

POLITECHNIKA LUBELSKA

Wydział Elektrotechniki i Informatyki

Katedra Sieci Elektrycznych i Zabezpieczeń



Laboratorium Sieci Elektroenergetycznych

EAZ

Badanie zabezpieczeń linii średnich napięć ZL-10

1 Wprowadzenie teoretyczne

Zakłócenia występujące w systemach elektroenergetycznych można podzielić na dwie zasadnicze grupy:

- zaburzenia, które uniemożliwiają pracę systemu lub jego elementów,
- zagrożenia, (przeciążenia cieplne i ferorezonans) przy których normalna praca sieci jest dopuszczalna przez pewien okres czasu, w ciągu którego powinna zostać usunięta przyczyna powodująca zagrożenie.

Do najpoważniejszych i najczęściej występujących zaburzeń należą:

- zwarcia wielkoprądowe,
- zwarcia małoprądowe.

Do zwarć wielkoprądowych zalicza się:

- zwarcia międzyfazowe i międzyfazowe doziemne,
- zwarcia jednofazowe w sieciach o punkcie zerowym uziemionym bezpośrednio,
- zwarcia doziemne w sieciach o izolowanym punkcie zerowym.

Zwarcia małoprądowe (o prądzie zwarcia z ziemią nie przekraczającym 500A) występują w sieciach o izolowanym punkcie zerowym oraz uziemionym przez impedancję.

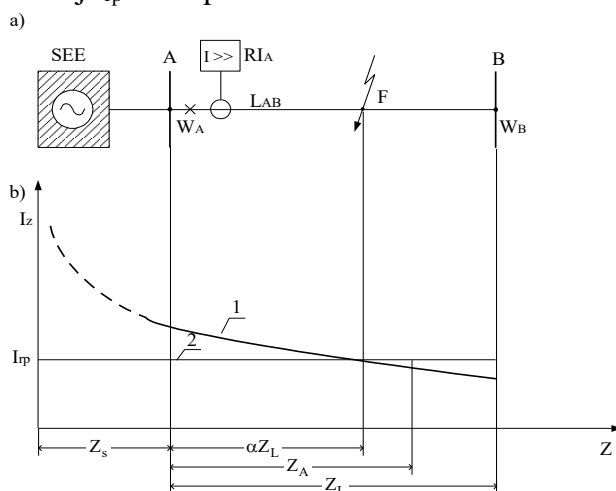
Do ochrony linii jednostronnie zasilanych w sieciach ŚN stosuje się następujące rodzaje zabezpieczeń:

- nadprądowe zwłoczne,
- nadprądowe bezzwłoczne,
- od zwarć z ziemią.

1.1 Zabezpieczenia od zwarć międzyfazowych

1.1.1 Zabezpieczenie nadprądowe bezzwłoczne

Zabezpieczenia te reagują na wzrost natężenia prądu w zabezpieczanym odcinku sieci. Stosowanie zabezpieczenia nadprądowego bezzwłocznego w elektroenergetycznej automatyce zabezpieczeniowej ma na celu jak najszybsze przerwanie występujących zjawisk zwanych zwarciami, aby zmniejszyć skutki cieplnego oddziaływania prądu zwarciovego na elementy znajdujące się w obwodzie zwarciovym. Można to uzyskać stosując zabezpieczenia nadprądowe bezzwłoczne, tj. takie, które impuls na wyłączenie danego obiektu elektroenergetycznego wysyłają bez opóźnień, bezpośrednio po stwierdzeniu przekroczenia wartości rozruchowej I_{rp} zabezpieczenia.



Rys. 1.1. Zastosowanie zabezpieczenia nadprądowego bezzwłocznego linii elektroenergetycznej

- 1 - zależność prądu zwarcowego od położenia miejsca zwarcia,
- 2 - prąd rozruchowy zabezpieczenia nadprądowego bezzwłocznego,
- Z_S – impedancja źródła zasilającego,
- Z_{AB} – impedancja odcinka AB,
- Z_A – strefa działania zabezpieczenia bezzwłocznego RI_A ,
- αZ_L – impedancja odcinka linii objętego zwarcie.

Rysunek 1.1. przedstawia odcinek linii promieniowej AB zasilanej z rozdzielni A. Obiektem zabezpieczanym jest odcinek linii AB zabezpieczeniem nadprądowym bezzwłocznym, przyporządkowanym tej linii, które jest oznaczone RI_A i zainstalowane w stacji A. Aby została zachowana selektywność, wartość rozruchowa I_{rp} zabezpieczenia RI_A , musi być większa od prądu zwarcowego w stacji B. Punkt w którym przecinają się krzywa nr1 z linią I_{rp} nr2, wyznacza zakres działania zabezpieczenia RI_A . Spełnienie warunku selektywności spowodowało skrócenie strefy działania zabezpieczenia, gdyż tylko zwarcia występujące na odcinku Z_A linii L_{AB} zostaną wykryte. W sieciach rozdzielczych dominują zwarcia wieloprądowe dwufazowe. Strefa działania zabezpieczenia przy tych zwarcach jest jeszcze krótsza, ponieważ stosunek prądu zwarcowego dwufazowego do trójfazowego jest następujący:

$$\frac{I_{k2}''}{I_{k3}''} = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0,86 \quad (1.1)$$

Zamiast więc rozciągać zasięg na całą długość linii L_{AB} , zabezpieczenie obejmuje tylko pewną jej część. Przyjęto, że w przypadku linii elektroenergetycznych celowe jest stosowanie zabezpieczenia bezzwłocznego, gdy długość strefy objętej tym zabezpieczeniem wynosi nie mniej niż 20% długości zabezpieczanej linii. Konieczność rozciągnięcia strefy działania zabezpieczenia nadprądowego na cały obiekt zmusza do zastosowania dodatkowego zabezpieczenia i jest nim z reguły zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne.

Wartość prądu rozruchowego I_r zabezpieczenia nadprądowego bezzwłocznego oblicza się z następującej zależności:

$$I_r = \frac{k_b \cdot I_{z \max}}{\eta_i} \quad (1.2)$$

I_r – wartość pierwotnego prądu rozruchowego zabezpieczenia nadprądowego bezzwłocznego,

$I_{z \max}$ – największa wartość prądu zwarcowego dla zwarcia na końcu danego odcinka linii promieniowej,

k_b – współczynnik bezpieczeństwa,

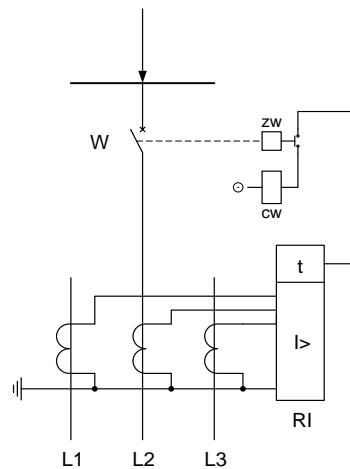
η_i – przekładnia przekładników prądowych zasilających zabezpieczenie.

Aby współczynnik bezpieczeństwa k_b zapewniał wybiórcze działanie zabezpieczenia musi uwzględniać wpływ składowej nieokresowej prądu zwarcowego na działanie przekładnika nadprądowego i musi być zawsze większy od jedności. Jeżeli przyjmie on wartość większą od jedności powoduje to, że zabezpieczenie nadprądowe bezzwłoczne nie chroni całej linii, lecz tylko określoną jego część stanowiącą strefę działania zabezpieczenia. Wartość tego współczynnika zależy od czasu zadziałania zabezpieczenia nadprądowego bezzwłocznego i może się wahać w granicach (1,3-1,6). Mniejsze wartości odnoszą się do wolniej działających zabezpieczeń, wyposażonych w przekładniki pomocnicze, a większe – do zabezpieczeń szybszych. Przy dobraniu zbyt małej wartości tego współczynnika składowa nieokresowa mogłaby spowodować wydłużenie zasięgu zabezpieczenia, co groziłoby nie wybiórczością w wyłączaniu zwarc. Zabezpieczenie nadprądowe bezzwłoczne może być również wykorzystane do skracania czasu trwania nadmiernych obniżen napięcia, występujących w liniach nieuszkodzonych w czasie zwarc. W tym celu należy wybrać wartość prądu rozruchowego

elementu bezzwłocznego zabezpieczenia w taki sposób, a by zabezpieczenie to wyłączało bezzwłocznie zwarcia, powodujące obniżenie się napięcia na szynach zbiorczych rozdzielni.

1.1.2 Zabezpieczenia nadprądowe zwłoczne

Najprostszym, a zarazem najczęściej spotykanym rodzajem zabezpieczenia w układach elektroenergetycznych, złożonych z szeregowo połączonych elementów takich jak, np. odcinków sieciowych i transformatorów zasilanych jednostronnie jest zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne. Zabezpieczenie to pobudza się w chwili przekroczenia przez prąd płynący w kontrolowanym odcinku ponad wartość nastawioną. Po upływie nastawionej zwłoki czasowej, w czasie, której natężenie prądu stałego przekracza wartość nastawioną, powinno wysłać impuls na otwarcie wyłącznika, wyłączającego ten prąd. Jeżeli natomiast natężenie przepływającego prądu zmniejszy się poniżej nastawionej wartości, przed upływem nastawionej zwłoki czasowej, zabezpieczenie powinno się odzwzbudzić tzn. powrócić do stanu początkowego.



Rys. 1.2 Schemat blokowy zabezpieczenia nadprądowego zwłocznego.

RI – zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne

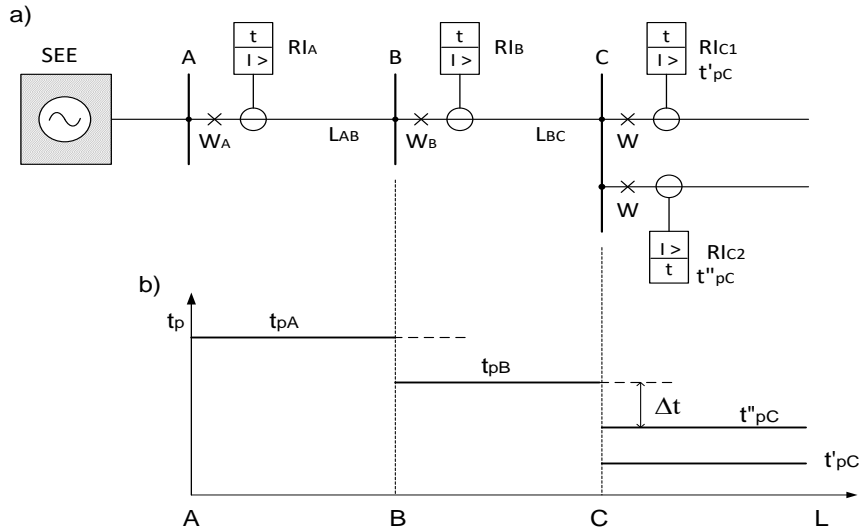
PP – przekładniki prądowe

CW – cewka napędu wyłącznika

ZW – zamek wyłącznika

Zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne może być realizowane za pomocą przekaźników nadprądowych zwłocznych o charakterystyce czasowo-prądowej niezależnej, zależnej i częściowo zależnej. W przypadku charakterystyki niezależnej czas zadziałania zabezpieczenia nie zależy od wartości prądu przepływającego przez przekaźnik. Czas zadziałania zabezpieczenia o charakterystyce niezależnej wybiera się dłuższy od czasu działania dowolnego z zabezpieczeń odcinków linii położonych dalej od źródła zasilającego (Rys 1.3). Czas stopniowania powinien być jak najkrótszy. Wadą zabezpieczenia nadprądowego zwłocznego o charakterystyce niezależnej jest znaczny czas zadziałania w przypadku zwarcia поблизу źródła zasilającego. Wada ta może być częściowo usunięta przez zastosowanie zabezpieczeń o charakterystyce zależnej (Rys.1.3.c) za pomocą której uzyskuje się charakterystykę stopniowania czasowego. Rys.1.3.a) przedstawia fragment układu elektroenergetycznego złożonego ze źródła zasilającego i kilku odcinków sieciowych zasilanych jednostronnie z tego źródła. Na początku każdego z odcinków zainstalowane są wyłączniki sterowane zabezpieczeniami nadprądowymi zwłocznymi. Realizacja zabezpieczenia może być oparta na indywidualnych, odpowiednio połączonych przekaźnikach pomiarowych i pomocniczych bądź też na kompletnych zestawach przekaźnikowych wykonanych w systemie modułowym automatyki zabezpieczeniowej (SMAZ). Zabezpieczenia nadprądowe zwłoczne mają bardzo cenną zaletę,

ponieważ mogą pełnić funkcję zabezpieczeń rezerwowych w stosunku do innych zabezpieczeń od zwarć wieloprądowych, zarówno tych, które są zainstalowane w tym samym obiekcie (tzw. rezerwy lokalne), jak i tych, które chronią obiekty sąsiednie (tzw. rezerwy zdalne). W pierwszym przypadku może to być np. zabezpieczenie nadprądowe bezzwłoczne, w drugim natomiast – zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne, którego rezerwowym zabezpieczeniem jest zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne z sąsiedniego odcinka sieci.



