

POLITECHNIKA LUBELSKA

Wydział Elektrotechniki i Informatyki

Kierunek Elektrotechnika

Katedra Sieci Elektrycznych i Zabezpieczeń



Instrukcja ćwiczenia laboratoryjnego:

Badanie zabezpieczeń silników wysokiego napięcia.

Laboratorium EAZ

Lublin 2013

Spis treści

| | | |
|--------|--|---|
| 1. | Wstęp | 4 |
| 2. | Przegląd stosowanych rozwiązań układów zabezpieczających silniki wysokiego napięcia | 5 |
| 2.1. | Zakłócenia w pracy silników wysokiego napięcia | 5 |
| 2.2. | Stosowane rozwiązania układów zabezpieczających silniki wysokiego napięcia | 7 |
| 2.2.1. | Zabezpieczenia ziemnozwarciowe | 7 |
| 2.2.2. | Zabezpieczenia od zwarć międzyfazowych | 9 |
| 2.2.3. | Zabezpieczenia od przeciążeń długotrwałych | 12 |
| 2.2.4. | Zabezpieczenia od nieprawidłowego rozruchu | 14 |
| 2.2.5. | Zabezpieczenia od nadmiernej liczby rozruchów-[1] | 14 |
| 2.2.6. | Zabezpieczenia temperaturowe | 15 |
| 2.2.7. | Zabezpieczenie od asymetrii obciążenia | 15 |
| 2.2.8. | Zabezpieczenia podnapięciowe | 16 |
| 2.2.9. | Zabezpieczenie od wypadnięcia z synchronizmu | 17 |
| 3. | Charakterystyka mikroprocesorowego urządzenia do pomiarów, automatyki, sterowania i zabezpieczeń MUPASZ 7.S1 – [8] | 18 |
| 3.1. | Funkcje realizowane przez MUPASZ 7.S1 | 19 |
| 3.2. | Obsługa urządzenia MUPASZ 7.S1 za pomocą programu DELFiN ITR | 25 |
| 3.2.1. | Logowanie oraz komunikacja z urządzeniem | 25 |
| 3.2.2. | Wprowadzanie nastaw | 26 |
| 3.2.3. | Odczytywanie dziennika zdarzeń | 28 |
| 3.2.4. | Pomiary | 29 |
| 3.2.5. | Sterowanie urządzeniem | 30 |
| 4. | Badanie laboratoryjne zabezpieczenia MUPASZ 7.S1 | 31 |
| 4.1. | Opis stanowiska laboratoryjnego | 31 |
| 4.2. | Przykład obliczeń nastaw | Błąd! Nie zdefiniowano zakładki. |
| 4.3. | Badanie zabezpieczeń | 33 |
| 4.3.1. | Zabezpieczenie od zwarć międzyfazowych $I_{>>}$ | 35 |
| 4.3.2. | Zabezpieczenie od zwarć doziemnych $I_{0>}$ | 36 |
| 4.3.3. | Zabezpieczenie przeciążeniowe niezależne $I_{>p}$ | 37 |

| | | |
|--------|--|----|
| 4.3.4. | Zabezpieczenie przeciążeniowe zależne $I > z$ | 39 |
| 4.3.5. | Zabezpieczenie przeciążeniowe zależne (model cieplny $\Theta_m >$)..... | 40 |
| 5. | Literatura..... | 41 |

1. Wstęp

Awaria silnika elektrycznego wysokiego napięcia zwykle prowadzi do przerwania lub zakłócenia procesu technologicznego zakładu przemysłowego lub elektrowni zawodowej. Powstałe wskutek tego dodatkowe koszty mogą wielokrotnie przewyższać koszt remontu silnika lub nawet koszt wymiany silnika. Z tego powodu obniżenie awaryjności silników wysokiego napięcia jest problemem o bardzo dużym znaczeniu.

Obniżenie awaryjności silników elektrycznych można uzyskać kilkoma metodami:

- przez doskonalenie rozwiązań konstrukcyjnych,
- przez podnoszenie poziomu eksploatacji,
- przez udoskonalanie zabezpieczeń.

Nowe rozwiązania konstrukcyjne oraz podnoszenie poziomu eksploatacji nie zapewniają jednak obniżenia awaryjności silników elektrycznych w stopniu satysfakcjonującym. Dlatego prawidłowo rozwiązane zabezpieczenia są istotnym czynnikiem zmierzającym do obniżenia awaryjności silników elektrycznych.

Zabezpieczenia silników elektrycznych można podzielić na dwie podstawowe grupy:

- zabezpieczenia zwarciowe,
- zabezpieczenia profilaktyczne.

Zadaniem pierwszej grupy zabezpieczeń jest wyłączenie silnika elektrycznego w przypadku zwarcia w sposób szybki i selektywny. Szybkość zadziałania zabezpieczenia jest wymuszona dążeniem do ograniczenia rozmiarów uszkodzeń i koniecznością szybkiego wyeliminowania zakłóceń w sieci, z której silnik jest zasilany.

Zadaniem grupy zabezpieczeń profilaktycznych jest ochrona silnika przed uszkodzeniami powstałymi wskutek nienormalnych warunków pracy. W ogólnym przypadku zabezpieczenia te mają nie dopuścić do uzyskania przez uzwojenia silnika temperatury wyższej od dopuszczalnej. Ma to na celu ochronę przed zniszczeniem izolacji lub skróceniem jej żywotności.

Zgodnie z informacjami przedstawionymi w [1] awaryjność silników elektrycznych wysokiego napięcia w latach 70 i 80 ubiegłego wieku wynosiła od 20 do 30 awarii rocznie na 100 eksploatowanych silników. Dzięki zastosowaniu

nowoczesnych metod monitoringu, diagnostyki i zabezpieczeń w ostatnich kilkunastu latach wskaźnik ten zmniejszył się kilkanaście razy.

Obecne rozwiązania zabezpieczeń silników elektrycznych opierają się na technice cyfrowej. Są to mikroprocesorowe zespoły automatyki zabezpieczeniowej i sterowniczej. Zwykle wyposażone są w rozbudowane algorytmy identyfikacji zakłóceń, dużą liczbę funkcji zabezpieczeniowych, systemy pomiaru wartości elektrycznych oraz wiele innych funkcji. Przykładem cyfrowego zespołu automatyki zabezpieczeniowej jest Mikroprocesorowe Urządzenie do Pomiarów, Automatyki, Sterowania i Zabezpieczeń MUPASZ 7.S1 produkcji ITR.

2. Przegląd stosowanych rozwiązań układów zabezpieczających silniki wysokiego napięcia

2.1. Zakłócenia w pracy silników wysokiego napięcia

Zakłócenia w pracy silników elektrycznych można podzielić na dwie podstawowe grupy, a mianowicie na uszkodzenia silników oraz na nienormalne warunki ich pracy [3].

Do uszkodzeń silnika są zaliczane:

- zwarcia doziemne,
- zwarcia międzyfazowe,
- zwarcia zwojowe (międzyzwojowe).

Typowe nienormalne warunki pracy silników:

- nieprawidłowy rozruch,
- asymetria zasilania,
- praca niepełnofazowa,
- obniżenie lub zanik napięcia zasilania,
- przeciążenia ruchowe.

Zwarcia międzyfazowe występują zazwyczaj jako skutek uszkodzenia izolacji między przewodami różnych faz. Występują one głównie w uzwojeniach silnika lub w przewodach zasilających silnik. Zwarcia międzyfazowe są najczęstszymi przyczynami awarii silników wysokiego napięcia i powinny być jak najszybciej wykryte i wyłączone przez odpowiednie zabezpieczenia.

Zwarcia doziemne są mniej groźne, ponieważ wartość prądu doziemnego zależy od sposobu pracy punktu neutralnego transformatora sieci, z której silnik jest zasilany. Jeżeli jednak prąd ziemnozwarciowy przekracza 10A, powinno się stosować zabezpieczenia od zwarć doziemnych, działające na wyłączenie silnika [4].

Zwarcia międzyzwojowe są trudne do wykrycia i nie stosuje się specjalnych zabezpieczeń do wykrywania tego rodzaju uszkodzeń. Zakłada się, że będą one wykrywane przez zabezpieczenia od zwarć międzyfazowych lub od zwarć doziemnych.

Głównym efektem nienormalnych warunków pracy silnika elektrycznego jest przeciążenie cieplne jego uzwojeń. Może być ono spowodowane nieprawidłowym rozruchem silnika. Występujące w czasie rozruchu silnika duże wartości prądów w uzwojeniach wirnika i stojana powodują szybki wzrost temperatury tych uzwojeń. Zbyt częste dokonywanie rozruchów może spowodować przegrzanie uzwojeń silnika. Podobny skutek ma także zbyt długo trwający rozruch lub utknięcie silnika.

Przegrzanie uzwojeń silnika następuje również przy asymetrii napięć zasilających. Polega ona na występowaniu składowej symetrycznej przeciwnej na zaciskach silnika, powodując przepływ w uzwojeniu stojana składowej symetrycznej przeciwnej prądu o znacznej wartości. W uzwojeniu wirnika indukują się bardzo duże wartości prądów o częstotliwości zbliżonej do podwójnej sieciowej. Zwiększają one także wypadkową wartość prądów w uzwojeniu stojana [1].

Praca niepełnofazowa silnika powoduje zmniejszenie jego prędkości obrotowej oraz wzrost prądu w pozostałych zdrowych fazach, co skutkuje nadmiernym nagrzaniem się izolacji uzwojeń silnika. Podobny efekt ma także obniżenie się wartości napięcia zasilania silnika.

Przegrzanie uzwojeń silnika przy obciążeniach ruchowych następuje wskutek wzrostu wartości prądów wirnika i stojana. Jest to spowodowane zwiększonym poślizgiem, występującym przy nadmiernym momencie hamującym [1].

Dzięki przeprowadzonym analizom przyczyn awarii silników elektrycznych wykazano, że uszkodzeniom podlegają głównie: uzwojenia stojanów (75% wszystkich uszkodzeń), uzwojenia wirników (do 6%) i oba uzwojenia równocześnie (22%) [1].

Najczęstszymi awariami uzwojeń stojana jest uszkodzenie miejscowej izolacji głównej w strefie czoł cewek i wyjścia cewek ze żłobków rdzenia stojana. Kolejnym miejscem częstych usterek uzwojeń stojana jest wyjście cewek ze żłobków rdzenia stojana. Do najczęstszych awarii wirników silników elektrycznych są zaliczane uszkodzenia połączeń lutowanych prętów uzwojeń klatkowych z pierścieniami

zwierającymi. W silnikach dwuklatkowych uszkodzeniu ulegają przede wszystkim klatki rozruchowe wirnika. Awariom także ulegają łożyska toczne, których zużycie następuje stopniowo aż do ich zatarcia [1].

W związku z wymienionymi powyżej zakłóceniami i nienormalnymi warunkami pracy silniki wysokiego napięcia wyposażane są w następujące zabezpieczenia:

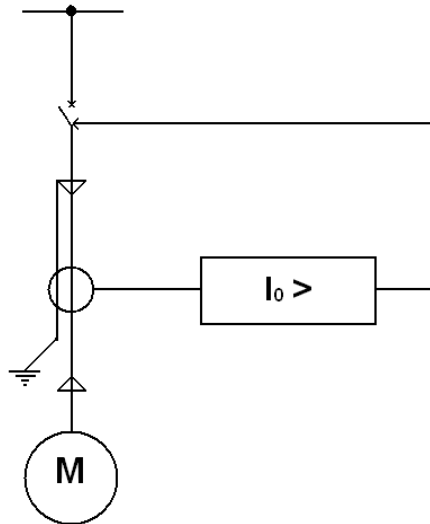
- zabezpieczenia od zwarć doziemnych,
- zabezpieczenia od zwarć międzyfazowych,
- zabezpieczenia od przeciążeń długotrwałych,
- zabezpieczenia od nieprawidłowego rozruchu,
- zabezpieczenia od nadmiernej liczby rozruchów,
- zabezpieczenia temperaturowe,
- zabezpieczenia od asymetrii obciążenia,
- zabezpieczenia podnapięciowe,
- zabezpieczenia od wypadnięcia z synchronizmu.

2.2. Stosowane rozwiązania układów zabezpieczających silniki wysokiego napięcia

2.2.1. Zabezpieczenia ziemnozwarciowe

W przypadku, gdy sieć zasilająca silnik pracuje z punktem zerowym uziemionym bezpośrednio, ochronę silnika od zwarć doziemnych spełnia zabezpieczenie nadprądowe bezzwłoczne.

Gdy silnik jest zasilany z sieci średniego napięcia (6 kV), pracującej z punktem zerowym izolowanym, zabezpieczenie od zwarć doziemnych jest realizowane poprzez pomiar składowej zerowej prądu za pomocą przekładnika Ferrantiego oraz przekaźnika nadprądowego bezzwłocznego, jak na rys. 2.1. Zabezpieczenie ziemnozwarciowe powinno działać na wyłączenie silnika lub na sygnalizację.



