

POLITECHNIKA LUBELSKA

Wydział Elektrotechniki i Informatyki

Kierunek Elektrotechnika

Katedra Sieci Elektrycznych i Zabezpieczeń



Laboratorium Sieci Elektroenergetycznych

EAZ

Badanie zabezpieczeń silników wysokiego napięcia

1. Wstęp

Awaria silnika elektrycznego wysokiego napięcia zwykle prowadzi do przzerwania 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 zwarć 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:

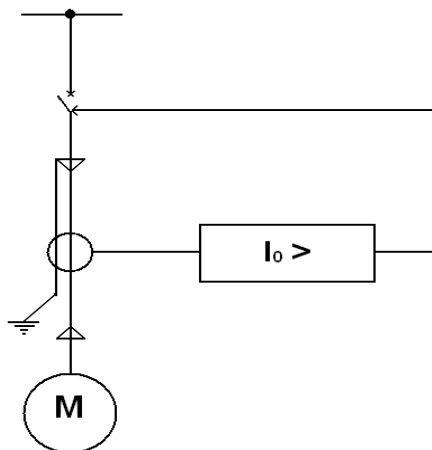
- zabezpieczenia od zwarć doziemnych,
- zabezpieczenia od zwarć międzyfazowych,
- zabezpieczenia od przeciążeń długotrwałych,
- zabezpieczenia od nieprawidłowego rozruchu,
- zabezpieczenia od nadmiernej liczby rozruchów,

- 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 zwarcí doziemnych spełnia zabezpieczenie nadprądowe bezzwłoczne. Gdy silnik jest zasilany z sieci średniego napięcia (6 kV), pracującej z punktem zerowym izolowanym, zabezpieczenie od zwarcí 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 zwarcí 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 po-

jemnościowego ziemnozwarciowego przekracza 10A, zabezpieczenia te powinny działać na wyłączenie silnika, a w przypadku mniejszych wartości prądów – na sygnalizację.

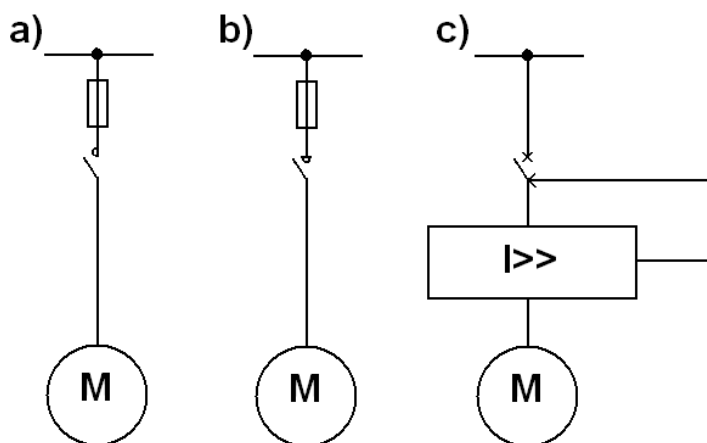
2.2.2. Zabezpieczenia od zwarć międzyfazowych

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);

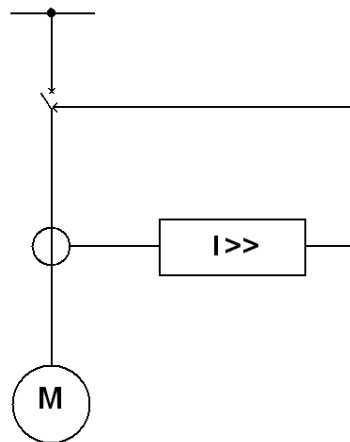
I_{rs} – składowa okresowa prądu rozruchowego silnika;

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 przekładnika nadprądowego bezzwłoczного.

Prąd rozruchowy zabezpieczenia nadprądowego bezzwłoczного 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;

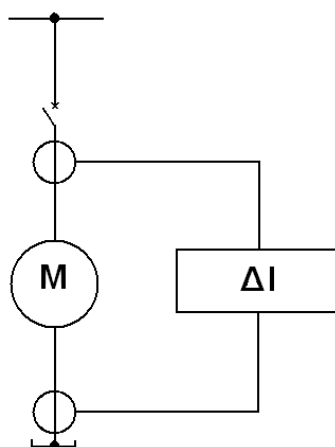
k_c – współczynnik czułości (przyjmuje się równy 2);

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

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

2.2.2.3. Przekaźniki 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 zwłoczných zasilanych z przekładników prądowych. Zabezpieczenie takie może działać na wyłączenie silnika lub na sygnalizację. Prąd rozruchowy zabezpieczenia przeciążeniowego powinien wynosić:

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

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. Przekaźnik taki realizuje charakterystykę zależną (rys. 2.5) według wyrażień:

– dla stanu zimnego silnika

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

– dla stanu ciepłego silnika

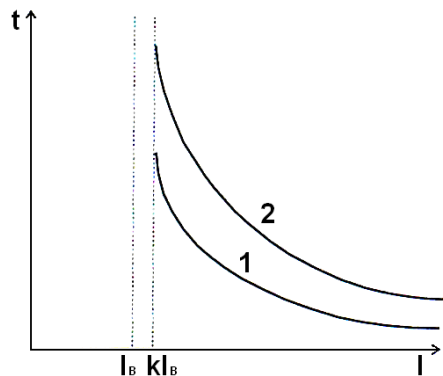
$$t = T \ln \frac{I^2 - I_p^2}{I^2 - (kI_B)^2} \quad (2.7)$$

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 utykaniem 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

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.

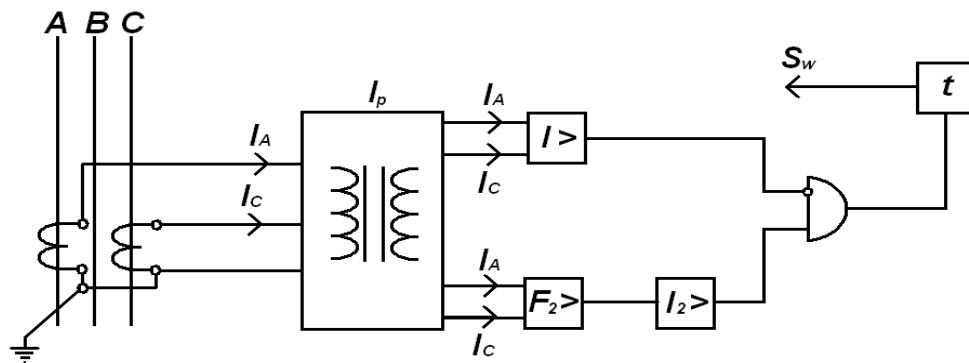
Automatyczne zmniejszanie mierzonych sum czasów rozruchów uwzględnia malejący wpływ wcześniejszych rozruchów na temperaturę uzwojeń wirnika. W warunkach normalnej pracy silnika zmierzone czasy rozruchów maleją do zera po około dwóch stałych czasowych cieplnych stygnięcia silnika.

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

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.



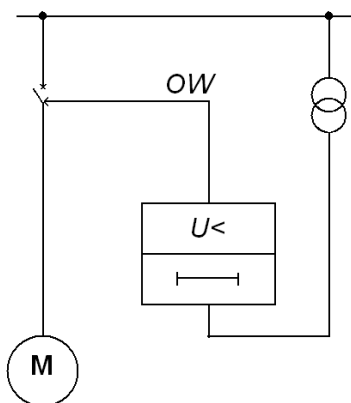
Rys. 2.6 Zabezpieczenie od asymetrii obciążenia.

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 zwarców 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.

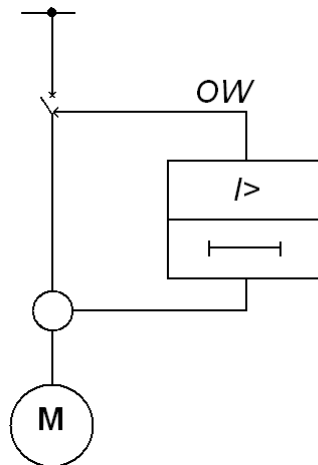
Zabezpieczenia silników od obniżenia napięcia są wykonywane jako podnapięciowe zwłoczne (rys. 2.7). Najczęściej spotykanym rozwiązaniem jest zastosowanie dwóch przekładników napięciowych i dwóch przekaźników podnapięciowych. Napięcie rozruchowe zabezpieczenia podnapięciowego przyjmuje się 0,5–0,7 napięcia 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).

