instrukcją stanowiskową wykonania ćwiczenia,
- 2) zorganizować stanowisko pracy do wykonania ćwiczenia,
- 3) zastosować się do poleceń zawartych w instrukcji,
- 4) wykonać obwód do badania zabezpieczeń,
- 5) sprawdzić prądy zadziałania zabezpieczeń – porównać z ich charakterystykami $t = f(I)$ (w razie trudności skorzystać z pomocy nauczyciela),
- 6) zaprezentować wykonane ćwiczenie,
- 7) przedstawić wnioski końcowe.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- łączniki zabezpieczeniowe: zwarciove, przeciążeniowe i przepięciowe,
- instrukcja do ćwiczenia,
- przyrządy pomiarowe, przewody łączeniowe,
- makieta do badania urządzeń.

4.4.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) nazwać podstawowe zabezpieczenia w sieci niskiego napięcia?	☐	☐
2) wyjaśnić co to jest: przeciążenie, zwarcie, przepięcie?	☐	☐
3) omówić, jak zabezpieczyć odbiornik przed zwarcie?	☐	☐
4) omówić, jak zabezpieczyć odbiornik przed przeciążeniem?	☐	☐
5) omówić, jak zabezpieczyć odbiornik przed przepięciem?	☐	☐
6) dobrać zabezpieczenie do odbiornika?	☐	☐
7) naszkicować prosty schemat instalacji elektrycznej z zastosowaniem poznanych zabezpieczeń?	☐	☐
8) wskazać na schematach elektrycznych zabezpieczenia instalacji?	☐	☐
9) rozróżnić zabezpieczenia w rzeczywistym obwodzie elektrycznym?	☐	☐
10) omówić podstawowe dane znamionowe opisujące wybrane zabezpieczenie instalacji?	☐	☐

4.5. Środki ochrony przeciwporażeniowej

4.5.1. Materiał nauczania

Opis ogólny. Ochronę przeciwporażeniową stosujemy w celu zabezpieczenia osób użytkujących urządzenia elektryczne. Zagrożenie porażeniem prądem elektrycznym może nastąpić w przypadku: awarii urządzenia lub instalacji, błędnego postępowania ludzi. Najczęstszą przyczyną wypadków jest równoczesne dotknięcie elementów o różnych potencjałach. Na skutek różnicy potencjałów przez organizm przepływa prąd elektryczny.

Ochrona przeciwporażeniowa polega na:

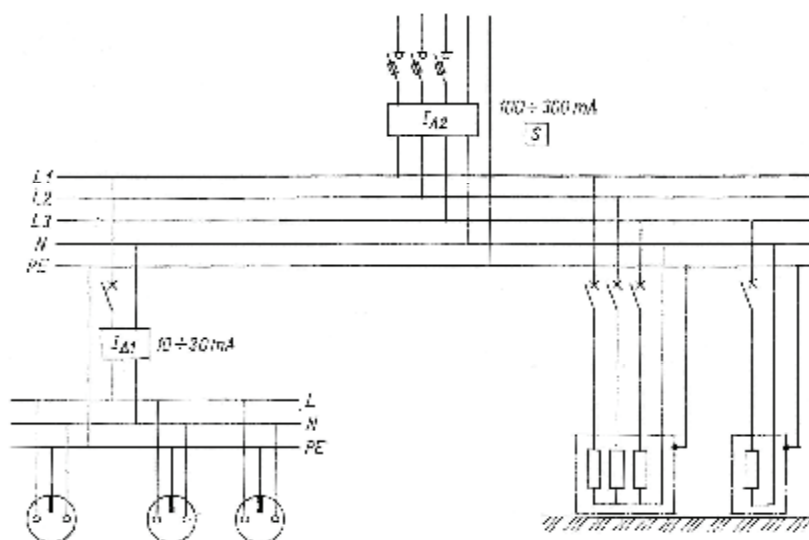
- obniżeniu wielkości napięcia pracy tak, aby prąd płynący przez ciało nie przekraczał wielkości bezpiecznej nie wywołującej skutków szkodliwych dla człowieka,
- uniemożliwieniu dotknięcia części znajdującej się w normalnym stanie instalacji pod napięciem (części czynnej),
- ograniczeniu czasu przepływu prądu elektrycznego przez organizm.

Ochrona za pomocą samoczynnego wyłączenia jest najczęściej spotykanym sposobem ochrony dodatkowej.

Powyższe może być realizowane za pomocą:

- bezpieczników z wkładkami topikowymi,
- wyłączników nadmiarowo- prądowych,
- urządzeń ochronnych, najczęściej wyłączników ochronnych różnicowoprądowych, a także urządzeń ochronnych nadnapięciowych.

W powyższym celu musi być zapewniona, odpowiednio mała w stosunku do zastosowanych zabezpieczeń, impedancja pętli zwarciowej.



Rys. 21. Przykład zastosowania wyłącznika różnicowoprądowego w obwodach gniazd wtykowych jako środka ochrony przeciwporażeniowej w instalacji typu TN [7, s.104]

Układ sieci TN. W układzie sieci TN, dla ochrony od porażeń, stosuje się połączenie części przewodzących dostępnych z przewodem ochronno-neutralnym PEN lub przewodem ochronnym PE (połączonym bezpośrednio z uziemionym punktem gwiazdowym transformatora zasilającego lub pośrednio poprzez przewód PEN). Rozwiązanie to ma spowodować, przy zwarciu części będącej pod napięciem do części dostępnych przewodzących (metalowe osłony), samoczynne wyłączenie odbiornika od zasilania.

Wymagania:

- wszystkie części przewodzące dostępne instalacji powinny być przyłączone do uziemionego punktu zasilającego za pomocą przewodów ochronnych uziemionych na każdym transformatorze lub prądnicy, lub w ich możliwie najbliższym sąsiedztwie.
- uziemionym punktem układu zasilania powinien być punkt neutralny.

