

ZABEZPIECZENIA I AUTOMATYKA ELEKTROENERGETYCZNA



Instrukcja do ćwiczenia

Badanie cyfrowego zabezpieczenia różnicowo – prądowego RRTC-1

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z zasadą działania, charakterystykami, sposobami nastawień wielkości rozruchowych oraz metodami badań cyfrowego przekaźnika różnicowo prądowego wzdłużnego RRTC-1.

Polecenie do wykonania w domu przed wykonaniem ćwiczenia.

Narysować schemat połączeń uzwojeń oraz wykresy fazorowe napięć transformatora o grupie połączeń: 1) Yd 1, 2) Yd 5, 3) Yd 7, 4), Yd 11, 5) Yy6, 6) Yy0*

Pytania:

1. Narysować rozplływ prądów zwarciovych w transformatorze o grupie połączeń Yd przy zwarciu dwufazowym po stronie trójkąta.
2. Narysować rozplływ prądów zwarciovych w transformatorze o grupie połączeń Dy przy zwarciu dwufazowym po stronie gwiazdy.
3. Narysować rozplływ prądów zwarciovych w transformatorze o grupie połączeń Dy uziemionym punktem neutralnym przy zwarciu jednofazowym po stronie gwiazdy.

1. Wprowadzenie

Elektroenergetyczna automatyka zabezpieczeniowa stanowi odrębny człon dziedziny automatyki zabezpieczeniowej zajmujący się nadzorem i jednocześnie kierowaniem pracą systemu elektroenergetycznego zarówno w warunkach normalnej pracy jak i podczas różnego rodzaju zakłóceń. Wieloletnie doświadczenie oraz rozwój technologiczny umożliwił opracowanie zabezpieczeń, które są w stanie eliminować zakłócenia w bardzo krótkim czasie, przez co stanowią skuteczniejszą ochronę dla takich elementów systemu jak transformator. Zakłócenia, na które jest on narażony, najprościej można podzielić na wewnętrzne i zewnętrzne. Za najbardziej niebezpieczne uznaje się zakłócenia wewnętrzne w kadzi, którym towarzyszą duże wartości prądów. Przepływ prądów o tak znacznych wartościach powoduje powstania dużych sił dynamicznych, które w połączeniu z palącym się łukiem elektrycznym stwarzają ogromne zagrożenie dla obsługi jak i środowiska. Do ochrony transformatorów przed zwarciami wewnętrznymi służą [2]:

1. zabezpieczenie nadprądowe bezzwłoczne;
2. zabezpieczenie gazowo – przepływowe będące na wyposażeniu transformatorów o mocy powyżej 1MVA;

3. Zabezpieczenie gazowo – podmuchowe komory przełącznika zacze-
pów;
4. Zabezpieczenie różnicowo – prądowe.

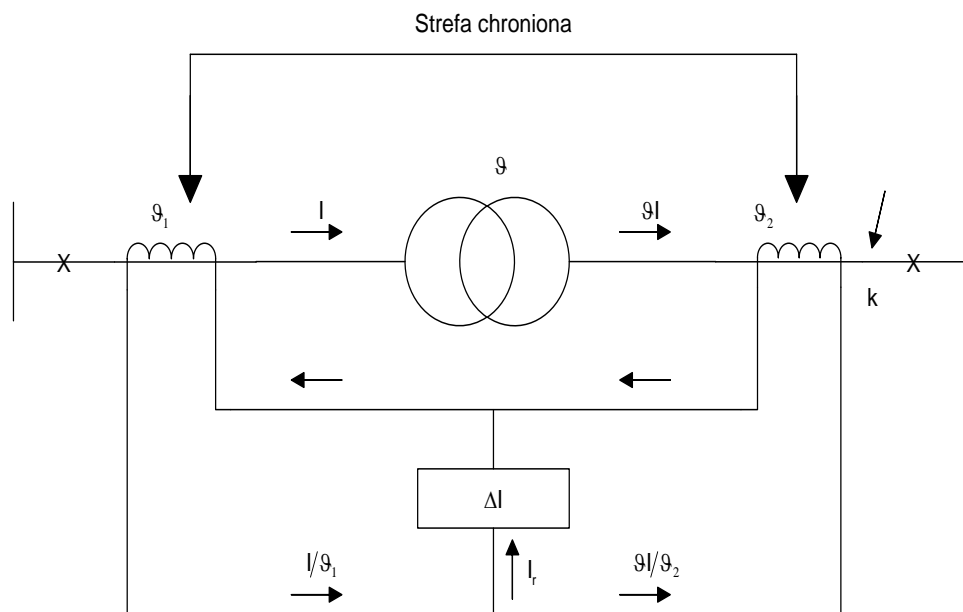
Od zwarć zewnętrznych transformator chronią:

1. Zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne;
2. Zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne z blokadą napięciową;
3. Zabezpieczenie odległościowe;
4. Zabezpieczenie ziemnozwarciowe;

Od przeciążeń ruchowych transformator zabezpiecza się za pomocą:

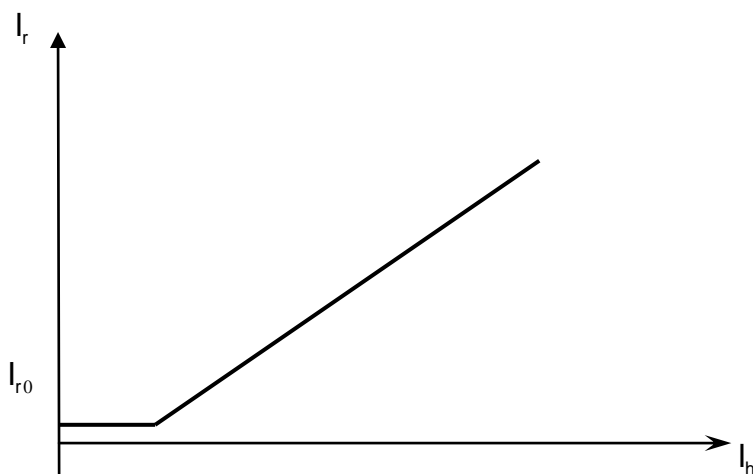
1. Zabezpieczenie nadprądowe niezależne zwłoczne;
2. Zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne, zależne;
3. Zabezpieczenie termometryczne;
4. Zabezpieczenie maksymalnej temperatury typu „Bewag”;
5. Model cieplny.

Zabezpieczenie różnicowo - prądowe jest podstawowym zabezpieczeniem dla transformatorów o mocy większej niż 5 MVA. Jego główną zaletą jest reakcja na wszystkie zwarcia w strefie ograniczonej miejscem zainstalowania przekładników po obu stronach transformatora. Od zabezpieczeń różnicowych wymaga się, aby podczas normalnej pracy oraz przy zwarciach zewnętrznych prąd w gałęzi różnicowej był równy zero, a w przypadku zwarć wewnętrznych był na tyle duży, aby wywołać zadziałanie zabezpieczenia. Warunek ten jest spełniony, kiedy prądy wtórne przekładników prądowych zainstalowanych po obu stronach transformatora są jednakowe, mają takie same amplitudy i fazy. Nawet idealne wyrównanie przekładni nie może sprawić, aby prądy różnicowe były równe zero. Jednym ze sposobów zapewnienia poprawnej pracy zabezpieczenia różnicowego jest wyposażenie go w człon stabilizujący [1].



Rys. 1 Układ różnicowy przekładników prądowych transformatora [7]

Stabilizacja zabezpieczenia różnicowego ma na celu uzyskanie możliwie dużej jego czułości przy jednoczesnym odstrojeniu się od prądu wyrównawczego płynącego w gałęzi różnicowej zabezpieczenia.



Rys. 2 Charakterystyka rozruchowa zabezpieczenia różnicowego wyposażonego w człon stabilizujący [5]

Opracowanie i wykonanie przekaźnika różnicowego o wysokich parametrach nastręcza projektantom ogromnych trudności. Podstawowymi problemami są zarówno właściwości zabezpieczanego transformatora jak i samych przekładników prądowych.

Trudności z praktyczną realizacją tego zabezpieczenia to:

- występowanie udarów prądu magnesującego przy załączaniu transformatora;

- problemy z dopasowaniem przekładni transformatora do przekładni przekładników prądowych;
- niedokładności przekładników prądowych znacznie obciążonych;
- przesunięcie fazowe prądów strony wtórnej względem strony pierwotnej transformatora;
- występowanie różnej przekładni podczas regulacji napięcia.

W celu zapewnienia prawidłowej pracy zabezpieczenia i odstrojenia się udarów prądu magnesującego konieczne jest spełnienie chociażby jednego z warunków [5]:

- zastosowanie zwłoki czasowej wynoszącej około 0,5 – 0,6 s;
- nastawienie przełącznika różnicowego na wartość rozruchową rzędu 2 – 3 In;
- blokowanie zabezpieczenia drugą harmoniczną pojawiającą się w prądzie magnesującym.

W normalnych warunkach pracy tego zabezpieczenia w gałęzi różnicowej zawsze płyną prądy niezrównoważenia. Za przyczyny wywołujące te prądy uważa się:

- brak dokładnego dopasowania przekładni przekładników prądowych zainstalowanych po obu stronach transformatora do przekładni samego transformatora;
- różnice wynikające z odmiennych charakterystyk magnesowania przekładników prądowych;
- przesunięcie kątowe między prądami płynącymi w odpowiadających sobie przewodach fazowych strony wtórnej przekładników prądowych wymuszonych grupą połączeń transformatora.

W zabezpieczeniach starszego typu opartych na technice np. SMAZ konieczne było w celu zapewnienia poprawnej pracy zabezpieczenia ograniczenie prądów niezrównoważenia [1]. Na wartości tych prądów mają wpływ głównie dwa czynniki:

- kąt przesunięcia między tymi samymi prądami płynącymi w gałęzi różnicowej;
- sposoby stopniowania przekładni znamionowych transformatora i przekładników prądowych.

Dzięki rozwojowi techniki cyfrowej udało się wyprodukować zabezpieczenia różnicowego, które nie potrzebują likwidacji przesunięcia kąтового i instalowania dodatkowych przekładników wyrównawczych. Przy dołączaniu przełącznika RRTC-1 do transformatora przekładniki prądowe po obu stronach transformatora łączy się w gwiazdę. Korekta błędu przesunięcia kąтового odbywa się na drodze cyfrowej w algorytmach pomiarowych.

Podany tekst stanowi bardzo skrócone przedstawienie wiadomości dotyczących zabezpieczenia różnicowego. Przed przystąpieniem do wykonywania ćwiczenia należy powtórzyć z wykładu lub przeczytać odpowiednie rozdziały w literaturze [1, 2, 3, 4].