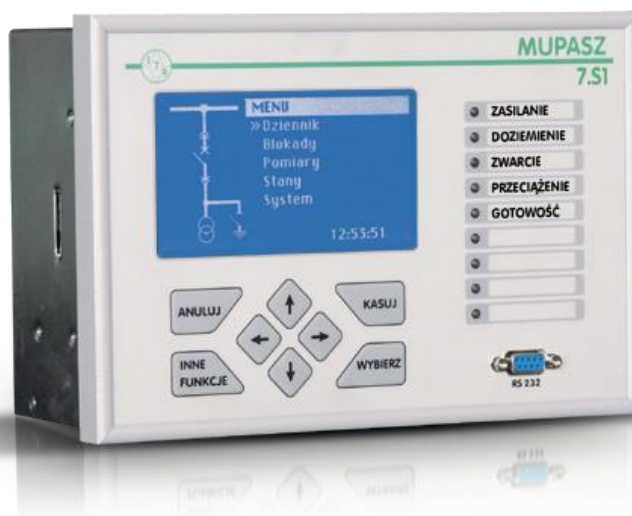


Rys. 2.8 Zabezpieczenie od wypadnięcia z synchronizmu.

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. Zabezpieczenia nadprądowe, zliczające kolejne zadziałania przekaźnika nadprądowego w określonym przedziale czasowym, działają bezzwłocznie po zliczeniu nastawionej liczby zadziałań (zwykle trzech lub czterech). Zabezpieczenia od wypadnięcia z synchronizmu powinny działać na wyłączenie silnika z synchronizmu oraz powodować jego odwzbudzenie.

3. Charakterystyka mikroprocesorowego urządzenia do pomiarów, automatyki, sterowania i zabezpieczeń MUPASZ 7.S1

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 $\cos\phi$,
- 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 zasilania 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:

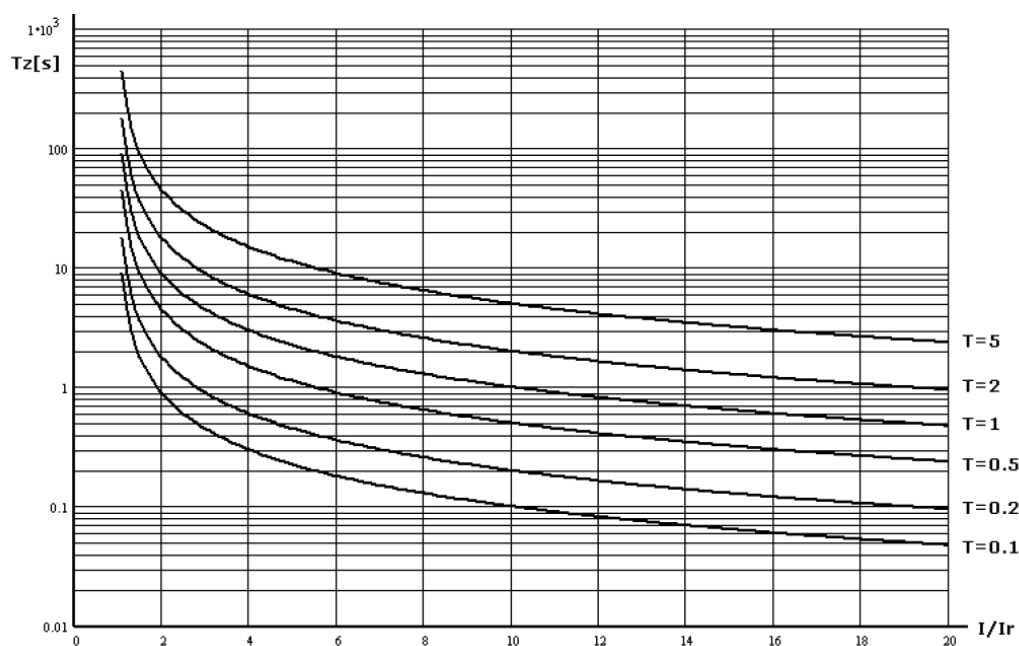
$$I_r = \frac{I_m}{\cos(\phi_o + \alpha)} \quad (3.1)$$

I_m – prąd maksymalnej czułości;

ϕ_o – kąt fazowy między U_0 i I_0 ;

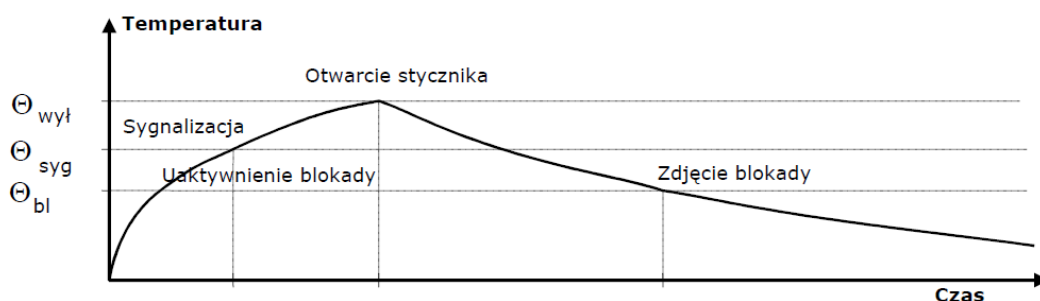
α – nastawa kątova.

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 zdjęcia blokady łącznika, drugi – do generacji ostrzeżenia, a trzeci – do otwarcia łącznika (rys. 3.3).



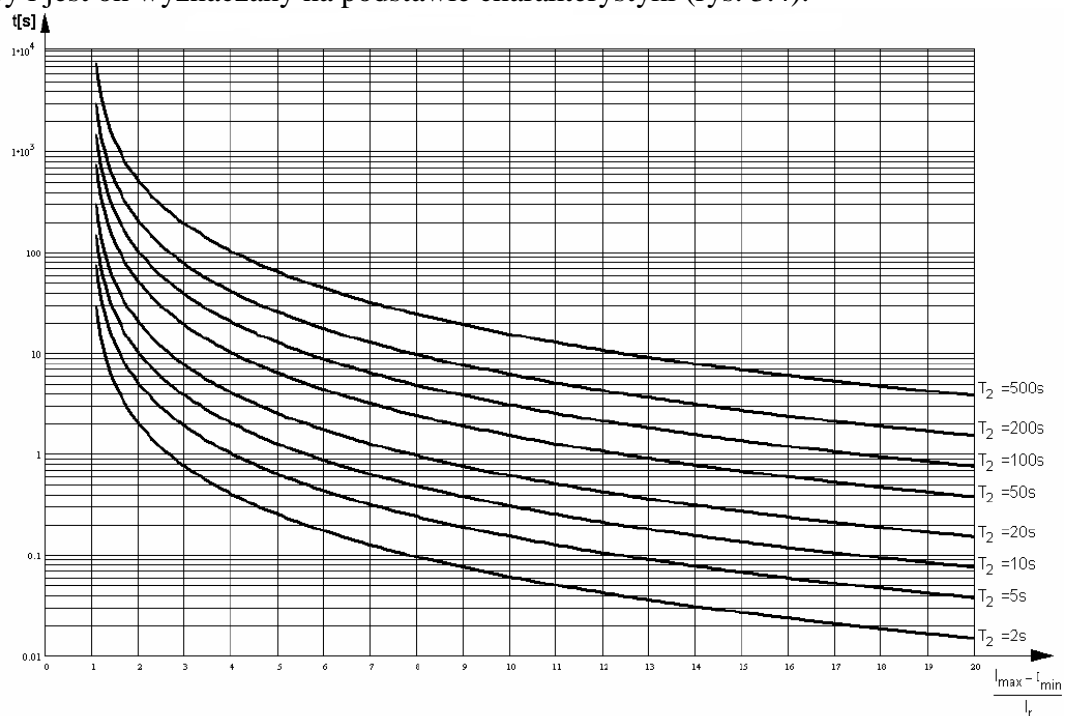
Rys. 3.3 Charakterystyka nagrzewania i chłodzenia zabezpieczanego urządzenia.