W instalacjach stałych ten sam przewód może służyć jako przewód ochronny i przewód neutralny (przewód ochronno - neutralny PEN). W przypadku zwarcia (o pomijalnej impedancji) między przewodem fazowym i przewodem ochronnym lub częścią przewodzącą dostępną w jakimkolwiek miejscu instalacji, powinno nastąpić samoczynne wyłączenie zasilania.

Układy sieci TT. W układzie sieci TT ochrona od porażeń polega na połączeniu części przewodzących dostępnych z uziemieniem ochronnym (uziome) dla spowodowania w warunkach zakłóceń (zwarcia części będących pod napięciem fazowym do dostępnych części przewodzących) samoczynnego wyłączenia zasilania. Przy zwarciu pośrednim, przy którym prąd zwarcia doziemnego nie jest wystarczający do spowodowania samoczynnego wyłączenia w wymaganym czasie, napięcie powstałe na przewodzącej dostępnej części nie może przekroczyć napięcia długotrwale dopuszczalnego U_L . Metalowe rury sieci wodociągowej mogą być wykorzystane jako uziomy przy wykonaniu instalacji pod warunkiem:

- uzyskania na to zgody jednostki eksploatującej te wodociągi,
- uzyskania zapewnienia, że użytkownik instalacji elektrycznej będzie każdorazowo powiadamiany o każdej planowanej zmianie w systemie rur wodociągowych.

Wobec powyższych ustaleń praktycznie nie jest możliwe korzystanie z sieci wodociągowej jako uziomu naturalnego, szczególnie w budownictwie komunalnym. To ograniczenie jest zrozumiałe, gdy uwzględni się częstą wymianę rur metalowych w sieci wodociągowej na rury z tworzyw sztucznych w czasie wykonywanych prac konserwacyjno-remontowych i modernizacyjnych, a także stosowanie wstawek z tworzyw przy naprawach. W tej sytuacji właściciel instalacji może być pozbawiony ochrony od porażeń przez szereg lat, nie zdając sobie z tego sprawy. Praktycznie odbiorca komunalny (w mieście i na wsi) nie ma możliwości skorzystania z dobrego uziomu naturalnego, jaki do tej pory stanowiła sieć wodociągowa. Może on uwzględnić tylko tę część uziomu (rezystancji), która stanowi odcinek wodociągu na jego parceli. Może to być użyteczne przy stosowaniu wyłącznika różnicowoprądowego. Również sieci gazowe i ciepłownicze wykonane z metalowych rur nie powinny być wykorzystywane jako uziomy przeznaczone dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ograniczenia powyższe dotyczące sieci wodociągowych, gazowych i ciepłowniczych nie wykluczają potrzeby wykonywania połączeń wyrównawczych w instalacjach elektrycznych.

Układ sieci IT. W układzie sieci IT wszystkie części czynne są odizolowane od ziemi lub połączone z ziemią za pośrednictwem impedancji o odpowiednio dużej wartości. Części przewodzące dostępne powinny być uziemione indywidualnie, grupowo lub zbiorowo. Prąd pojedynczego zwarcia z ziemią jest mały i wobec tego nie wymaga się samoczynnego wyłączenia powstałego doziemienia przez zabezpieczenia poszczególnych urządzeń a jedynie, aby napięcie dotykowe nie przekroczyło napięcia uznanego za dopuszczalne dla danego środowiska. Na ogół jest to wartość 50 V, o ile w normie [4] nie podano innej wartości.

Powyższe wymaganie określone jest wzorem:

$$R_A \cdot I_d < U_L$$

gdzie:

R_A - rezystancja uziemienia,

I_d - prąd pojedynczego zwarcia między przewodem fazowym i częścią przewodzącą dostępną

U_L - napięcie dotykowe dopuszczalne długotrwale.

Połączenia wyrównawcze. Bardzo ważną funkcję w ochronie przed porażeniem prądem elektrycznym pełnią połączenia wyrównawcze, których układ połączeń przedstawiono na rysunku 23. Jest to elektryczne połączenie części przewodzących dostępnych (obudowy) i części przewodzących obcych (rury CO, instalacji gazowej itp.). Połączenie wszystkich dostępnych elementów przewodzących i połączenie ich z uziemionym przewodem ochronno – neutralnym PEN lub ochronnym PE powoduje, że między tymi elementami a ziemią nie występują niebezpieczne napięcia mogące być źródłem porażenia elektrycznego.

$$I_z = \frac{U_f}{R_z + R_c + R_i + R_p + R_u}$$

gdzie:

I_z - prąd zwarcia,

U_f - napięcie fazowe,

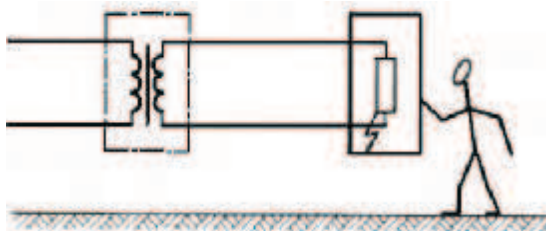
R_z - rezystancja izolacji miejscu zwarcia,

R_c - rezystancja ciała ludzkiego,

R_i - rezystancja izolowanej podłogi i ścian,

R_p - rezystancja przewodów,

R_u - rezystancja uziomu.



Rys. 22. Sposób ochrony przeciwporażeniowej poprzez zastosowanie separacji elektrycznej

Ochrona przez separację elektryczną polega na oddzieleniu elektrycznym obwodu zasilającego od odbiorczego, aby podczas uszkodzenia obwodu nie występowały warunki niebezpieczne dla ludzi. Zasilanie obwodu separowanego może być zrealizowane za pomocą:

- transformatora separacyjnego,
- innego źródła napięcia zapewniającego warunki separacji takie jak transformator.

Napięcie zasilania w układach separowanych nie może być większe niż 500 V.

Ochrona jednoczesna przed dotykiem pośrednim i bezpośrednim jest realizowana w obwodach bardzo niskich napięć nie przekraczających: 50 V dla prądu przemiennego i 120 V w obwodach prądu stałego. W zależności od zastosowanych źródeł zasilania rozróżnia się układy bardzo niskich napięć typu: SELV, PELV oraz FELV.