Rys. 1.3 Fragment sieci wyposażonej w zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne (a), oraz zasada doboru opóźnień za pomocą przekaźników o charakterystyce niezależnej (b) i zależnej (c)

Wartość prądu rozruchowego zabezpieczenia nadprądowego zwłocznego dobiera się na podstawie dwóch warunków:

- pierwszy dotyczy odstrojenia zabezpieczenia od prądów obciążeniowych:

$$I_r \geq \frac{k_b \cdot k_g \cdot k_r \cdot I_{\max}}{k_p \cdot \eta_i} \quad (1.3)$$

- drugi wynika z zapewnienia odpowiedniej czułości zabezpieczenia. Sprawdzenie warunku czułości polega na porównaniu wartości współczynnika k_c i porównaniu jej z wartością wymaganą $k_{c \text{ wym}}$ dla danego rodzaju zabezpieczenia:

$$k_c \geq \frac{k_s \cdot I_{z \min}}{I_r \cdot \eta_i} \geq k_{c \text{ wym}} \quad (1.4)$$

gdzie:

I_{\max} – maksymalna dopuszczalna wartość prądu obciążenia,

$I_{z \min}$ – najmniejsza wartość prądu zwarciovego w przypadku zwarcia metalicznego na końcu zabezpieczanego odcinka,

k_b – współczynnik bezpieczeństwa (1,2),

k_s – współczynnik schematowy uzależniony od sposobu połączenia przekładników prądowych (1 lub 3),

k_p – współczynnik powrotu,

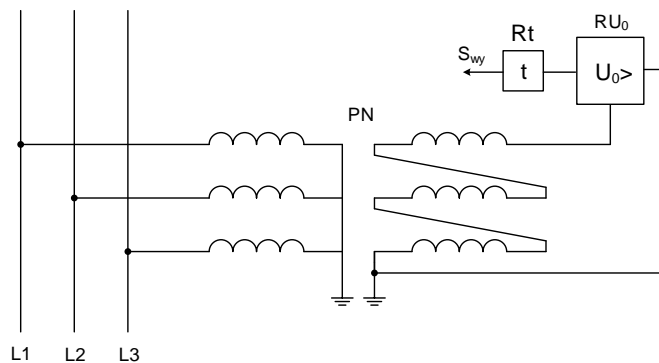
k_r – współczynnik samorozruchu silników indukcyjnych (2-6),

η_i – znamionowa przekładnia prądowa przekładnika prądowego.

1.2 Zabezpieczenia od zwarć doziemnych

1.2.1 Zabezpieczenie ziemnozwarciowe zerowonapięciowe

W sieciach elektroenergetycznych pracujących z punktem neutralnym nieuziemiałym bezpośrednio podczas pojedynczych zwarć doziemnych pojawia się napięcie zerowe U_0 , które może być równe napięciu fazowemu danej sieci. Pomiar napięcia zerowego U_0 odbywa się za pomocą filtru składowej zerowej napięcia, opartego na trzech przekładnikach napięciowych, których jedno z uzwojeń wtórnych połączone jest w otwarty trójkąt. Przekładnia znamionowa tych przekładników jest dobrana w taki sposób, że napięcie U_0 doprowadzone do przekaźnika napięciowego RU_0 jest równe 100V. Napięcie rozruchowe przyjmuje się najczęściej o wartości 50V (choć zdarzają się i inne nastawienia), nastawienie opóźnienia zaś w zakresie kilku sekund.

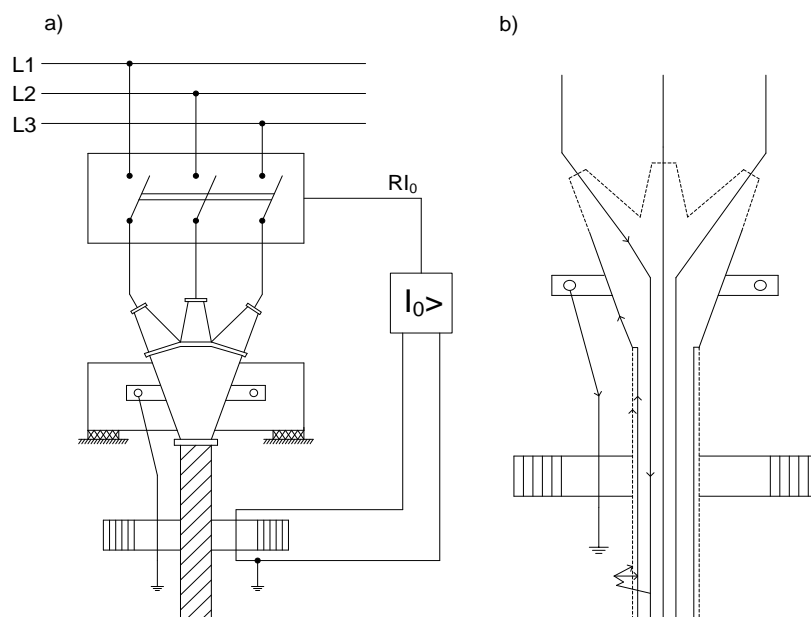


Rys. 1.1 Zabezpieczenie zerowonapięciowe zwłoczne zasilane z filtru składowej zerowej napięcia

Za pomocą tego zabezpieczenia lokalizuje się uszkodzoną fazę, bez wskazania odcinka linii, w której nastąpiło doziemienie. Oznacza to, że samo kryterium zerowonapięciowe może być stosowane co najwyżej jako informacja o wystąpieniu zwarcia doziemnego w sieci. Dlatego Zabezpieczenia zerowonapięciowe działają najczęściej na sygnalizację.

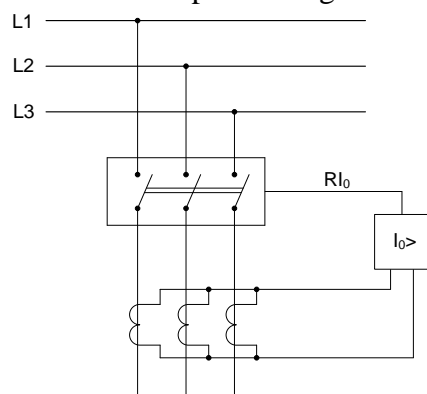
1.2.2 Zabezpieczenie ziemnozwarciowe zerowoprądowe

Zabezpieczenie ziemnozwarciowe zerowoprądowe składa się z filtru składowej zerowej prądu i odpowiednio czułego przekaźnika nadprądowego. W zależności od wielkości spodziewanego prądu ziemnozwarciowego w obiekcie zabezpieczanym oraz od wykonania sieci (napowietrzna lub kablowa), filtr składowej zerowej prądu stanowią trzy przekładniki prądowe połączone w układ Holmgreena lub przekładnik Ferrantiego. Przekładniki typu Ferranti znajdują zastosowanie w liniach kablowych i są wykonywane przeważnie do nakładania na zakończenie kabla, poniżej głowicy kablowej, którą należy odizolować od uziemionej konstrukcji wsporczej. Przewód uziemiający głowicę należy przeprowadzić przez okno rdzenia przekładnika, aby umożliwić pomiar sumy prądów płynących w samych tylko żyłach kabla. Gdy się tego nie zrobi doziemienie w kablu nie zostanie wykryte, gdyż suma wszystkich prądów przepływających przez okno rdzenia przekładnika (suma prądów płynących w żyłach oraz płaszczu i pancerzu kabla) byłaby równa zero. Zabezpieczenie zerowoprądowe korzystające z przekładnika Ferrantiego jest o wiele czulsze od układu Holmgreena i służy do wykrywania znacznie mniejszych prądów zwarciovych. Zatem, przekaźnik w tym układzie musi posiadać znacznie czulszy zakres pomiarowy, ze względu na to, że moc pobierana z obwodu pierwotnego jest niewielka. W tym celu stosuje się przekaźniki nadprądowe o zakresie pomiarowym od kilkunastu do kilkudziesięciu mA.



Rys. 1.2 Zabezpieczenie prądowe zerowe, zasilane z przekładnika prądu zerowego typu Ferranti. a) schemat montażu głowicy kablowej, b) obwód prądu doziemieniowego w głowicy kablowej

Układ Holmgreena tworzą trzy przekładniki zainstalowane na każdej z faz linii elektroenergetycznej. Układ ten znajduje zastosowanie w liniach napowietrznych. Wadą zabezpieczeń z układem Holmgreena jest trudność w uzyskaniu odpowiedniej czułości przy pomiarze niewielkich wartości prądów zerowych, występujących podczas zwarć jednofazowych z ziemią w sieciach o nieuziemiającym bezpośrednio punkcie gwiazdowym. Wada ta jest spowodowana przepływem prądu uchybowego w obwodzie wtórnym zabezpieczenia w warunkach symetrii obwodu pierwotnego.



Rys. 1.3 Zabezpieczenie zerowoprądowe z przekładnikiem Holmgreena

Nastawienia prądu rozruchowego zabezpieczenia zerowoprądowego w sieciach z izolowanym punktem gwiazdowym opiera się na kryteriach wynikających z rozplywu składowej pojemnościowej prądu ziemnozwarciowego. Prąd rozruchowy zabezpieczenia zainstalowanego na początku linii w sieci promieniowej powinien spełniać następujące warunki:

$$I_r \geq \frac{k_b 3I_0'}{g_i} \quad (1.1)$$

$$I_r \leq \frac{3I_0 - 3I'_0}{k_c g_i} \quad (1.2)$$

gdzie:

I_r - prąd rozruchowy przełącznika nadprądowego;

$3I'_0$ - prąd ziemnozwarciowy płynący w ziemi, odpowiadający pojemności danego odcinka sieci;

$3I_0$ - prąd ziemnozwarciowy odpowiadający pojemności całej sieci;

g_i - przekładnia przekładnika prądowego, k_b - współczynnik bezpieczeństwa;

k_c - współczynnik czułości.

Współczynnik bezpieczeństwa zapewnia odstrojenie się od prądów niustalonych, występujących w przypadku zwarcia łukowego przerywanego.

Zaleca się przyjmowanie k_b w granicach 4÷5 dla zabezpieczeń działających bezzwłocznie oraz 1,5÷2 przy zwłoce czasowej 0,5 s.

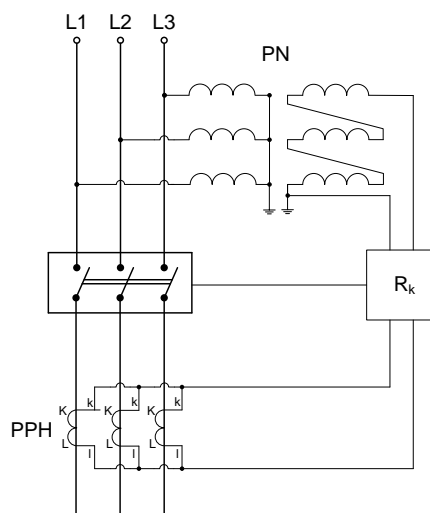
Współczynnik czułości uwzględnia tłumienie prądu zwarciovego przez rezystancje przejścia. Współczynnik ten dobiera się 1,5.

1.2.3 Zabezpieczenie ziemnozwarciowe zerowomocowe

Zabezpieczenia zerowomocowe stosuje się w przypadku, gdy składowa prądu nie stanowi wystarczającego kryterium do wyszukiwania linii z doziemieniem. Zabezpieczenie zerowomocowe składa się z filtru składowej zerowej prądu (przekładnik Ferrantiego lub przekładniki w układzie Holmgreena), filtru składowej zerowej napięcia (otwarty trójkąt uzwojeń wtórnych przekładników napięciowych) oraz przełącznika kąтового (kierunkowego, mocowego). Wielkością pomiarową jest iloczyn wartości skutecznych napięcia, prądu oraz kosinusa sumy dwóch kątów: kąta fazowego ϕ między prądem i napięciem oraz stałego α_w , zwanego kątem wewnętrznym przełącznika mocowego (kąt pomiędzy prądem i napięciem, przy którym przełącznik wykazuje największą czułość). W sieciach z izolowanym punktem neutralnym kierunek prądu zerowego w linii dotkniętej zwarcie doziemnym jest przeciwny niż w liniach nieuszkodzonych. Prąd zerowy w odcinku ze zwarcie doziemnym jest opóźniony względem napięcia zerowego o kąt $\phi_0 = -90^\circ$. Na początku odcinków nieuszkodzonych prąd zerowy wyprzedza napięcie zerowe o kąt $\phi_0 = 90^\circ$. W sieciach nieskompensowanych stosuje się przełącznik kierunkowy o kącie wewnętrznym $\alpha = 90^\circ$, wytwarzający największy moment przy działaniu składowej biernej mocy zerowej. Dla sieci kompensowanych stosuje się przełącznik kierunkowy o kącie wewnętrznym $\alpha = 0^\circ$, wytwarzający największy moment przy działaniu składowej czynnej mocy zerowej.

Zabezpieczeniom ziemnozwarciowym mocowym stawia się następujące wymagania:

- duża czułość kierunkowa – minimalna względna wartość prądu zerowego przy znamionowym napięciu zerowym, dla której występuje zadziałanie zabezpieczenia,
- współczynnik czułości zabezpieczenia, równy stosunkowi minimalnego prądu zerowego, przy którym zabezpieczenie powinno jeszcze zadziałać, do prądu rozruchowego, powinien być nie mniejszy niż 2,
- małe błędy kątowe.



Rys. 1.4 Zabezpieczenie zerowomocowe z przekładnikiem Holmgreena

1.2.4 Zabezpieczenie ziemnozwarciowe admitancyjne

Obecnie powstają nowe układy zabezpieczeń ziemnozwarciowych, których działanie jest oparte na pomiarze admitancji w obwodach składowej zerowej linii. Zabezpieczenia te mogą działać z czułością niezależną od rezystancji przejścia. Mają one także zdolność do reagowania na zwarcia o łuku przerywanym.

W admitancyjnych zabezpieczeniach ziemnozwarciowych wielkością pomiarową jest admitancja zerowa linii lub jej składowe – konduktancja lub susceptancja. Admitancja obwodu składowej zerowej linii jest określona przez iloraz prądu zerowego i składowej zerowej napięcia.

Do pomiaru admitancji zerowej linii lub jej składowych, wykorzystuje się komparatory amplitudy, które w zależności od zastosowanego kryterium porównują sygnały wejściowe tworzone według następujących zależności:

$$S_1 = k_r U_0, \quad (1.3)$$

$$S_2 = k_i I_{0i}, \quad (1.4)$$

$$S_3 = |k_u U_0 + k_i I_{0i}|, \quad (1.5)$$

$$S_4 = |k_u U_0 - k_i I_{0i}|, \quad (1.6)$$

$$S_5 = k_n U_0, \quad (1.7)$$

gdzie:

k_r, k_u, k_i, k_n – współczynniki określające sposób przetworzenia sygnałów wejściowych w torach pomiarowych składowej zerowej prądu linii I_{0i} oraz napięcia zerowego sieci U_0 .