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,

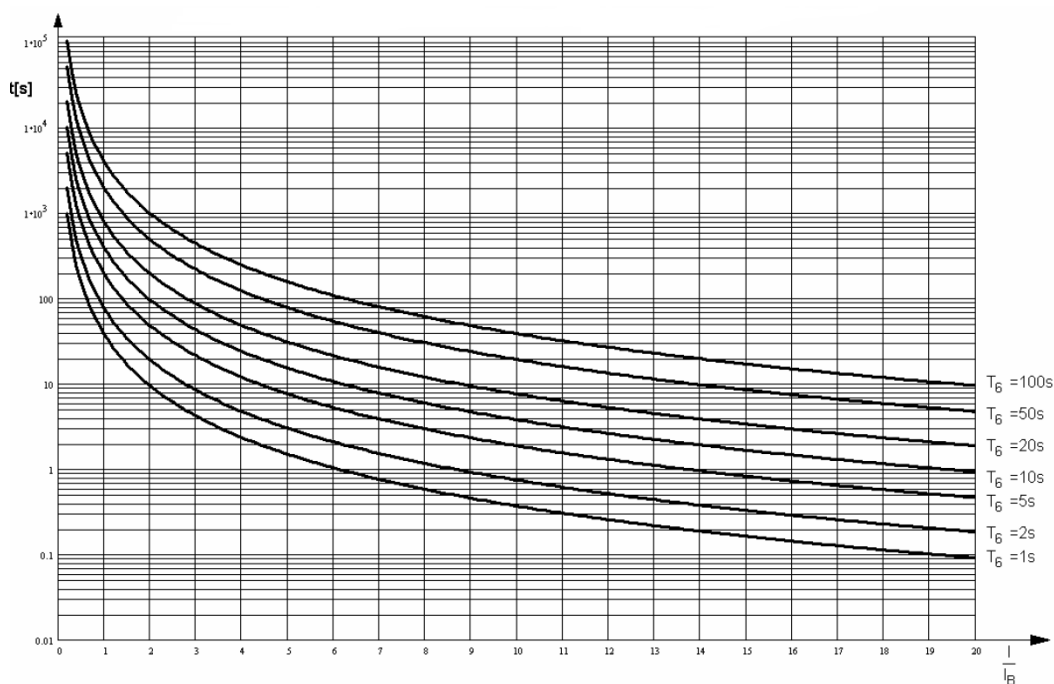
- zabezpieczenie od skutków niesymetrii prądowej,
- zabezpieczenie nadprądowe zależne kontrolujące rozruch silnika,
- zabezpieczenie nadprądowe reagujące na zahamowanie silnika,
- zabezpieczenie od nadmiernej częstotliwości rozruchu silnika,
- zabezpieczenie od spadku współczynnika mocy,
- zabezpieczenie 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 zależne 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 – banki nastaw urządzenia

Urządzenia serii 7.xx wyposażone są w cztery banki nastaw. Zmiana banku nastaw wymaga podania hasła – patrz rozdział „Obsługa – wprowadzanie i zmiana hasła”.

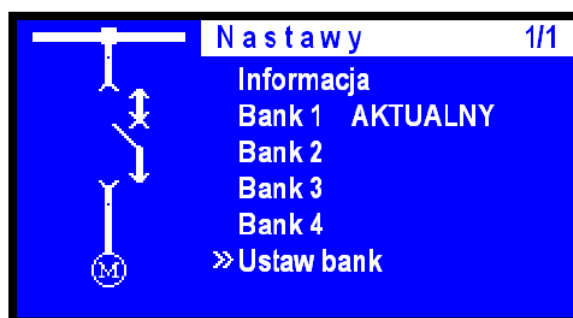
Ogólne informacje na temat banków: wartości znamionowe, data ostatniej modyfikacji, operator dokonujący zmianę, znajdują się w oknie menu „Informacja / Bank”.



MENU ⇒ Nastawy ⇒ Informacja



Nastawy na podstawie których pracuje w danej chwili urządzenie zapisane są w banku „Aktualnym”. Zmiana aktualnego banku następuje poprzez polecenie „Ustaw bank”.

MENU ⇒ Nastawy ⇒ Ustaw bank



Będąc na polu z numerem banku klawiszami strzałek ,  zmieniamy numer banku który chcemy ustawić jako „Aktualny”.

3.3. Obsługa – podgląd oraz edycja nastaw urządzenia

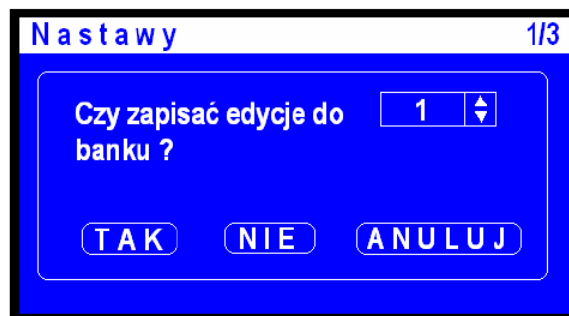
Urządzenia serii 7.xx mają możliwość podglądu i edycji nastaw zabezpieczeń, automatyk oraz innych parametrów konfiguracyjnych zapisanych w bankach nastaw. Zapis edycji nastaw wymaga podania hasła – patrz rozdział „Obsługa – wprowadzanie i zmiana hasła”.

W trakcie edycji nastaw dostępne są trzy polecenia. Okno poleceń edycji wywoływane jest w menu „Nastawy” (**MENU ⇒ Nastawy ⇒ Bank**) poprzez naciśnięcie kombinacji klawiszy **INNE FUNKCJE + WYBIERZ**.

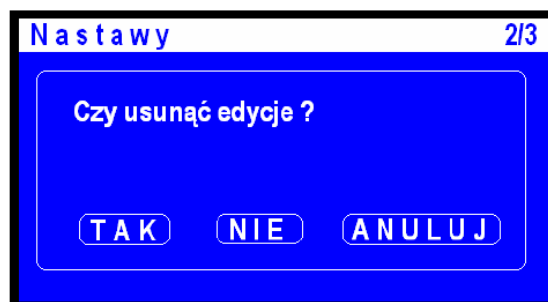
Polecenia te służą do:

- zapisu edycji do określonego banku nastaw;

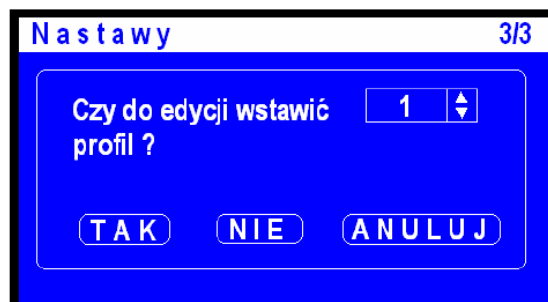
Uwaga: Zatwierdzenie polecenia następuje po wybraniu pola „TAK” i naciśnięciu przycisku **WYBIERZ**, przejście do kolejnego polecenia następuje po wybraniu pola „NIE” i naciśnięciu przycisku **WYBIERZ**.



- usunięcia edycji



- wstawienia wartości fabrycznych określonego profilu do edycji.



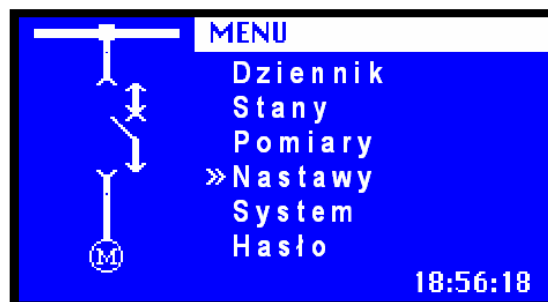
Sposób przeprowadzania edycji nastaw przedstawiony zostanie na przykładzie zmiany parametrów zabezpieczenia nadprądowego I>.

Przykład:

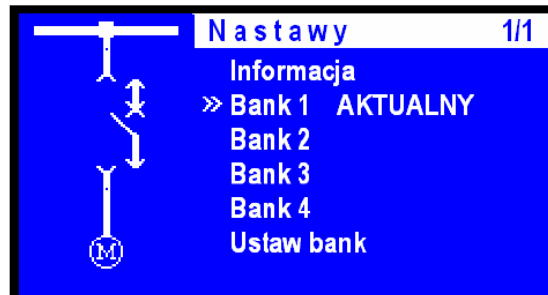
Ustawić aktywność zabezpieczenia I>, sposób działania na „wyłączenie z blokadą”, wartość prądu rozruch Ir na $I_r = 1,5 I_n$. Nastawy zapisać do banku nr 1.