Sprawdzenia odbiorcze i eksploatacyjne. Żadna instalacja elektryczna nie może być przekazana do eksploatacji bez wykonania sprawdzeń odbiorczych. W szczególności dotyczy to sprawdzeń skuteczności ochrony przeciwporażeniowej mającej wielki wpływ na bezpieczeństwo użytkowników. Użytkownik powinien określić czasokres między kolejnymi sprawdzeniami eksploatacyjnymi - ich zakres musi odpowiadać obowiązującym przepisom.

Ze szczególną starannością należy sprawdzać impedancje pętli zwarciovych wszystkich odbiorników i gniazd wtyczkowych oraz prawidłowość działania urządzeń ochronnych różnicowoprądowych.

4.5.2. Pytania sprawdzające

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

1. Na czym polega ochrona przeciwporażeniowa?
2. Co oznacza zabezpieczenie przeciwporażeniowe przez szybkie wyłączenie?
3. Jakie urządzenie łączeniowe zastosowane jest w celu ochrony przeciwporażeniowej?
4. W jakim celu stosuje się połączenia wyrównawcze?
5. W jaki sposób wykonuje się zabezpieczenia przeciwporażeniowe w różnych typach sieci nn?

4.5.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Jaka musiałaby być najmniejsza rezystancja zastępcza obwodu, w którym nastąpiło zwarcie przy $U_f = 230V$, aby dopuszczalne napięcie dotykowe nie przekroczyło wartości $U_d = 50V$, $R_c = 1500 \Omega$?

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) skorzystać z wzoru na prąd zwarcia,
- 2) obliczyć rezystancję zastępczą.

Wypożyczenie stanowiska pracy

- zeszyt,
- kalkulator,
- literatura z rozdziału 6.

Ćwiczenie 2

Analizowanie działania wybranych środków ochrony przeciwporażeniowej.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) stwierdzić poprawność połączenia między odbiornikami różnego charakteru a siecią zasilającą,
- 2) poprawnie odczytać zastosowane środki ochrony,

- 3) poprawnie wyliczyć wszystkie możliwe do zastosowania środki ochrony,
- 4) poprawnie merytorycznie omówić zidentyfikowane środki ochrony przeciwporażeniowej.

Wypożyczenie stanowiska pracy:

- kartki z numerkami dla grup uczniów,
- kartki z rysunkami bez podpisów przedstawiającymi: fragment instalacji elektrycznej z zastosowaniem różnych środków ochrony przeciwporażeniowej,
- dokumentacja techniczna obiektów przemysłowych – fragmenty instalacji sieci informatycznej.

4.5.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) określić normę elektryczną określającą warunki i sposoby ochrony przeciwporażeniowej?	☐	☐
2) nazwać stosowane środki ochrony przeciwporażeniowej?	☐	☐
3) narysować odbiornik jednofazowy i zastosować zalecane środki ochrony przeciwporażeniowej?	☐	☐
4) narysować odbiornik trójfazowy i zastosować zalecane środki ochrony przeciwporażeniowej?	☐	☐
5) nazwać i wyjaśnić klasy ochronności urządzeń?	☐	☐

4.6. Metody pomiaru podstawowych parametrów maszyn i urządzeń elektrycznych

4.6.1. Materiał nauczania

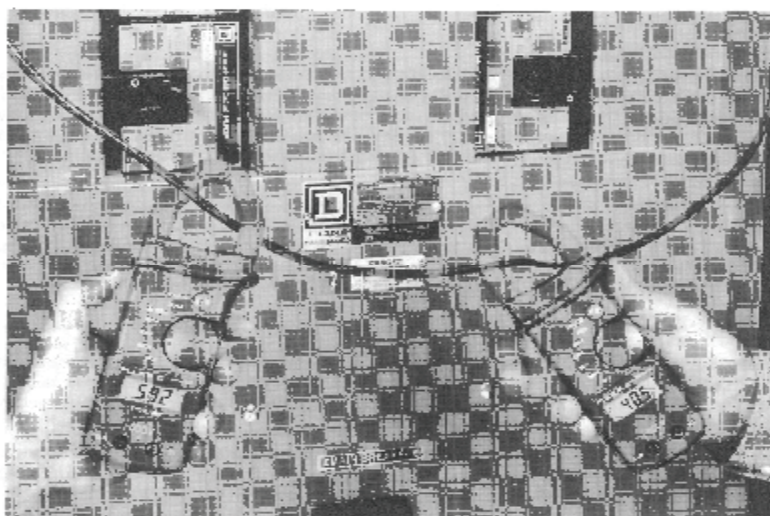
Metody pomiarowe

Metodą pomiarową nazywany jest sposób wykonywania pomiaru. Do najczęściej stosowanych metod pomiarowych należą:

- 1) metoda **porównawcza**: wartość nieznana – mierzona jest wyznaczana przez porównanie jej ze znanymi wartościami wielkości wzorcowej tej samej natury co mierzona,
- 2) metoda **bezpośrednia**: jest to np. pomiar długości przymiarem, temperatury termometrem cieczowym, napięcia woltomierzem,
- 3) metoda **pośrednia**: jest to np. pomiar rezystancji poprzez pomiar napięcia i natężenia prądu, pomiar prędkości poprzez pomiar drogi i czasu,
- 4) metoda **wychyłowa**: (odchyłowa): mierzona wartość wielkości uzyskiwana jest poprzez odczyt położenia wskazówki na tle podziałki,
- 5) metoda **różnicowa**: jest to np. pomiar masy wagą odważnikowo-uchyłną, rezystancji mostkiem niezrównoważonym, ciśnienia manometrem cieczowym różnicowym,
- 6) metoda **zerowa**: polega na doprowadzeniu do zera różnicy pomiędzy wartością mierzoną i wzorcową; na przykład pomiary rezystancji mostkami zrównoważonymi, siły elektromotorycznej kompensatorem, masy wagą odważnikową.