U_0 – składowa zerowa napięcia sieci,

I_0 – składowa zerowa prądu linii.

Przez porównywanie na komparatorze amplitudy odpowiednio dobranych sygnałów S i zastosowanie prostych elementów logicznych można tworzyć następujące zabezpieczenia: zabezpieczenie admitancyjne RY_0 , zabezpieczenie konduktancyjne RG_0 , zabezpieczenie admitancyjno-konduktancyjne RYG_0 , zabezpieczenie susceptancyjne RB_0 , zabezpieczenie porównawczo-admitancyjne RYY_0 .

Kryteria admitancyjne mogą być stosowane tylko wtedy, gdy składowa zerowa napięcia sieci posiada odpowiednią wartość, a napięciowe człony rozruchowe stwierdzają, że wielkość kryterialna spełnia warunek:

$$S_5 \geq U_{0r} = S_n \quad (1.8)$$

gdzie:

U_{0r} – wartość nastawcza napięcia U_0 w zabezpieczeniu.

1.2.4.1 Zabezpieczenie admitancyjne RY_0

Zabezpieczenie ziemnozwarciowe, działające na moduł admitancji zerowej porównuje sygnały S_1 i S_2 .

Działanie zabezpieczenia następuje gdy:

$$S_2 \geq S_1 \quad (1.9)$$

Oraz spełniony jest warunek (1.12)

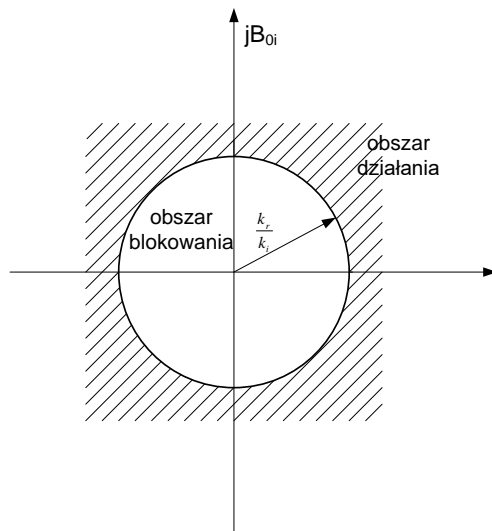
Obszarem działania zabezpieczenia są admitancje Y_0 , których wartości spełniają warunek:

$$Y_{0i} = \frac{I_{0i}}{U_0} \geq \frac{k_r}{k_i}$$

(1.10)

Y_{0i} – moduł admitancji zerowej linii,

G_0, B_0 – składowe (konduktancja i susceptancja) admitancji zerowej linii.



Rys. 1.5 Charakterystyka rozruchowa zabezpieczenia admitancyjnego RY_0

Na powyższym rysunku przedstawiono charakterystykę rozruchową przekaźnika RY_0 . Jest to okrąg obejmujący w równym stopniu wszystkie ćwiartki płaszczyzny admitancyjnej. Ziemnozwarciowe zabezpieczenia mogą realizować swoje kryteria tylko wtedy, gdy napięcie zerowe sieci U_0 przyjmuje wartości różne od zera. Dlatego kryterium admitancyjne muszą być uzupełnione napięciowym członem rozruchowym działającym zgodnie z warunkiem (1.12). Zabezpieczenie RY_0 może być stosowane w sieciach z izolowanym lub uziemionym przez rezystor punktem gwiazdowym. W sieciach kompensowanych tylko wtedy, gdy występuje trwałe lub przejściowe (działanie układów AWSB) przekompensowanie.

1.2.4.2 Zabezpieczenie konduktancyjne RG₀

Działanie Zabezpieczenia konduktancyjnego nastąpi wówczas, jeżeli spełniony zostanie warunek:

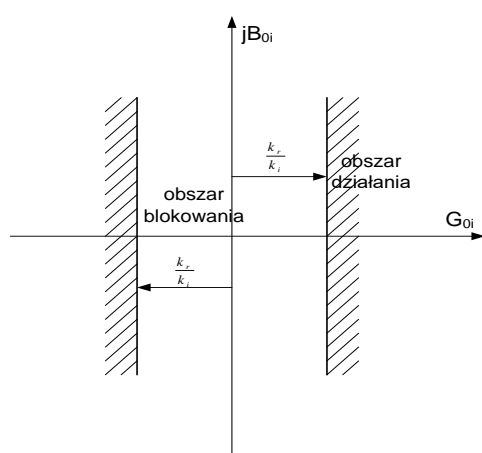
$$|S_3 - S_4| \geq 2S_1 \quad (1.11)$$

Oraz warunek:

$$S_5 \geq U_{0r} = S_n$$

Komparator realizujący kryterium konduktancyjne zmieni swój stan na wyjściu, gdy spełniona zostanie nierówność:

$$|G_{0i}| \geq \frac{k_r}{k_i} \quad (1.12)$$



Rys. 1.6 Charakterystyka rozruchowa zabezpieczenia konduktancyjnego RG₀

1.2.4.3 Zabezpieczenie admitancyjno-konduktancyjne RYG₀

Zabezpieczenie admitancyjno-konduktancyjne jest połączeniem kryterium admitancyjnego i konduktancyjnego w układ logicznej sumy.

Zadziałanie zabezpieczenia RYG₀ wymaga jednoczesnego doprowadzenia dwóch wielkości ziemnozwarciowych o wymaganych wartościach: napięcia i prądu składowej zerowej.

Kryterium działania omawianego zabezpieczenia wynika z zależności

$$|S_3| - k_u \cdot U_0 \geq S_1 \quad (1.13)$$

Przy spełnionym warunku

$$|k_y \underline{Y}_{0i}| \leq 1 \quad (1.14)$$

Uzyskuje się następujące wyrażenie

$$\left| |1 + k_y \underline{Y}_{0i}| - 1 \right| \geq \frac{k_r}{k_u} \quad (1.15)$$

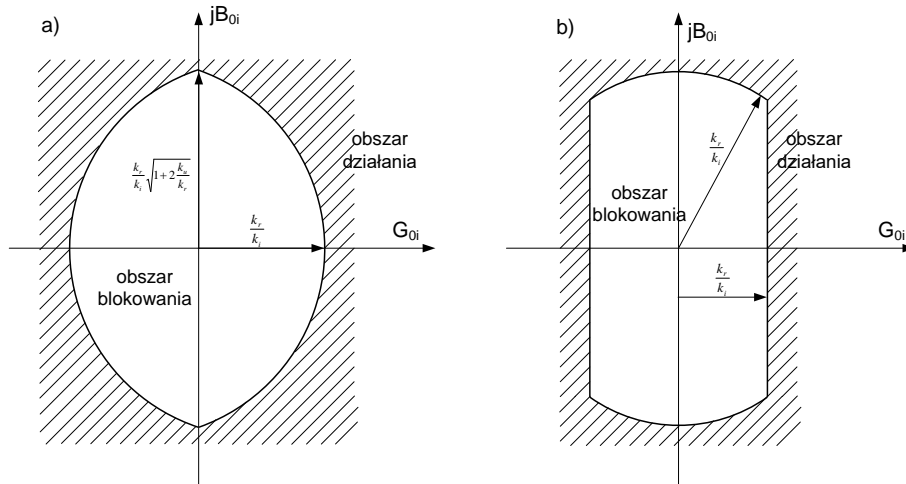
Rysunek 1.7. ukazuje charakterystykę zabezpieczenia RYG₀. Ma ona kształt soczewki i obejmuje wszystkie ćwiartki płaszczyzny admitancji rozruchowej Czulość działania takie-

go zabezpieczenia w kierunku konduktancji ($B_{0i}=0$) jest taka, jak w przypadku zabezpieczenia konduktancyjnego i wyznacza się ją z warunku (1.12).

Czułość zabezpieczenia RYG₀ w przypadku zerowej wartości konduktancji ($G_{0i}=0$) wyrażona jest następującą zależnością

$$|B_{0i}| \geq \frac{k_r}{k_i} \sqrt{1 + 2 \frac{k_u}{k_r}} \quad (1.16)$$

i maleje przy zwiększaniu współczynnika k_u w torze napięciowym.



Rys. 1.7 a) Charakterystyka rozruchowa zabezpieczenia typu RYG₀ działającego według zależności 1.12, b) charakterystyka zabezpieczenia wyznaczona z zależności 1.17.

Na Rysunku 1.7.b) przedstawiono inny kształt charakterystyki RYG₀, którą wyznacza się z zależności:

$$Y_{on} = \frac{1000I_z}{U_0 n_p} + Y_u \quad (1.17)$$

gdzie:

- I_z – pojemnościowy prąd własny chronionej linii, A,
- U_0 – napięcie składowej zerowej w sieci $U_0 = 100$ V,
- n_p – przekładnia filtrów składowej zerowej prądu (zwojowa lub prądowa),
- Y – admitancja wynikająca z błędów filtrów składowej zerowej prądu,
- $Y_u = 1,5 \div 2,0$ mS dla układu Holmgreena,
- $Y_u = 0,7$ mS dla przekładników Ferrantiego.

Człon admitancyjny $Y_{0>}$ można zablokować i działa wówczas tylko człon konduktancyjny $G_{0>}$.

RYG₀ jest najbardziej uniwersalnym zabezpieczeniem admitancyjnym, które może znaleźć warunki o zadziałania w sieci zmieniającej sposób uziemienia punktu gwiazdowego. Zmiana taka może być wywołana przejściem na rezerwowe zasilanie sieci lub wyłączeniem transformatora potrzeb własnych.

1.2.4.4 Zabezpieczenie susceptancyjne RB₀

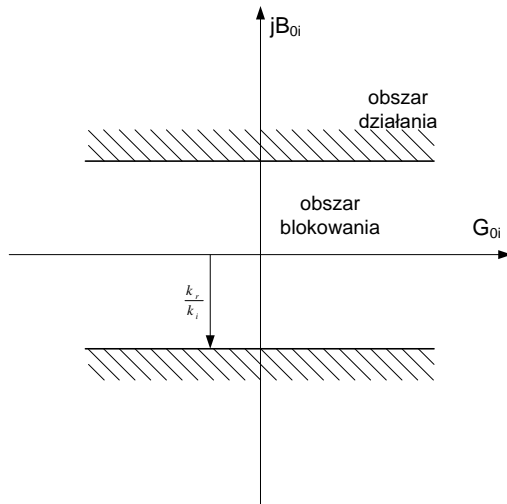
Zabezpieczenie susceptancyjne RB₀ można oprzeć na układzie dla zabezpieczenia admitancyjnego RGo. Różnica polega na wprowadzeniu dodatkowego przesunięcia fazowego w torze napięcia U_0 o wartość $\Pi/2$.

Przesunięcie to powoduje, że przy zachowaniu warunku $S_5 \geq S_n$ o działaniu przekaźnika będzie decydować wartość pomierzonej susceptancji zerowej linii B_0 . Warunek rozruchu opisuje zależność:

$$|B_{0i}| \geq \frac{k_r}{k_i}$$

(1.18)

Charakterystykę zabezpieczenia RBo przedstawia Rys.1.8.



Rys. 1.8 Charakterystyka rozruchowa zabezpieczenia susceptancyjnego RBo

Zabezpieczenie reagujące na susceptancję B_0 występują w sieciach o izolowanym punkcie gwiazdowym lub w sieciach kompensowanych o trwałym lub przejściowym (działanie układów AWSB) przekompensowaniu.

1.2.4.5 Zabezpieczenie porównawczo-admitancyjne RYY₀

Kryterium działania zabezpieczenia RYY₀ opisują następujące warunki:

$$\left| \frac{S_3}{S_1} - \frac{S_{3(2)}}{S_{1(2)}} \right| \geq Y_n,$$

(1.19)

$$\left| \frac{S_4}{S_1} - \frac{S_{4(2)}}{S_{1(2)}} \right| \geq Y_n$$

(1.20)

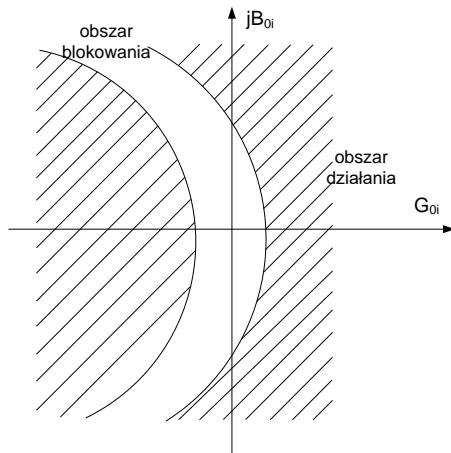
oraz

$$S_5 > S_n$$

(1.21)

gdzie:

$S_{3(2)}$, $S_{4(2)}$, $S_{1(2)}$ - sygnały S_4 , S_3 , S_1 mierzone po zadziałaniu urządzeń wymuszających (np. AWSCz),
 Y_n – wartość nastawcza.



Rys. 1.9 Charakterystyka rozruchowa zabezpieczenia porównawczo-admitancyjnego RYY₀

Na Rys 1.9. przedstawiono charakterystykę rozruchową zabezpieczenia porównawczo-admitancyjnego. Pokazuje ona przyrost admitancji zerowej, jaki musi wystąpić w linii doziemionej po zadziałaniu urządzeń wymuszających dodatkowy prąd zwarcia z ziemią. Jest to charakterystyka ukierunkowana na przyrosty konduktancji zerowej linii, czyli na działanie układów wymuszających składową czynną (AWSCz). Zabezpieczenie porównawczo-admitancyjne czułe na przyrosty susceptancji można zastosować tylko w sieciach wyposażonych w układy do wymuszania składowej biernej prądu doziemienia. W Polsce automatyka wymuszenia składowej biernej (AWSB) nie jest rozpowszechniona, ale znane są pojedyncze przypadki realizowania tychże układów, które swoim działaniem powodują dekompensację sieci umożliwiając zadziałanie zabezpieczeń kierunkowych biernomocowych.