Sposób postępowania:

- wprowadzić hasło – patrz rozdział „Obsługa – wprowadzanie i zmiana hasła”;
- w podstawowym oknie MENU przesunąć na wyświetlaczu klawiszami strzałek \uparrow , \downarrow kursor na wiersz Nastawy;
- nacisnąć przycisk **WYBIERZ** lub klawisz strzałki \rightarrow ;



- w oknie NASTAWY przesunąć na wyświetlaczu klawiszami strzałek \uparrow , \downarrow kursor na wiersz „Bank 1 AKTUALNY”;
- nacisnąć przycisk **WYBIERZ** lub klawisz strzałki \rightarrow ;



- w oknie NASTAWY przesunąć na wyświetlaczu klawiszami strzałek \uparrow , \downarrow kursor na wiersz „Zwarciove”;
- nacisnąć przycisk **WYBIERZ** lub klawisz strzałki \rightarrow ;

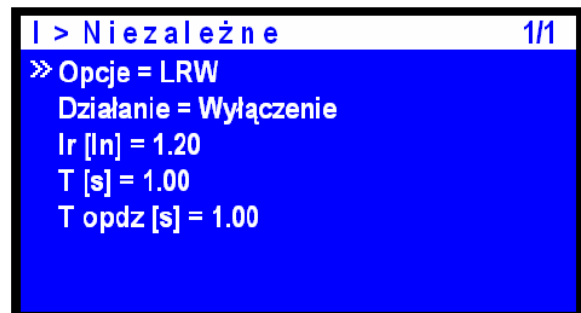


- w oknie ZWARCIOWE przesunąć na wyświetlaczu klawiszami strzałek \uparrow , \downarrow kursor na wiersz „I> Niezależne”;
- nacisnąć przycisk **WYBIERZ** lub klawisz strzałki \rightarrow ;

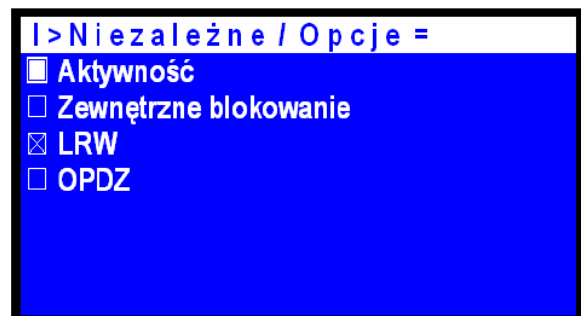


- w oknie I > NIEZALEŻNE przesunąć na wyświetlaczu klawiszami strzałek \uparrow , \downarrow kursor na wiersz „Opcje”;
- nacisnąć przycisk **WYBIERZ** lub klawisz strzałki \rightarrow ;

Uwaga: Po znaku „=” w postaci skrótowej lub pełnej przedstawione są ustawione wartości dla danego banku.

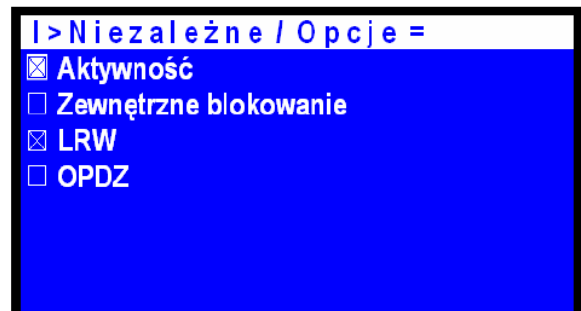


- w oknie I > NIEZALEŻNE / OPCJE przesunąć na wyświetlaczu klawiszami strzałek \uparrow , \downarrow kursor na wiersz „Aktywność”;
- zaznaczyć wybraną opcję naciskając klawisz strzałki \rightarrow ;



- zatwierdzić zmianę naciskając przycisk **WYBIERZ**;

Uwaga: Parametr „Opcje” jest parametrem typu multilista cechujący się tym, że możliwe jest ustawienie każdej z opcji niezależnie.



- w oknie I > NIEZALEŻNE przesunąć na wyświetlaczu klawiszami strzałek \uparrow , \downarrow kursor na wiersz „Działanie”;
- nacisnąć przycisk **WYBIERZ** lub klawisz strzałki \rightarrow ;

Uwaga: Zmieniony parametr dla odróżnienia zaznaczany jest kursywą.

I > Niezależne 1/1

Opcje = Akt LRW

» Działanie = Wyłączenie

Ir [In] = 1.20

T [s] = 1.00

T opdz [s] = 1.00

- w oknie I > NIEZALEŻNE / DZIAŁANIE przesunąć na wyświetlaczu klawiszami strzałek \uparrow , \downarrow kursor na wiersz „Wyłączenie z blokadą”;
- zaznaczyć wybraną opcję naciskając klawisz strzałki \rightarrow ;

I > Niezależne / Działanie =

☒ Wyłączenie

☐ Wyłączenie z blokadą

☐ Sygnalizacja UP

- zatwierdzić zmianę naciskając przycisk **WYBIERZ**;

Uwaga: Parametr „Działanie” jest parametrem typu monolista cechujący się tym, że możliwe jest ustawienie tylko jednej z opcji.

I > Niezależne / Działanie =

☐ Wyłączenie

☒ Wyłączenie z blokadą

☐ Sygnalizacja UP

- w oknie I > NIEZALEŻNE przesunąć na wyświetlaczu klawiszami strzałek \uparrow , \downarrow kursor na wiersz „Ir [In]”;
- nacisnąć przycisk **WYBIERZ** lub klawisz strzałki \rightarrow ;

I > Niezależne 1/1

Opcje = Akt LRW

Działanie = Wyłączenie z blokadą

» Ir [In] = 1.20

T [s] = 1.00

T opdz [s] = 1.00

- w oknie „I> Niezależne / Ir [In]” przy pomocy klawiszy strzałek \uparrow , \downarrow - zwiększenie lub zmniejszenie wartości cyfry oraz \rightarrow - przejście do kolejnej cyfry, wprowadzić nową wartość;

I > Niezależne / Ir [In] =

Min: 0.20

Max: 2.00

■ 1.20

- zatwierdzić zmianę naciskając przycisk **WYBIERZ**;

Uwaga: Wprowadzona wartość powinna mieścić się w podanych granicach, inna wartość nie zostanie przyjęta.

I > Niezależne / Ir [In] =

Min: 0.20
Max: 2.00

1.50

- wywołać okno poleceń naciskając kombinację klawiszy **INNE FUNKCJE + WYBIERZ**;

Uwaga: Okno poleceń wywoływane jest również przy wyjściu z okna nastawy bez wcześniejszego zapisu lub usunięcia edycji.

I > Niezależne 1/1

Opcje = Akt LRW
Działanie = Wyłączenie z blokadą

» Ir [In] = 1.5
T [s] = 1.00
T opdz [s] = 1.00

- klawiszami strzałek **←**, **→** przejść do pola „TAK”;
- zatwierdzić polecenie nacisnąć przycisk **WYBIERZ**;

Uwaga: Będąc na polu z numerem banku klawiszami strzałek **↑**, **↓** zmieniamy numer banku do którego chcemy zapisać edycję.

Nastawy 1/3

Czy zapisać edycje do banku ?

1

TAK NIE ANULUJ

- edycja zapisana została do banku nr 1, w przykładzie tym bank nr 1 jest bankiem aktualnym – czyli wprowadzone nastawy zaczęły obowiązywać.;
- aby wyjść do głównego okna menu należy naciskać przycisk **ANULUJ** lub klawisz strzałki **←**.

I > Niezależne 1/1

» Opcje = Akt LRW
Działanie = Wyłączenie z blokadą

Ir [In] = 1.50
T [s] = 1.00
T opdz [s] = 1.00

3.4. Obsługa – przeglądanie dziennika zdarzeń

Urządzenia serii 7.xx umożliwiają rejestrowanie komunikatów zdarzeń zaistniałych podczas pracy urządzenia. Pojawianie się zdarzeń w dzienniku wynika z działania algorytmów, automatyk, współpracy urządzenia z systemem nadrzędnym i innych. Inny podział zdarzeń to zdarzenia z parametrem: jednym lub dwoma i zdarzenia bez parametru. Parametry informują, np. o czasie zadziałania zabezpieczeń, o zarejestrowanym w czasie pobudzenia zabezpieczenia prądzie, o numerze zabezpieczania i innych.






Uwaga: Lista możliwych do zarejestrowania zdarzeń wraz z objaśnieniem ich parametrów i przyczyną wystąpienia znajduje się w części dokumentu „Lista zdarzeń”.



Uwaga: Lista zdefiniowanych w urządzeniu zdarzeń zależy od wersji urządzenia i jego oprogramowania.

Aby **wyświetlić dziennik zdarzeń** należy:

- w podstawowym oknie MENU przesunąć na wyświetlaczu klawiszami strzałek ,  kursor na wiersz DZIENNIK;
- nacisnąć przycisk **WYBIERZ** lub klawisz strzałki .

MENU ⇒ DZIENNIK



Rys.2.8.1. Okno główne MENU (kursor na pozycji DZIENNIK)

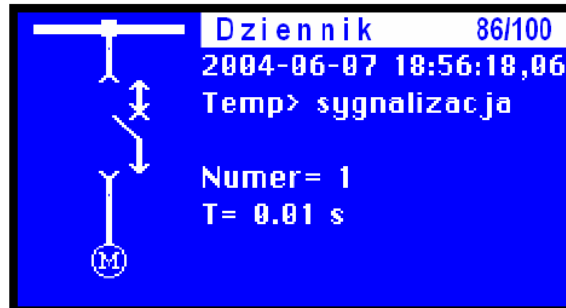
W dzienniku może być zarejestrowanych 100 ostatnich zdarzeń. Gdy w danym momencie zostało już zarejestrowanych 100 zdarzeń, każde nowe zdarzenie jest rejestrowane na pozycji nr 100, dotychczasowe zdarzenie nr 100 staje się zdarzeniem nr 99, a najstarsza o numerze 1 jest usuwana z dziennika.