Narzędzia pomiarowe

Zaliczane są do nich wzorce miar, przyrządy pomiarowe, przetworniki pomiarowe i rejestratory. Ze względu na konieczność określenia błędu wartości mierzonej, narzędzia pomiarowe muszą mieć podane parametry charakterystyczne (np. klasę dokładności). Ponieważ wykonane pomiary mają często skutki publiczne lub prawne, wymagana jest legalizacja i uwierzytelnianie narzędzi pomiarowych w określonych przedziałach czasu, np. co 1 rok. Obowiązek legalizacji i uwierzytelniania spoczywa na użytkowniku narzędzi pomiarowych, a do ich wykonywania upoważniony jest Główny Urząd Miar (GUM), Okręgowe i Obwodowe Urzędy Miar i laboratoria akredytowane przez GUM. Rozróżniamy przyrządy pomiarowe analogowe i cyfrowe.



Rys. 23. Sposób pomiaru za pomocą cęgów pomiarowych w obwodzie zakłóconym przez wyższe harmoniczne [9, s. 35]

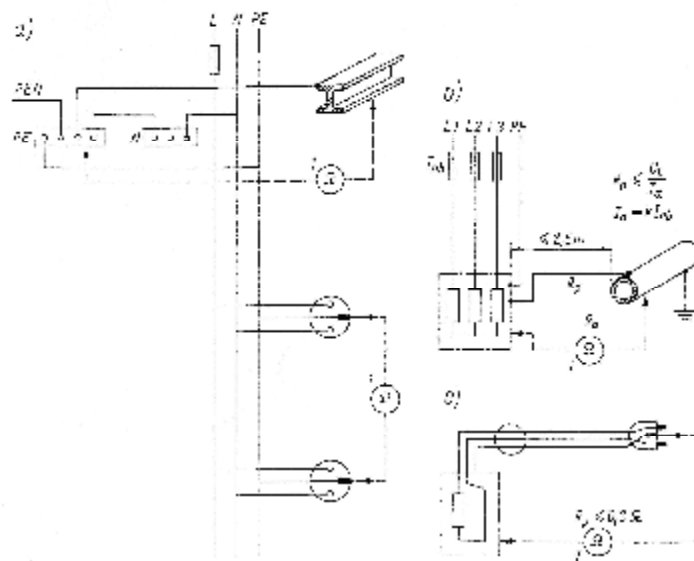
Rysunek 23 przedstawia sposób pomiaru prądu miernikami cęgowymi. Po lewej stronie załączono miernik rzeczywistej wartości skutecznej (RMS), drugi to miernik wartości skutecznej na podstawie pomiarów wartości średniej. W obwodzie mierzonym prąd pobierany jest przez odbiornik nieliniowy, wprowadzający do sieci zakłócenia harmoniczne – odkształca sinusoidę prądu obciążenia. Miernik z lewej (rzeczywistej wartości skutecznej) mierzy prawidłowo, miernik po prawej (pomiar wartości średniej) jest błędny – mniejszy o ok. 30%. Błędny pomiar wielkości elektrycznych może być przyczyną błędnej oceny poprawności pracy urządzenia lub instalacji.

W trakcie badania urządzeń elektrycznych oraz instalacji dąży się do utrzymania dużej dokładności pomiaru oraz nie można stwarzać warunków niebezpiecznych pod względem porażeniowym ani innym. Zasady prowadzenia badań określono w normie [5].

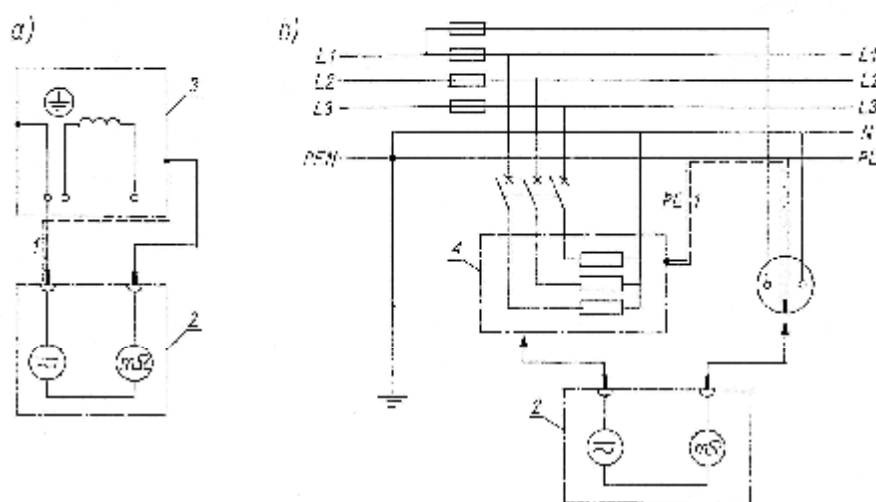
W tabeli poniżej podano zakres badań niektórych środków ochrony przeciwporażeniowej.

Tabela 4. Zakres badań niektórych środków ochrony przeciwporażeniowej wspólnej dla sieci TN, TT oraz IT