2 Przykład wyliczania parametrów zwarciovych i nastaw zabezpieczeń dla linii napowietrznej

Zakłócenia i sposoby zabezpieczania linii napowietrznej z izolowanym punktem gwiazdowym na przykładzie linii o parametrach:

Napięcie znamionowe linii – 30 kV,

Rodzaj kabla – AFL 6 x 70 mm²,

Prąd długotrwały – $I_{dd} = 290$ A,

Pojemnościowy prąd własny linii – $I_w = 5$ A,

Prąd ziemnozwarciowy – $I_z = 42$ A,

Długość linii – $l = 30$ km,

Rezystancja linii – $R_L = 13,25 \Omega$,

Reaktancja linii – $X_L = 12,3 \Omega$.

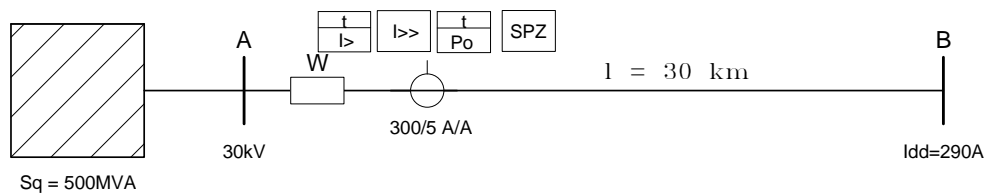
Linia pracuje w systemie o parametrach:

Napięcie znamionowe – 30 kV,

Moc systemu – $S_q = 500$ MV·A,

Rezystancja systemu – $R_s = 0,198 \Omega$,

Reaktancja systemu – $X_s = 1,98 \Omega$.



Do najczęstszych zaburzeń jakie występują liniach napowietrznych należy zaliczyć zwarcia. W zależności od liczby miejsc, w których wystąpiły zakłócenia zwarciovowe, rozróżnia się zwarcia: pojedyncze, podwójne, potrójne.

Obliczamy wartość prądu przy zwarciu trójfazowym:

Na podstawie wzorów:

$$X_{S-L} = X_s + X_{lL}$$

$$R_{S-L} = R_s + R_L$$

$$Z_{S-L} = \sqrt{X_{S-L}^2 + R_{S-L}^2}$$

obliczono parametry:

$$X_{S-L} = 14,28 \Omega$$

$$R_{S-L} = 13,45 \Omega$$

$$Z_{S-L} = 19,6 \Omega$$

Prąd zwarciovowy trójfazowy jest równy:

$$I_z^{3f} = \frac{1,1 \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_1}$$

$$I_z^{3f} = \frac{1,1 \cdot 30 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 19} = 971 \text{ A}$$

Prąd zwarciovowy dwufazowy jest równy:

$$I_k^{2f} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_k^{3f}$$

$$I_k^{2f} = 841 \text{ A}$$

Do ochrony linii promieniowych od zwarć wieloprądowych i zapewnienia rezerwy zdalnej służą zabezpieczenia nadprądowe zwłoczne.

Dobór zabezpieczenia nadprądowego zwłocznego:

a) W linii o izolowanym punkcie neutralnym do pomiaru prądu stosuje się układ pełnej gwiazdy, niepełnej gwiazdy lub układ krzyżowy. Ze względu na prąd długotrwały dobieramy przekładniki prądowe:

$I_n = 300/5 \text{ A/A}$. Z przekładników tworzymy układ niepełnej gwiazdy.

b) obliczamy prąd rozruchowy zabezpieczenia nadprądowego zwłocznego na podstawie wzoru;

$$I_r = \frac{k_b \cdot k_s \cdot I_{dd}}{k_p \cdot I_n}$$

$k_b = 1,2$ – współczynnik bezpieczeństwa

$k_s = 1$ – współczynnik schematu

$k_p = 0,9$ – współczynnik powrotu

$$I_r = \frac{1,2 \cdot 1 \cdot 290}{0,9 \cdot 60} = 6,44 \text{ A}$$

c) sprawdzamy czułość k_c zabezpieczenia nadprądowego zwłocznego, przekształcając wzór:

$$k_c = \frac{I_k^{2f}}{I_r \cdot I_n}$$

$$k_c = \frac{841 \cdot 10^3}{6,44 \cdot 60} = 2,17$$

Zabezpieczenie zostało dobrane prawidłowo ponieważ spełniony jest warunek:

$$k_c > 1,5 \quad 2,17 > 1,5$$

d) dobór czasu działania zabezpieczenia nadprądowego zwłocznego w stacji A:

$$t_A = t_1$$

t_1 – czas zadziałania zabezpieczenia

$$t_A = 0,5 \text{ s}$$

Aby zmniejszyć skutki cieplnego oddziaływania prądu zwarciovego na elementy znajdujące się w obwodzie zwarciovym na początku chronionej linii oraz nie dopuścić do obniżenia napięcia na szynach zbiorczych poniżej (50÷60)% napięcia znamionowego i zapobieżeniu utknięcia silników asynchronicznych zasilanych z tych szyn służą zabezpieczenia nadprądowe bezzwłoczne. Sygnał potrzebny do zadziałania zabezpieczenia jest podawany z układu niepełnej gwiazdy.

Dobór zabezpieczenia nadprądowego bezzwłocznego:

a) obliczamy prąd rozruchowy zabezpieczenia nadprądowego bezzwłocznego, korzystając ze wzoru:

$$I_r = \frac{k_b \cdot I_k^{3f}}{I_n}$$

$k_b = 1,3$ – współczynnik bezpieczeństwa

I_k^{3f} – prąd zwarciový trójfazowy na końcu chronionego odcinka

$$I_r = \frac{1,5 \cdot 971 \cdot 10^3}{60} = 24,3A$$

b) sprawdzamy czułość k_c zabezpieczenia nadprądowego bezzwłocznego, korzystając ze wzoru:

$$k_c = \frac{I_{kA}^{2f}}{I_r \cdot \mathcal{G}}$$

k_c – współczynnik czułości

I_{kA}^{2f} – prąd zwarcia dwufazowy na początku chronionego odcinka

$$I_{kA}^{3f} = \frac{1,1 \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_S}$$

U_n – napięcie znamionowe

Z_S – impedancja systemu

$$Z_S = \sqrt{R_S^2 + X_S^2}$$

$$Z_S = \sqrt{0,198^2 + 1,98^2} = 1,99\Omega$$

$$I_{kA}^{3f} = \frac{1,1 \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_S}$$

$$I_{kA}^{3f} = \frac{1,1 \cdot 30 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1,99} = 9,6kA$$

$$I_{kA}^{2f} = 8,3 kA$$

$$k_c = \frac{I_{kA}^{2f}}{I_r \cdot \mathcal{G}}$$

$$k_c = \frac{8,3 \cdot 10^3}{24,3 \cdot 60} = 5,6$$

Zabezpieczenie zostało dobrane prawidłowo ponieważ spełniony jest warunek:

$$k_c > 1,5 \quad 5,6 > 1,5$$

Sprawdzamy jaki odcinek linii jest zabezpieczany przez zabezpieczenie nadprądowe bezzwłoczne. Jeżeli odcinek linii zabezpieczanej obejmuje 30% całej długości, jest uzasadnione ekonomiczne stosowanie tego zabezpieczenia.

Dobór zabezpieczenia nadprądowego bezzwłocznego na odcinku 30% od stacji A:

a) obliczenie parametrów linii na odcinku 30% długości:

$$R_{30\%L} = 0,3 \cdot 13,25 = 3,96\Omega$$

$$X_{30\%L} = 0,3 \cdot 12,3 = 3,69\Omega$$

$$R_{S-L} = R_S + R_{30\%L}$$

$$R_{S-L} = 4,158\Omega$$

$$X_{S-L} = X_S + X_{30\%L}$$

$$X_{S-L} = 5,67\Omega$$

$$Z_{S-L} = \sqrt{X_{S-L}^2 + R_{S-L}^2}$$

$$Z_{S-L} = 7,03\Omega$$

b) obliczyć prąd zwarciaowy trójfazowy na odcinku 30% ze wzoru:

$$I_{kA}^{3f} = \frac{1,1 \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{L-S}}$$

$$I_{kA}^{3f} = \frac{1,1 \cdot 30 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 7,03} = 2,7 \text{ kA}$$

Prąd zwarciaowy dwufazowy na odcinku 30% jest równy:

$$I_k^{2f} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_k^{3f}$$

$$I_k^{2f} = 2,3 \text{ kA}$$

$$k_c = \frac{2,3 \cdot 10^3}{24,3 \cdot 60} = 1,57$$

współczynnik czułości spełnia warunek $k_c > 1,5$ więc zabezpieczenie skutecznie będzie chronić linię.

W przypadku wystąpienia w sieci zwarcia jednofazowego z ziemią linia może być chroniona przez zabezpieczenie zerowe prądowe, zerowe napięciowe lub zerowe mocowe (ziemnozwarciowe kierunkowe)

Dobór zabezpieczenia ziemnozwarciowego kierunkowego:

Dobór przekładników do układu Holmgreena jest analogiczny jak przy doborze przekładników w układzie niepełnej gwiazdy. Dzięki układowi Holmgreena mamy możliwość pomiaru składowej zerowej prądu. Składowa zerowa napięcia jest mierzona w układzie otwartego trójkąta.

a) obliczamy prąd rozruchowy zabezpieczenia ziemnozwarciowego, na podstawie wzoru:

$$I_r = \frac{k_b \cdot I_w + I_u}{\mathcal{G}_i}$$

k_b – współczynnik bezpieczeństwa, $k_b = 2$

I_u – prąd uchybowi przekładników

I_w – prąd własny linii

$$I_u = 0,02 \cdot I_n$$

I_n – prąd znamionowy strony pierwotnej przekładnika

$$I_u = 0,02 \cdot 300 = 6 \text{ A}$$

$$I_r = \frac{2 \cdot 5 + 6}{60} = 0,26 \text{ A}$$

b) sprawdzamy współczynnik czułości zabezpieczenia ziemnozwarciowego kierunkowego, na podstawie wzoru:

$$k_c = \frac{I_{zc} - I_w + I_u}{I_r \cdot \mathcal{G}_i}$$

I_{zc} – prąd całkowity ziemnozwarciowy

$$k_c = \frac{42 - 5 + 6}{0,26 \cdot 60} = 2,63$$

Zabezpieczenie ziemnozwarciowe zostało dobrane prawidłowo, współczynnik czułości spełnia warunek $k_c > 2$.

c) dobór czasu działania zabezpieczenia nadprądowego zwłocznego w stacji

$$t_A = t_z$$
$$t_A = 0,5s$$

Dobór zabezpieczenia ziemnozwarciowego admitancyjnego typu RYGo:

Zadziałanie zabezpieczenia RYGo wymaga jednoczesnego doprowadzenia dwóch wielkości ziemnozwarciowych o wymaganych wartościach: napięcia i prądu składowej zerowej. Człon konduktancyjny $G_0 >$ jest nienastawialny. Ma wartość stałą, która zależy od rodzaju filtru składowej zerowej i wynosi dla układu Holmgreena $2,35 \pm 0,15$ mS, a dla przekładnika Ferrantiego $0,8 \pm 0,08$ mS. Człon admitancyjny $Y_0 >$ jest nastawialny.

a) wartość admitancji rozruchowej (w mS) określa się ze wzoru:

$$Y_{on} = \frac{1000 \cdot I_z}{U_0 \cdot n_p} + Y_u$$

gdzie:

I_z – pojemnościowy prąd własny chronionej linii [A],

U_0 – napięcie składowej zerowej w sieci $U_0 = 100$ V,

n_p – przekładnia filtrów składowej zerowej prądu (zwojowa lub prądowa),

Y_u – admitancja wynikająca z błędów filtrów składowej zerowej prądu,

$Y_u = 1,5 \div 2,0$ mS dla układu Holmgreena,

$Y_u = 0,7$ mS dla przekładników Ferrantiego.

$$Y_{on} = \frac{1000 \cdot 5}{100 \cdot 60} + 1,5 = 2,33mS$$

dobór czasu działania zabezpieczenia nadprądowego zwłocznego w stacji A:

$$t_A = t_z$$

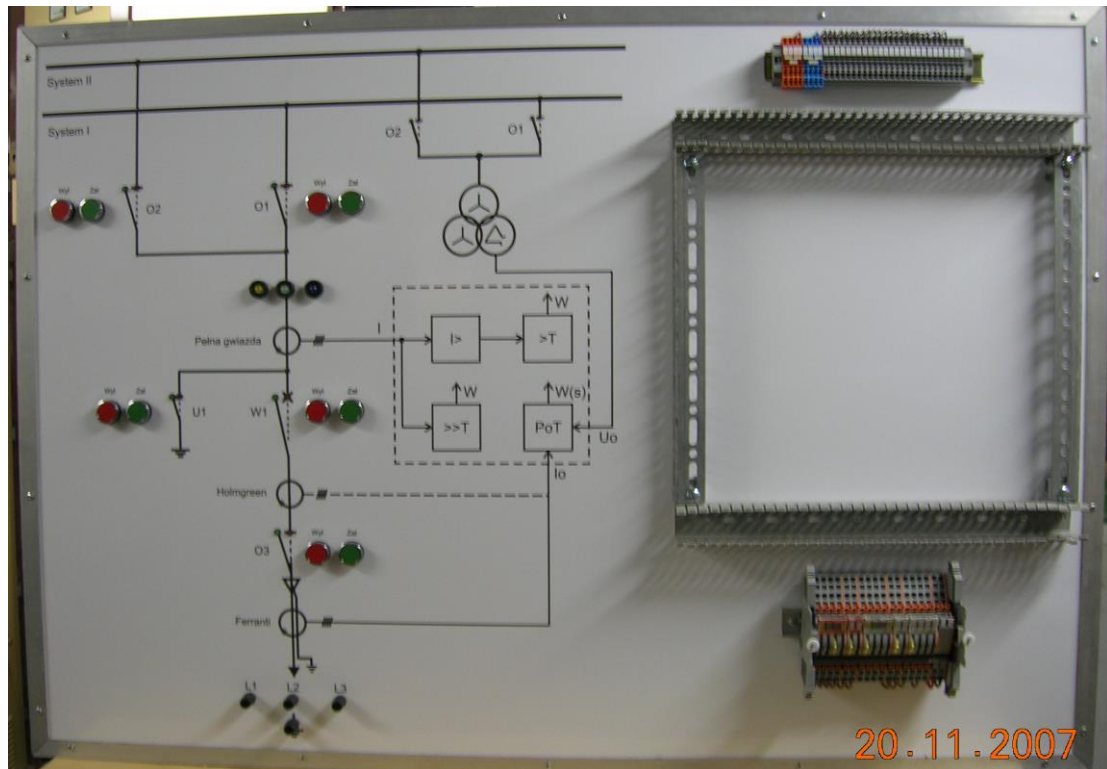
t_z – czas zadziałania zabezpieczenia

$$t_A = 0,5s$$

3 Budowa stanowiska laboratoryjnego

3.1 Opis stanowiska

Wykonane stanowisko laboratoryjne umożliwia zapoznanie się z możliwościami zabezpieczania pola liniowego zasilanego z dwóch systemów elektroenergetycznych. Stanowisko to jest stanowiskiem uniwersalnym do badania zabezpieczeń linii średnich napięć, ponieważ umożliwia podpięcie dowolnego przekaźnika zabezpieczeniowego i wykonanie szeregu badań. Na stanowisku laboratoryjnym można modelować zakłócenia, które najczęściej występują w systemie elektroenergetycznym, a należą do nich: zwarcia trójfazowe, dwufazowe, a także zwarcia doziemne w sieciach z izolowanym punktem zerowym. Na panelu frontowym odwzorowany jest układ połączeń łączników pola liniowego, oraz kreskowy schemat połączenia przekładników prądowych i napięciowych, które doprowadzają wielkości pomiarowe do zabezpieczenia. Do badanych zabezpieczeń doprowadzane są również sygnały, które sterują pracą łączników. Położenie łączników jest sygnalizowane za pomocą diod LED – odpowiednio zielonych dla łącznika otwartego i czerwonych dla łącznika zamkniętego. Przyciski sterujące łącznikami znajdują się z lewej strony symbolu łącznika, przy czym przyciski zielone to sterowanie na załączenie natomiast czerwone na wyłączenie.



Rys. 3.1 Zdjęcie płyty czołowej modelu

W dolnej części stanowiska znajduje się listwa kontrolna WAGO, która umożliwia:

- wygodną i bezpieczną eksploatację elektroenergetycznych układów zabezpieczeniowych i systemów pomiarowych,
- łatwy, pewny i jednoznaczny sposób zwierania strony wtórnej przekładników prądowych,
- uniwersalność – możliwość realizacji dowolnych układów funkcjonalnych,

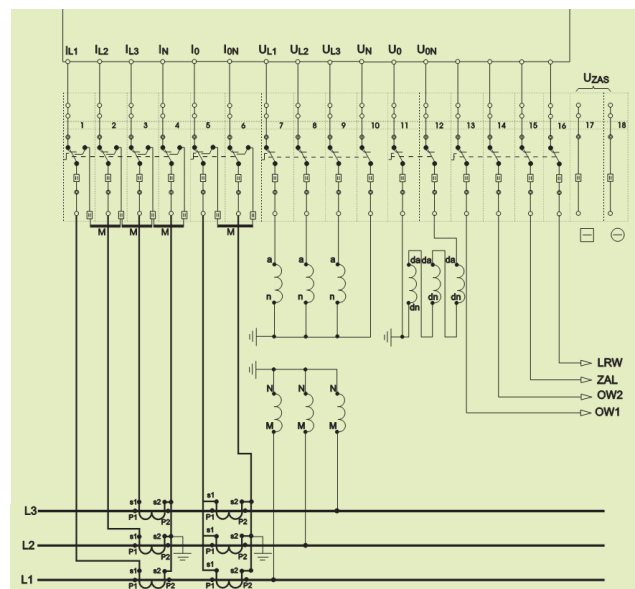
- wygodny i szybki sposób sprawdzania wskazań i realizacji prób kontrolnych podłączonych urządzeń,
- bezpieczeństwo obsługi – zwieranie strony wtórnej przekładnika i odłączenie sygnałów wykonawczych odbywa się bez wypinania przewodów, stosowania dodatkowych mostków i specjalistycznych narzędzi,
- niezawodny i prosty sposób łączenia przewodów przy wykorzystaniu zacisku CAGE CLAMP®.

Parametry techniczne:

znamionowe napięcie izolacji:	500 V
znamionowe napięcie udarowe:	6 kV
znamionowy prąd długotrwały:	30 A
zwarciov prąd 1-sekundowy:	720 A
zakres temperatury otoczenia:	-50°C ÷ 105°C
zakres przekroju przewodów:	0,2 ÷ 6 mm ²
strefa zabrudzeniowa:	3

Listwa kontrolna WAGO jest przeznaczona do połączenia przekaźnika zabezpieczeniowego z obwodami prądowymi, napięciowymi i układami wykonawczymi. Umożliwia prosty i jednoznaczny sposób zwarcia strony wtórnej przekładników prądowych, odłączenia przekładników napięciowych i sygnałów wyjściowych.

Po przełączeniu wszystkich noży do pozycji testowej obwody analogowe zostają odłączone od urządzenia (przy jednoczesnym zwarceniu przekładników prądowych) i stworzona zostaje możliwość prac kontrolnych bezpośrednio na listwie za pomocą gniazd „bananowych” lub dodatkowych zacisków sprężynowych. Listwa jest jeszcze wyposażona w przezroczystą osłonę.



Rys. 3.2 Schemat podłączenia sygnałów do listwy kontrolnej WAGO oraz jej wygląd

Nad listwą Wago znajduje się miejsce, w którym możemy zamocować jeden z badanych przekaźników i listwa X2 doprowadzająca do zabezpieczenia sygnały o położeniu łączników oraz wyprowadzająca sygnały sterujące. Sterowanie łącznikami jest możliwe na trzy sposoby:

- za pomocą przycisków sterujących znajdujących się na tablicy synoptycznej,

- za pośrednictwem przekaźnika zabezpieczeniowego,
- z wykorzystaniem telemechaniki.

W modelu dzięki odpowiednim połączeniom elektrycznym zrealizowane są blokady, które zapobiegają wykonaniu niedozwolonych czynności łączeniowych. W modelu zrealizowane są blokady, które powodują, że:

- można załączyć odłącznik tylko jednego systemu,
- wyłącznik można załączyć tylko, gdy jest obecna droga przepływu prądu pomiędzy jednym z odłączników szynowych o odłącznikiem liniowym,
- wyłączenie odłączników jest możliwe tylko przy otwartym wyłączniku,
- przy załączonym uziemniku nie można załączyć odłącznika systemu I i II.
- załączenie uziemnika możliwe jest tylko przy otwartych odłącznikach szynowych obydwu systemów.

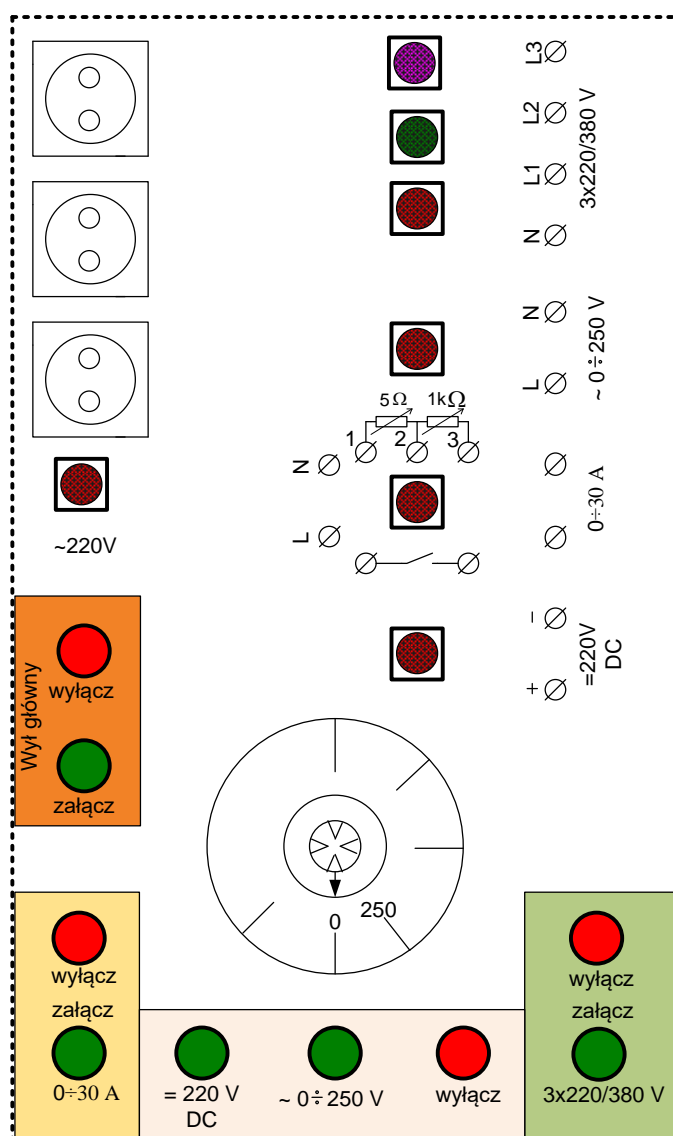
Tabela 3.1 Opis listew sygnałowych dla badanych przekaźników zabezpieczeniowych

oznaczenie		funkcja	Listwa i zacisk, do którego należy podłączyć sygnał		
listwa	zacisk		ExBEL_Z2U	CZAZ-L	ZL-10
X1	IL1	Pomiar prądu fazy L1	LZ1:1	X1:1	(1)
	IL2	Pomiar prądu fazy L2	LZ1:3	X1:2	(2)
	IL3	Pomiar prądu fazy L3	LZ1:5	X1:3	(3)
	IN	Wspólny zacisk pomiaru prądu	LZ1:2, LZ1:4, LZ1:6	X1:4,5,6	(4)
	I0	Pomiar prądu składowej zerowej	LZ1:7	X1:13	(5)
	I0N	Pomiar prądu składowej zerowej	LZ1:8	X1:14	(6)
	U0	Pomiar składowej zerowej napięcia	LZ1:9	X2:4	(7)
	U0N	Pomiar składowej zerowej napięcia	LZ1:10	X2:5	(8)
	OW1	Sygnał na otwarcie wyłącznika	LZ3:22	X3:6	(15)
	ZAL	Sygnał na zamknięcie wyłącznika	LZ3:20	X3:5	(16)
	+	+ 220V DC	LZ2:5, 15, 35	X3:1,3	(10),(17)
	-	- 220V DC	LZ2:2, 18, 20, 36	X3:2,4	(11),(18)
X2	+	+ 220V DC	LZ3:1, 3, 13, 18, 19, 21		
	-	- 220V DC	LZ3:2, 4		
	1	Odłącznik liniowy - otwarty	LZ2:1		
	2	Odłącznik liniowy – zamknięty	LZ2:3		
	3	Odłącznik systemu I - otwarty	LZ2:4	X3:18	
	4	Odłącznik systemu I – zamknięty	LZ2:6	X3:19	
	5	Uziemnik - otwarty	LZ2:8, LZ3:12	X3:20	
	6	Uziemnik – zamknięty	LZ2:10		
	7	Wyłącznik – otwarty	LZ2:11	X3:16	
	8	Wyłącznik – zamknięty	LZ2:13	X3:17	
	9	Odłącznik systemu II – otwarty	LZ2:22		
	10	Odłącznik systemu II – zamknięty	LZ2:24		
	11	Odłącznik systemu II – otwórz	LZ3:9		
	12	Odłącznik systemu II – zamknij	LZ3:10		
	13	Odłącznik systemu I – otwórz	LZ3:11		

14	Odłącznik systemu I – zamknij	LZ3:12		
15	Uziemnik otwórz	LZ3:14		
16	Uziemnik – zamknij	LZ3:15		
17	Odłącznik liniowy – otwórz	LZ3:16		
18	Odłącznik liniowy – zamknij	LZ3:17		
19	Mikro Uz=220V	-		(42)
20	Mikro PoTF	-		(38)
21	Mikro PoTH	-		
22	Mikro I>>T	-		(40)
23	Mikro I>T	-		(22)

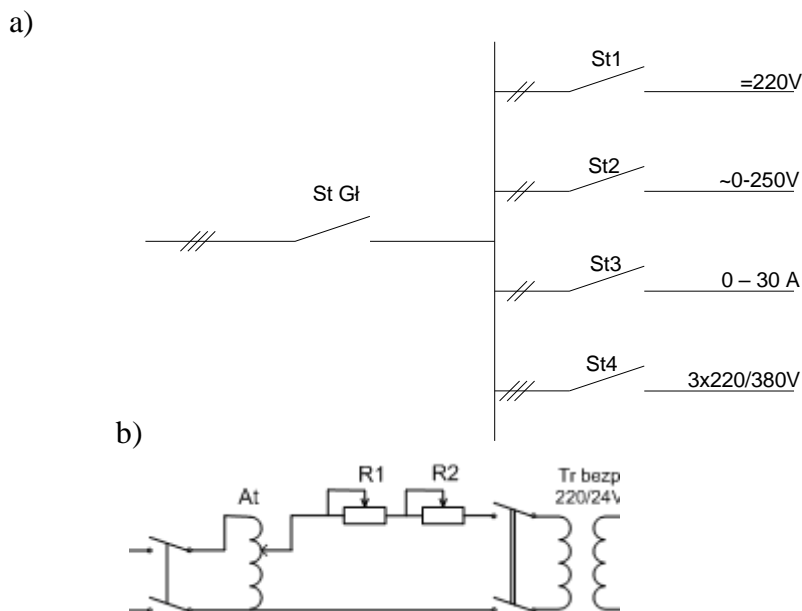
3.2 Układ obwodów elektrycznych stołu laboratoryjnego

Na Rys. 3.3. pokazano widok pulpitu sterowniczego stołu laboratoryjnego, który przedstawia sterowanie i sygnalizację obwodów elektrycznych.