Rys. 2.1 Zabezpieczenie ziemnozwarciowe silnika.

W zabezpieczeniach od zwarć doziemnych prąd rozruchowy dobiera się wg zależności:

$$I_r \leq \frac{I_Z}{k_c}, \quad I_r > I_U k'_b n_i \quad \text{i} \quad I_r > I_{ZS} k''_b \quad (2.1)$$

I_r – prąd rozruchu odniesiony do strony pierwotnej zabezpieczenia;

I_Z – wartość prądu ziemnozwarciowego sieci zasilającej silnik;

I_{ZS} – wartość prądu doziemnego zabezpieczanego silnika;

I_U – prąd uchybowy przekładnika typu Ferranti przy maksymalnej amplitudzie prądu rozruchu silnika;

k_c – współczynnik czułości $k_c = 2$;

k'_b – współczynnik bezpieczeństwa $k'_b = 1,5$;

k''_b – współczynnik bezpieczeństwa $k''_b = 1,2$;

n_i – przekładnia przekładnika typu Ferranti.

Przekładnik składowej zerowej prądu typu Ferranti instaluje się na kablu w pobliżu wyłącznika w rozdzielni, dzięki czemu obejmuje się strefą zabezpieczenia silnik oraz kabel łączący ten silnik z rozdzielnią [4].

Zabezpieczenia typu Ferranti stosowane są zgodnie z krajowymi przepisami do silników o mocy powyżej 1MW. Jeżeli wartość prądu pojemnościowego ziemnozwarciowego przekracza 10A, zabezpieczenia te powinny działać na wyłączenie silnika, a w przypadku mniejszych wartości prądów – na sygnalizację.

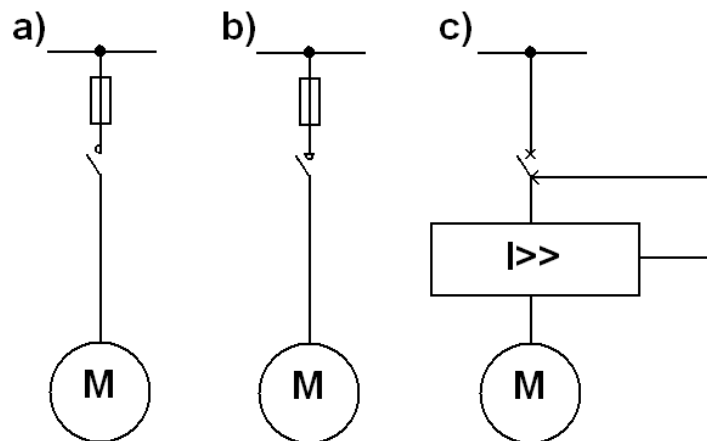
2.2.2. Zabezpieczenia od zwarć międzyfazowych

Zabezpieczenie silnika elektrycznego wysokiego napięcia od zwarć międzyfazowych powinno działać bezzwłocznie na wyłączenie silnika. Może być ono realizowane za pomocą:

- bezpieczników topikowych (współpracujących ze stycznikiem lub odłącznikiem mocy),
- wyzwalaczy pierwotnych,
- przekaźników nadprądowych bezzwłocznych,
- przekaźnika różnicowoprądowego wzdłużnego.

2.2.2.1. Bezpieczniki topikowe i wyzwalacze

Najprostszym rodzajem zabezpieczeń silników od zwarć międzyfazowych są bezpieczniki topikowe współpracujące z rozłącznikami (rys. 2.2a i 2.2b). Współpraca ta polega na wyłączeniu silnika przez odłącznik w przypadku przetopienia się chociażby jednej wkładki topikowej. Dzięki temu unika się pracy niepełnofazowej silnika.



Rys. 2.2 Zabezpieczenie silnika od zwarć międzyfazowych, realizowane za pomocą bezpieczników topikowych (współpracujących ze stycznikiem (a) lub odłącznikiem mocy (b)), lub wyzwalacz pierwotny (c).

Prąd znamionowy bezpieczników dobiera się tak, aby zabezpieczenie miało możliwie dużą czułość i działało możliwie szybko, jednak, aby bezpieczniki nie działały w czasie rozruchów silników. Bezpieczniki topikowe powinny posiadać moc wyłączalną większą od mocy zwarciowej w miejscu zainstalowania.

Prąd znamionowy wkładki topikowej bezpiecznika I_b powinien spełniać następujące warunki:

$$I_b \geq 1,2I_{ns} \quad \text{i} \quad I_b \geq \frac{I_{rs}}{\alpha} \quad (2.2)$$

I_{ns} – prąd znamionowy silnika;

I_{rs} – największa wartość skuteczna składowej okresowej prądu rozruchowego silnika;

α – współczynnik o wartości zależnej od rodzaju wkładki bezpiecznikowej, częstości i rodzaju rozruchów silnika.

Bezpieczniki topikowe stosuje się poza tym wtedy, gdy wyłącznik samoczynny silnika posiada moc wyłączalną mniejszą od mocy zwarciowej w punkcie zainstalowania.

Innym rodzajem zabezpieczeń silników od zwarć międzyfazowych są wyzwalacze elektromagnetyczne pierwotne współpracujące z odpowiednimi wyłącznikami (rys. 2.2c).

Prąd rozruchowy wyzwalacza pierwotnego powinien spełniać warunki:

$$I_r \geq k_b k'_s I_{rs} \quad \text{oraz} \quad I_r \leq k'_s \frac{I_{z\min}}{k_c} \quad (2.3)$$

k_b – współczynnik bezpieczeństwa (1,4-2);

k'_s – współczynnik schematowy (1 lub $\sqrt{3}$ w przypadku układu krzyżowego);

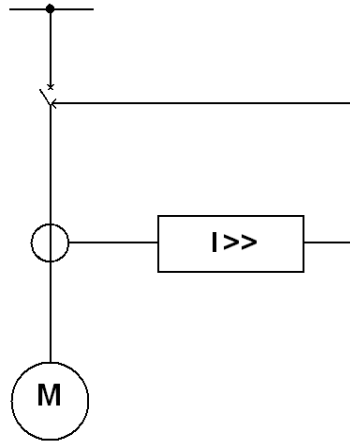
I_{rs} – składowa okresowa prądu rozruchowego silnika;

k_c – współczynnik czułości (przyjmuje się równy 2);

$I_{z\min}$ – najmniejszy prąd zwarcia dwufazowego na zaciskach silnika.

2.2.2.2. Przekładniki nadprądowe bezzwłoczne

Zabezpieczenie nadprądowe bezzwłoczne jest realizowane za pomocą przekładników nadprądowych wtórnych, zasilanych z przekładników prądowych (rys. 2.3). Przekładniki te są instalowane w taki sposób, aby zabezpieczenie chroniło również linię zasilającą silnik.



Rys. 2.3 Zabezpieczenie od zwarć międzyfazowych realizowane za pomocą przekaźnika nadprądowego bezzwłocznego.

Prąd rozruchowy zabezpieczenia nadprądowego bezzwłocznego ustawiany jest według zależności

$$I_r \geq k_b k'_s I_{rs} \quad \text{oraz} \quad I_r \leq k'_s \frac{I_{z \min}}{k_c} \quad (2.4)$$

k_b – współczynnik bezpieczeństwa (1,4-2);

k'_s – współczynnik schematowy (1 lub $\sqrt{3}$ w przypadku układu krzyżowego);

I_{rs} – składowa okresowa prądu rozruchowego silnika;

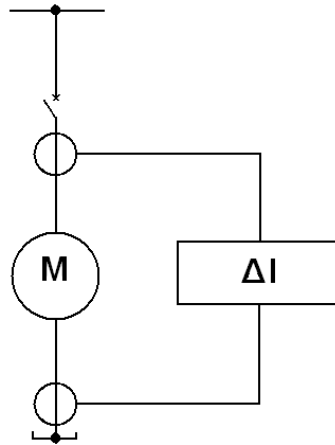
k_c – współczynnik czułości (przyjmuje się równy 2);

$I_{z \min}$ – najmniejszy prąd zwarcia dwufazowego na zaciskach silnika.

W przypadku, gdy zabezpieczenie z jednym przekaźnikiem nie zapewnia wymaganej czułości przy zwarciach dwufazowych stosuje się wówczas rozwiązanie z dwoma przekaźnikami.

2.2.2.3. Przekładniki różnicowoprądowe wzdłużne

Dla dużych silników, w związku z trudnością uzyskania wystarczającej czułości i zasięgu zabezpieczenia nadprądowego, stosuje się zabezpieczenia różnicowoprądowe wzdłużne (rys. 2.4). Zabezpieczenie to używane jest w silnikach posiadających sześć wyprowadzonych końcówek uzwojeń stojana. Jest ono wykonywane z układami połączeń przekładników prądowych: pełna gwiazda, niepełna gwiazda i układ krzyżowy. W obwód różnicowy włączone są przekaźniki nadprądowe, które będą działać w przypadku zwarcia pomiędzy przekładnikami.



Rys 2.4 Zabezpieczenie od zwarć międzyfazowych realizowane za pomocą przekaźnika różnicowoprądowego wzdłużnego.

Prąd rozruchowy zabezpieczenia różnicowego przyjmuje się zwykle z zakresu $(0,3-0,5)I_{ns}$ silnika. Zabezpieczenie to dzięki swojej zasadzie działania, nie jest wrażliwe na wzrost prądu przy rozruchu silnika i nie reaguje na udary prądu przy zwarciach poza silnikiem. Jest ono bardzo czułe, nie działa jednak przy zwarciach zezwojowych. Z tego powodu silniki wyposażone w zabezpieczenie różnicowe powinny dodatkowo posiadać zabezpieczenie nadmiarowo-prądowe.

2.2.3. Zabezpieczenia od przeciążeń długotrwałych

Zadaniem zabezpieczenia od przeciążeń długotrwałych jest uniemożliwienie przegrzania silnika lub jego niektórych części podczas normalnej pracy. Zabezpieczenie przeciążeniowe powinno być stosowane dla silników pracujących długotrwale. Jest ono realizowane w postaci przekaźników nadprądowych zwłocznych zasilanych z przekładników prądowych. Zabezpieczenie takie może działać na wyłączenie silnika lub na sygnalizację.

Prąd rozruchowy zabezpieczenia przeciążeniowego powinien wynosić:

$$I_r = 1,1I_{ns} \quad (2.5)$$

I_{ns} – prąd znamionowy silnika.

Zabezpieczenie od przeciążeń długotrwałych powinno zadziałać dopiero po utrwaleniu się przeciążenia. Stosowane w praktyce opóźnienie zadziałania zabezpieczenia wynosi $10 \div 15$ s [6].

Bardziej zaawansowane zabezpieczenia przeciążeniowe są wyposażone w specjalny przekaźnik cieplny, w którym następuje przybliżone odwzorowanie procesów cieplnych zachodzących w silniku. Przekaznik taki realizuje charakterystykę zależną (rys. 2.5) według wyrażeń:

– dla stanu zimnego silnika

$$t = T \ln \frac{I^2}{I^2 - (kI_B)^2} \quad (2.6)$$

– dla stanu ciepłego silnika

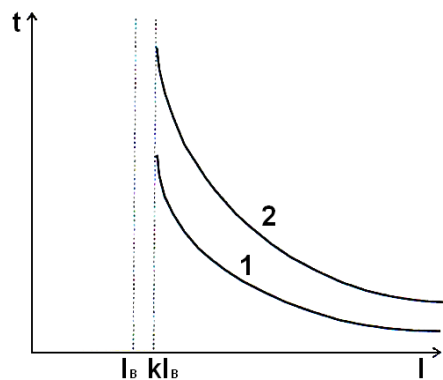
$$t = T \ln \frac{I^2 - I_p^2}{I^2 - (kI_B)^2} \quad (2.7)$$

T – stała czasowa cieplna silnika;

I – prąd obciążenia silnika;

I_p – prąd obciążenia wstępnego silnika;

kI_B – prąd długotrwałego obciążenia granicznego, przy którym ustalona temperatura będzie równa granicznej.



Rys. 2.5 Przykładowe charakterystyki czasowo-prądowe przekaźnika cieplnego dla nagrzanego (1) i zimnego (2) stanu silnika [1].

Czas opóźnienia zadziałania takiego zabezpieczenia uzależniony jest, zatem od wartości prądu płynącego przez uzwojenia silnika. Prąd kI_B można traktować jako prąd rozruchowy przekaźnika.

2.2.4. Zabezpieczenia od nieprawidłowego rozruchu

Nieprawidłowy rozruch silnika może wystąpić z różnych przyczyn, w tym technologicznych, i objawia się znacznym przedłużeniem czasu rozruchu bądź też nawet utykiem silnika.