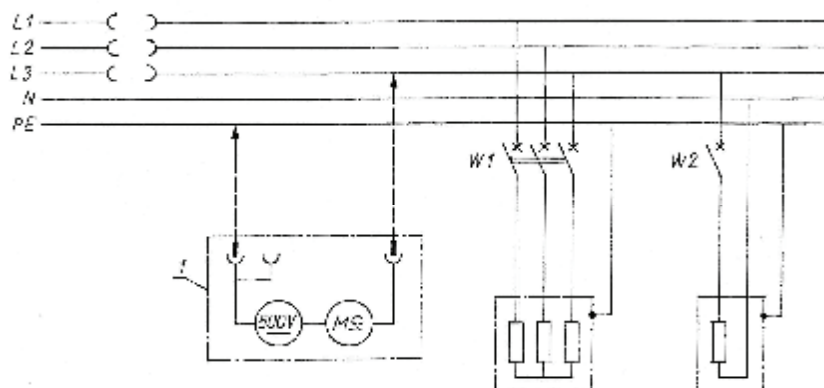
Zakres badań	Stosowane mierniki, metody badania, podstawowe wymagania
Pomiar rezystancji izolacji między: – poszczególnymi przewodami fazowymi L1,L2,L3 a przewodem ochronnym PE – poszczególnymi przewodami fazowymi L1,L2,L3 a przewodem zerowym N – przewodami fazowymi – przewodem ochronnym PE a neutralnym N	Miernik izolacji, W urządzeniach o $U \leq 500V$ rezystancja izolacji w każdym punkcie powinna być większa niż 0,5 MΩ
Sprawdzenie, czy nie nastąpiła nigdzie zamiana przewodów fazowych oraz przewodu ochronnego PE	Woltomierz uniwersalny, Pomiar napięcia względem ziemi
Sprawdzenie, czy nie nastąpiła zamiana przewodu neutralnego N i ochronnego PE	Miernik rezystancji o zakresie mΩ, ogłędziny
Badania połączeń wyrównawczych	Ogłędziny instalacji, miernik rezystancji o zakresie mΩ
Pomiary rezystancji uziemienia roboczego i ochronnego	Miernik rezystancji uziemienia, ogłędziny instalacji.
Badanie skuteczności działania urządzeń przetężeniowych (bezpieczniki, wyłączniki)	Miernik impedancji pętli zwarcia lub skuteczności zerowania, ocena skuteczności na podstawie wyników obliczeń
Badanie skuteczności działania urządzeń różnicowoprądowych	Badanie specjalnymi miernikami lub poprzez modelowanie obwodów z jednofazowym zwarcie do ziemi



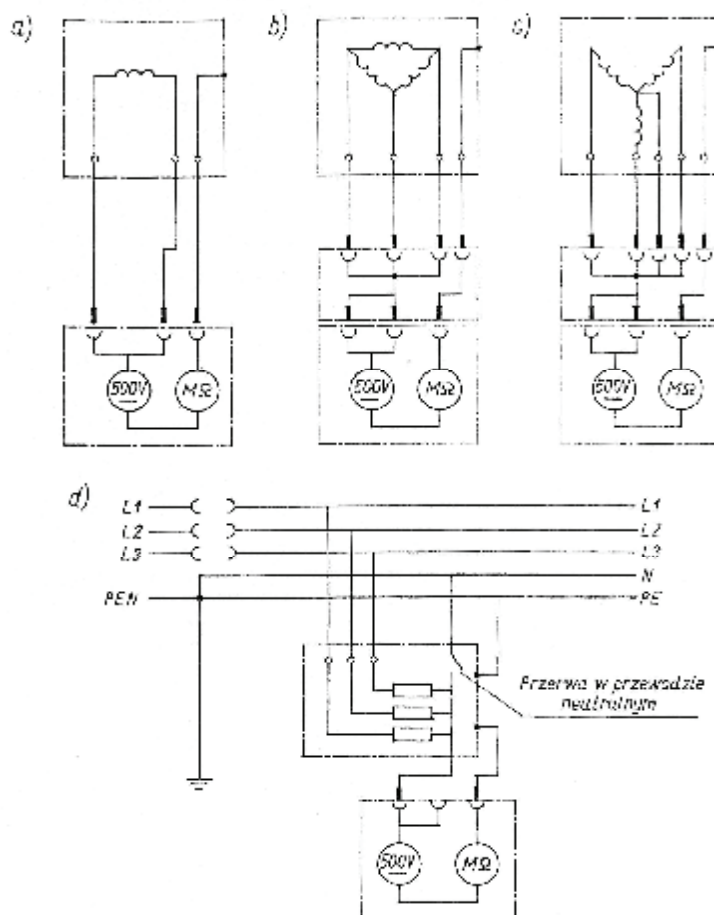
Rys. 24. Zasady sprawdzania ciągłości a-c) przewodów wyrównawczych i ochronnych, a) w instalacji, b) w odbiorniku zainstalowanym na stałe, 1 – miernik rezystancji o zakresie miliomów [7, s. 265]



Rys. 25. Sposoby pomiaru rezystancji przewodów ochronnych: a) w odbiorniku przenośnym, b) w odbiorniku zainstalowanym na stałe, 1 – przewody ochronne, 2 – miernik rezystancji, 3 – odbiornik przenośny, 4 – odbiornik zamontowany na stałe [7, s. 265]



Rys. 26. Zasada pomiaru rezystancji izolacji instalacji elektrycznej: W1, W2 – wyłączniki, 1 – miernik rezystancji izolacji [7, s.289]



Rys. 27. Sposoby pomiaru rezystancji izolacji odbiorników I klasy ochronności: a,b,c) odbiorników przenośnych, d) odbiornika zainstalowanego na stałe [7, s.266]

Pomiar silników elektrycznych

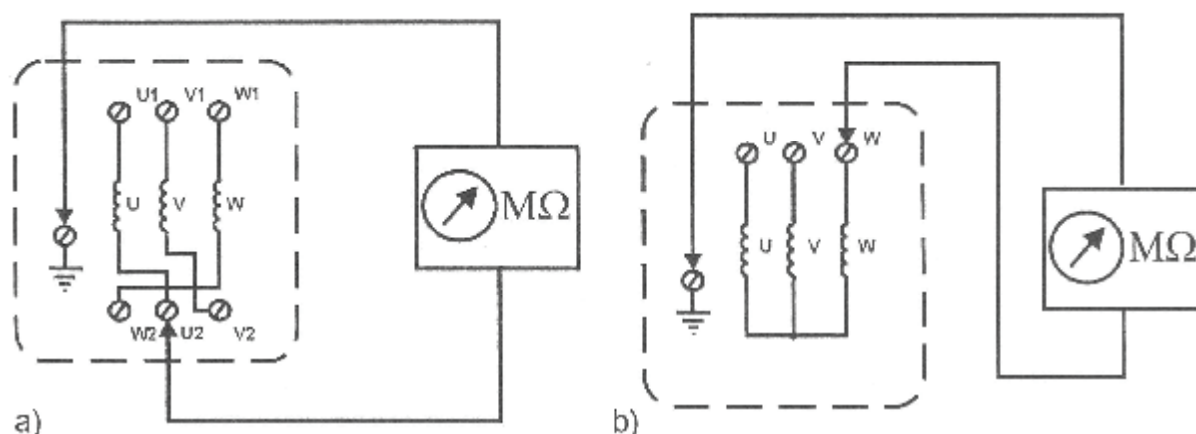
Ogólne wiadomości. Pomiar instalacji silnikowych obejmuje obszerny zakres badań w zależności od typu i mocy silnika, układów przyłączeniowych (np. trójkąt – gwiazda), rodzaju stosowanych zabezpieczeń itp. Badania takie polegają na pomiarach prądów rozruchowych, czasu rozruchu, czasu przełączeń i wielu innych próbach.