2. Opis zabezpieczenia.

2.1 Wiadomości wstępne

Zabezpieczenie RRTC-1 jest wyłącznie zabezpieczeniem różnicowo – prądowym. Stosowane jest do ochrony transformatorów, generatorów, bloków generator – transformator oraz silników przed skutkami zwarć wewnętrznych. Może ono służyć jako uzupełnienie dla sterowników transformatorów nie wyposażonych w zabezpieczenie różnicowo – prądowe. Dzięki temu, że nie jest ono od nich zależne, uzyskuje się bardzo dobre rezerwowanie się zabezpieczeń i lepszą ochronę transformatora. Zabezpieczenie to służy do ochrony transformatorów dwuuzwojeniowych.

2.1 Opis i zasada działania

Dzięki wykorzystaniu techniki mikroprocesorowej w zabezpieczeniu różnicowym RRTC-1 możliwe było wyeliminowanie stosowania przekładników wyrównawczych. Uzyskana przez konstruktorów charakterystyka stabilizowana umożliwia zarówno prawidłową pracę w czasie regulacji napięcia jak i przy znacznych prądach uchybowych przekładników prądowych. Wyposażony jest on również w układ blokujący drugą i piątą harmoniczną. W przypadku wystąpienia znacznych prądów zwarciovych, większych niż wynika to z napięcia zwarcia zabezpieczenie zachowuje się jak przekaźnika nadprądowy bezzwłoczny. Gwarantuje to prace przekaźnika w przypadku wystąpienia silnych nasycień przekładników prądowych.

W zabezpieczeniu różnicowym RRTC-1 znajdują się dwa rejestratory:

- rejestrator kryterialny;
- rejestrator zdarzeń.

Rejestrator kryterialny ma możliwość zapisu dwudziestu ostatnich rejestracji. Jego inicjacja następuje w chwili pojawienia się udarów prądu magnesującego, zwarć wewnętrznych i zewnętrznych. Dostarcza informacje dotyczące prądu rozruchowego, hamującego oraz prądów o częstotliwości 100 Hz i 250 Hz zapisując ich amplitudy. Dzięki informacjom z rejestratora możliwa jest wnikliwa analiza zaistniałych zakłóceń, jak i korekta nastawień. Rejestrator zdarzeń ma za zadanie zapisywanie zmian nastawień, załączanie napięcia zasilania transformatora, wykonanie testu sprawności oraz zadziałanie przekaźnika. Podczas zadziałania zabezpieczenia rejestrator zbiera informacje o

wartościach prądu rozruchowego i blokującego jak i prądów płynących po obu stronach transformatora w czasie wystąpienia zakłócenia [9].

Wartości prądu różnicowego i hamującego wylicza się z zależności:

$$I_r = |\underline{I}_1 + \underline{I}_2|$$

$$I_h = I_{\max} - 0,5I_r$$

gdzie:

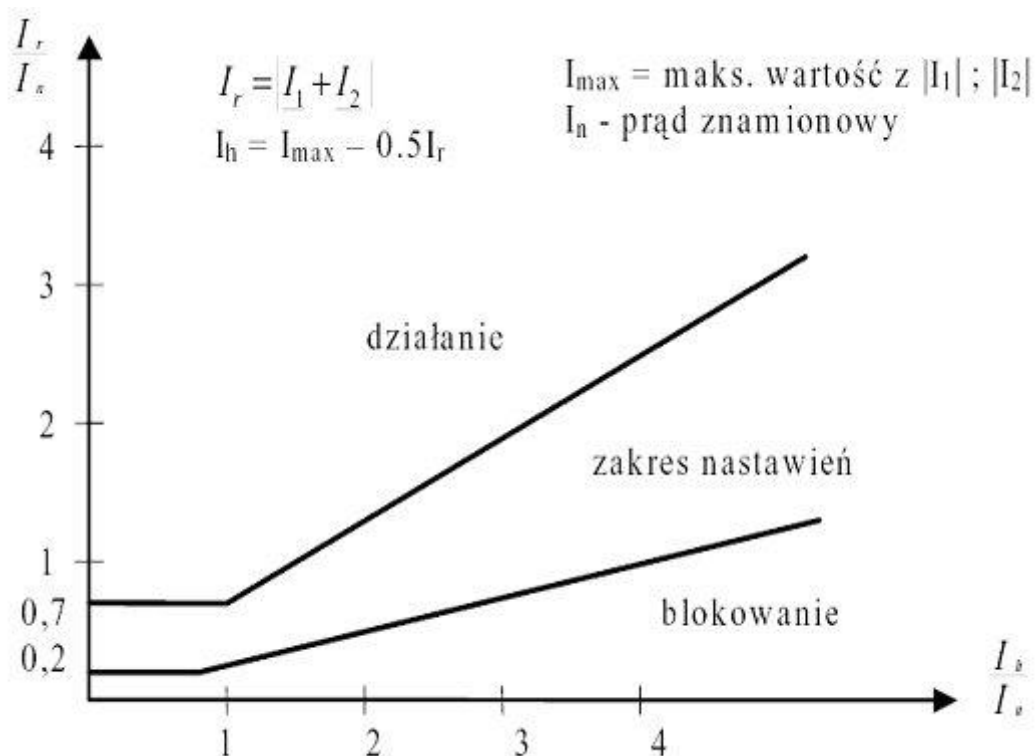
$\underline{I}_1, \underline{I}_2$ - prądy dopływające do transformatora;

I_{\max} - maksymalny prąd dopływający do transformatora;

I_r - prąd rozruchowy;