Zarejestrowane zdarzenie charakteryzuje:

- data i godzina zarejestrowania zdarzenia (z dokładnością do 0,01 s);
- tekst opisujący zdarzenie (w jednej lub w dwóch liniijkach);
- opcjonalne parametry zdarzenia (jeden lub dwa);
- aktualny numer zdarzenia w dzienniku w odniesieniu do liczby wszystkich zarejestrowanych zdarzeń.

Po wejściu do okna dziennika widoczne jest ostatnie zarejestrowane zdarzenie. Każde zdarzenie wyświetlane jest w osobnym oknie. Do okien tych przechodzi się klawiszami

strzałek ↑, ↓. Klawiszem ↓ do zdarzeń o numerach malejących. Klawiszem ↑ od zdarzeń o numerach mniejszych do zdarzeń o numerach większych (maksymalnie 100). Przytrzymanie klawisza **INNE FUNKCJE** i naciśnięcie strzałki góra lub dół powoduje przejście o 10 zdarzeń w stosunku do wyświetlanego.



Rys.2.8.2. Okno przedstawiające zdarzenie w dzienniku

Aby wyjść z okna wyświetlania zarejestrowanych zdarzeń do okna głównego MENU należy:

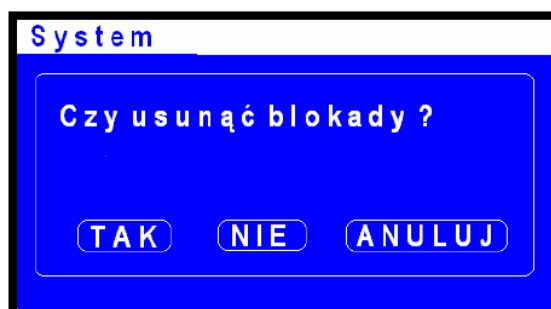
- nacisnąć na klawiaturze przycisk strzałki ↩;
- lub
- nacisnąć na klawiaturze przycisk **ANULUJ**.

3.5. Obsługa odczytu - kasowania blokad i sygnalizacji.

Urządzenia serii 7.XX umożliwiają odczyt sygnalizacji zadziałania poszczególnych zabezpieczeń (wyłączenie lub sygnalizacja UP), aktualnie ustawionych blokad, stanów wejść/wyjść dwustanowych, stanów łączników kontrolowanych przez urządzenie oraz stanów realizowanych automatyk. Informacje te przedstawione są w grupie STANY.

Aby **dezaktywować blokady nietrwałe** należy:

- nacisnąć na klawiaturze urządzenia przycisk **KASUJ** ;
- potwierdzić zamiar usunięcia blokad;
- wprowadzić hasło patrz rozdział „Obsługa – wprowadzanie i zmiana hasła”.



Rys.2.10.2.2. Okno wywoływane przez naciśnięcie przycisku **KASUJ**

Aby **wyjść z okna wyświetlania listy aktywnych blokad** do okna głównego MENU należy:

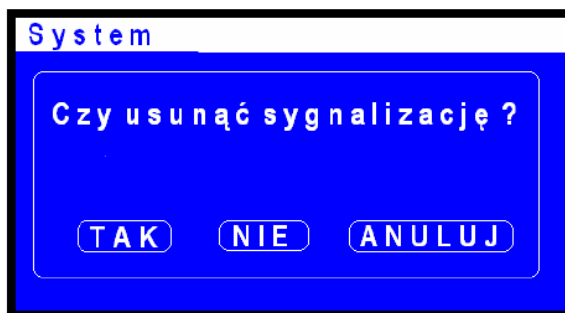
- nacisnąć na klawiaturze przycisk strzałki ↩;
- lub
- nacisnąć na klawiaturze przycisk **ANULUJ**.

Aby **usunąć sygnalizację otwarc** należy:

- nacisnąć na klawiaturze urządzenia przycisk **KASUJ** ;
- potwierdzić zamiar usunięcia sygnalizacji;
- wprowadzić hasło patrz rozdział „Obsługa – wprowadzanie i zmiana hasła”.



Uwaga: Polecenie „usuń sygnalizacją” powoduje usunięcie sygnalizacji otwarc, UP oraz sygnalizacji na diodach i wyjściach dwustanowych.



Rys.2.10.3.2. Okno wywoływane przez naciśnięcie przycisku **KASUJ**

Aby **wyjsć z okna wyświetlania listy otwarc** do okna głównego MENU należy:

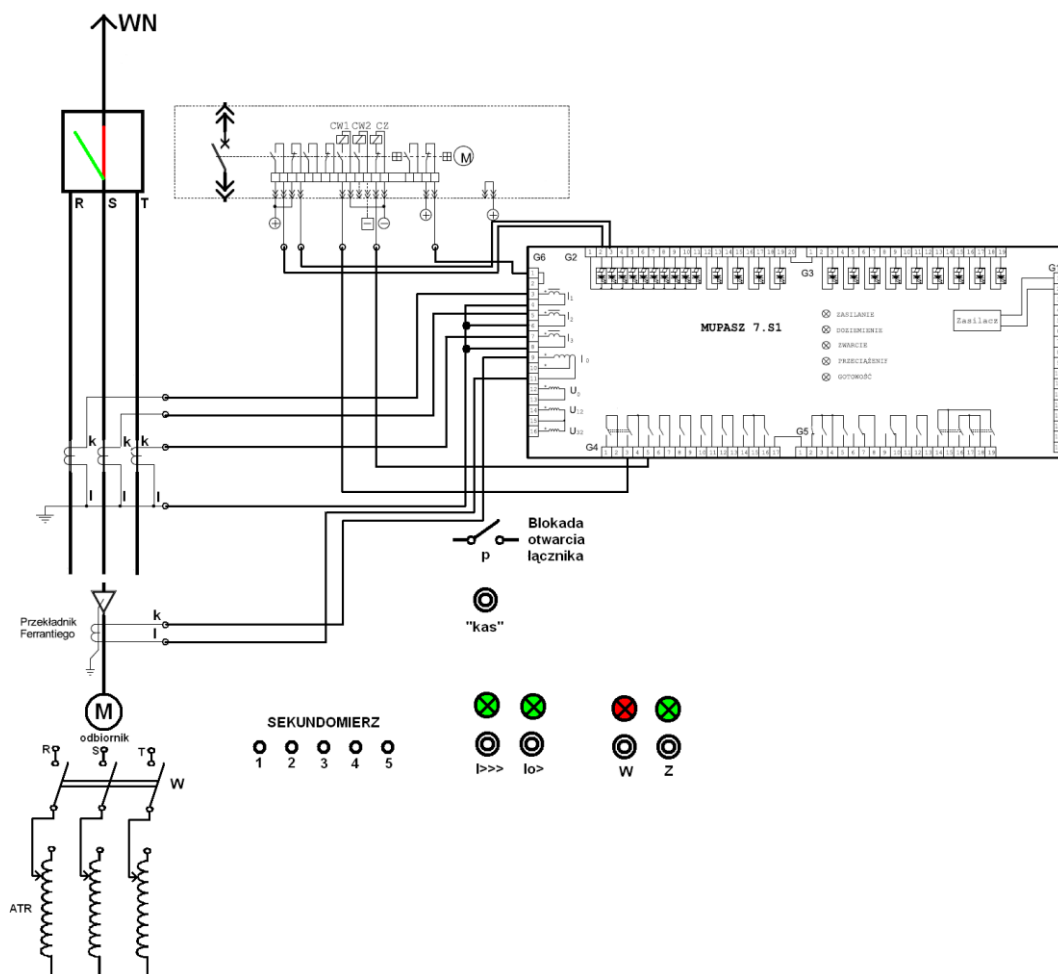
- nacisnąć na klawiaturze przycisk strzałki **↩**;
- lub
- nacisnąć na klawiaturze przycisk **ANULUJ**.

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. Przykład obliczeń nastaw

Przykładowe dane silnika indukcyjnego klatkowego:

Typ	SCJe-122r
Moc znamionowa	P=710 kW
Napięcie znamionowe	U _{ns} =6 kV
Współczynnik mocy	cosφ=0,87
Sprawność	η=95,0 %
Prąd rozruchowy	I _r /I _{ns} =5

Do obliczeń przyjęto sieć z izolowanym punktem neutralnym o parametrach:

Moc zwarcia 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 =1A
Wartość początkowa składowej okresowej prądu zwarcia 3-faz na szynach stacji 6 kV:	

$$I_Z^{3f} = \frac{1,1U_n}{\sqrt{3}Z_z} = \frac{1,1 \cdot 6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1,125} = 3,387 \text{ kA} \quad (4.1)$$

prąd zwarcia 2-fazowego:

$$I_Z^{2f} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_p^{3f} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3,387 = 2,933 \text{ kA} \quad (4.2)$$

Wyznaczenie prądu znamionowego silnika.

$$I_{ns} = \frac{P}{\sqrt{3}U_n \eta \cos \varphi} = \frac{710 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3 \cdot 0,95 \cdot 0,87} = 82,66 \text{ A} \quad (4.3)$$

Z szeregu prądowego przekładników dobrany jest przekładnik prądowy o przekładni:
n_i=100/5 A/A.