Zabezpieczenia silników od nieprawidłowo przebiegającego rozruchu są wykonywane jako nadprądowe zwłoczne i działają na wyłączenie silnika. Prąd rozruchu powinien spełniać warunki:

$$I_r \leq \frac{I_{rs}}{k_c} \quad \text{oraz} \quad I_r \geq 1,5I_{ns} \quad (2.8)$$

I_{rs} – największa wartość składowej okresowej prądu rozruchu silnika;

k_c – współczynnik czułości (równy 2);

I_{ns} – prąd znamionowy silnika.

Czas zadziałania zabezpieczenia wynosi:

$$t_z = k_b t_{rs} \quad (2.9)$$

t_{rs} – czas trwania prawidłowo przebiegającego rozruchu silnika;

k_b – współczynnik bezpieczeństwa (przyjmuje się od 1,5 do 2).

2.2.5. Zabezpieczenia od nadmiernej liczby rozruchów–[1]

Zabezpieczenie od nadmiernej liczby rozruchów powoduje wyłączenie silnika przy zbyt długo trwającym jego rozruchu oraz blokowanie załączenia silnika po nadmiernej liczbie, odbytych w określonym czasie, prawidłowo trwających rozruchów.

Wyłączanie silnika przy zbyt długo trwającym rozruchu następuje wtedy, gdy w dopuszczalnym (nastawionym) czasie rozruch prąd nie obniży się poniżej określonej wartości.

Blokowanie załączenia silnika występuje w następujących przypadkach:

- po każdym prawidłowym rozruchu przez nastawiony czas,
- wtedy, gdy mierzona suma czasu kolejnych rozruchów (automatycznie zmniejszana z biegiem czasu) przekracza nastawioną wartość dopuszczalną czasu.

Automatyczne zmniejszanie mierzonych sum czasów rozruchów uwzględnia malejący wpływ wcześniejszych rozruchów na temperaturę uzwojeń wirnika. W

warunkach normalnej pracy silnika zmierzone czasy rozruchów maleją do zera po około dwóch stałych czasowych cieplnych stygnięcia silnika.

2.2.6. Zabezpieczenia temperaturowe

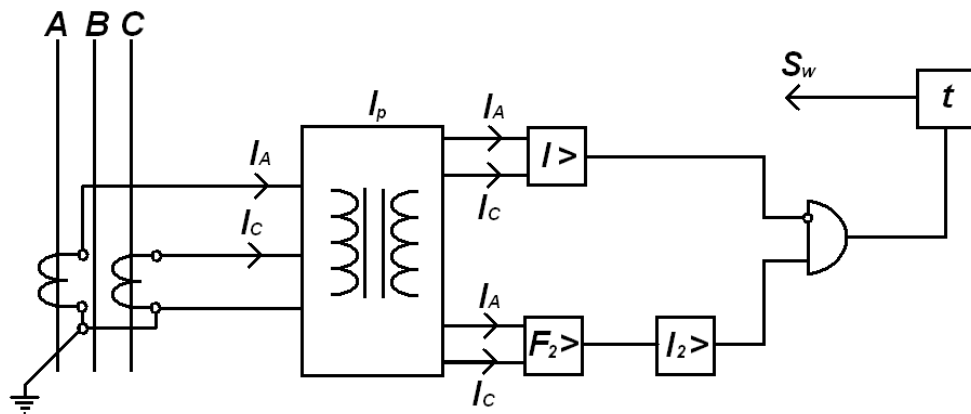
Zabezpieczenie temperaturowe działa na zasadzie bezpośredniego pomiaru temperatury. Do jego realizacji używane są czujniki temperatury umieszczone w żłobkach w każdej fazie uzwojenia, w miejscach, gdzie temperatura osiąga najwyższe wartości.

Działanie czujnika temperatury polega na wykorzystaniu zjawiska nagłej zmiany rezystancji elementu półprzewodnikowego pod wpływem zmiany temperatury. Najczęściej używanymi czujnikami są czujniki termistorowe typu PTC. Z trzema takimi czujnikami, połączonymi szeregowo, współpracuje specjalny przekaźnik prądowy. Po osiągnięciu określonej temperatury następuje gwałtowny wzrost rezystancji czujników. Powoduje to znaczne zmniejszenie prądu pomiarowego i zadziałanie przekaźnika prądowego. Do jego zadziałania wystarczy wzrost rezystancji tylko jednego czujnika [1].

Zabezpieczenie temperaturowe można również wykorzystywać do ochrony silnika przed skutkami zatarcia łożysk. W takim przypadku czujniki temperatury umieszcza się w łożyskach [1].

2.2.7. Zabezpieczenie od asymetrii obciążenia

Zabezpieczenie od skutków asymetrii obciążenia jest realizowane na zasadzie kontroli wartości składowej symetrycznej przeciwnej prądu zasilającego silnik. Zasadę działania zabezpieczenia ilustruje rys. 2.6.



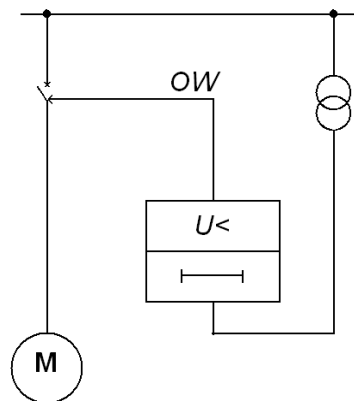
Rys. 2.6 Zabezpieczenie od asymetrii obciążenia.

Człon $I_2 >$ zasilany z filtru składowej przeciwnej F_2 prądu silnika kontroluje jego poziom i działa po przekroczeniu nastawionej wartości (zwykle ok. 20% I_{ns}). Impuls na wyłączenie S_w silnika jest wysyłany z opóźnieniem, nastawionym w członie zwłocznym t. Sygnał wyłączający jest blokowany w bramce iloczynu logicznego przez człony nadprądowe $I >$, nastawione nieco powyżej prądu znamionowego silnika. Ma to na celu blokowanie działania zabezpieczenia podczas rozruchu silnika, kiedy to może pojawić się znaczna wartość prądu I_2 silnika.

Zabezpieczenie od asymetrii obciążenia jest dodatkowym zabezpieczeniem silnika od zwarć dwufazowych, i to znacznie czulszym od zabezpieczenia nadprądowego bezzwłocznego.

2.2.8. Zabezpieczenia podnapięciowe

Zabezpieczenia podnapięciowe mają na celu ochronę silnika przed skutkami obniżenia i zaników napięcia zasilającego silnik. Przy obniżeniu lub zaniku napięcia zabezpieczenia te wyłączają pracujący silnika lub blokują załączenie silnika uniemożliwiając jego samorozruch w przypadku, gdy jest to niedopuszczalne.



Rys. 2.7 Zabezpieczenie podnapięciowe silnika.

Zabezpieczenia silników od obniżenia napięcia są wykonywane jako podnapięciowe zwłoczne (rys. 2.7). Najczęściej spotykanym rozwiązaniem jest zastosowanie dwóch przekładników napięciowych i dwóch przekaźników podnapięciowych.

Napięcie rozruchowe zabezpieczenia podnapięciowego przyjmuje się 0,5–0,7 napięcia znamionowego silnika. Czas opóźnienia zadziałania zabezpieczenia przyjmuje się 0,5–0,7 s dla silników niepodlegających samorozruchowi oraz 6–10 s dla silników przewidzianych do samorozruchu.

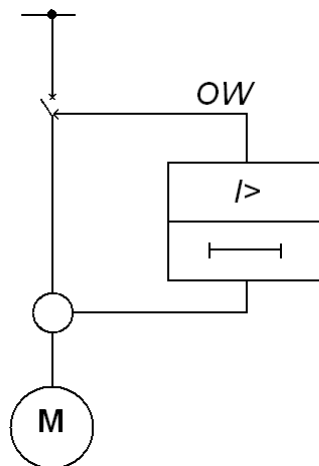
Zabezpieczenie podnapięciowe może być wykonane jako indywidualne dla danego silnika lub grupowe – jedno dla określonej grupy silników.

2.2.9. Zabezpieczenie od wypadnięcia z synchronizmu

Silniki synchroniczne są bardzo podatne na wypadnięcie z synchronizmu w przypadku nawet niewielkiego obniżenia napięcia. Stosowane są następujące kryteria wypadnięcia silnika z synchronizmu:

- wystąpienie tętnienia prądów w uzwojeniu stojana,
- powtarzająca się zmiana kąta fazowego między prądem i napięciem uzwojenia stojana,
- pojawienie się prądu przemiennego w uzwojeniu wirnika.

Najczęściej stosowane jest zabezpieczenie reagujące na tętnienie prądów w uzwojeniu stojana. Wykonane jest ono jako nadprądowe jednofazowe, z opóźnionym opadem, lub zliczające kolejne zadziałania przekaźnika nadprądowego (rys. 2.8).



Rys. 2.8 Zabezpieczenie od wypadnięcia z synchronizmu.

Przekaźnik nadprądowy $I >$ będzie pobudzony, gdy wartość skuteczna prądu stojana osiągnie $1,3-1,4I_{ns}$. Opóźnienie powrotu przekaźnika powoduje, że nie zdąży on powrócić zanim pojawi się nowe pobudzenie spowodowane kołysaniami prądu. Wyłączenie silnika następuje po kilku okresach kołysań prądu, po czasie nastawionym na przekaźniku zwłocznym. Czas zwłoki działania zabezpieczenia powinien być dłuższy od czasu rozruchu silnika albo należy zabezpieczenie to blokować podczas rozruchu [1], [5].

Zabezpieczenia nadprądowe, zliczające kolejne zadziałania przełącznika nadprądowego w określonym przedziale czasowym, działają bezzwłocznie po zliczeniu nastawionej liczby zadziałań (zwykle trzech lub czterech) [1].

Zabezpieczenia od wypadnięcia z synchronizmu powinny działać na wyłączenie silnika z synchronizmu oraz powodować jego odzbudzenie.

3. Charakterystyka mikroprocesorowego urządzenia do pomiarów, automatyki, sterowania i zabezpieczeń MUPASZ 7.S1 – [8]

MUPASZ 7.S1 przeznaczony jest do pracy jako wielofunkcyjne urządzenie zabezpieczające silnikowych pól rozdzielczych. Urządzenie pełni funkcje zabezpieczeniowe, pomiarowe, automatyk i sterowania. Dzięki swojej uniwersalności realizuje wiele funkcji uaktywnionych przez operatora w trakcie programowania urządzenia. MUPASZ 7.S1 współpracuje z komputerowym systemem nadzoru rozdzielni średnich napięć.

Widok płyty czołowej urządzenia MUPASZ 7.S1 przedstawiono na rys. 3.1.



Rys. 3.1 Widok płyty czołowej urządzenia MUPASZ 7.S1.

MUPASZ 7.S1 jest wyposażony w następujące komponenty:

- wyświetlacz graficzny 240x128 pikseli,

- zestaw diod na płycie czołowej sygnalizujących najważniejsze stany pracy urządzenia,
- klawiatura manipulacyjna na płycie czołowej,
- złącze RS-232 na płycie czołowej do współpracy z programem DELFIN ITR,
- 23 wejścia dwustanowe z histerezą prądowo-napięciową,
- 16 wyjść dwustanowych-stykowych,
- odcinacz prądowy (niezależne zabezpieczenie rezerwowe $I_{>>>}$ zasilane z napięcia pomocniczego oraz z prądu zwarcia - działanie bez zasilania),
- zegar czasu rzeczywistego.

Mikroprocesorowe Urządzenie do Pomiarów, Automatyki, Sterowania i Zabezpieczeń MUPASZ 7.S1 zostanie poniżej scharakteryzowane na podstawie instrukcji obsługi dołączonej do urządzenia.

3.1. Funkcje realizowane przez MUPASZ 7.S1

Mikroprocesorowe urządzenie MUPASZ 7.S1 posiada funkcje pomiarów, zabezpieczeń, automatyki i rejestracji zdarzeń zintegrowane w jednym urządzeniu.

Realizowane pomiary:

- prądy fazowe I_1, I_2, I_3 ,
- prąd ziemnozwarciowy I_0 ,
- napięcia międzyfazowe U_{12}, U_{32} ,
- napięcie U_0 ,
- moc czynna P i bierna Q ,
- energia czynna E_C i energia bierna E_B ,
- współczynnik mocy $\cos\varphi$,
- częstotliwość f ,
- prąd skumulowany łącznika ΣI ,
- temperatura Θ z obliczeń modelu cieplnego,
- temperatura z czujników PT100,
- czas pracy pola T_p .

Realizowane zabezpieczenia:

- zwarciove,
- ziemnozwarciowe,
- przeciążeniowe,

- napięciowe,
- silnikowe,
- technologiczne,
- temperaturowe,
- specjalne.