Rys. 3.3. Widok ogólny stołu sterowniczego

Przycisk wyłącznika głównego załączającego zasilanie całego stołu jest oznaczony jako „**załącz**” koloru zielonego i znajduje się w polu wyłącznika głównego. Załączenie jego powoduje zamknięcie stycznika głównego oznaczonego „**St gl**” i pojawienie się napięcia w gniazdkach z jednoczesnym zaświeceniem się czerwonej lampki sygnalizacyjnej, powyżej łącznika. Natomiast do wyłączenia zasilania całego stołu służy przycisk, oznaczony jako „**wyłącz**”, koloru czerwonego, znajdujący się w polu wyłącznika głównego.



Rys. 3.4 Schemat ideowy połączeń elektrycznych stołu laboratoryjnego

Przyciśnięcie przycisku oznaczonego „220 V DC” koloru zielonego, powoduje załączenie stycznika oznaczonego jako „ST 1” i pojawienie się napięcia stałego na zaciskach opisanych laboratoryjnych oznaczonych „+” i „-”, co jest sygnalizowane poprzez zapalenie się czerwonej lampki, znajdującej się obok zacisków laboratoryjnych oznaczonych 220V DC. Załączenie napięcia regulowanego poprzez autotransformator stycznikiem „St2”, następuje w chwili przyciśnięcia łącznika, oznaczonego „0÷250V” koloru zielonego, co sygnalizuje zaświecenie się czerwonej lampki znajdującej się obok zacisków laboratoryjnych oznaczonych „0÷250V”. Wartość napięcia na zaciskach laboratoryjnych oznaczonych „L” i „N” zależy od położenia pokrętki regulacyjnego autotransformatora. Załączenie przycisku „załącz” znajdującego się obok napisu „0–30A”, powoduje zamknięcie stycznika „St3” i załączenie układu (rys. 3.1. b) złożonego z: autotransformatora, dwóch rezystorów suwakowych połączonych potencjometrycznie, oraz transformatora 220/24V/V. Układ ten umożliwia regulację prądu od zera do 30A na zaciskach laboratoryjnych 0÷30A. Rezystory można zwiększać za pomocą zworek umieszczonych na zaciskach (1,2,3). Jeden z rezystorów (zaciski 1-2) ma wartość 5Ω, a drugi (zaciski 2-3) 1kΩ. Jeżeli zewrzymy zaciski 1-2, to otrzymujemy możliwość regulacji prądu w zakresie miliamperów. Natomiast zwarcie zacisków 2-3, umożliwia regulację prądu w zakresie kilkunastu amperów. Będzie to wykorzystywane podczas badania zabezpieczenia nadprądowo zwłocznego i nadprądowo bezzwłocznego. Załączenie i wyłączenie układu „0–30A” sygnalizowane jest przez zapalenie się lampki koloru czerwonego obok zacisków laboratoryjnych oznaczonych „0÷30A”. Poniżej tej lampki znajdują się dwa zaciski, do których doprowadzone są styki pomocnicze stycznika „St3”. Styki te wykorzystywane są przy pomiarze czasu działania zabezpieczenia przeciążeniowego. Przycisk oznaczony „3x220/380V” koloru zielonego, służy do załączania napięcia trójfazowego

„St4”, które jest podawane na zaciski laboratoryjne „L1”, „L2”, „L3”. Podanie tego napięcia jest sygnalizowane poprzez zapalenie się trzech lampek, umieszczone obok tych zacisków. Przycisk „wyłącz” koloru czerwonego, służy do wyłączania obwodów załączanych za pomocą przycisków: „=220V DC”, „~0-250V”. Wyłącznik ten nie powoduje wyłączenia napięcia w gniazdkach.

3.3 Opis sekundomierza cyfrowego

Zastosowanie

Miernik SC.-05 jest przenośnym urządzeniem do badania czasów w układach automatyki elektroenergetycznej. Przyrząd ten umożliwia pomiary czasu pomiędzy dowolnymi zboczami dwu prostokątnych impulsów oraz przy pomiarach powtarzających sumę tych czasów. Do wysterowania służą wejścia start (ST) i stop (SP) uruchamiane napięciem stałym. Wyniki oraz funkcje prezentowane są na nowoczesnym energooszczędnym wyświetlaczu wykonanym w technologii PLED. Wszystkie wejścia są izolowane i zabezpieczone przed przepięciami.



Rys. 3.5 Widok płyty czołowej sekundomierza

Funkcje menu:

1. Pomiar
 - 0.000sek – w górnej linijce dokładna wartość sekund,
 - 00h 00m 00.000s – w dolnej godziny minuty i sekundy,
 - pomiar czasu pomiędzy impulsem START i STOP (w zależności od ustawień),
 - po zakończeniu pomiaru istnieje możliwość zapisania wyników – przycisk START,
2. Ustawienia transmisji
 - a) Kasowanie: automatyczne / ręczne,
 - b) Suma: pojedynczy/sumowanie,
 - c) Kanały: (START/STOP->WE1) / (START->WE1 STOP->WE2),
 - d) Sygnał: START: NARASTAJĄCE/OPADAJĄCE,
 - e) Sygnał: STOP: NARASTAJĄCE/OPADAJĄCE,
3. Ustawienia transmisji
 - a) Prędkość 9600bps
4. Przegląd wyników pomiaru

Nr pomiaru (1-99), wynik pomiaru (w sekundach)
Data pomiaru, godzina pomiaru.

Przygotowanie urządzenia:

- a) Przed przystąpieniem do pomiarów należy bezwzględnie upewnić się czy badane urządzenie zostało prawidłowo połączone do układu pomiarowego.
- b) Sprawdzić stan naładowania akumulatorów SC-05 (wybrać Bateria/Ladowanie powinno być, co najmniej 80%)

Upewnić się czy przewody połączeniowe zwłaszcza START/STOP są prawidłowo spolaryzowane oraz że nie posiadają uszkodzeń mechanicznych izolacji.

Połączenie sekundomierza do pomiarów na stanowisku laboratoryjnym.

- Przewody **ST** (start) podłączyć do zestyku stycznika załączającego układ „**0÷30A**” na stole laboratoryjnym; czerwony do jednego z zacisków zestyku, do drugiego dołączyć (+) napięcia stałego =220VDC, czarny przewód dołączyć do zacisku (-) napięcia stałego =220VDC,

- Przewody **SP** (stop) podłączyć do listwy **X1**(Tabela 3.1.): Czerwony – zacisk „Sygnał na otwarcie wyłącznika”, Czarny przewód (-) „-220V DC.

- Ustawienia sekundomierza:

Kasowanie: ręczne,

Suma: pojedynczy,

Kanały: (START->WE1 STOP->WE2),

Sygnał: START: NARASTAJĄCE,

Sygnał: STOP: NARASTAJĄCE,

4 Ćwiczenie laboratoryjne

4.1 Opis ZAZ - ZL-10

Zespół Automatyki Zabezpieceniowej typu ZL-10 przeznaczony jest do zabezpieczania linii odpływowych z wyjściem napowietrznym lub kablowym przed skutkami zwarć między przewodowych i doziemnych. Zespół zabezpieczeń ZL-10 stanowi kompletne zabezpieczenie pola liniowego w zakresie wymaganych rodzajów zabezpieczeń. Przystosowany jest do współpracy z układami telemechaniki w zakresie telesygnalizacji i zdalnego sterowania wyłącznikiem oraz może być instalowany w stacjach z bateriami akumulatorów.

Wygląd zewnętrzny bloków i komponentów zespołu automatyki zabezpieceniowej przedstawiono na Rys. 4.1.

nr. pola															
1	4	5	6	7	8	9	12	13	14	15	17	20	24		
BW-1009	$I>/A$ $4+\Sigma\Theta A$	$I>>/A$ $10+\Sigma\Theta A$	ΔI_p $\psi=0^\circ$ $\Delta\psi$ $I=0,2+\Sigma\Theta$ $Tk=0,1s$	T/s $4+\Sigma\Theta A$	\square	BA-103		T/s $4+\Sigma\Theta A$	T/s $4+\Sigma\Theta A$	BA-102	BWY-12	BZ-15	\square		
0,2 ①	1 ①		0,2 ①	0,2 ①			1 ①	0,05 ①	0,5 ①					○ 1	
0,4 ①	2 ①		0,4 ①	0,4 ①				0,1 ①	1 ①					○ 2	
0,8 ①	4 ①		0,8 ①	0,8 ①	● $I>$		2 ①	0,2 ①	2 ①					○ 3	
1,6 ①	8 ①		1,6 ①	1,6 ①	● $>T$			0,4 ①	4 ①					○ 4	
3,2 ①	16 ①		3,2 ①	3,2 ①	● $>>T$			0,8 ①	8 ①					○ 5	
6,4 ①	∞ ①		6,4 ①	6,4 ①	● PoT			1,6 ①	16 ①					○ 6	
T/s $0,1+\Sigma\Theta$			T/s $0,2+\Sigma\Theta$	T/s $0,2+\Sigma\Theta$	● RN		3 ①	T/s $0,2+\Sigma\Theta$	T/s $0,5+\Sigma\Theta$					○ 7	
0,1 ①	$Tk=0,1s$	0 ①	0 ①	0,2 ①				0,2 ①	0,5 ①					○ 8	
0,2 ①		0 ①	0 ①	0,4 ①			4 ①	0,4 ①	1 ①						
0,4 ①		0,04 ①	0,04 ①	0,8 ①				0,8 ①	2 ①						
0,8 ①		0,08 ①	0,08 ①	1,6 ①			5 ①	1,6 ①	4 ①						
1,6 ①		0,16 ①	0,16 ①	3,2 ①				3,2 ①	8 ①						
3,2 ①	ITx		0,32 ①	6,4 ①	Sx5		Lx103	6,2 ①	16 ①						
	ITx	ITx	Pox	Tx				Tx	Tx						

Rys. 4.1 Wygląd zewnętrzny poszczególnych bloków i zespołów

Na zastosowanych blokach i komponentach zrealizowano następujące rodzaje zabezpieczeń i układy:

- zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne,
- zabezpieczenie zwarciove,
- zabezpieczenie ziemnozwarciowe Kierunkowe,
- automatykę SPZ,
- automatykę SCO i SPZ po SCO,
- układ do współpracy z telemechaniką,
- sygnalizację wewnętrzną rozruchu i zadziałania,
- sygnalizację zewnętrzną zadziałania,
- układ testowania i pomiarów kontrolnych.

Zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne działa z opóźnieniem, które można regulować i działa na sygnalizację i wyłączenie wyłącznika. Nastawy prądowe można zmieniać w polu nr 4 – górna część komponentu, a zwłokę czasową na dolnej części komponentu pola nr 4 Rys. 4.1. Zabezpieczenie zwarciove bezzwłoczne działa ze stałym opóźnieniem na sygnalizację i wyłączenie wyłącznika. Pobudza ono automatykę SPZ lub ją blokuje. Nastawy prądowe można zmieniać w polu nr 5. Po wciśnięciu „ ∞ ” następuje blokada zabezpieczenia (Rys. 4.1).

Zabezpieczenie ziemnozwarciowe działa na otwarcie wyłącznika i pobudzenie automatyki SPZ. Nastawy czasowe zmienia się w polu nr 7 – górna część komponentu, a prądowe w polu nr 6. Automatyka SPZ jest przystosowana do jednokrotnego lub dwukrotnego działania. Rozruch SPZ następuje w wyniku pobudzenia przez zabezpieczenia działające na wyłączenie wyłącznika. Układ SPZ posiada cztery nastawialne człony czasowe, na których nastawia się:

tpI – czas pierwszej przerwy beznapięciowej w górnej części pola 13 Tx,

tpII - czas drugiej przerwy beznapięciowej w górnej części pola 13 Tx,

t_0 – czas blokady przy jednokrotnym SPZ realizowany jest w dolnej części polu nr 13,
 t_b – czas blokady przy dwukrotnym SPZ realizowany jest w dolnej części pola nr 13,
Blokowanie SPZ przez Zabezpieczenie bezzwłoczne I>> nastąpi po wciśnięciu przycisku 5 w komponencie Lx-103 w polu 12. Automatyka SPZ zareaguje pod wpływem impulsu od Zabezpieczenia kąowego P_0T i wówczas nastąpi:

Cykl WZ po wciśnięciu przycisku 3 i przycisku 4 w komponencie Lx-103,

Cykl WZWZ po wciśnięciu przycisku 4 i przycisku 3 w komponencie Lx-103.

Ponadto po wciśnięciu 3 i 4 w komponencie Lx-103 w polu 12 i zwarcia przycisków 30 i 31 zespołu możliwa jest realizacja wszystkich cykli SPZ po pobudzeniu jego automatyki przez działania Zabezpieczenia ziemnozwarciowego P_0T .

Dla zapewnienia poprawnego działania automatyki SPZ czas przerwy beznapięciowej tpI i $tpII$ oraz blokady t_0 i t_b muszą spełniać następujące zależności:

dla SPZ I : $t_0 > t_{\max \text{ zab}} + t_z + t_w$

dla SPZ II : $t_p > t_{zbr}$

gdzie:

$t_{\max \text{ zab}}$ – największy czas zabezpieczenia działającego na wyłączenie,

t_z – czas własny zamykania wyłącznika,

t_w – czas własny wyłączania wyłącznika,

t_{zbr} – czas zbrojenia napędu wyłącznika.

Układ do współpracy z telemechaniką umożliwia zdalne załączenie i wyłączenie linii oraz zdalne kasowanie sygnalizacji wewnętrznej.

Układ sygnalizacji wewnętrznej rozruchu i zadziałania jest realizowany w komponencie w polu nr 8.