Wyznaczenie prądu bazowego.

$$I_b = \frac{I_{ns}}{I_p} I_n = \frac{82,66}{100} I_n \approx 0,83 I_n$$

gdzie:

I_b– prąd bazowy;

I_n–prąd znamionowy strony wtórnej przekładnika oraz obwodu wejściowego przekładnika;

I_{ns}– prąd znamionowy silnika;

I_p– prąd znamionowy strony pierwotnej przekładnika prądowego.

Zabezpieczenie od zwarć międzyfazowych.

– prąd rozruchu zabezpieczenia:

$$I_r \geq k_b \cdot k'_s \cdot k_{rs} \cdot I_b = 2 \cdot 1 \cdot 5 \cdot 0,83 I_n = 8,3 I_n$$

$$I_r = 9 I_n$$

$t=50-60\text{ms}$

gdzie:

I_r – prąd rozruchowy zabezpieczenia;

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

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

k_{rs} – stosunek prądu rozruchowego do prądu znamionowego silnika;

I_b – prąd bazowy;

t – czas opóźnienia.

Zabezpieczenie od zwarć doziemnych.

– prąd rozruchu zabezpieczenia:

$$I_r \leq \frac{I_z}{k_c} = \frac{1\text{A}}{2} = 0,5\text{A}$$

$t=0,2-0,5\text{s}$

$$\text{Nastawa} - I_r[I_{0n}] \text{ liczba rzeczywista} = \frac{I_r}{I_{0n}} = \frac{0,5}{10} = 0,05$$

gdzie:

I_r – prąd rozruchu odniesiony do strony pierwotnej zabezpieczenia;

I_z – wartość prądu ziemnozwarciowego sieci zasilającej silnik;

I_{0n} – wartość wyliczona (zakładka nominaly): $I_{0n} = \text{przekładnik } I_0 \times \text{przekładnia } I_0$;

k_c – współczynnik czułości $k_c=2$.

Nastawa – $I_r[I_{0n}]$ liczba rzeczywista = $I_r / I_{0n} = 0,5/10=0,005$

Zabezpieczenie przeciążeniowe niezależne.

– prąd rozruchu zabezpieczenia:

$$I_r \leq \frac{I_{rs}}{k_c} = \frac{5 \cdot 0,83 I_B}{2} = \frac{20,75}{2} = 2,075 I_n$$

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

k_c – współczynnik czułości (równy 2);

Czas zadziałania zabezpieczenia wynosi:

$$t_z = k_b t_{rs}$$

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

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

$t_{rs} = 2 \times 15 \text{ s} = 30 \text{ s}$

Zabezpieczenie przeciążeniowe zależne.

– prąd rozruchu zabezpieczenia:

$$I_r = 1,1 I_b = 1,1 \cdot 0,83 I_n = 0,913 I_n$$

– charakterystyka:

stroma

– nastawa czasowa:

$T_{I0}=0,1$

gdzie:

I_r – prąd rozruchu zabezpieczenia;

T_{10} – czas zadziałania zabezpieczenia przy dziesięciokrotnym przekroczeniu wartości prądu znamionowego.

Zabezpieczenie przeciążeniowe zależne (model cieplny).

– temperatura nominalna:

$$\Theta_n = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$$

– temperatura otoczenia:

$$\Theta_o = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$$

– temperatura sygnalizacji:

$$\Theta_s = 95\text{ }^{\circ}\text{C}$$

– temperatura wyłączania:

$$\Theta_w = 110\text{ }^{\circ}\text{C}$$

– temperatura blokady:

$$\Theta_{bl} = 66\text{ }^{\circ}\text{C}$$

– współczynniki członów cieplnych:

$$k_1 = 0,5, (k_2 = 1 - k_1)$$

– stałe czasowe nagrzewania:

$$T_{1\text{ nag}} = 10\text{ min},$$

$$T_{2\text{ nag}} = 10\text{ min}.$$

– stałe czasowe stygnięcia:

$$T_{1\text{ styg}} = 10\text{ min},$$

$$T_{2\text{ styg}} = 10\text{ min}$$

4.3. Badanie zabezpieczeń

Przed przystąpieniem do odrabiania ćwiczenia, każda grupa powinna policzyć (w domu) nastawy zabezpieczeń silnika wskazanego przez prowadzącego według wariantów z tabeli 4.1. Jeśli prowadzący nie wskaże wariantu obliczeniowego, wówczas zakłada się, że wynika on z numeru grupy.

Tabela 4.1 Przykładowe dane silników indukcyjnych klatkowych

wariant.	Typ silnika	U_n	P	I_{ns}	n	$\cos\varphi$	η	$I_R/I_{ns} \ (k_{rs})$	I_z	S_z
		V	kW	A	obr/min	-	%	-	A	MVA
1.	SYJf-122f	6kV	800	91	2982	0,89	95	5,5	1	4000
2.	SZJf-124M		1000	115	1488	0,88	95,2	5,5	2	4500
3.	SYJf-122M/03		1500	167	2973	0,90	96,1	4,5	1,5	5000
4.	SYJf-132M		2500	274	2979	0,91	96,6	5,4	2,3	3600
5.	SCJe-122r		710	83	2979	0,87	95	5	1,8	3000

S_z - moc zwarciova na szynach 6 kV

I_z - wartość prądu ziemnozwarciowego sieci zasilającej silnik

Do obliczeń przyjąć sieć z izolowanym punktem neutralnym o parametrach:
Długość linii kablowej 6 kV $l=300 \text{ m } 3 \times 120 \text{ mm}^2 \text{ Al.}$
Reaktancja zastępcza $X_z=1,125 \Omega$
Rezystancja zastępcza $R_z=0,0114 \Omega$
Impedancja zastępcza $Z_z=1,125 \Omega$

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

a)

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

b)

Zwarcia niezależne $I>>$		Ziemnozwarciowe $I_0>$		Przeciążenia niezależne $I>p$		Przeciążenia 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 wpisać do Tab.4.2 oraz wprowadzić do wskazanego przez prowadzącego banku nastaw z poziomu przełącznika pk.2.6 Załącznika nr 1.

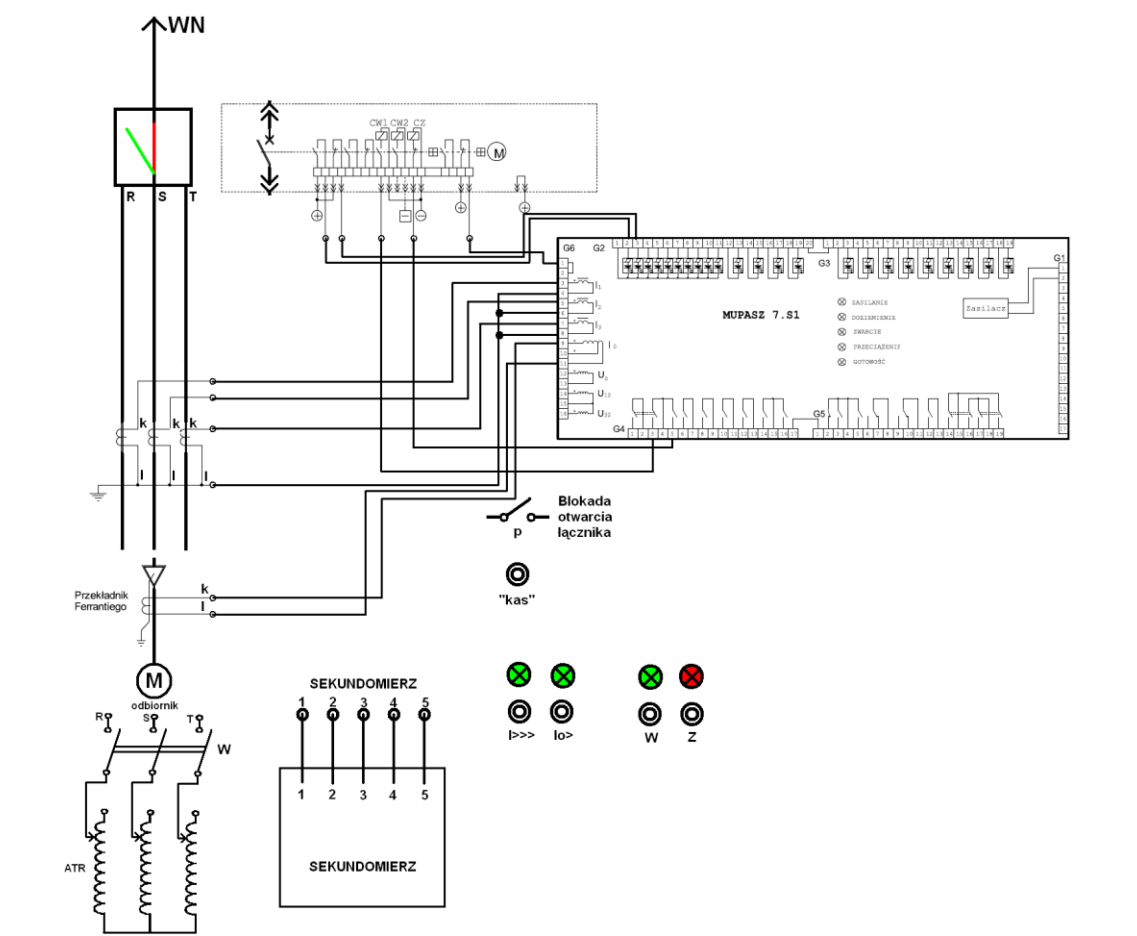
(MENU - Nastawy – Bank (nr banku) AKTUALNY – Konfiguracja – Nominały)

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.