Z pośród wielu różnych pomiarów silników elektrycznych do podstawowych od strony elektrycznej zalicza się następujące badania:

- pomiar rezystancji izolacji uzwojeń,
- pomiar skuteczności samoczynnego wyłączenia,
- pomiar rezystancji uzwojeń.

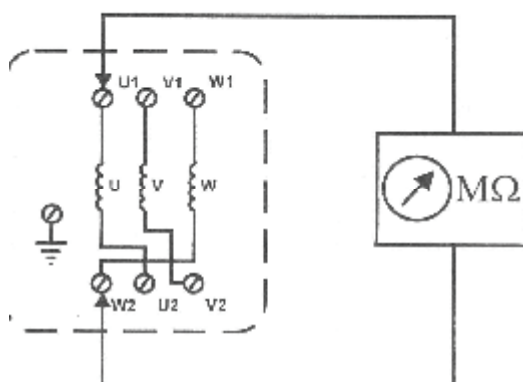
Pomiar rezystancji izolacji uzwojeń

Pomiar rezystancji izolacji uzwojeń silnika należy wykonać pomiędzy zaciskami uzwojeń a korpusem oraz pomiędzy poszczególnymi uzwojeniami, jeżeli jest to możliwe.



Rys. 28. Pomiar rezystancji izolacji pomiędzy zaciskami uzwojeń a korpusem, a) silnik z rozłączonymi uzwojeniami, b) silnik z zwartymi uzwojeniami [10, s.517]

Rysunek 28a przedstawia zasadę wykonania pomiarów rezystancji izolacji pomiędzy korpusem poszczególnymi uzwojeniami silnika. W takim przypadku należy wykonać trzy pomiary, tj. pomiędzy zaciskami: **PE** a **U**, **PE** a **V** oraz **PE** a **W**. W przypadku silników na stałe połączonych w gwiazdę (rys. 28.b) można wykonywać tylko jeden pomiar.



Rys. 29. Pomiar rezystancji izolacji pomiędzy zaciskami uzwojeń silnika [10, s.517]

Pomiar rezystancji izolacji pomiędzy poszczególnymi uzwojeniami przedstawia rys.29. Należy wykonać trzy pomiary pomiędzy zaciskami uzwojeń: **U** i **V**, **U** i **W** oraz **V** i **W**. Pomiary rezystancji izolacji powinno wykonywać się przyrządami zapewniającymi napięcie pomiaru 1000 V przy prądzie pomiarowym ≥ 1 mA. Pomiary należy wykonywać w temperaturze nie mniejszej niż 10 °C. Wymagana rezystancja izolacji nie powinna być mniejsza niż 5 M Ω .

Pomiar rezystancji uzwojeń silnika

Pomiar rezystancji uzwojeń silnika wykonuje się miernikami bardzo małych rezystancji w celu uzyskania w miarę dokładnych wyników. Dla celów porównania pomierzonych wyników z danymi katalogowymi producenta, pomiary zaleca się wykonywać w temperaturze otoczenia około 20°C i temperaturze silnika $\pm 20\%$ od temperatury otoczenia. Jednak wymagania te nie dotyczą standardowych pomiarów odbiorczych lub okresowych.

Wzory protokołów z pomiarów

Lp.	Symb. z rys.	Numer i rodzaj silnika	U [V]	P [kW]	t [°C]	R _a [mΩ]			R _{in} [Ω * krotność]			R _s [Ω * krotność]			R _n [MΩ]	R _{xb} [MΩ]	Ocena tak/nie	
						U	V	W	UV	VW	WU	Us	Vs	Ws				
Kotłownia																		
1	1	Silnik pompy nr 1	400	13,0	50	150	145	155	80M	95M	100M	110M	120M	130M	5	20,5	tak	
2	2	Silnik pompy nr 2	400	13,0	34	147	150	158	220M	210M	185M	220M	210M	185M	5	10,5	tak	
3	3	Silnik kompresora	400	2,2	20	960	1010	980	385M	<20M	510M	635M	720M	710M	5	6,5	tak	
Wentylatornia																		
4	1	Silnik l-f. nr 8282	230	1,25	20	9400	-	-	-	-	-	222M	-	-	5	6,5	tak	
5	2	Silnik nr 1275	400	4,0	24	666	634	651	180M	220M	210M	180M	220M	230M	5	7,1	tak	
6	3	Silnik nr 1738	400	4,0	26	637	598	605	220M	210M	185M	220M	210M	185M	5	7,3	tak	

Lp.	Symb. z rys.	Numer i rodzaj silnika	U [V]	P [kW]	t [°C]	R _a [mΩ]			R _n [Ω * krotność]	R _n [MΩ]	R _{xb} [MΩ]	Ocena tak/nie	
						UV	VW	WU					
Laboratorium 107													
1	1	Silnik nr 1273	400	2,2	20	1920	2030	1960	-	180M	5	6,5	tak
2	2	Silnik nr 1738	400	2,2	32	2040	1950	2000	-	220M	5	9,7	tak
3	3	Silnik l-f. nr 8282	400	0,75	24	12000	-	-	-	185M	5	7,1	tak
4	4	Silnik pompy próżniowej	400	1,1	14	3000	2900	2970	-	220M	5	5,3	tak
5	5	Silnik mieszadła nr 17	230	0,75	20	11000	-	-	-	185M	5	6,5	tak
6	6	Silnik mieszadła nr 172	230	0,75	20	11000	-	-	-	< 1 >	5	6,5	NIE