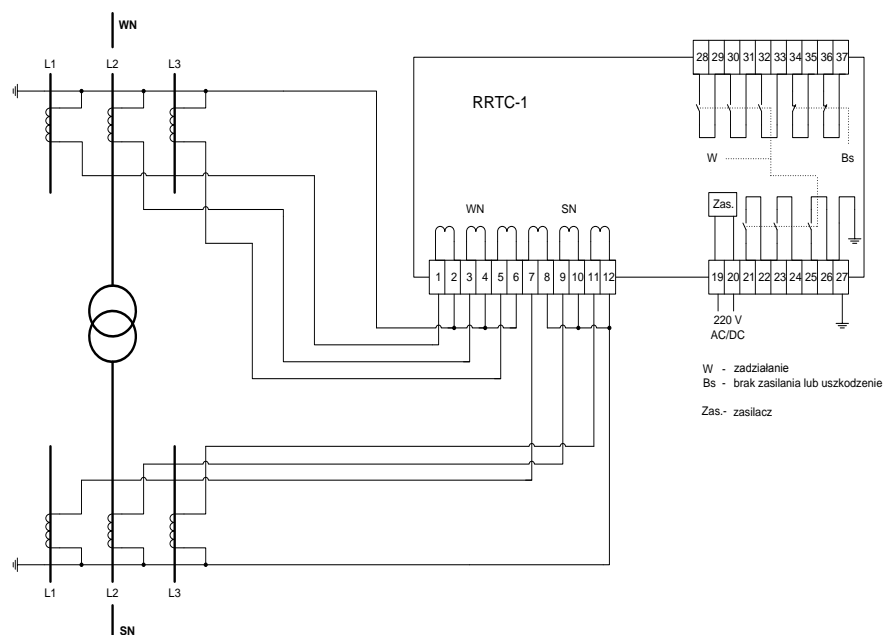
I_h - prąd hamujący.

Jak można zauważyć na rysunku przedstawiającym charakterystykę stabilizacji inicjacja przekaźnika następuje wówczas gdy wartość prądu rozruchowego I_r jest większa niż wartość prądu blokowania I_b . Za prąd blokowania przyjmuje się sumę prądu hamującego I_h wraz z nastawionym współczynnikiem stabilizacji k_h łącznie z prądem hamującym wynikającym z drugiej i piątej harmonicznej. Za wartość minimalną prądu blokowania uważa się nastawioną wartość początkową prądu rozruchowego I_{r0} . Wartość współczynnika hamownia i drugiej i piątej harmonicznej nastawiana jest przez serwis [9].



Rys. 2.1 Charakterystyka stabilizacji przełącznika RRTC-1

Przekładniki prądowe główne łączy się w gwiazdę, według uznania mogą być uziemiane bezpośrednio przy przekładnikach. Należy zwrócić uwagę na fakt, że zmiana uziemienia w jednym z przekładników powoduje niezwłoczną zmianę w przełączniku zadanej grupy połączeń transformatora na przykład z Yd11 na Yd5. W związku z brakiem w zabezpieczeniu RRTC-1 przekładników wyrównawczych dopasowanie amplitudowe i fazowe realizowane są przez odpowiednie wzory w algorytmie pomiarowym. Schemat zamieszczony poniżej przedstawia układ przyłączenia przełącznika RRTC-1 do transformatora.



Rys. 2.2 Schemat przyłączenia przekaźnika różnicowego RRTC-1 do obwodów wtórnych rozdzielni transformatora [9]

2.2 Sposoby zmian nastawień przekaźnika RRTC-1

Wprowadzanie nastawień może być wykonywane za pomocą klawiatury i wyświetlacza umieszczonego na płycie czołowej przekaźnika lub komputera z zainstalowanym oprogramowaniem dostarczonym przez wytwórcę. Producent zapewnił zmianę następujących parametrów [9]:

- prąd rozruchowy przekaźnika (przeważnie $0,5I_n$) dla przekaźnika przeznaczonego do zabezpieczenia transformatora dwuuzwojeniowego prądem I_n , jest prąd uzwojenia wtórnego przekaźników strony SN przy pracy w warunkach znamionowego obciążenia;
- współczynnik stabilizacji (standardowo nastawiany 0,5);
- grupę połączeń transformatora;
- prądy pierwotne przekładników obu stron transformatora;
- znamionowe prądy uzwojenia górnego i dolnego napięcia transformatora.

W przypadku zmian nastawień za pomocą komputera dostępne są dodatkowo nastawienia serwisowe:

- skrócenie czasu działania zabezpieczenia;
- dostosowanie przekaźnika do współpracy ze źle dobranymi przekładnikami, itp.

Producent w miarę możliwości dokonuje analiz danych otrzymanych z rejestratora kryterialnego.

Standardowe nastawienia serwisowe:

WSP 100 Hz – 5, WSP 250 Hz – 4, WSP MOD – 3

limit 100 Hz – 20, limit 250 Hz – 5, limit RTT – 25

2.2.1 Komunikacja za pomocą klawiatury i wyświetlacza

Komunikacja z użytkownikiem odbywa się przy użyciu klawiatury za pomocą pięciu przycisków. Dodatkowo przekaźnik jest wyposażony w wyświetlacz ciekłokrystaliczny zawierający cztery linijki po dwadzieścia znaków. Na płycie czołowej znajdują się dwie diody typu LED. Świecąca dioda zielona oznajmia obsłudze poprawną pracę zabezpieczeń (czuwanie), a czerwona wskazuje zadziałanie zabezpieczenia. Po menu użytkownik porusza po pętli w jednym kierunku. Wejście do kolejnej pętli dokonuje się klawiszem *ENTER*, zaś klawisz *MENU* przewija w pętlę w jednym kierunku. W przypadku, kiedy chcemy wyjść z danej pętli musimy kontynuować przewijanie do końca pętli [9].