Urządzenie posiada trzy stopnie zabezpieczeń od zwarć międzyfazowych. Są nimi zabezpieczenia nadprądowe niezależne I, II i III stopnia. Różnią się one zakresami nastaw prądu rozruchowego I_r . Zabezpieczenie zwarciove III stopnia nazywane jest rezerwowym odcinaczem prądowym. Przeznaczone jest do ochrony przed silnym udarem prądowym nawet w sytuacjach zaniku napięcia zasilania urządzenia poprzez możliwość zasilani z prądu zwarciovego.

Mupasz 7.S1 posiada zabezpieczenie stycznika, które ma na celu nie dopuszczenie do otwarcia stycznika przy przepływie prądu większego od granicznego prądu wyłączalnego stycznika. Jest to realizowane poprzez kontrolowanie prądu płynącego przez stycznik. W przypadku przekroczenia granicznego prądu wyłączalnego stycznika wysyłany jest sygnał na otwarcie wyłącznika.

Zabezpieczenie ziemnozwarciowe realizowane jest dwoma sposobami. Zabezpieczenie o charakterystyce niezależnej pobudzone jest prądem zerowym I_0 z przekładnika Ferrantiego lub układu Holmgreena.

Drugim rodzajem zabezpieczenia od zwarć doziemnych jest zabezpieczenie kierunkowe (kątowe). Zabezpieczenie ziemnozwarciowe o charakterystyce kątovej reaguje na wartość kąta fazowego zawartego między składowymi zerowymi prądu i napięcia. Prąd pobudzenia I_r obliczany jest ze wzoru:

$$I_r = \frac{I_m}{\cos(\phi_o + \alpha)} \quad (3.1)$$

I_m – prąd maksymalnej czułości;

ϕ_o – kąt fazowy między U_0 i I_0 ;

α – nastawa kątova.

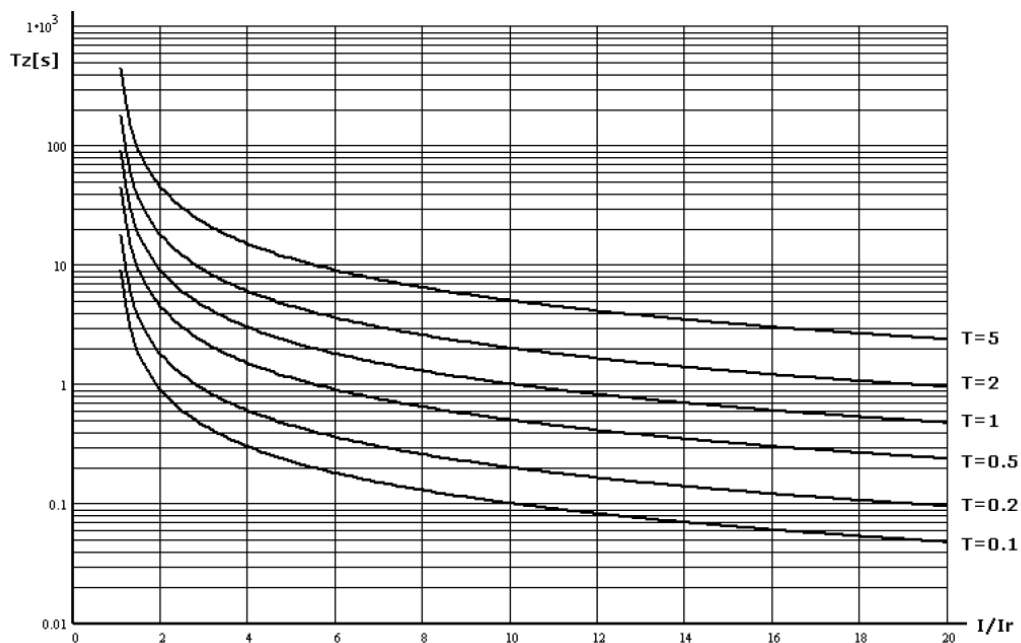
Pomiar kąta między napięciem U_0 i prądem I_0 pozwala na selektywne wykrycie doziemionej linii.

Zabezpieczenie napięciowe stanowią: zabezpieczenie nadnapięciowe niezależne, zabezpieczenie podnapięciowe niezależne oraz zabezpieczenie zerowonapięciowe niezależne. Kontrolują one napięcia międzyfazowe oraz napięcie zerowe.

Kolejnym rodzajem zabezpieczeń realizowanym przez urządzenie MUPASZ 7.S1 jest zabezpieczenie przeciążeniowe. Realizowane jest ono poprzez zabezpieczenie nadprądowe niezależne, zabezpieczenie nadprądowe zależne oraz zabezpieczenie nadprądowe zależne (model cieplny).

Zabezpieczenie nadprądowe niezależne kontroluje prądy fazowe, czas działania nie zależy od wartości prądu, jest on odmierzany od momentu przekroczenia wartości rozruchowej I_r .

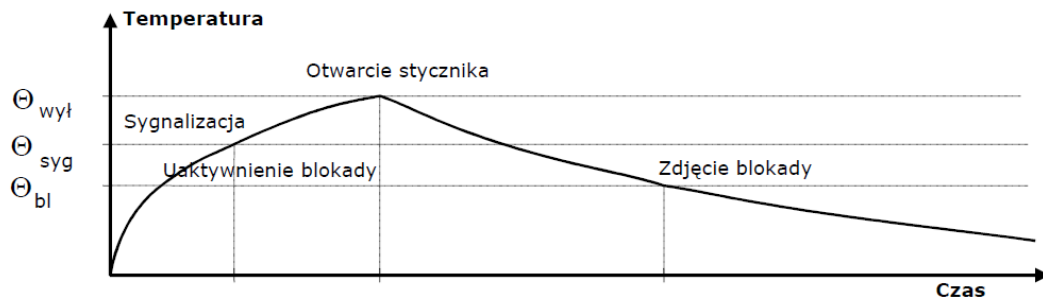
Zabezpieczenie przeciążeniowe zależne kontroluje prądy fazowe, czas zadziałania zabezpieczenia zależy od wartości prądu pobudzenia. Jest on odczytywany z charakterystyki zapisanej w programie urządzenia. Do dyspozycji użytkownika jest sześć charakterystyk. Przykładowa charakterystyka pokazana jest na rys. 3.2. W przypadku, gdy prąd wzrośnie powyżej wartości rozruchowej oraz jego wartość utrzyma się przez czas dłuższy od czasu wyznaczonego z charakterystyki zależnej, następuje zadziałanie zabezpieczenia.



Rys. 3.2 Charakterystyka prądowo–czasowa zabezpieczenia nadprądowego zależnego.

Kolejnym rodzajem zabezpieczenia przeciążeniowego jest zabezpieczenie nadprądowe zależne (model cieplny). Model cieplny zakłada inercyjne zmiany temperatury. Istnieje możliwość kształtowania charakterystyki nagrzewania i chłodzenia

przez zmiany stałych czasowych nagrzewania i chłodzenia. Dwa nastawialne poziomy temperatury pozwalają na dostarczenie informacji o ich przekroczeniu. Jeden próg służy do uaktywnienia lub zdjecia blokady łącznika, drugi – do generacji ostrzeżenia, a trzeci – do otwarcia łącznika (rys. 3.3).



Rys. 3.3 Charakterystyka nagrzewania i chłodzenia zabezpieczonego urządzenia.

Zabezpieczenie przeciążeniowe oblicza temperaturę obiektu na podstawie przepływającego prądu. Możliwość wyboru stałych czasowych pozwala na regulację stromości charakterystyki nagrzewania i chłodzenia.

Urządzenie MUPASZ 7.S1 posiada dodatkowo sześć zabezpieczeń technologicznych. Są to wolne wejścia dwustanowe przeznaczone do skonfigurowania przez użytkownika. Przykładem takiego zabezpieczenia może być zabezpieczenie temperaturowe z czujnikiem temperatury PT100.

Kolejnym zabezpieczeniem oferowanym przez opisywane urządzenie jest zabezpieczenie nadzorujące stopień zużycia łącznika. Kontrola ta polega na sumowaniu wartości prądów przerywanych przez łącznik oraz sygnalizowaniu użytkownikowi przekroczenia wartości granicznej.

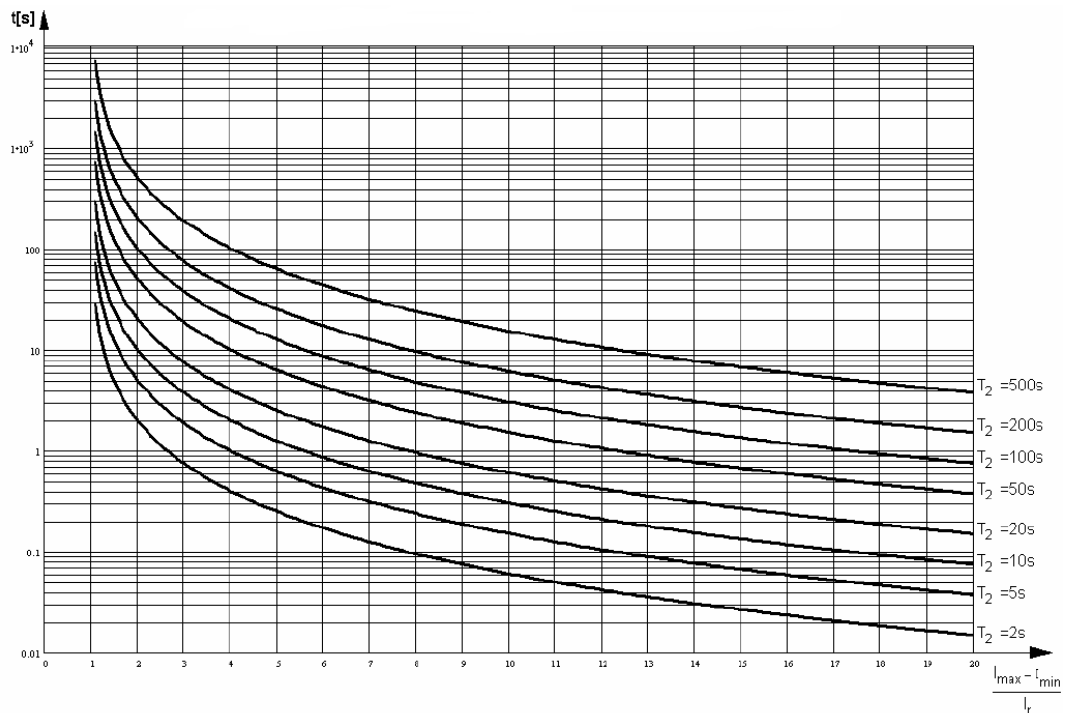
Urządzenie MUPASZ 7.S1 wyposażone jest w specjalne zabezpieczenie służące zwiększeniu ochrony silników. Są nimi:

- zabezpieczenie podprądowe niezależne,
- zabezpieczenie kontrolujące kolejność wirowania faz,
- zabezpieczenie od skutków niesymetrii prądowej,
- zabezpieczenie nadprądowe zależne kontrolujące rozruch silnika,
- zabezpieczenie nadprądowe reagujące na zahamowanie silnika,
- zabezpieczenie od nadmiernej częstotliwości rozruchusilnika,
- zabezpieczenie od spadku współczynnika mocy,
- zabezpieczenie od wypadnięcia z synchronizmu.

Zabezpieczenie podprądowe niezależne kontroluje prądy fazowe. Pobudzenie zabezpieczenia następuje po obniżeniu się wartości jednego z prądów poniżej wartości I_r . Zabezpieczenie to nie działa przy otwartym łączniku.