Opis badania silników elektrycznych do 1 kV (uzwojenia rozwarne)

1. Pomiary wykonano w warunkach zbliżonych do istniejących w czasie normalnej pracy. Pomiary rezystancji izolacji wykonano w temperaturze nie mniejszej niż 10 °C.
2. Zapoznano się z układem zasilania i przeznaczeniem silnika.
3. Pomierzona rezystancja uzwojeń została porównana z danymi wytwórcy lub poprzednimi pomiarami eksploatacyjnymi.
4. Pomiary wykonano przyrządem generującym napięcie 1000 V przy prądzie 1 mA.
5. Rezystancja izolacji powinna być nie mniejsza niż 5 MΩ. Wymagana rezystancja izolacji została skorygowana o błąd pomiarowy przyrządu oraz współczynnik temperaturowy.
6. Oznaczenia w tabeli:

I_p	- liczba porządkowa (określa również ilość pomiarów)
Symb. z rys.	- oznacza nr i usytuowanie na szkicu silnika
U	- napięcie międzyfazowe zasilania silnika [V]
P	- moc nominalna silnika [kW]
t	- temperatura silnika w czasie pomiaru [°C]
R_u	- pomierzona rezystancja uzwojeń (U, V, W) silnika [mΩ]
R_{in}	- pomierzona rezystancja pomiędzy uzwojeniami [Ω * krotność]
R_{is}	- pomierzona rezystancja izolacji między uzwojeniami a stojanem [Ω * krotność]
R_w	- najmniejsza dopuszczalna rezystancja izolacji [MΩ]
R_{wb}	- najmniejsza dopuszczalna rezystancja uwzględniająca błąd pomiarowy przyrządu oraz współczynnik przeliczeniowy k_{20} wg wzoru: $R_{wb} = (R_w + (R_w * X_b) / 100) * k_{20} \text{ [MΩ]}$ gdzie: X_b oznacza błąd pomiarowy przyrządu który wynosi $\pm \dots\%$, ¹⁾ k_{20} oznacza współczynnik przeliczeniowy dla temperatury 20 [°C].
< ! >	- w pozycji pomiaru R_u oznacza przerwę w uzwojeniach, - w pozycji pomiaru R_{is} oznacza przebicie izolacji.

Wyniki pomiaru można uznać jako pozytywne jeżeli:

- każdy z wyników w kolumnach $R_{in} \geq R_{wb}$ oraz $R_{is} \geq R_{wb}$,
 - w żadnej pozycji nie ma znaku < ! >.
7. Na ostatniej (końcowej) stronie protokołu podano typy przyrządów pomiarowych
 8. Dokonano oględzin połączeń, opisów kabli łączeniowych, zewnętrznego stanu technicznego silników, sprawdzono ich działanie w trakcie pracy.
 9. Termin następnych badań: miesiąc i rok
 10. Uwagi i zalecenia pokontrolne:
 - bez uwag, w każdej pozycji pomiarowej ocena wyników pomiarów jest pozytywna,²⁾
 - ocena wyników pomiarów jest pozytywna z wyjątkiem pozycji wyszczególnionych na stronie uwag i zaleceń.²⁾
 11. Ocena końcowa:
 - Zbadane urządzenia nadają się do eksploatacji,²⁾
 - Zbadane urządzenia nie nadają się do eksploatacji z powodów opisanych w zaleceniach pokontrolnych.²⁾
 - Zbadane urządzenia będą zdolne do eksploatacji po usunięciu usterek opisanych w zaleceniach pokontrolnych.²⁾

¹⁾ Należy wpisać błąd pomiarowy przyrządu w procentach wg danych producenta.

²⁾ Należy wybrać i wpisać odpowiednie dane.

Opis badania silników elektrycznych do 1 kV (uzwojenia zwarte)

1. Pomiary wykonano w warunkach zbliżonych do istniejących w czasie normalnej pracy.
Pomiary rezystancji izolacji wykonano w temperaturze nie mniejszej niż 10 [°C].
2. Zapoznano się z układem zasilania i przeznaczeniem silnika.
3. Pomierzona rezystancja uzwojeń została porównana z danymi wytwórcy
lub poprzednimi pomiarami eksploatacyjnymi. W przypadku gdy punkt neutralny
uzwojenia jest połączony na stałe, należy pamiętać, że wyniki pomiarów wskazują
rezystancje dwóch uzwojeń silnika.
4. Pomiary wykonano przyrządem generującym napięcie 1000 [V] przy prądzie 1 [mA].
5. Rezystancja izolacji powinna być nie mniejsza niż 5 [MΩ]. Wymagana rezystancja
izolacji została skorygowana o błąd pomiarowy przyrządu oraz współczynnik
temperaturowy.
6. Oznaczenia w tabeli:

Lp.	- liczba porządkowa <i>(określa również ilość pomiarów)</i>
Symb. z rys.	- oznacza nr i usytuowanie na szkicu silnika
U	- napięcie międzyfazowe zasilania silnika [V]
P	- moc nominalna silnika [kW]
t	- temperatura silnika w czasie pomiaru [°C]
R _u	- pomierzona rezystancja uzwojeń (U,V,W) silnika [mΩ]
R _{ik}	- pomierzona rezystancja izolacji między uzwojeniami a stojanem [Ω * krotność]
R _w	- najmniejsza dopuszczalna rezystancja izolacji [MΩ]
R _{wb}	- najmniejsza dopuszczalna rezystancja uwzględniająca błąd pomiarowy przyrządu oraz współczynnik przeliczeniowy k ₂₀ wg wzoru: $R_{wb} = (R_u + (R_w * X_b) / 100) * k_{20} \text{ [M}\Omega\text{]}$ gdzie: X _b oznacza błąd pomiarowy przyrządu który wynosi ± ____ % ⁴⁾ , k ₂₀ oznacza współczynnik przeliczeniowy dla temperatury 20 °C.
< ! >	- w pozycji pomiaru R _u oznacza przerwę w uzwojeniach, - w pozycji pomiaru R _{ik} oznacza przebicie izolacji.