I> - pobudzenie Zabezpieczenia przeciążeniowego,

T> - zadziałanie Zabezpieczenia przeciążeniowego po nastawionym czasie,

I>> - zadziałanie Zabezpieczenia zwarciovowego,

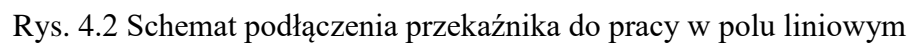
P_0T - zadziałanie Zabezpieczenia kąowego z czasem nastawionym,

RN - rozbrajanie napędu wyłącznika.

Sygnalizacja zewnętrzna zadziałania jest realizowana przez styki zwierne zespołu. Układ testowania i pomiarów kontrolnych jest realizowany w komponencie pola 24, a jego działanie polega na wciśnięciu specjalnego przycisku oznaczonego „TEST”.

Sposób nastawiania wartości rozruchowych

- dokonuje się przez wciśnięcie i przekręcenie o 90° przycisku nastawnika. Wartość nastawiona równa jest sumie wartości wciśniętych przycisków oraz wartości początkowej podanej nad nastawnikiem.



4.1.1 Dane techniczne i zasady nastawiania zespołu ZL-10

Zabezpieczenie przeciążeniowe	
Wartość prądu rozruchowego	4...16,6A,
Uchyb nastawiania względny	5%,
Rozrzut	2,5%,
Człon czasowy	0,1...6,4 s,
Zabezpieczenie zwarciove	
Wartość prądu rozruchowego	10...41A,
Uchyb nastawiania względny	10%,
Rozrzut	5%,
Człon czasowy	0,1 s,
Zabezpieczenie ziemnozwarciowe	
Z układem Holmgreena	0,2...0,8A,
Uchyb nastawiania względny	10%,
Rozrzut	5%,
Człon czasowy	0,1...6,4 s,
Automatyka SPZ	
Czas I przerwy beznapięciowej	0,05...3,2 s,
Czas II przerwy beznapięciowej	0,5...32 s
Czas blokady t_0	0,2...12,8 s,
Czas blokady t_b	0,5...32 s

4.2. Badanie zabezpieczeń SMAZ ZL-10

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

Dla linii o danych przedstawionych w tabeli 4.1. należy obliczyć nastawy wymaganych zabezpieczeń i wpisać je do tabeli 4.2.

Tabela 4.1 Dane parametrów linii napowietrznej

wariant	U_n	I_{dd}	I_w	I_z	X_L	R_L	X_S	R_S	S_q	l
-	kV	A	A	A	Ω	Ω	Ω	Ω	MVA	km
1	30	290	5	42	12,3	13,25	1,98	0,198	500	30
2	30	360	5,5	50	8,5	9,2	1,5	0,15	660	22,5
3	30	220	4,5	40	10,7	11,0	2,02	0,202	490	27
4	30	320	5,5	45	11,5	11,8	1,7	0,17	550	25
5	30	300	5,3	48	8,2	9,1	1,4	0,12	500	20

Gdzie: U_n - napięcie znamionowe linii, rodzaj linii – AFL 6 x 70 mm², I_{dd} - prąd długotrwały, I_w - pojemnościowy prąd własny linii, I_z - prąd ziemnozwarciowy sieci, l - długość linii, R_L - rezystancja linii, X_L - reaktancja linii, R_S - rezystancja systemu, X_S - reaktancja systemu, S_q - moc sytemu.

Tabela 4.4. Obliczone wartości nastaw dla poszczególnych zabezpieczeń

I_r				t	
$I_{>>}$	$I_{>}$	P_oT	Y_{or}	$I_{>}$	P_oT
A	A	A	sim	s	s

Uwaga. Połączenia układu pomiarowego i zespołu zabezpieczeń ZL-10 wykonujemy poprzez listwę WAGO na podstawie danych zawartych w tabeli 3.1. Po przełączeniu wszystkich noży do pozycji testowej obwody analogowe zostają odłączone od urządzenia (przy jednoczesnym zwarcu przekładników prądowych) i stworzona zostaje możliwość prac kontrolno-pomiarowych bezpośrednio na listwie za pomocą gniazd „banankowych” lub dodatkowych zacisków sprężynowych.

4.2.1. Zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne.

Pomiar prądów rozruchowych i powrotnych zabezpieczenia

- zestawić układ pomiarowy jak na Rys. 4.3, przewody obwodu prądowego dołączyć do gniazd banankowych wejścia fazy L1 zabezpieczenia na listwie X1(Tabela 3.1.),
- nastawić minimalny czas działania zabezpieczenia w dolnej części komponentu ITx w polu 4,
- nastawić obliczoną wartość prądu rozruchowego w górnej części komponentu ITx w polu 4,
- zewrzeć rezystor R2 (Rys 3.4.),
- załączyć wyłącznik główny zielonym przyciskiem „załącz” w polu „Wyl główny”,
- włączyć napięcie pomocnicze stałe =220V,
- załączyć układ „0÷30A”
- regulując autotransformatorem A_t zwiększając wartość prądu, doprowadzić do pobudzenia (prąd rozruchu) zabezpieczenia, a następnie zmniejszając wartość prądu odwzbudzić (prąd powrotu) zabezpieczenie.
- wyniki pomiarów i obliczeń zanotować w tabeli 4.1.

Tabela 4.2 Wyznaczania wartości rozruchowych zabezpieczenia przeciążeniowego

I_{nast}	I_r			$I_{r\dot{s}r}$	I_p			$I_{p\dot{s}r}$	I_p	u	r
A	A	A	A	A	A	A	A	A	-	%	%

Na podstawie wyników pomiarów obliczyć:

- współczynnik powrotu k_p

$$k_p = \frac{I_{p\dot{s}s}}{I_{r\dot{s}s}} \quad (4.1)$$

$I_{p\dot{s}r}$ – średnia wartość prądu powrotu,

$I_{r\dot{s}r}$ – średnia wartość prądu rozruchu,

- względny uchyb nastawienia u

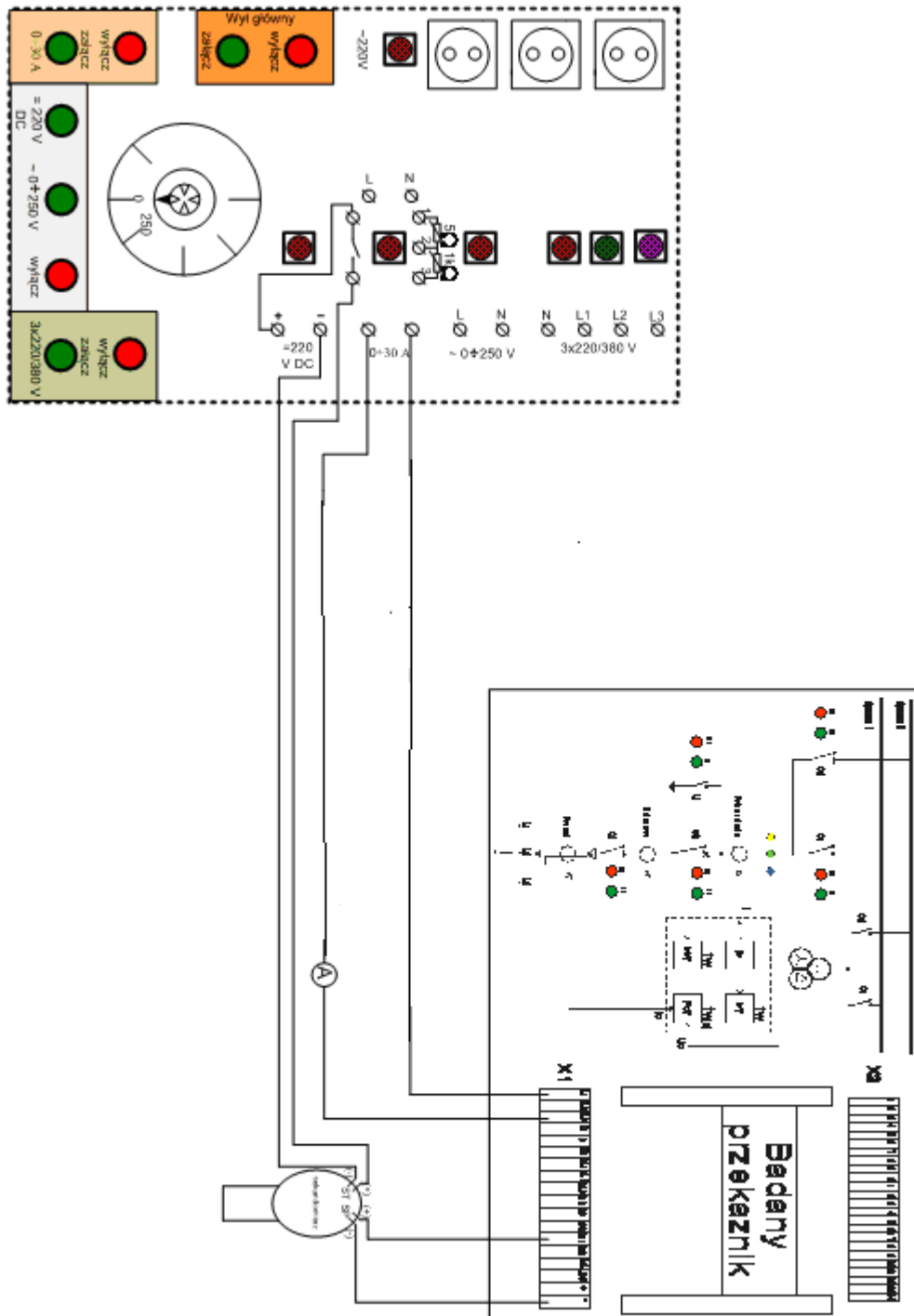
$$u = \frac{I_{r\dot{s}s} - I_{nast}}{I_{nast}} \cdot 100\% \quad (4.2)$$

I_{nast} – nastawiona wartość prądu rozruchu,
 - względny rozrzut wartości rozruchowej r

$$r = \frac{I_{r\max} - I_{r\min}}{I_{nast}} \quad (4.3)$$

$I_{r\min}$ – zmierzona minimalna wartość prądu rozruchowego

$I_{r\max}$ – zmierzona maksymalna wartość prądu rozruchowego



Rys. 4.3 Układ pomiarowy do badania zabezpieczenia nadprądowego zwłocznego i bez-
 włocznego

Pomiar czasu działania zabezpieczenia nadprądowego zwłocznego

- zestawić układ pomiarowy jak na Rys. 4.3, przewody obwodu prądowego dołączyć do gniazd banankowych wejścia fazy L1 zabezpieczenia na listwie X1 (Tabela 3.1.),
- nastawić obliczoną wartość prądu rozruchowego w komponencie 4,
- nastawić obliczony czas działania zabezpieczenia w dolnej części komponentu 4,
- zewrzeć rezystor **R2**,
- załączyć wyłącznik główny zielonym przyciskiem „załącz” w polu „Wyl główny”,
- włączyć napięcie pomocnicze stałe =220V,
- włączyć obwód prądowy **0-30A**,
- regulując autotransformatorem wartość prądu, doprowadzić do zadziałania zabezpieczenia,
- wyłączyć obwód prądowy **0-30A**, skasować sekundomierz,
- załączyć obwód prądowy **0-30A**,
- dokonać pomiaru czasu zadziałania zabezpieczenia,
- wyniki pomiarów zestawzić w tabeli 4.2.

Tabela 4.3 Wyznaczanie czasu zadziałania zabezpieczenia przeciążeniowego

$I_{nast} = \dots\dots$					
t_{nast}	t			u	r
s	s			%	%

Na podstawie wyników pomiarów obliczyć:

- względny uchyb nastawienia u

$$u = \frac{t_{sr} - t_{nast}}{t_{nast}} \cdot 100\% \quad (4.4)$$

t_{nast} – nastawiony czas działania,

t_{sr} , - średni zmierzony czas działania.

- względny rozrzut wartości rozruchowej r

$$r = \frac{t_{max} - t_{min}}{t_{nast}} \cdot 100\% \quad (4.5)$$

t_{min} – zmierzony minimalny czas działania,

t_{max} – zmierzony maksymalny czas działania.