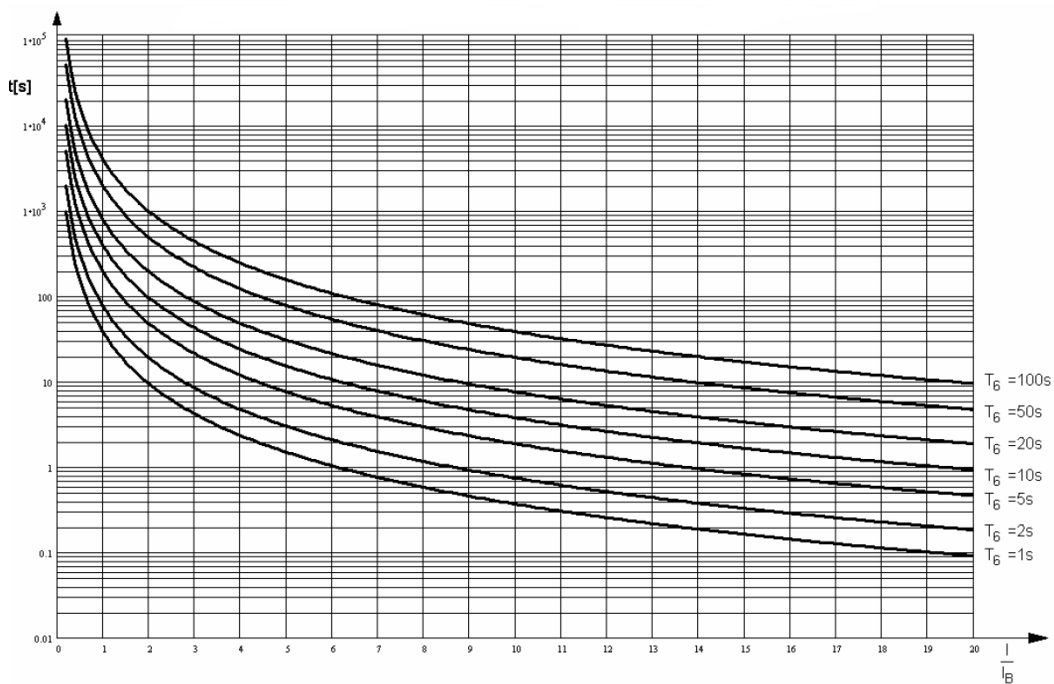
Następnym specjalnym zabezpieczeniem silnikowym jest zabezpieczenie kontrolujące kolejność wirowania faz. Zabezpieczenie kontroluje prawidłowość przyłączenia kolejnych faz napięcia do urządzenia. Pobudza się przy ujemnym kącie między napięciami U_{12} i U_{32} tylko wówczas, gdy łącznik jest otwarty.

Zabezpieczenie od skutków niesymetrii prądowej silnika, jest zabezpieczeniem nadprądowym zależnym, kontrolującym różnicę maksymalnego i minimalnego prądu fazowego. Czas zadziałania zabezpieczenia jest zależny od wartości tej różnicy i jest on wyznaczany na podstawie charakterystyki (rys. 3.4).



Rys. 3.4 Charakterystyka prądowo–czasowa zabezpieczenia od asymetrii obciążenia.

Zadaniem zabezpieczenia nadprądowego zależnego kontrolującego rozruch silnika jest ochrona silnika przed skutkami zbyt długo trwającego rozruchu. Zabezpieczenie to rozpoznaje stan silnika na podstawie sekwencji zmian wartości prądu obciążenia. Czas zadziałania zabezpieczenia dobierany jest na podstawie charakterystyki prądowo–czasowej (rys 3.5).



Rys. 3.5 Charakterystyka prądowo–czasowa zabezpieczenia rozruchowego.

I – mierzona wartość prądu;

I_B – prąd bazowy silnika.

MUPASZ 7.S1 posiada zabezpieczenie chroniące przed skutkiem zahamowania (utyku) silnika które może być wywołane zbyt dużym przeciążeniem od strony maszyny napędzanej. Jest to zabezpieczenie niezależne. Czas opóźnienia działania tego zabezpieczenia jest odliczany od momentu przekroczenia przez prąd nastawionej wartości pobudzenia I_r .

Zabezpieczenie od nadmiernej częstotliwości rozruchu silnika chroni silnik przed skutkami zbyt dużej ilości rozruchów w określonym czasie. Możliwe jest nastawienie częstotliwości rozruchów od 1 do 120 na godzinę. W przypadku, gdy kolejny rozruch mógłby spowodować przekroczenie dopuszczalnej liczby rozruchów, załączenie zostaje zablokowane.

Zabezpieczenie od spadku współczynnika mocy informuje użytkownika o zmniejszeniu obciążenia silnika. Zabezpieczenie to należy do grupy zabezpieczeń zwłocznych niezależnych.

Ostatnim specjalnym zabezpieczeniem silnikowym oferowanym przez MUPASZ 7.S1 jest zabezpieczenie od wypadnięcia z synchronizmu. Zabezpieczenie to reaguje na pulsy w obwodzie stojana. Zasada jego działania została przedstawiona w DTR zabezpieczenia Mupasz 7,S1(załącznik nr 1).

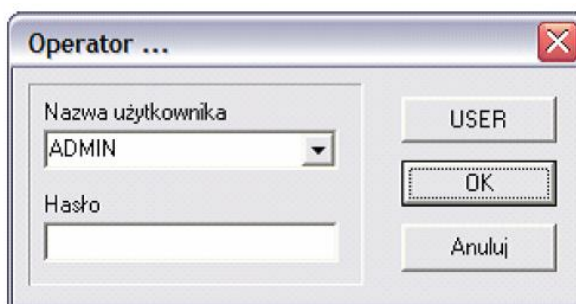
Działanie każdego z przedstawionych zabezpieczeń zależy jest od ustawień dokonanych przez użytkownika. Urządzenie może działać na wyłączenie układu lub na sygnalizację. Ponadto każde zadziałanie oraz jego parametry rejestrowane jest w dzienniku zdarzeń. MUPASZ 7.S1 daje możliwość ustawienia blokady załączenia układu po zadziałaniu któregoś z zabezpieczeń.

3.2. Obsługa urządzenia MUPASZ 7.S1 za pomocą programu DELFiN ITR

3.2.1. Logowanie oraz komunikacja z urządzeniem.

Do obsługi urządzenia MUPASZ 7.S1 służy oprogramowanie DELFiN ITR. Po uruchomieniu aplikacji na komputerze znajdującym się na stanowisku laboratoryjnym należy zalogować się jako **ADMIN** w celu zwiększenia praw dostępu do funkcji systemu. W tym celu, w oknie głównym programu, należy wybrać:

NARZĘDZIA⇒OPERATOR

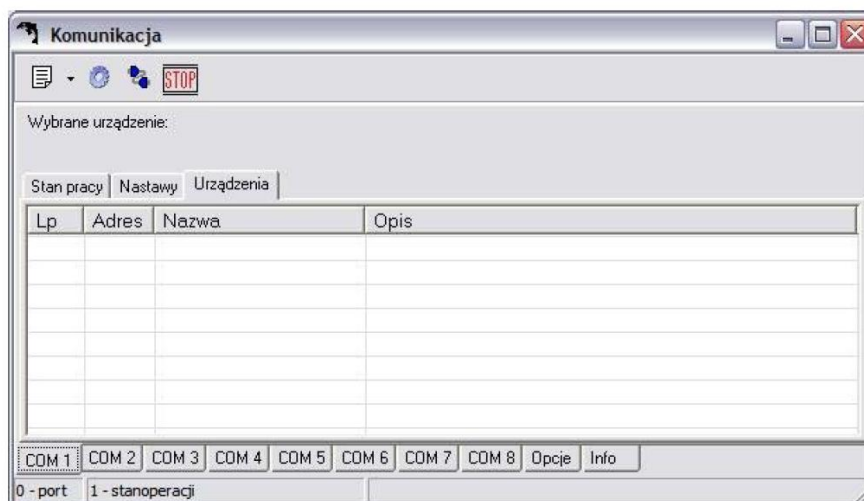


Rys. 3.6 Okno logowania do systemu.


W oknie logowania (rys. 3.6) należy wybrać: Nazwa użytkownika–**ADMIN** oraz podać hasło– **ADMIN**.

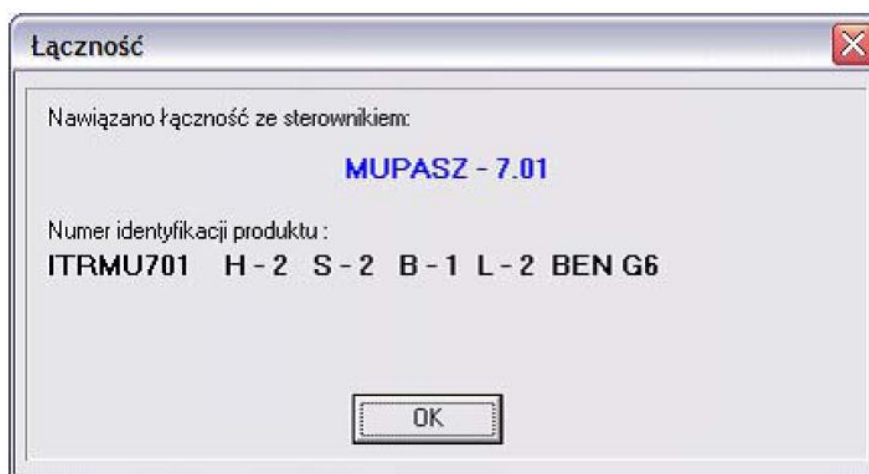
W celu nawiązania komunikacji z urządzeniem, w oknie głównym programu, należy wybrać:

NARZĘDZIA⇒KOMUNIKACJA



Rys. 3.7 Okno KOMUNIKACJA.

Po naciśnięciu przycisku  w oknie KOMUNIKACJA (rys. 3.7) zostanie uruchomiona funkcja nawiązywania łączności ze sterownikiem. Jeżeli użytkownik dwukrotnie naciśnie na linie reprezentującą dany sterownik, system dokona identyfikacji szczegółowej sterownika. Następnie użytkownik zostanie poinformowany o zakończeniu tej funkcji komunikatem (rys. 3.8).

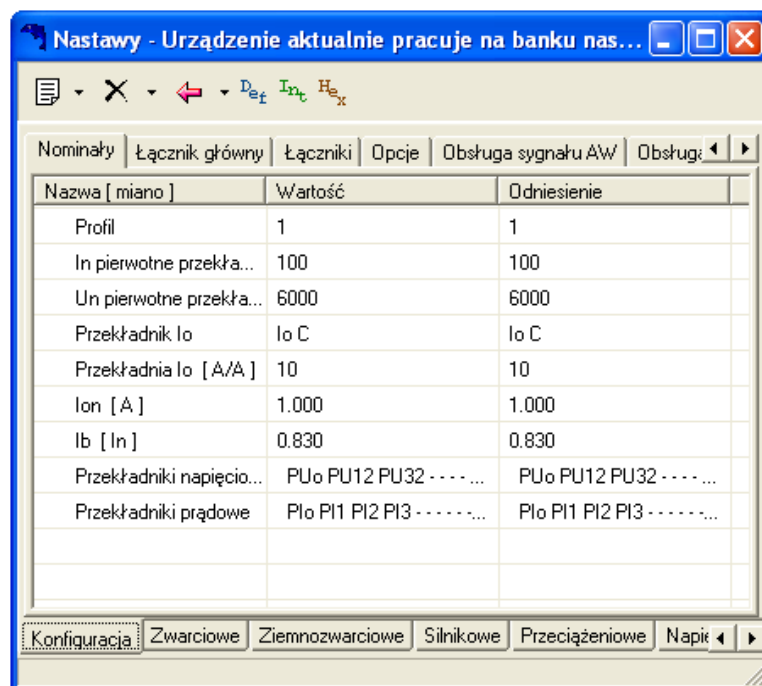


Rys. 3.8 Okno informujące o zakończeniu identyfikacji szczegółowej sterownika.

3.2.2. Wprowadzanie nastaw

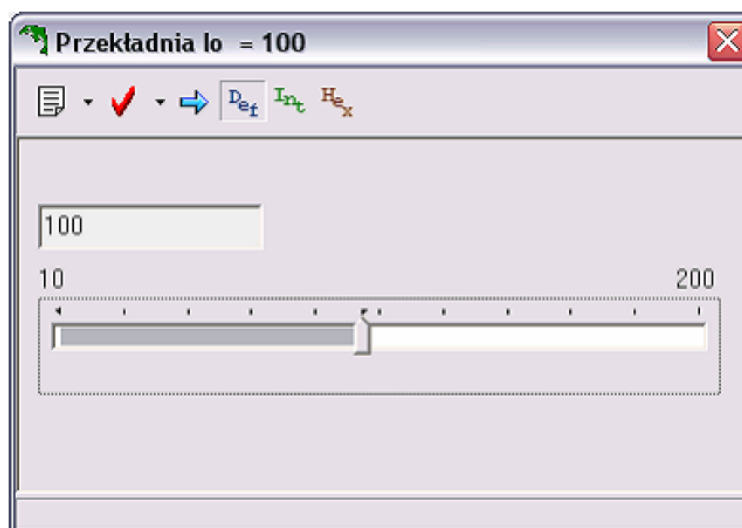
W celu wprowadzenia oraz edycji nastaw urządzenia, w oknie głównym aplikacji, należy wybrać:

ZASOBY⇒NASTAWY

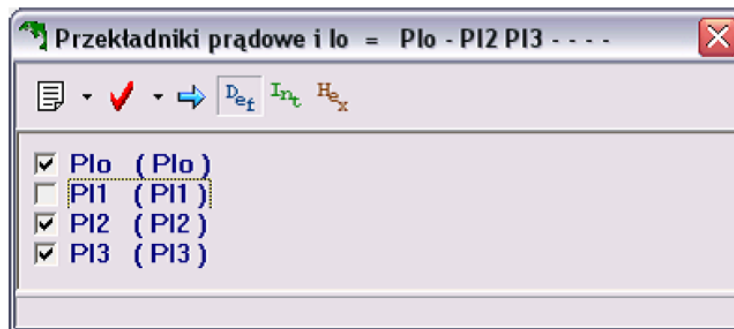


Rys. 3.9 Okno grupy rejestrów Nastawy.