4.3.1. Zabezpieczenie od zwarc międzyfazowych $I>>$

Badanie funkcjonalne zabezpieczenia od zwarc międzyfazowych $I>>$ polega na sprawdzeniu zadziałania zabezpieczenia przy wymuszeniu zwarcia międzyfazowego. Układ należy połączyć zgodnie z rys. 4.2., a następnie załączyć wyłącznik **WN** wciskając przycisk **Z** znajdujący się w prawym dolnym rogu tablicy synoptycznej (sygnalizowany zapaleniem się zielonej lampki nad przyciskiem oraz sygnalizacja załączenia wyłącznika **WN** w pozycji zamkniętej). Przełącznik **Blokada otwarcia łącznika** powinien znajdować się w pozycji **W** (wyłączona). Zwarcie międzyfazowe jest wymuszane poprzez wciśnięcie i przytrzymanie przycisku **I>>** znajdującym się środku dolnej części stanowiska. Po zadziałaniu zabezpieczenia (otwarcu wyłącznika **WN**) z dziennika zda-

rzeń urządzenia należy odczytać prąd zwarciaowy i czas zadziałania urządzenia, a z sekundomierza należy odczytać czas wyłączenia zwarcia. Wyniki pomiarów zanotować w Tab.4.3.



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

Tabela 4.3 Wyniki pomiarów badania zabezpieczenia od zwarć międzyfazowych

L.p.	Odczyt z dziennika zdarzeń		T_{wyl} - odczytany z sekundomierza
	I_z	T_{wyl}	
	[A]	[s]	[s]

Oznaczenia:
 I_z – prąd zwarcia zarejestrowany przez zabezpieczenie;
 T_{wyl} – zmierzony czas zadziałania zabezpieczenia.

4.3.2. 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., a następnie włączyć wyłącznik **WN** wciskając przycisk **Z** znajdujący się w prawym dolnym rogu tablicy synoptycznej (sygnalizowany zapaleniem się zielonej lampki nad przyciskiem oraz sygnalizacja załączenia wyłącznika **WN** w pozycji zamkniętej). Przełącznik **Blokada otwarcia łącznika** powinien znajdować się w pozycji **W** (wyłączona). Zwarcie doziemne jest wymuszane poprzez wciśnięcie i przytrzymanie przycisku **Io** znajdującym się środku dolnej części stanowiska. Po zadziałaniu zabezpieczenia (otwarcu wyłącznika **WN**) z dziennika zdarzeń urządzenia należy odczytać prąd zwarcia i czas zadziałania urządzenia, a z sekundomierza należy odczytać czas wyłączenia zwarcia. Wyniki pomiarów zanotować w Tab.4.4.

Tabela 4.4 Wyniki pomiarów zabezpieczenia od zwarć doziemnych

L.p.	Odczyt z dziennika zdarzeń		T_{wyl} - odczytany z sekundomierza
	I_0	T_{wyl}	
	[A]	[s]	[s]

Oznaczenia:

I_0 – prąd doziemny zarejestrowany przez zabezpieczenie;

T_{wyl} – zmierzony czas zadziałania zabezpieczenia.

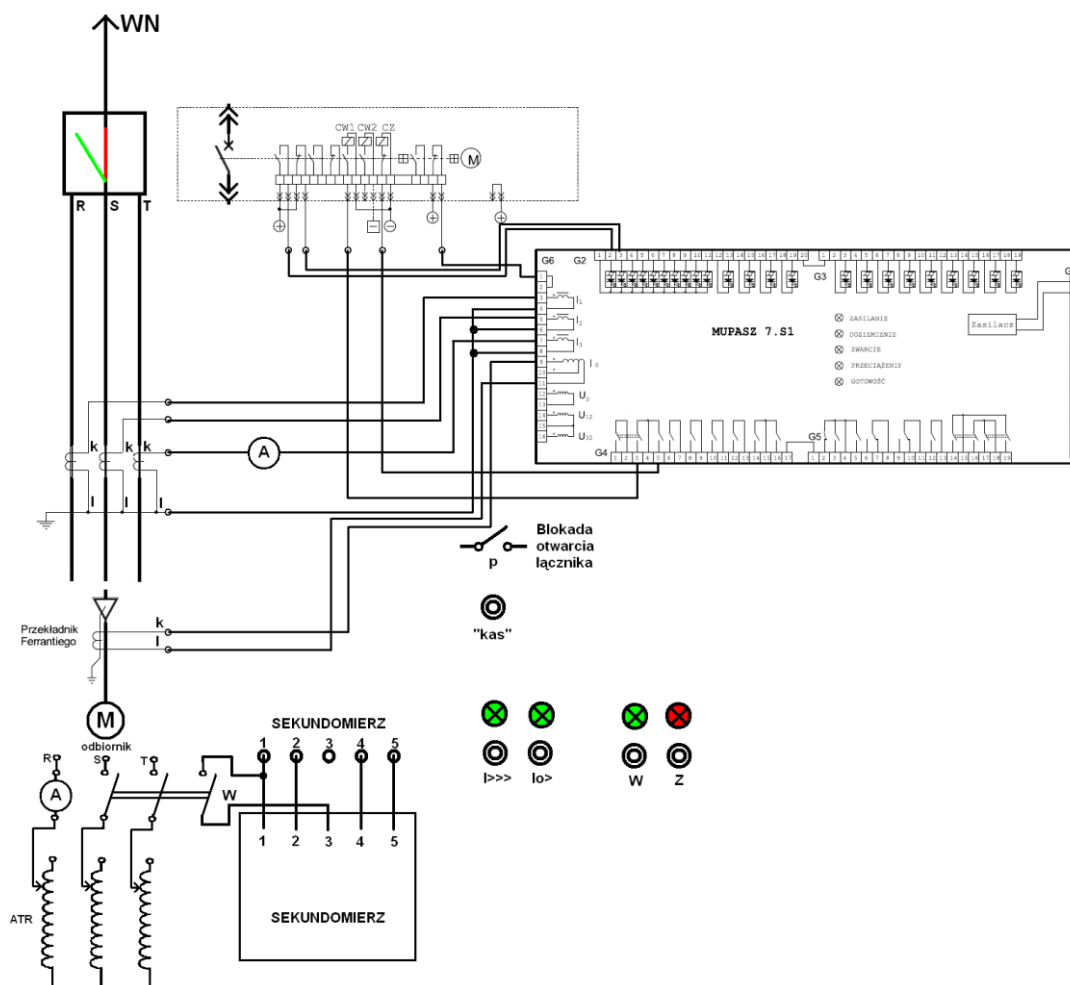
4.3.3. Zabezpieczenie przeciążeniowe niezależne $I > p$

Badanie funkcjonalne zabezpieczenia przeciążeniowego niezależnego polega na sprawdzeniu działania zabezpieczenia przy różnych przeciążeniach silnika. Układ należy połączyć zgodnie z rys. 4.3. Do pomiarów czasów zadziałania zabezpieczeń przeciążeniowych zostanie użyty miernik SM-1(DTR w załączniku nr 2). Podłączenie sekundomierza;

- do zacisków **START** przyłączamy trzeci biegu wyłącznika **W** (znajdującym się na stole stanowiska).
- do jednego z zacisków **STOP** podłączamy + 220V DC napięcia wystawianego przez przełącznik na cewkę wyłącz wyłącznika **WN**, a do drugiego - 220 V DC z tablicy zasilającej stół laboratoryjny.