Klawisze na płycie czołowej mają następujące zadania:

MENU -przycisk ten powoduje przejście do następnego okna funkcyjnego lub do następnej cyfry lub przewija rejestrator zdarzeń;

„+” i „-” -przyciski te są aktywne tylko w przypadku zmiany nastawień lub wprowadzenia kodu, zwiększają lub zmniejszają aktywowanego nastawienia lub cyfry;

ENTER -przyciskiem tym otwiera się zaznaczoną funkcję lub za twierdza nastawioną wartość;

KASOWANIE -przycisk ten wygasza diodę wskazującą zadziałanie zabezpieczenia, zamyka procedurę testu, przerywa przeglądanie rejestratora i wraca do pierwszego zdarzenia, zapewnia powrót do *MENU* w przypadku podania złego hasła.

Z poziomu klawiatury dostępne są funkcje:

- *Nastawienie*;
- *Pomiary*;
- *Rejestrator*;
- *Test*.

2.2.2 Funkcja *Nastawienie*

Po wyborze tej funkcji użytkownik ma do wyboru opcje:

- *Przeglądanie* – ta opcja umożliwia przeglądanie nastaw przekaźnika, nie wymaga znajomości kodu dostępu;

- *Zmiana* – opcja ta wymaga podania kodu dostępu za pomocą klawiszy „+” i „-”.

W ostatnim oknie pętli nastawień mamy możliwość wyboru pomiędzy poleceniami *Zmiana nastawień* a *Porzucenie nastaw*. W przypadku wyboru pierwszego polecenia i zatwierdzenia go przyciskiem ENTER wówczas do pamięci przekaźnika zostaną wpisane nowe nastawy. Wybór drugiego polecenia i zatwierdzenia go powoduje pozostawienie starych nastaw [9].

2.2.3 Funkcja *Pomiary*

Aktywowanie tej funkcji umożliwia użytkownikowi odczyt aktualnej wartości poszczególnych faz:

- prądu różnicowego I_r ;
- prądu hamującego I_h ;
- prądów pierwotnych transformatora strony górnego napięcia I_{WN} ;
- prądów wtórnych transformatora strony dolnego napięcia I_{SN} ;

W zabezpieczeniu tym prądy I_r oraz I_h są przeliczone na stronę wtórną przekładników prądowych strony dolnego napięcia transformatora. Przy wyborze grup połączeń Yy(d)0 oraz Yy(d)6 prądy I_r i I_h oblicza się uwzględniając prądy fazowe zmniejszone o składową zerową obliczoną z zależności

$$I_0 = (I_{L1} + I_{L2} + I_{L3})/3$$

gdzie:

$I_{L1} + I_{L2} + I_{L3}$ - suma prądów jednej strony transformatora WN lub SN

2.2.4 Funkcja *Rejestrator*

Rejestrator zdarzeń umożliwia z rozdzielczością 10 ms zapisywanie następujących zdarzeń:

- włączenie napięcia zasilania;
- zmiana nastawień;
- wykonanie testu sprawności zabezpieczenia;
- wystąpienie uszkodzeń;
- zadziałanie przekaźnika;

W czasie zadziałania przekaźnika po upływie 20 ms od inicjacji zabezpieczenia dodatkowo zapisywane wartości:

- prądów fazowych po obu stronach transformatora;
- maksymalne wartości prądu rozruchowego I_r i blokującego I_b .

2.2.5 Funkcja *Test*

Dzięki tej funkcji możliwe jest zainicjowanie zadziałania przełącznika przy wcześniejszym wprowadzeniu kodu dostępu. Uzyskuje się to poprzez wciśnięcie klawisza *ENTER* po wcześniejszym wybraniu okna *Test*. Po wybraniu tej funkcji zestyki przełącznika zamykają się na czas 1s bądź do czasu zakończenia przytrzymywania przycisku *Test*.

2.3 Obsługa za pomocą komputera PC

2.3.1 Wymagania sprzętowe:

Do wymiany informacji pomiędzy komputerem a zabezpieczeniem RRTC-1 potrzebny jest komputer PC z łączem RS-232 oraz systemem operacyjnym WINDOWS, dodatkowo konieczny jest kabel do RS-232 oraz program obsługi RRTC-2B. Według zapewnień producenta nie ma minimalnych wymagań sprzętowych co do komputera.

Dzięki sterowaniu zabezpieczenia za pomocą komputera użytkownik uzyskuje:

- przejrzystość i łatwość dokonywania nastawień;
- dostęp do większej liczby pomiarów i zdarzeń znajdujących się w rejestratorze;
- dostęp do rejestratora kryterialnego;
- możliwość korzystania z oscylogramu;
- możliwość drukowania zdarzeń z rejestratora kryterialnego i oscyloskopu;
- możliwość zerowania rejestratorów oraz zmian kodu.

Po uruchomieniu program RRTC-2B wyświetlone zostają dwie kolumny przedstawiające nastawienia przełącznika. W lewej kolumnie widnieją parametry nastawione, zaś w prawej możliwe do nastawienia. Do odczytania bieżących ustawień zabezpieczenia należy wcisnąć przycisk za napisem *Odczyt nastaw*, natomiast w przypadku zapisu zaproponowanych ustawień należy wybrać przycisk *Zapis nastaw*. W górnej części programu umieszczony jest pasek narzędziowy do obsługi. Znajdują się tam poszczególne funkcje [9]:

- *Plik*;
- *Pomiary -1*;
- *Pomiary -2*;
- *Rejestrator*;
- *Hasło*;

- *Obsługa.*

2.3.2 Funkcja *Plik*

Wybór tej funkcji umożliwia użytkownikowi za pomocą opcji *Otwórz* pobieranie danych z archiwum oraz ich zapisywanie przy pomocy opcji *Zapisz*.