Wyniki pomiaru można uznać jako pozytywne jeżeli:

- $R_{ik} \geq R_{wb}$,
 - w żadnej pozycji nie ma znaku < ! >.
7. Na ostatniej (końcowej) stronie protokołu podano typy przyrządów pomiarowych
 8. Dokonano oględzin połączeń, opisów kabli łączeniowych, zewnętrznego stanu
technicznego silników, sprawdzono ich działanie w trakcie pracy.
 9. **Termin następnych badań:** miesiąc i rok
 10. **Uwagi i zalecenia pokontrolne:**
 - bez uwag, w każdej pozycji pomiarowej ocena wyników pomiarów jest pozytywna. ²⁾
 - ocena wyników pomiarów jest pozytywna z wyjątkiem pozycji wyszczególnionych
na stronie uwag i zaleceń. ²⁾
 11. **Ocena końcowa:**
 - Zbadane urządzenia nadają się do eksploatacji. ²⁾
 - Zbadane urządzenia nie nadają się do eksploatacji z powodów opisanych
w zaleceniach pokontrolnych. ²⁾
 - Zbadane urządzenia będą zdolne do eksploatacji po usunięciu usterek opisanych
w zaleceniach pokontrolnych. ²⁾

¹⁾ Należy wpisać błąd pomiarowy przyrządu w procentach wg danych producenta.

²⁾ Należy wybrać i wpisać odpowiednie dane.

4.6.2. Pytania sprawdzające

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

1. Jakimi metodami można dokonać pomiarów różnych wielkości?
2. Jakie przyrządy pomiarowe służą do pomiaru podstawowych wielkości elektrycznych?
3. Co to są cęgi Dietza? Gdzie znajdują zastosowanie?
4. Jak podczas pracy obwodu elektrycznego dokonać pomiaru prądu i napięcia?
5. Jakie środki bezpieczeństwa należy zachować, aby bezpiecznie dokonać badań parametrów pracującego obwodu elektrycznego?
6. Dlaczego należy dokonywać poprawnego doboru zakresu pomiarowego?
7. Jak dokonasz w warunkach laboratoryjnych pomiaru: prądu, napięcia, mocy czynnej?
„Narysuj schemat połączeń”
8. Co może być przyczyną błędnych wskazań przyrządów pomiarowych?

4.6.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Pomiary podstawowych wielkości elektrycznych

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zastosować podstawowe przyrządy pomiarowe,
- 2) dobrać zakresy przyrządów pomiarowych, porównać parametry znamionowe ze wskazaniami przyrządów i na tej podstawie stwierdzić sprawność urządzenia,
- 3) porównać parametry znamionowe ze wskazaniami przyrządów i na tej podstawie stwierdzić sprawność urządzenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- treść zadania dla pary uczniów,
- przyrządy pomiarowe,
- makiety urządzeń przygotowane do pomiaru,
- katalogi z parametrami znamionowymi badanych urządzeń.

Ćwiczenie 2

Nauka posługiwania się różnymi typami przyrządów pomiarowych

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) odczytać wskazania przy różnych zakresach pomiarowych,
- 2) obsłużyć przyrządy zarówno cyfrowe jak i analogowe,
- 3) dobrać zakresy pomiarowe na podstawie danych znamionowych urządzeń badanych,
- 4) stosować bezpieczne metody pomiarowe z zastosowaniem środków ochrony przeciwporażeniowej.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- treść zadania dla pary uczniów,
- różne typy przyrządów pomiarowych (tablicowe, laboratoryjne, serwisowe – analogowe i cyfrowe),
- katalogi, zdjęcia, makiety, eksponaty przydatne do pomiarów.

4.6.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) dobrać przyrządy pomiarowe do badania wybranej maszyny elektrycznej?	☐	☐
2) narysować układy pomiarowe do badania wybranych urządzeń elektrycznych?	☐	☐
3) dobrać metody pomiarowe do badania urządzeń elektrycznych?	☐	☐
4) wykonać pomiary i protokół z wykonanych badań?	☐	☐
5) przeanalizować otrzymane wyniki pomiarów?	☐	☐
6) wyciągnąć wnioski dotyczące przydatności urządzenia badanego do dalszej pracy?	☐	☐
7) zastosować podczas badań środki bezpieczeństwa?	☐	☐

6. LITERATURA

1. Praca zbiorowa: Elektrotechnika i elektronika dla nieelektryków. WN-T, Warszawa 1991
2. Katalog produktów firmy Moeller, 2004
3. Bolkowski S.: Podstawy elektrotechniki. WSiP, Warszawa 2000
4. Goźlińska E.: Maszyny elektryczne. WSiP, Warszawa 2001
5. Grad J.: Urządzenia elektryczne. WSiP Warszawa 1999
6. Markiewicz H.: Instalacje elektryczne. WN-T, Warszawa 1996
7. Markiewicz H.: Bezpieczeństwo w elektroenergetyce. WN-T, Warszawa 2002
8. Siemek S.: Instalacje elektryczne do zasilania urządzeń elektronicznych. COSiW Warszawa 2005
9. „inpe” informacje o normach i przepisach elektrycznych nr 6 SEP. – COSiW Bełchatów 2005
10. Praca zbiorowa: Pomiar w elektroenergetyce – COSiW SEP, Warszawa 2004

Normy

1. PN-IEC 60364 „Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych” norma wieloarkuszowa
2. PN-IEC 60364 – 4 „Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych” Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa
3. PN-IEC 60364 – 5 „Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych” Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego
4. PN-IEC 60364 – 7 „Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych” Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji
5. PN-IEC 60364 – 6 „Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych” Sprawdzanie. Sprawdzanie odbiorcze
6. PN-IEC 61024-1:2001 Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Zasady ogólne