Ustawienia sekundomierza;

- w polu „STEOWANI ZESTYKIEM” przycisk „START” - wciśnięty, przycisk „STOP” – wyciśnięty,
- w polu „SUMA” przycisk – wyciśnięty,
- w polu „RODZAJ PRACY” przyciskiem „RODZAJ PRACY” wybrać „3” potwierdzony na wyświetlaczu „RODZAJ PRACY”,



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 niebadane zabezpieczenia przeciążeniowe ustawić na nieaktywne (odznaczenie pola **Aktywność**). Wprowadzone nastawy należy zapisać w **aktualnym Banku nastaw**.

Układ należy połączyć zgodnie z rys. 4.3. a następnie wykonać następujące czynności:

- załączyć wyłącznik **WN** wciskając przycisk **Z** znajdujący się w prawym dolnym rogu tablicy synoptycznej (sygnalizowany zapaleniem się zielonej lampki nad przyciskiem oraz sygnalizacja załączenia wyłącznika **WN** w pozycji zamkniętej),
- załączyć blokadę otwarcia wyłącznika **WN** (przełącznik „Blokada wyłącznika” przełączyć w pozycję **Z**). Blokada umożliwia nastawienie prądu przeciążeniowego,
- załączyć wyłącznik **W** (znajdującym się na stole stanowiska, który dwoma zestykami załącza obciążenie poprzez autotransformator ATR),
- za pomocą autotransformatora ustawić wartość prądu przeciążeniowego na amperomierzu włączonym w obwodzie uzwojenia wtórnego przekładnika prądowego,
- wyłączyć wyłącznik **W**,
- wyłączyć blokadę otwarcia wyłącznika **WN** (przełącznik „Blokada wyłącznika” przełączyć w pozycję **W**),
- skasować blokady i sygnalizację przekładnika wciskając przycisk KASUJ,
- skasować sekundomierz cyfrowy wciskając przycisk w polu „KASOWANIE”,

- załączyć wyłącznik **W**,
- po zadziałaniu przekaźnika (wyłączenie wyłącznika **WN**) w Tab. 4.5. zanotować czas odczytany z sekundomierza oraz komunikaty z dziennika zdarzeń w zakładce DZIENNIK.

Pomiary należy przeprowadzić dla następujących krotności prądu znamionowego silnika: 1.1, 2, 2.5, 3.5 przeliczonych na stronę wtórną przekładnika prądowego według przykładu:

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

Tab. 4.5. Wyniki pomiarów dla zabezpieczenia przeciążeniowego niezależnego

Przeciążenie		Odczyt z dziennika zdarzeń			Czas wyłączenia odczytany z sekundomierza
Krotność prądu znamionowego silnika	Prąd stronie wtórnej przekładnika	Rodzaj zabezpieczenia (oznaczenie)	Wartość prądu zadziałania	Czas zadziałania	
-	[A]	-	[A]	[s]	[s]
1.1					
2.0					
2.5					
3.5					

Na podstawie otrzymanych wyników należy wykreślić charakterystykę $t = f(I)$ zabezpieczenia.

4.3.4. 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. 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 zapisać w **aktualnym Banku nastaw**. Układ należy połączyć zgodnie z rys. 4.3. a następnie wykonać następujące czynności:

- załączyć wyłącznik **WN** wciskając przycisk **Z** znajdujący się w prawym dolnym rogu tablicy synoptycznej (sygnalizowany zapaleniem się zielonej lampki nad przyciskiem oraz sygnalizacja załączenia wyłącznika **WN** w pozycji zamkniętej),
- załączyć blokadę otwarcia wyłącznika **WN** (przełącznik „Blokada wyłącznika” przełączyć w pozycję **Z**). Blokada umożliwia nastawienie prądu przeciążeniowego,
- włączyć wyłącznik **W** (znajdującym się na stole stanowiska, który dwoma zestykami załącza obciążenie poprzez autotransformator ATR),
- za pomocą autotransformatora ustawić wartość prądu przeciążeniowego na amperomierzu włączonym w obwódzie uzwojenia wtórnego przekładnika prądowego,
- wyłączyć wyłącznik **W**,
- wyłączyć blokadę otwarcia wyłącznika **WN** (przełącznik „Blokada wyłącznika” przełączyć w pozycję **W**),
- skasować blokady i sygnalizację przekaźnika wciskając przycisk KASUJ,
- skasować sekundomierz cyfrowy,
- załączyć wyłącznik **W**,

- po zadziałaniu przekaźnika (wyłączenie wyłącznika **WN**) w Tab. 4.6. zanotować czas odczytany z sekundomierza oraz komunikaty z dziennika zdarzeń w zakładce DZIENNIK.

Pomiary należy przeprowadzić dla następujących krotności prądu znamionowego silnika: 1.1, 2, 2.5, 3.5 przeliczonych na stronę wtórną przekładnika prądowego według przykładu:

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

Tab. 4.6. Wyniki pomiarów dla zabezpieczenia przeciążeniowego niezależnego

Przeciążenie		Odczyt z dziennika zdarzeń			Czas wyłączenia odczytany z sekundomierza
Krotność prądu znamionowego silnika	Prąd stronie wtórnej przekładnika	Rodzaj zabezpieczenia (oznaczenie)	Wartość prądu zadziałania	Czas zadziałania	
-	[A]	-	[A]	[s]	[s]
1.1					
2.0					
2,5					
3,5					

Na podstawie otrzymanych wyników należy wykreślić charakterystykę $T = f(I)$ zabezpieczenia.

4.3.5. 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. 4.7. należy wprowadzić do urządzenia dla zabezpieczenia przeciążeniowego **Qm** (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 zapisać w **aktualnym Banku nastaw**.

Układ należy połączyć zgodnie z rys. 4.3. a następnie wykonać następujące czynności:

- załączyć wyłącznik **WN** wciskając przycisk **Z** znajdujący się w prawym dolnym rogu tablicy synoptycznej (sygnalizowany zapaleniem się zielonej lampki nad przyciskiem oraz sygnalizacja załączenia wyłącznika **WN** w pozycji zamkniętej),
- załączyć blokadę otwarcia wyłącznika **WN** (przełącznik „Blokada wyłącznika” przełączyć w pozycję **Z**). Blokada umożliwia nastawienie prądu przeciążeniowego,
- włączyć wyłącznik **W** (znajdującym się na stole stanowiska, który dwoma zestykami załącza obciążenie poprzez autotransformator ATR),
- za pomocą autotransformatora ustawić wartość prądu przeciążeniowego na amperomierzu włączonym w obwodzie uzwojenia wtórnego przekładnika prądowego,
- wyłączyć wyłącznik **W**,
- wyłączyć blokadę otwarcia wyłącznika **WN** (przełącznik „Blokada wyłącznika” przełączyć w pozycję **W**),
- skasować blokady i sygnalizację przekaźnika wciskając przycisk KASUJ,
- skasować sekundomierz cyfrowy,
- załączyć wyłącznik **W**,

- obserwując dziennik zdarzeń (zakładka DZIENNIK). należy zaobserwować czasy (obserwując sekundomierz), po jakich przełącznik wysyła sygnał na uaktywnienie blokady, zdjęcie blokady, sygnalizację i otwarcie łącznika. Wszystkie te stany wyświetlane są w dzienniku zdarzeń, które należy zamieścić w Tab.4.8. Przed przystąpieniem do kolejnych pomiarów należy skasować pamięć zabezpieczenia. W tym celu należy dezaktywować a następnie ponownie uaktywnić badane zabezpieczenie.

Pomiary należy przeprowadzić dla następujących krotności prądu znamionowego silnika: 1.1, 2, 2.5, 3.5 przeliczonych na stronę wtórną przekładnika prądowego według przykładu:

$$I=1.1I_{ns} \rightarrow I=1.1I_B \rightarrow I=1.1 \cdot 0.83I_n \rightarrow I=1.1 \cdot 0.83 \cdot 5 = 4.56 \text{ A}$$

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

Tabela 4.7. Nastawy dla zabezpieczenia przeciążeniowego zależnego (model cieplny).

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

Tabela . 4.8. Wyniki pomiarów dla zabezpieczenia przeciążeniowego zależnego (model cieplny)

Przeciążenie		Odczyt z dziennika zdarzeń								Odczyt z sekundomierza
Krotność prądu znamionowego silnika	Prąd stronie wtórnej przekładnika	Uaktywnienia blokady		Sygnalizacji		Wyłączenia		Zdjęcia blokady		Czas wyłączenia
		Q	t	Q	t	Q	t	Q	t	
-	[A]	[°C]	[s]	[°C]	[s]	[°C]	[s]	[°C]	[s]	[s]
1,1										
2,0										
2,5										
3,5										

Wnioski końcowe

Na podstawie przeprowadzonego ćwiczenia należy napisać wnioski dotyczące poprawności i skuteczności działania zabezpieczeń silników WN.