2.3.3 Funkcja *Pomiary-1*

Aktywowanie tej opcji daje możliwość odczytu poszczególnych prądów przeliczonych na stronę wtórną przekładników prądowych zainstalowanych po stronie dolnego napięcia transformatora:

- maksymalnego prądu różnicowego, blokującego, hamującego;
- maksymalnych prądów drugiej i piątej harmonicznej;
- fazowych prądów różnicowego i hamującego;
- fazowych prądów drugiej harmonicznej;

2.3.4 Funkcja *Pomiary-2*

W tym przypadku jest możliwość:

- odczytu prądów strony WN i SN transformatora;
- wyświetlenia w pięciu uaktywnionych oknach prądów (funkcja oscyloskop):
- I_{L1WN} , I_{L2WN} , I_{L3WN} strony górnego napięcia transformatora;
- I_{L1SN} , I_{L2SN} , I_{L3SN} strony dolnego napięcia transformatora;
- $I_{L1WN} + I_{L1SN}$;
- $I_{L2WN} + I_{L2SN}$;
- $I_{L3WN} + I_{L3SN}$.

2.3.5 Funkcja *Rejestrator*

Uaktywnienie funkcji *Rejestrator* daje możliwość obsługi trzech rejestratorów:

- ogólnego;
- zdarzeń;
- kryterialnego.

Rejestrator ogólny zapisuje:

- załączenie napięcia pomocniczego;
- zmianę nastawień (zapisywany jest czas i nastawiane parametry);

- zadziałanie zabezpieczenia;
- wykonanie testu sprawności przekąźnika;
- wystąpienie uszkodzenia zabezpieczenia.

Rejestrator zdarzeń daje możliwość odczytu wartości poszczególnych wielkości w chwili zadziałania przekąźnika:

- maksymalnego prądu sumy blokowania I_{bl} ;
- maksymalnego prądu rozruchowego I_{rr} ;
- prądów strony górnego i dolnego napięcia $I_{WN1}, I_{WN2}, I_{WN3}; I_{SN1}, I_{SN2}, I_{SN3}$.

Rejestrator kryterialny zawiera pięć okien, w których kolejno widnieją:

- wartości prądu różnicowego maksymalnego i blokującego maksymalnego;
- wartość prądu blokującego w przypadku wystąpienia zwarcia wewnętrznego zostaje zmniejszona przez algorytmy identyfikujące to zwarcie w transformatorze;
- wartość maksymalnego prądu hamującego;
- stosunek wartości maksymalnego prądu różnicowego i maksymalnego prądu blokującego – czyli iloraz wielkości z pierwszego okna, który jest współczynnikiem bezpieczeństwa, w przypadku wystąpienia zwarcia zewnętrznego bądź w czasie załączania transformatora współczynnik spadnie poniżej wartości 1,3 oznaczać to będzie, że zabezpieczenia jest ustawione zbyt czule. Na wykresie objawi się to zmianą przebiegu z koloru żółtego na czerwony;
- wartość prądu blokowania drugiej harmonicznej;
- wartość prądu blokowania piątej harmonicznej;

Gdy w czasie pracy transformatora współczynnik bezpieczeństwa w oknie trzecim spadnie poniżej swojej wartości granicznej 1,3 wówczas należy dokonać korekty nastawień poprzez zmianę prądu rozruchowego bądź nachylenia charakterystyki, dodatkowo serwis ma możliwość zmiany współczynników hamowania drugiej i piątej harmonicznej.

Po oknie rejestratora poruszać się można za pomocą myszki, aby móc wczytać odpowiednie zdarzenie z *okna zdarzeń* należy je wybrać i aktywować prawym klawiszem myszki (możliwa jest aktywacja z poziomu klawiatury komputera za pomocą klawisza *ENTER*). Istnieje również możliwość zmiany wzmocnienia, która jest dokonywana za pomocą strzałek znajdujących się w prawym górnym rogu we wszystkich oknach. Przebiegi przedstawiane w rejestratorze kryterialnym skonstruowane są z punktów odpowiadających próbkowaniu. Do odczytania współrzędnych danego punktu służą kursory, które przesuwają się jednocześnie we wszystkich oknach. Można tego dokonać za pomocą myszki, klikając w żądany punkt lub za pomocą strzałek na klawiaturze

komputera. Zaznaczone kursorami punkty odpowiadają wartościom prądów, które można odczytać w okienkach pomiarowych. Dodatkowo w tablicy znajdują się wartości prądów fazowych zapisanych po 20 ms od momentu uruchomienia rejestratora [7].

2.3.6 Funkcja *Hasło*

Jak sama nazwa mówi funkcja ta umożliwia zmianę hasła. Przyjęto zasadę, że osoba z komputerem, na którym zainstalowany jest program RRTC-2B ma możliwość zmiany hasła i nastaw.