4.2.2. Zabezpieczenie nadprądowe bezzwłoczne.

Pomiar prądów rozruchowych i powrotnych

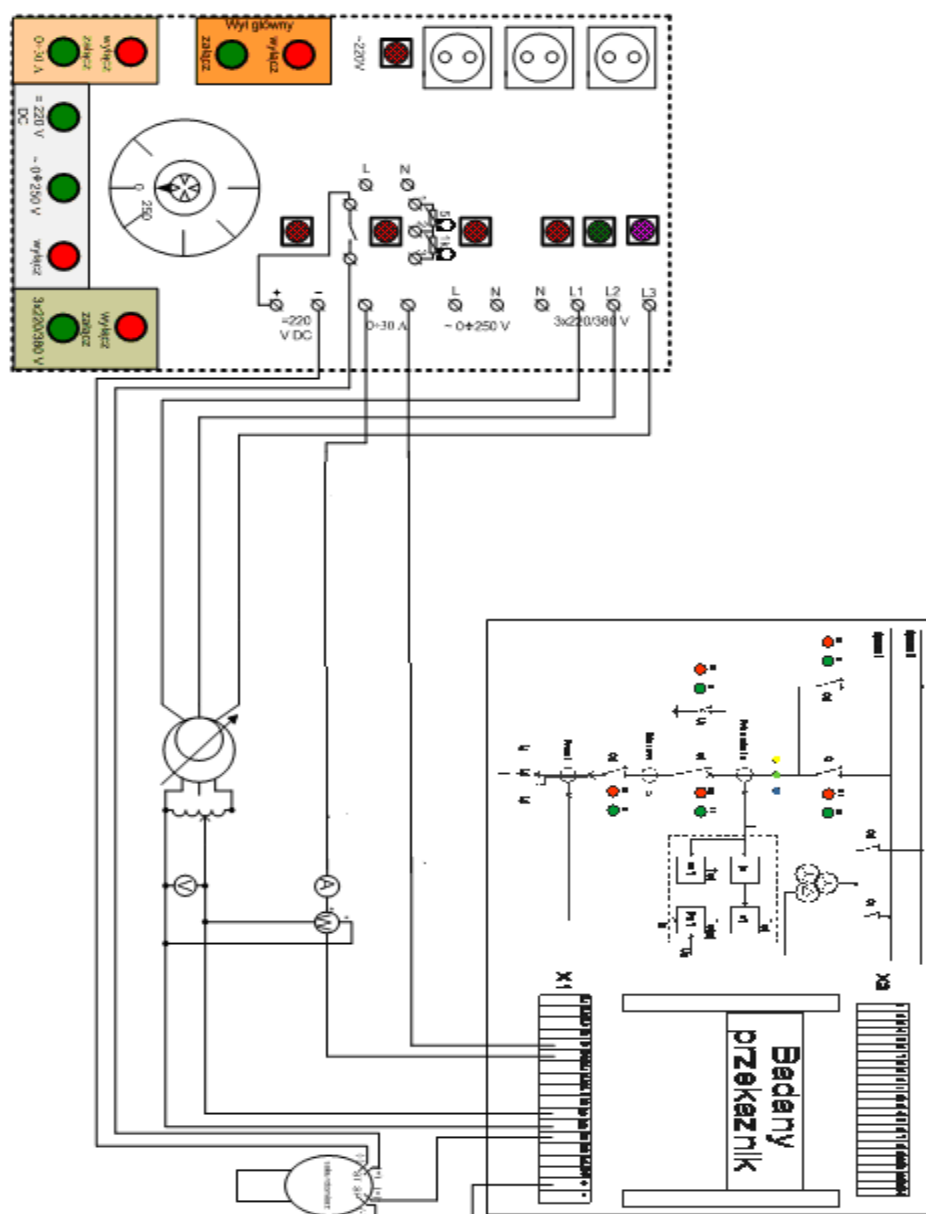
- zestawić układ pomiarowy jak na Rys. 4.3, przewody obwodu prądowego dołączyć do gniazd banankowych wejścia fazy L1 zabezpieczenia na listwie X1 (Tabela 3.1.),
- nastawić obliczoną wartość prądu rozruchowego w komponencie ITx w polu 5,
- zewrzeć rezystor **R2** (Rys 3.4.),
- załączyć wyłącznik główny zielonym przyciskiem „załącz” w polu „Wyl główny”,
- włączyć napięcie pomocnicze stałe =220V,
- załączyć układ „0÷30A”
- regulując autotransformatorem **At** zwiększając wartość prądu, doprowadzić do pobudzenia (prąd rozruchu) zabezpieczenia, a następnie zmniejszając wartość prądu odwzbudzić (prąd powrotu) zabezpieczenie,

- wyniki pomiarów i obliczeń zanotować w tabeli 4.3.

Tabela 4.4 Wyznaczanie wartości rozruchowych i powrotu zabezpieczenia zwarcowego

I_{nast}	I_r			I_{rsr}	I_p			$I_{p\acute{s}r}$	I	u	r
A	A	A	A	A	A	A	A	A	-	%	%

4.2.3. Zabezpieczenie ziemnozwarciowe kierunkowe



Rys. 4.4 Schemat do badania zabezpieczeń ziemnozwarciowych

Wyznaczanie charakterystyki kątowej zabezpieczenia ziemnozwarciowego

- zestawić układ pomiarowy jak na Rys. 4.4, odprowadzić do wejść składowej zerowej prądu i składowej zerowej napięcia na listwie **X1**(Tabela 3.1.): regulowaną wartość prądu z układu **0÷30A**, i składową zerową napięcia z przesuwnika fazowego zasilanego z obwodu **3x220V/380V**,
- nastawić wartość prądu rozruchowego zabezpieczenia ziemnozwarciowego w polu 6, oraz minimalny czas jego działania polu nr 7,
- zewrzeć rezystor **R1**,
- załączyć wyłącznik główny zielonym przyciskiem „**załącz**” w polu „**Wyl główny**”,
- włączyć napięcie pomocnicze stałe **=220V**,
- włączyć obwód przesuwnika fazowego przyciskiem zielonym „**3x220/380V**” i znajdującym się na stole laboratoryjnym autotransformatorem ustawić odpowiednią wartość napięcia tj. 50V lub 100V,
- włączyć zielonym przyciskiem „**0÷30A**” obwód prądowy i regulując autotransformatorem **At** znajdującym się w stole laboratoryjnym ustawić wartość prądu około 1A.
- wyskalować przesuwnik fazowy,

Dokonujemy tego wymuszając przepływ prądu równy prądowi znamionowemu obwodu $I_0=1A$ i nastawieniu napięcia na wartość $U_0=100V$, a następnie zmieniamy położenie wirnika przesuwnika fazowego (zmienia się kąt przesunięcia fazowego), aż do chwili, kiedy wskazówka watomierza wskaże wartość równą zero. Oznacza to, że przesunięcie fazowe między prądem a napięciem wynosi 90° . Po ustawieniu tarczy przesuwnika fazowego w położenie 90° zwieramy na chwilę zaciski cewki prądowej. Przy przesunięciu między prądem i napięciem o charakterze indukcyjnym wskazówka wychyli się poza skalę natomiast, jeśli jest to charakter pojemnościowy to wskazówka wychyla się na skalę. Jeżeli jest to charakter pojemnościowy, odatkowo sprawdzamy zmieniając przesunięcie fazowe od 90° do 0° wskazówka watomierza powinna wychylać się na skalę i w położeniu przesuwnika na 0° watomierz wychyli się maksymalnie.

Wyznaczyć charakterystykę $I_0=f(\varphi_0)$ przy $U_0=constans$.

Pomiaru dokonujemy ustawiając przesuwnik fazowy w położenie 0° i przy stałym napięciu U_0 regulując prąd I_0 autotransformatorem wbudowanym w stół laboratoryjny wyznaczamy prąd rozruchu zabezpieczenia. Następnie zmieniamy, co 10° przesunięcie fazowe w kierunku o charakterze pojemnościowym wyznaczamy prąd rozruchu zabezpieczenia uważając, aby nie przekroczyć prądu 10A, a następnie w kierunku o charakterze indukcyjnych). Wyniki pomiarów zanotować w tabeli 4.4. i na ich podstawie wykreślić charakterystykę kątową $I_0=f(\varphi_0)$, jedną gdy $U_0=50V$, a druga gdy $U_0=100V$.

Tabela 4.5 Wyznaczanie charakterystyki kątowej zabezpieczenia ziemnozwarciowego

$U_0=50V, I_0=$				$U_0=100V, I_0=$			
$\cos\varphi_{ind}$		$\cos\varphi_{poj}$		$\cos\varphi_{ind}$		$\cos\varphi_{poj}$	
I_0	kąt	I_0	kąt	I_0	kąt	I_0	kąt
A	°	A	°	A	°	A	°

Określenie kąta wewnętrznego przekątnika

W celu określenia kąta wewnętrznego przekątnika kierunkowego wyznacza się symetralną krzywej otrzymanej w wyniku wyznaczania charakterystyki katowej zabezpieczenia. W miejscu przecięcia się tej symetralnej z osią odciętych odczytuje się wartość kąta ψ . Wartość kąta przesunięcia wewnętrznego przekątnika kierunkowego można wyznaczyć na podstawie znajomości kątów asymptot charakterystyki katowej.

$$\psi = \frac{\varphi_{ind(as)} - \varphi_{ind(a)}}{2}$$

Pomiar czasu działania zabezpieczenia ziemnozwarciowego

- zestawić układ pomiarowy jak na Rys. 4.4,
- nastawić obliczony prąd rozruchowego zabezpieczenia ziemnozwarciowego w polu 6,
- zewrzeć rezystor **R1**,
- załączyć wyłącznik główny zielonym przyciskiem „**załłącz**” w polu „**Wyl główny**”,
- włączyć obwód przesuwnika i ustalić napięcie zerowe o wartości 100V,
- ustawić przesuwnik fazowy w położenie największej czułości,
- włączyć napięcie pomocnicze stałe =220V,
- włączyć zielonym przyciskiem „**0÷30A**” obwód prądowy i regulując autotransformatorem **At** znajdującym się w stole laboratoryjnym doprowadzić do pobudzenia zabezpieczenia.
- wyłączyć obwód prądowy **0-30A**, skasować sekundomierz,
- załączyć obwód prądowy **0-30A**,
- dokonać pomiaru czasu zadziałania zabezpieczenia,
- wyniki pomiarów zestawić w tabeli 4.5 i porównać z danymi w karcie katalogowej.

Tabela 4.6 Wyznaczenie czasu działania zabezpieczenia ziemnozwarciowego

I ₀ =....., U ₀ =....., φ ₀ =.....						
t _{nast}	t			t _{sr}	u	r
s	s			s	%	%

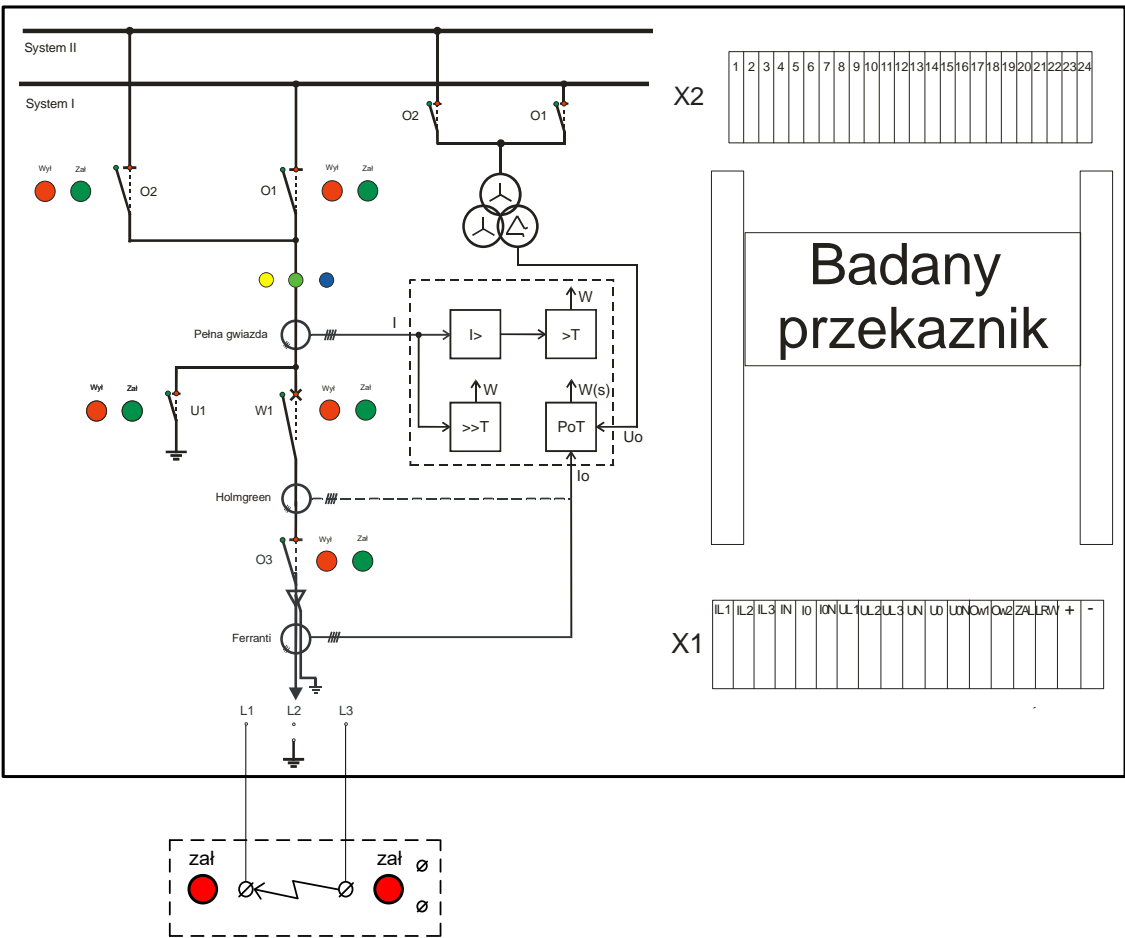
Na podstawie wyników pomiarów obliczyć:

- względny uchyb nastawienia u należy obliczyć ze wzoru (4.4)
- względny współczynnik rozrzutu wartości rozruchowej r należy obliczyć ze wzoru (4.5)

4.3. Sprawdzenie funkcjonalne działania zabezpieczeń

- Sprawdzenie funkcjonalne
 - zestawić układ pomiarowy jak na 5,
 - dokonać wyboru zwarcia,
 - włączyć przycisk „**załłącz**” w polu wyłącznika głównego
 - włączyć napięcie pomocnicze stałe =220V i przemienne ~3x220/380V,
 - doprowadzić do działania zabezpieczenia , wciskając jednocześnie dwa przyciski czerwone oznaczone „**załłącz**” w układzie zwarciovym,

– wyniki pomiarów zanotować w tabeli 4.6.



Rys. 4.5 Schemat układu pomiarowego do sprawdzenia funkcjonalnego zabezpieczeń

Tabela 4.7 Badanie funkcjonalne zabezpieczeń

Rodzaj zwarcia	Stan zabezpieczeń			Uwagi
	Zwłoczne	Bezzwłoczne	Ziemnozwarciowe	
L1-L2				Zabezpieczenie bezzwłoczne aktywne
L2-L3				
L3-L1				
L1-L2				Zabezpieczenie bezzwłoczne zablokować
L2-L3				
L3-L1				
L1-Z				
L2-Z				
L3-Z				

Proponowane oznaczenia przy wypełnianiu tabeli:

PO - (pobudzenie) zabezpieczenie pobudziło się.

WYŁ - zabezpieczenie zadziałało na wyłączenie (wyłącznik został zamknięty)

ND - zabezpieczenie nie pobudziło się, nie zadziałało.

Wnioski końcowe

Na podstawie przeprowadzonego ćwiczenia należy napisać wnioski dotyczące poprawności i skuteczności działania zabezpieczeń linii SN.