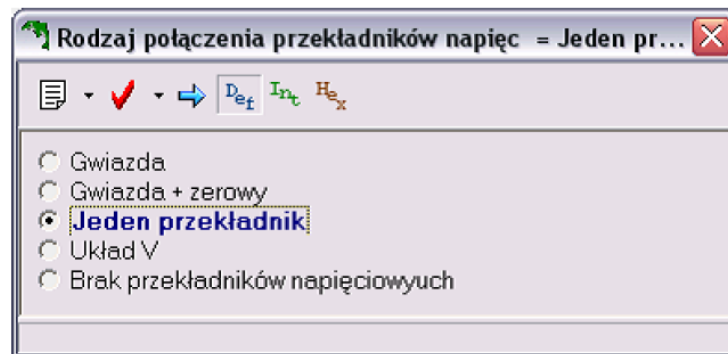
Użytkownik może dokonać edycji danej nastawy (jeżeli nastawa ta podlega edycji) po dwukrotnym naciśnięciu danej nastawy w oknie nastaw (rys. 3.9). Zostanie wtedy wyświetlone jedno z trzech okien edycji (rys. 3.10, 3.11 oraz 3.12). Rodzaj wyświetlonego okna edycyjnego zależy od typu edytowanej nastawy.



Rys. 3.10 Okno edycji nastawy dla parametru typu całkowitego.




Rys. 3.11 Okno edycji nastawa dla parametru typu multilista.



Rys. 3.12 Okno edycja nastawy dla parametru typu mongolista.

Ustawiona wartość będzie zapisana po wciśnięciu przycisku 

W zakładce **Konfiguracja** wprowadzane są wartości znamionowe silnika, sieci, z której jest zasilany, łączników oraz przekładników. Pozostałe dolne zakładki służą do wyboru typu zabezpieczenia, które będzie konfigurowane. Po wprowadzeniu żądanych nastaw należy je wysłać do urządzenia. W tym celu należy wcisnąć przycisk 

3.2.3. Odczytywanie dziennika zdarzeń

W celu uruchomienia dziennika zdarzeń, w oknie głównym aplikacji, należy wybrać:

ZASOBY⇒DZIENNIK

Zostanie wyświetlone okno z dziennikiem zdarzeń (rys 3.13), w którym wyświetlane są wszystkie czynności wykonywane przez operatora, urządzenie oraz parametry zdarzeń. W celu wyświetlenia najnowszych zdarzeń należy przeciągnąć listę do dołu.

| Nr | Czas | Opis | Parametry |
|-----|------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 106 | 10:55:2... | Zła cewka zamykająca | |
| 107 | 10:55:2... | Łącznik otwarty | |
| 108 | 10:56:1... | Zapis nastaw do banku | Numer = 1 Operator = DELFIN |
| 109 | 10:56:1... | Łącznik zamknięty | |
| 110 | 10:56:1... | Samoistne zamknięcie łącznika | |
| ! | 10:56:1... | I> wyłączenie | I = 1296.0 A T = 0.05 s |
| 112 | 10:56:1... | Zła cewka zamykająca | |
| 113 | 10:56:1... | Łącznik otwarty | |
| 114 | 10:57:3... | Zapis nastaw do banku | Numer = 1 Operator = DELFIN |
| 115 | 10:57:3... | Łącznik zamknięty | |
| 116 | 10:57:3... | Samoistne zamknięcie łącznika | |
| ! | 10:57:4... | I> wyłączenie | I = 1294.9 A T = 0.05 s |
| 118 | 10:57:4... | Łącznik otwarty | |

Rys 3.13 Okno dziennika zdarzeń

3.2.4. Pomiary

W celu odczytania wielkości mierzonych przez urządzenie MUPASZ 7.S1, w oknie głównym programu, należy wybrać:

ZASOBY⇒POMIARY

Zostanie wyświetlone okno z wartościami mierzonymi przez urządzenie (rys. 3.14).

| Nazwa [miano] | Wartość | Odniesienie |
|------------------|---------------|-----------------|
| U12 [V] | 0.0 { 0.0 % } | 0.0 { 0.0 % } |
| U32 [V] | 0.0 { 0.0 % } | 0.0 { 0.0 % } |
| I1 [A] | 0.0 { 0.0 % } | 0.0 { 0.0 % } |
| I2 [A] | 0.1 { 0.0 % } | ≠ 0.0 { 0.0 % } |
| I3 [A] | 0.0 { 0.0 % } | 0.0 { 0.0 % } |
| Io [A] | 0.00 | 0.00 |
| Uo [V] | 0.0 { 0.0 % } | 0.0 { 0.0 % } |
| P [kW] | 0.0 | 0.0 |
| Q [kVar] | 0.0 | 0.0 |
| f [Hz] | 0.00 | 0.00 |
| cos | -0.000 | -0.000 |
| k(Uo,Io) [°] | 0 | 0 |
| kąt(U12,U32) [°] | 0 | 0 |
| Temp.MC [°C] | 5 | ≠ 0 |

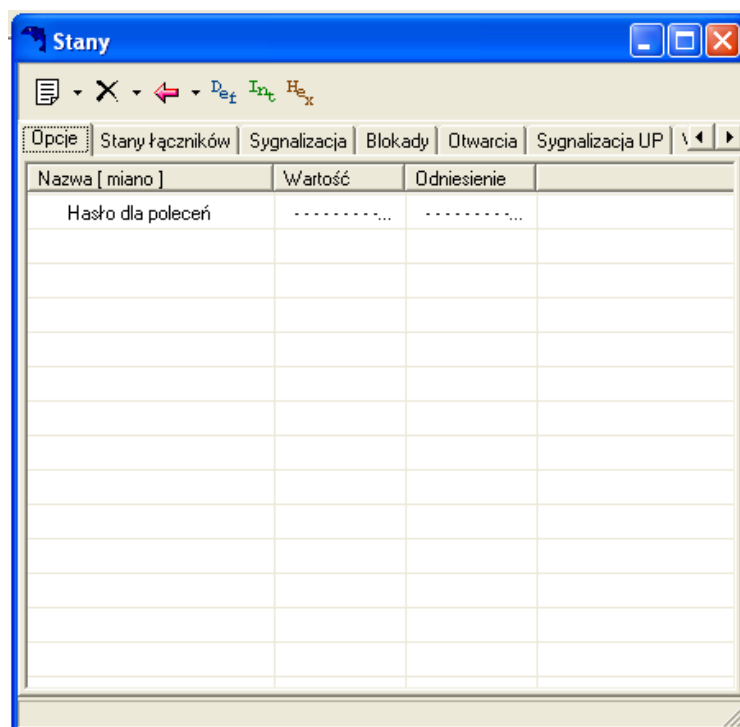
Rys. 3.14 Okno pomiarów.

3.2.5. Sterowanie urządzeniem


Program DELFiN umożliwia sterowanie urządzeniem jak również całym polem silnikowym. Użytkownik za pomocą komputera może zmienić stan łącznika, wózka, kasować blokady oraz sygnalizację. W tym celu, w oknie głównym aplikacji, należy wybrać:

ZASOBY⇒STANY

Zostanie wyświetlone następujące okno:



Rys. 3.15 Okno stanów.

Wybierając odpowiednią zakładkę można sprawdzić aktualne stany poszczególnych komponentów. W celu zmiany stanów należy wcisnąć przycisk (strzałkę) . Wówczas zostanie rozwinięta lista możliwych do wykonania czynności (rys. 3.16):



Rys. 3.16. Lista poleceń.

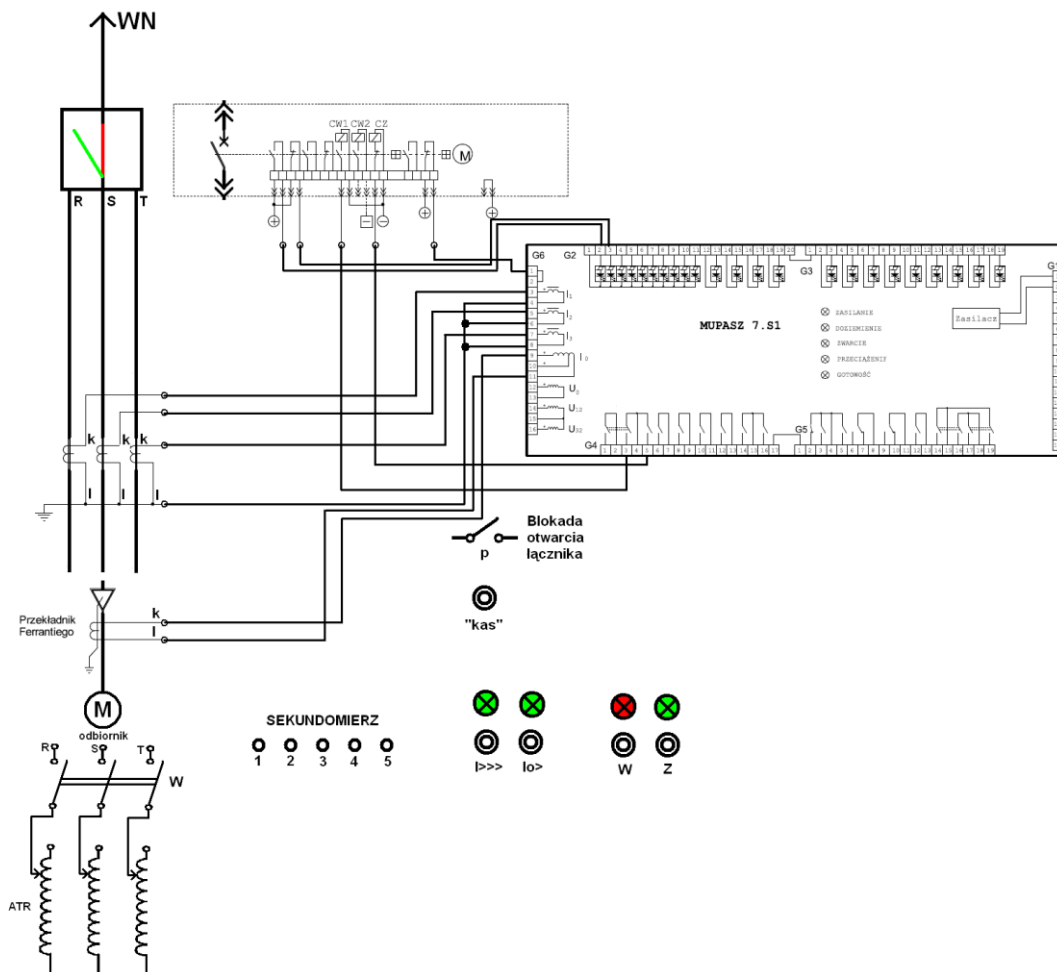
Po wybraniu żądanej czynności oraz jej potwierdzeniu urządzenie wykona zadanie.

4. Badanie laboratoryjne zabezpieczenia MUPASZ 7.S1

4.1. Opis stanowiska laboratoryjnego

Stanowisko laboratoryjne pt. Zabezpieczenia silników wysokiego napięcia pozwala na zapoznanie studentów z budową, zasadą działania zabezpieczenia silników MUPASZ 7.S1. Umożliwia nabycie umiejętności doboru nastawień wartości rozruchowych prądów i czasów działania zabezpieczeń, oraz wykonanie szeregu pomiarów sprawdzających działanie zabezpieczeń i ich przydatności do ochrony silnika.

Płytę czołową stanowiska wraz z przyłączonym urządzeniem MUPASZ 7.S1 przedstawia rys. 4.1.



Rys. 4.1 Widok płyty czołowej stanowiska.

Na płycie czołowej stanowiska znajdują się:

- schemat ideowy pokazujący sposób przyłączenia urządzenia do elementów obwodu zasilającego,
- zaciski odbiornika (silnik symulowany jest przez autotransformator),
- schemat modelu wyłącznika z wyprowadzonymi zaciskami,
- zaciski przekładników prądowych,
- zaciski Przekładnika Ferrantiego,
- zaciski do przyłączenia sekundomierza,
- Z – przycisk załączający układ,
- W – przycisk wyłączający układ,
- I>>> – przycisk służący do dokonywania zwarć międzyfazowych,
- Io> – przycisk służący do dokonywania zwarć doziemnych,
- „kas” – przycisk służący do kasowania sygnalizacji,

- p – przycisk służący do blokady impulsu wyłączającego.