2.3.7 Funkcja *Obsługa*

Ta funkcja daje możliwość użytkownikowi:

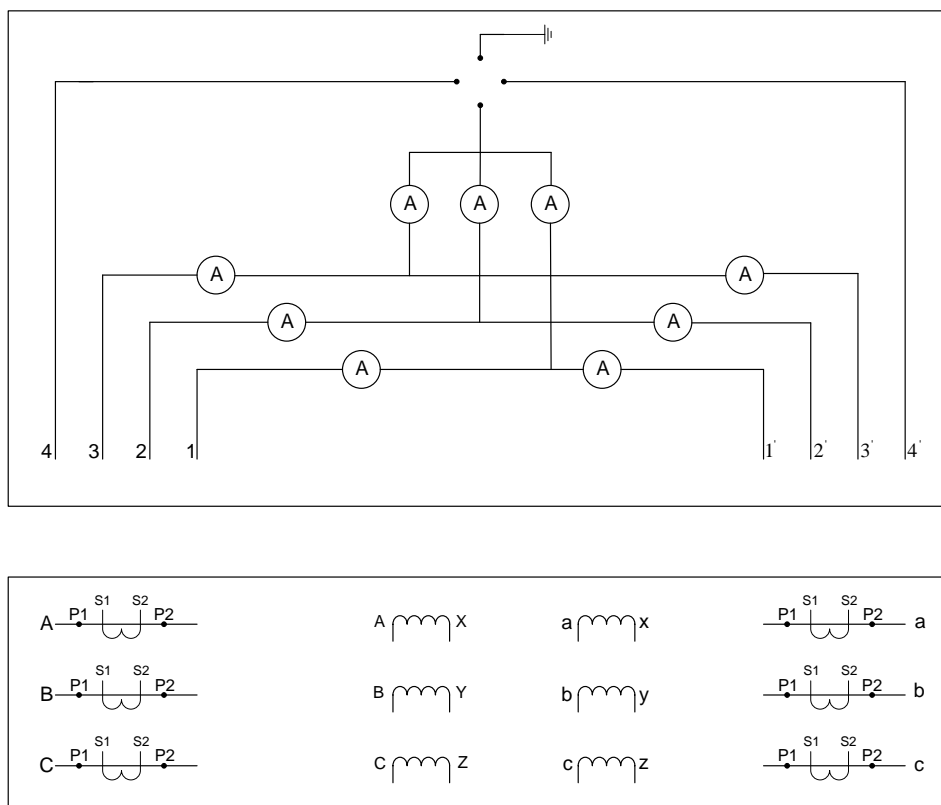
- wyzerowanie rejestratora kryterialnego i zdarzeń;
- wyzerowanie licznika załączeń i działań;
- dostęp do nastawień serwisowych (wersja dostępna dla serwisu);

1. Ćwiczenie laboratoryjne

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z zasadą działania, charakterystykami i sposobami nastawień wielkości rozruchowych zabezpieczenia różnicowego wzdłużnego RRTC-1.

3.1 Charakterystyka stanowiska laboratoryjnego

Do przeprowadzenia ćwiczenia wykorzystano istniejące stanowisko laboratoryjne przedstawiona na rysunku, które zawiera model fizyczny transformatora wraz z przekładnikami prądowymi.



Rys. 2 Widok strony czołowej stanowiska laboratoryjnego do badania zabezpieczenia różnicowego transformatora [5]

3.2 Pomiar prądu rozruchowego

Ćwiczenie to polega na powolnym zwiększaniu wartości prądu w obwodzie prądowym (strona wysokiego bądź średniego napięcia) dążąc do zadziałania przekaźnika a następnie powolne zmniejszanie wartości prądu do czasu, kiedy przekaźnik powróci do swojego stanu początkowego. Schemat połączeń przedstawiony jest poniżej na rysunku 3. Pomiary należy wykonać dla różnych wartości I_{r0} . Wartość prądu przy wymuszaniu oblicza się ze wzoru:

Od strony WN:

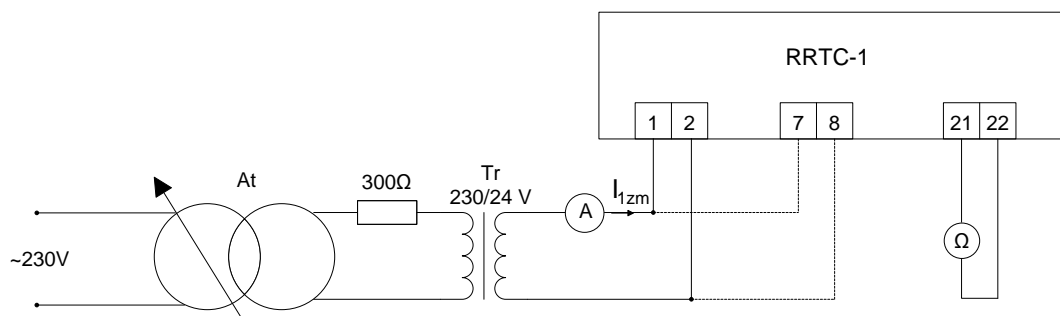
$$I_{rWN} = \frac{I_r \cdot g_{SN}}{k \cdot g_T}$$

Od strony SN:

$$I_{rSN} = \frac{I_r}{k} g_{SN}$$

gdzie:

- I_{rWN} - prąd rozruchowy po stronie WN
- I_{rSN} - prąd rozruchowy po stronie SN
- \mathcal{G}_{SN} - przekładnia przekładników strony SN
- \mathcal{G}_T - przekładnia transformatora
- k - współczynnik z tabeli 2



Rys. 3 Schemat do badania wartości prądu rozruchowego przekaźnika RRTC-1

Tabela 1 Tabela do pomiarów prądu rozruchowego

Lp	I_r	I_{1zm}	I_{rWN}	Δ	ε
-	A	A	A	-	%

Tabela 2 Wartości współczynnika k w zależności od zasilania przekaźnika

Grupa Połączeń	Trójfazowe symetryczne. Od strony:		Dwufazowe prądem jedno-fazowym od		Jednofazowe od strony	
	WN	SN	WN	SN	WN	SN
Y - D	1	1	$2/\sqrt{3}$	1	$1/\sqrt{3}$	1
Y - Y	1	1	1	1	1	1
Y - Y(d)	1	1	1	1	2/3	2/3