Ponadto stanowisko wyposażone jest w oznaczone przewody do przyłączenia zabezpieczenia MUPASZ 7.S1.

Na stanowisku laboratoryjnym można przeprowadzić bezpośrednie badanie zabezpieczenia MUPASZ 7.S1, jak również sprawdzić funkcjonalne działanie w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. Układ umożliwia symulowanie zwarć międzyfazowych oraz doziemnych.

Stanowisko laboratoryjne zasilane jest ze stołu laboratoryjnego, na którym zostało ono zbudowane. Na lewej bocznej ścianie wyprowadzone zostały zaciski:

- napięcie trójfazowe 3x380V,
- napięcie jednofazowe 220V,
- napięcie stałe 220V,
- napięcie stałe 24V.

4.2. Badanie zabezpieczeń

Przed przystąpieniem do odrabiania ćwiczenia, każdy student grupy ćwiczącej powinien policzyć (w domu) nastawy zabezpieczeń oraz nominały silnika wskazanego przez prowadzącego (Tab. 4.1, oraz 4.2), jeśli prowadzący nie wskaże typu silnika to jego typ wynika z numeru grupy w grafiku.

Do obliczeń przyjąć sieć z izolowanym punktem neutralnym o parametrach:

| | |
|---------------------------------|------------------------------------|
| Moc zwarciova na szynach 6 kV | $S_z=4000$ MVA |
| Długość linii kablowej 6 kV | $l=300$ m |
| | 3×120 mm ² Al. |
| Reaktancja zastępcza | $X_z=1,125$ Ω |
| Rezystancja zastępcza | $R_z=0,0114$ Ω |
| Impedancja zastępcza | $Z_z=1,125$ Ω |
| Wartość prądu ziemnozwarciowego | $I_z=1$ A |

Wartość początkowa składowej okresowej prądu zwarcioowego przy zwarciu 3-faz na szynach stacji 6 kV:

Tab. 4.1 Przykładowe dane silników indukcyjnych klatkowych [9].

| Nr. | Typ silnika | U_n | P | I_{ns} | n | $\cos\varphi$ | η | $I_R/I_{ns} (k_{rs})$ |
|-----|--------------|-------|------|----------|---------|---------------|--------|-----------------------|
| | | V | kW | A | obr/min | - | % | - |
| 1. | SYJf-122f | 6kV | 800 | 91 | 2982 | 0,89 | 95 | 5,5 |
| 2. | SZJf-124M | | 1000 | 115 | 1488 | 0,88 | 95,2 | 5,5 |
| 3. | SYJf-122M/03 | | 1500 | 167 | 2973 | 0,90 | 96,1 | 4,5 |
| 4. | SYJf-132M | | 2500 | 274 | 2979 | 0,91 | 96,6 | 5,4 |
| 5. | SCJe-122r | | 710 | 83 | 2979 | 0,87 | 95 | 5 |

Tab. 4.2 Obliczone nominały a), nastawy zabezpieczeń b) wskazanego silników klatkowych.

a)

| Nr. | Typ silnika | I_n | U_n | Przekładnik | Przekładnia | I_{0n} | $I_B[I_n]$ |
|-----|-------------|------------------------|------------------------|-------------|-------------|----------|------------|
| | | Pierwotny przekładnika | pierwotne przekładnika | I_0 | I_0 | | |
| | | A | V | - | A/A | A | - |
| 1. | | | | | | | |

b)

| Zwarciove niezależne $I >>$ | | Ziemnozwarciowe $I_0 >$ | | Przeciążeniowe niezależne $I > p$ | | Przeciążeniowe zależne $I > z$ | |
|-----------------------------|------|-------------------------|------|-----------------------------------|------|--------------------------------|-------------|
| $I_r[I_n]$ | T[s] | $I_r[I_{0n}]$ | T[s] | $I_r[I_n]$ | T[s] | $I_r[I_n]$ | $T_{10}[s]$ |
| | | | | | | | |

W oknach wprowadzania nastaw poszczególnych zabezpieczeń w polu „Aktywność” ustawić profil na **Aktywność** natomiast w polu „Działanie” ustawić profil na **Wyłączenie**.

I_n - prąd znamionowy strony pierwotnej przekładnika prądowego;

U_n - napięcie znamionowe strony pierwotnej przekładnika napięciowego;

I_0 - typ przekładnika ziemnozwarciowego (przekładnik Ferrantiego [$I_0C=0,1A$] lub układ Holmgreena [$I_0D=1A$]);

I_0 - przekładnia przekładnika ziemnozwarciowego;

I_{0n} - wartość wyliczana w zakładce nominały: $I_{0n} = \text{przekładnik } I_0 \times \text{przekładnia } I_0$

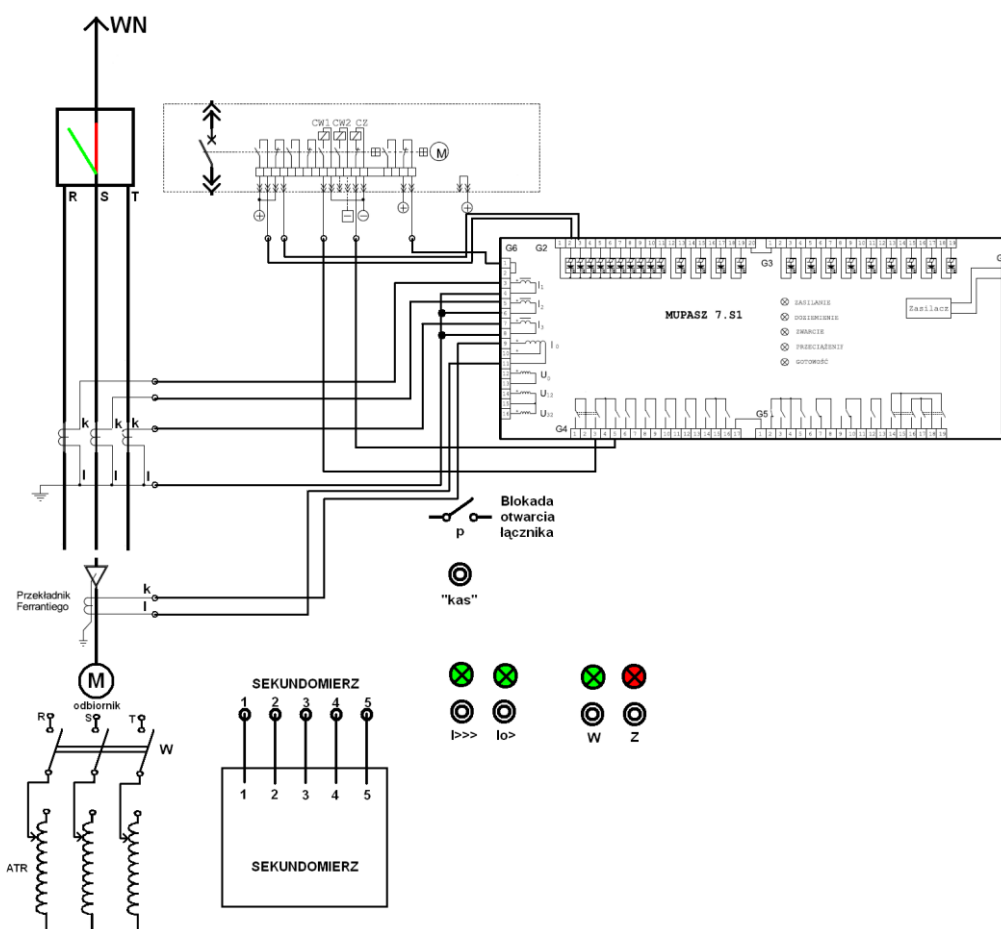
I_B - prąd bazowy.

Wyliczone nastawy poszczególnych zabezpieczeń i wartości nominalów należy wprowadzić do wskazanego przez prowadzącego banku nastaw przy pomocy programu Delfin (pk.3.2 instrukcji) lub z poziomu przekaźnika pk.2.6 załącznika nr 1.

Do pomiarów czasów zadziałania zabezpieczeń przeciążeniowych zostanie użyty miernik SM-1(DTR w załączniku nr 2), dlatego też studenci powinni zapoznać się z jego obsługą i sami zaproponować układ do pomiaru czasów zadziałania zabezpieczeń.

4.2.1. Zabezpieczenie od zwarć międzyfazowych I>>

Badanie funkcjonalne zabezpieczenia od zwarć międzyfazowych I>> polega na sprawdzeniu zadziałania zabezpieczenia przy wymuszeniu zwarcia międzyfazowego. Układ należy połączyć zgodnie z rys. 4.2.



Rys. 4.2 Układ pomiarowy do badania zabezpieczenia od zwarć międzyfazowych oraz doziemnych.

W oknie wprowadzania nastaw dla zabezpieczenia nadprądowego niezależnego I>> w polu „Aktywność” ustawić profil na **Aktywność** natomiast w polu „Działanie” ustawić profil na **Wyłączenie**. Wprowadzone nastawy należy następnie wysłać do urządzenia.

Po wprowadzeniu nastaw do przełącznika MUPASZ 7.S1 należy włączyć układ wciskając przycisk **Z** (zapalenie się zielonej lampki oraz sygnalizacja załączenia łącznika w pozycji zamkniętej). Przełącznik **Blokada otwarcia łącznika** powinien znajdować się w pozycji **W** (wyłączona). Zwarcie międzyfazowe jest wymuszane poprzez wciśnięcie i przytrzymanie przycisku **I>>**. Z dziennika zdarzeń urządzenia należy odczytać prąd zwarciovowy i czas zadziałania urządzenia. Z sekundomierza należy odczytać czas wyłączenia układu.

Tab. 4.3 Wyniki pomiarów zabezpieczenia od zwarć międzyfazowych.

| Typ silnika | I_z | T_{wyt} |
|-------------|-------|-----------|
| | [A] | [s] |
| | | |
| | | |
| | | |

Oznaczenia:

I_r – nastawiony prąd rozruchowy zabezpieczenia;

I_z – prąd zwarcia zarejestrowany przez zabezpieczenie;

T – nastawiony czas zadziałania zabezpieczenia;

T_{wyt} – zmierzony czas zadziałania zabezpieczenia.

4.2.2. Zabezpieczenie od zwarć doziemnych $I_0>$

Badanie funkcjonalne zabezpieczenia od zwarć doziemnych $I_0>$ polega na sprawdzeniu zadziałania zabezpieczenia przy wymuszeniu zwarcia doziemnego. Układ należy połączyć zgodnie z rys. 4.2. W oknie wprowadzania nastaw dla zabezpieczenia zerowoprądowego $I_0>$ w polu „Aktywność” ustawić profil na **Aktywność** natomiast w polu „Działanie” ustawić profil na **Wyłączenie**. Wprowadzone nastawy należy następnie wysłać (lub wpisać ręcznie) do urządzenia.

Po wprowadzeniu nastaw do przełącznika MUPASZ 7.S1 należy włączyć układ wciskając przycisk **Z** (zapalenie się zielonej lampki oraz sygnalizacja załączenia łącznika w pozycji zamkniętej). Przełącznik **Blokada otwarcia łącznika** powinien

znajdować się w pozycji **W** (wyłączona). Zwarcie doziemne jest wymuszane poprzez wciśnięcie i przytrzymanie przycisku **Io>**. Z dziennika zdarzeń urządzenia należy odczytać prąd zwarciový i czas zadziałania urządzenia. Z sekundomierza należy odczytać czas wyłączenia układu.

Tab. 4.4 Wyniki pomiarów zabezpieczenia od zwarć doziemnych.

| Typ silnika | I_0 | T_{wyl} |
|-------------|-------|-----------|
| | [A] | [s] |
| | | |
| | | |
| | | |

Oznaczenia:

I_r – nastawiony prąd rozruchowy zabezpieczenia;

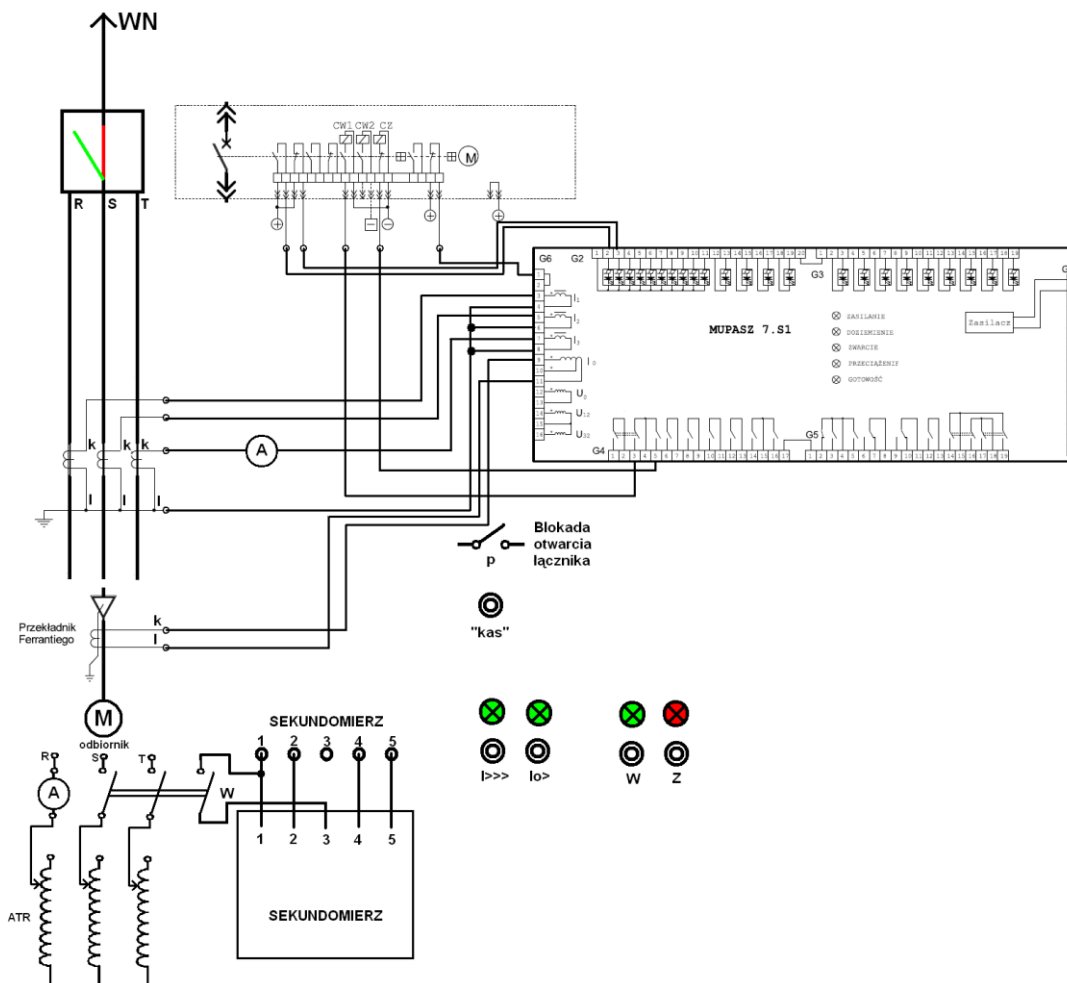
I_0 – prąd doziemny zarejestrowany przez zabezpieczenie;

T – nastawiony czas zadziałania zabezpieczenia;

T_{wyl} – zmierzony czas zadziałania zabezpieczenia.

4.2.3. Zabezpieczenie przeciążeniowe niezależne $I > p$

Badanie funkcjonalne zabezpieczenia przeciążeniowego niezależnego polega na sprawdzeniu działania zabezpieczenia przy różnych przeciążeniach silnika. Układ należy połączyć zgodnie z rys. 4.3.



Rys. 4.3 Układ pomiarowy do badania zabezpieczenia przeciążeniowego.

. W oknie wprowadzania nastaw dla danego zabezpieczenia w polu „Aktywność” ustawić profil na **Aktywność** natomiast w polu „Działanie” ustawić profil na **Wyłączenie**. Pozostałe nie badane zabezpieczenia przeciążeniowe ustawić na nieaktywne (odznaczenie pola **Aktywność**). Wprowadzone nastawy należy następnie wysłać (lub wpisać ręcznie) do urządzenia.

Pomiary należy przeprowadzić dla następujących krotności prądu znamionowego silnika: 1.1, 2, 2.5, 3.5. Po załączeniu układu (wcisnięcie przycisku **Z**) należy włączyć blokadę otwarcia łącznika (przełącznik w pozycji na **Z**) oraz. Blokada umożliwia nastawienie prądu przeciążeniowego. Prąd przeciążeniowy nastawiany za pomocą autotransformatora według przykładu:

$$I = 1.1 I_{ns} \rightarrow I = 1.1 I_B \rightarrow I = 1.1 \cdot 0.83 I_n \rightarrow I = 1.1 \cdot 0.83 \cdot 5 = 4.56 \text{ A} - \text{prąd na wejściu przekąźnika.}$$

Po ustawieniu żądanej wartości prądu obciążenia należy odłączyć obciążenie (otwarcie wyłącznika) następnie wyłączyć blokadę zamykania łącznika (pozycja przełącznika na **W**). W celu przeprowadzenia przeciążenia należy energicznie załączyć obciążenie.

Zanotować ustaloną wartość prądu oraz czas zadziałania układu zmierzony sekundomierzem, oraz wartości prądu zadziałania i czasu z dziennika w przekąźniku. Na podstawie otrzymanych wyników należy wykreślić charakterystykę $I = f(T)$ zabezpieczenia.

4.2.4. Zabezpieczenie przeciążeniowe zależne $I > z$

Badanie funkcjonalne zabezpieczenia przeciążeniowego zależnego polega na sprawdzeniu działania zabezpieczenia przy różnych przeciążeniach silnika.. Układ należy połączyć zgodnie z rys. 4.3.

Dla danego silnika należy wprowadzić zarówno nominały jak i nastawy danego zabezpieczenia. W oknie wprowadzania nastaw dla zabezpieczenia nadprądowego zależnego $I > z$ w polu „Aktywność” ustawić profil na **Aktywność** natomiast w polu „Działanie” ustawić profil na **Wyłączenie**. Pozostałe nie badane zabezpieczenia przeciążeniowe ustawić na nieaktywne (odznaczenie pola **Aktywność**). Wprowadzone nastawy należy następnie wysłać (lub wpisać ręcznie) do urządzenia.

Pomiary należy przeprowadzić dla następujących krotności prądu znamionowego silnika: 1.1, 2, 2.5, 3.5. Po załączeniu układu (wciśnięcie przycisku **Z**) należy włączyć blokadę otwarcia łącznika (przełącznik w pozycji na **Z**) oraz. Blokada umożliwia nastawienie prądu przeciążeniowego. Prąd przeciążeniowy nastawiany według przykładu:

$$I = 1.1 I_{ns} \rightarrow I = 1.1 I_B \rightarrow I = 1.1 \cdot 0.83 I_n \rightarrow I = 1.1 \cdot 0.83 \cdot 5 = 4.56 \text{ A} - \text{prąd na wejściu przekąźnika.}$$

Po ustawieniu żądanej wartości prądu obciążenia należy odłączyć obciążenie (otwarcie wyłącznika) następnie wyłączyć blokadę zamykania łącznika (pozycja przełącznika na **W**). W celu przeprowadzenia przeciążenia należy energicznie załączyć obciążenie. Zanotować ustaloną wartość prądu oraz czas zadziałania układu zmierzony sekundomierzem. oraz wartości prądu zadziałania i czasu z dziennika w przekąźniku.

Należy przebadać dwa rodzaje charakterystyki zaprogramowanych w przekaźniku. Następnie z otrzymanych wyników pomiarów wykreślić charakterystyki prądowo czasowe zabezpieczenia. Na podstawie otrzymanych wyników należy wykreślić charakterystykę $I = f(T)$ zabezpieczenia

4.2.5. Zabezpieczenie przeciążeniowe zależne (model cieplny Θ_m)

Badanie zabezpieczenia przeciążeniowego zależnego (model cieplny) polega na sprawdzeniu zadziałania zabezpieczenia przy przeciążeniu silnika. Badanie należy przeprowadzić dla wskazanego silnika łącząc układ zgodnie z rysunkiem 4.3.

Przykładowe nastawy z tab. 4.9 należy wprowadzić do urządzenia dla zabezpieczenia nadprądowego zależnego (model cieplny). W oknie wprowadzania nastaw dla danego zabezpieczenia w polu „Aktywność” ustawić profil na **Aktywność** natomiast w polu „Działanie” ustawić profil na **Wyłączenie**. Pozostałe niebadane zabezpieczenia przeciążeniowe ustawić na nieaktywne (odznaczenie pola **Aktywność**). Wprowadzone nastawy należy następnie wysłać do urządzenia.

Pomiary należy przeprowadzić dla następujących krotności prądu znamionowego silnika: 1.1, 2, 2.5, 3.5. Po załączeniu układu (wcisnięcie przycisku **Z**) należy włączyć blokadę otwarcia łącznika (przełącznik w pozycji na **Z**) oraz. Blokada umożliwia nastawienie prądu przeciążeniowego. Prąd przeciążeniowy nastawiany według przykładu:

$I = 1.1 I_{ns} \rightarrow I = 1.1 I_B \rightarrow I = 1.1 \cdot 0.83 I_n \rightarrow I = 1.1 \cdot 0.83 \cdot 5 = 4.56 \text{ A}$ - prąd na wejściu przekaźnika.

Po ustawieniu żądanej wartości prądu obciążenia należy odłączyć obciążenie (otwarcie wyłącznika) następnie wyłączyć blokadę zamykania łącznika (pozycja przełącznika na **W**). W celu przeprowadzenia przeciążenia należy energicznie załączyć obciążenie. Obserwując dziennik zdarzeń należy zaobserwować czasy (obserwując sekundomierz), po jakich przekaźnik wysyła sygnał na uaktywnienie blokady, zdjęcie blokady, sygnalizację i otwarcie łącznika. Wszystkie te stany wyświetlane są w dzienniku zdarzeń. Przed przystąpieniem do kolejnych pomiarów należy skasować pamięć zabezpieczenia. W tym celu należy dezaktywować a następnie ponownie uaktywnić badane zabezpieczenie.

Na podstawie otrzymanych wyników należy wykreślić charakterystykę $\Theta=f(T)$, na której należy zaznaczyć temperatury uaktywnienia blokady, zdjęcia blokady, sygnalizacji oraz otwarcia łącznika.

Tab. 4.5 Nastawy dla zabezpieczenia przeciążeniowego zależnego (model ciepły).

| | | |
|-------------------------|-----|-----|
| Temperatura nominal.. | 100 | 100 |
| Temperatura otoczen... | 0 | 0 |
| Temperatura sygnaliz... | 95 | 95 |
| Temperatura wyłącz... | 110 | 110 |
| Temperatura blokady... | 66 | 66 |
| K1 | 0.5 | 0.5 |
| T1 nagrzewania [min] | 2 | 2 |
| T2 nagrzewania [min] | 2 | 2 |
| T1 stygnięcia [min] | 2 | 2 |
| T2 stygnięcia [min] | 2 | 2 |

5. Pytania

6. W jaki komplet zabezpieczeń powinien być wyposażony silnik WN, scharakteryzować rodzaje zaburzeń i przyporządkować im odpowiednie rodzaje zabezpieczeń?
7. Jakie wymagania stawia się zabezpieczeniom od przeciążeń silników, jak dobiera się nastawy zabezpieczeń?
8. Narysować układ zabezpieczenia silnika od zwarć doziemnych i omówić sposób doboru prądu rozruchowego zabezpieczenia w zależności od sposobu pracy punktu neutralnego transformatora.
9. Podać rodzaje zabezpieczeń od przeciążeń silników elektrycznych (od małych od dużych) wraz z krótką charakterystyką.
10. Podać i omówić wymagane parametry do nastawiania zabezpieczenia przeciążeniowego w zespole MUPASZ.
11. W jaki sposób rozwiązywane są zabezpieczenia podnapięciowe silników .
12. Jak dobiera się prąd rozruchowy i czas zwłoki zabezpieczenia od zwarć międzyfazowych i międzyzwojowych silników?

6. Literatura

1. Korniluk W., Woliński K.: Elektroenergetyczna automatyka zabezpieczeniowa, OWPB, Białystok 2009.
2. Synal B.: Elektroenergetyczna automatyka zabezpieczeniowa, OWPW, Wrocław 2000.
3. Żydanowicz J.: Zabezpieczenia przekaźnikowe układów elektroenergetycznych, PWN, Warszawa 1964.
4. Żydanowicz J.: Elektroenergetyczna automatyka zabezpieczeniowa, WNT, Warszawa 1966.
5. Żydanowicz J., Namotkiewicz M., Kowalewski B.: Zabezpieczenia i automatyka w energetyce, WNT, Warszawa 1975.
6. Kowalewski B.: Zabezpieczenia elektroenergetyczne, Redakcja skryptów Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1968.
7. Mikroprocesorowe Urządzenie do pomiarów, Automatyki, Sterowania i Zabezpieczeń MUPASZ 7.S1, Instrukcja obsługi Instytut Tele- i Radiotechniczny www.itr.org.pl Warszawa, Warszawa 2006.
8. Silniki indukcyjne, Katalog produktów, Dolnośląska Fabryka Maszyn Elektrycznych, Wrocław 2006.