3.3 Wyznaczanie charakterystyki stabilizacji $I_r = f(I_h)$

W celu wyznaczenia charakterystyki stabilizacji należy zasilić przełącznik obustronnie (rysunek 4). Następnie ustawić stałą wartość prądu I_2 mniejszą niż I_{r0} i zwiększać prąd I_1 do stanu zadziałania zapisując wartości prądów I_1, I_2 . Dalej konieczne jest zmniejszenie wartości prądu I_1 poniżej wartości prądu powrotu i ustawienie nowej wartości prądu I_2 . Kolejnym krokiem jest zwiększanie prądu I_1 do wartości powodującej zadziałanie przełącznika. Pomiary wykonujemy dla kilku wartości prądu I_{r0} i współczynnika stabilizacji k_h . Należy pamiętać, aby żaden z prądów nie przekroczył wartości 4 A. Po zakończeniu pomiarów należy wyliczyć wartości prądu rozruchowego I_r i hamującego I_h ze wzorów:

$$I_r = |I_1 + I_2|$$

$$I_h = I_{\max} - 0,5I_r$$

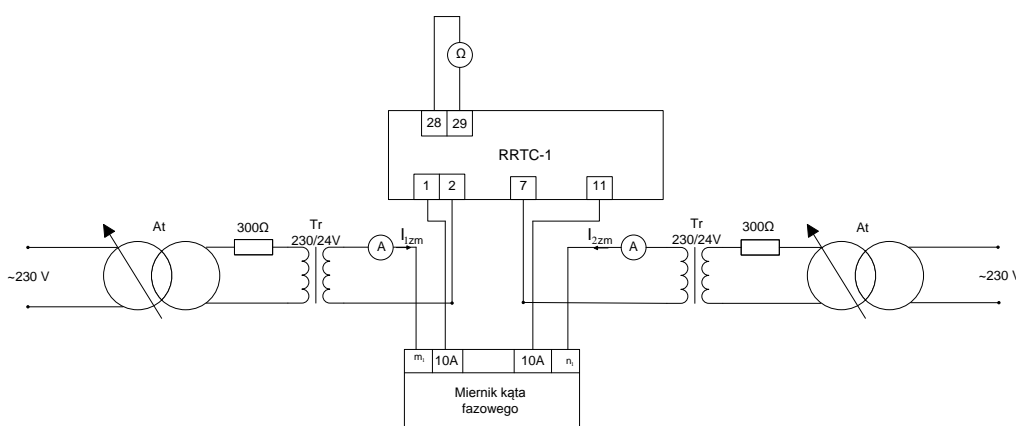
gdzie:

I_1, I_2 - prądy dopływające do transformatora

I_{\max} - maksymalny prąd dopływający do transformatora

I_r - prąd rozruchowy

I_h - prąd hamujący



Rys. 4 Schemat do badania charakterystyki stabilizacji $I_r = f(I_h)$

Tabela 3 Tabela do pomiarów charakterystyki stabilizacji

Lp	I_{1zm}	I_{2zm}	I_r	I_h
-	[A]	[A]	[A]	[A]

gdzie:

I_{1zm} - prąd płynący do przekaźnika od strony WN;

I_{2zm} - prąd płynący do przekaźnika od strony SN;

I_r - prąd różnicowy;

I_h - prąd hamujący.

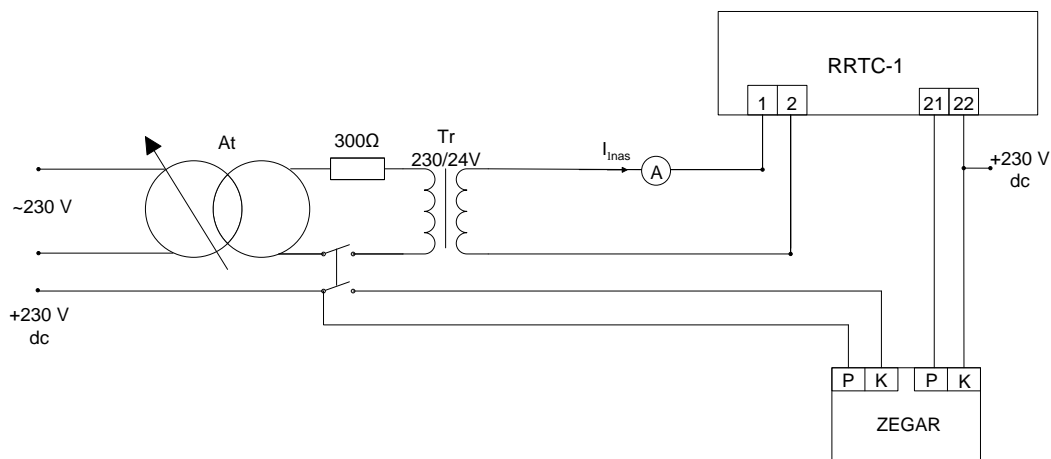
Tabela 4 Sposób zasilania przekaźnika RRTC-1 w zależności od grupy połączeń

Grupa połączeń	Strona WN Prąd I_{1zm}		Strona SN Prąd I_{2zm}		Przeliczania prądu I_{1zm} na I_I
	Wpływa	Wyżywa	Wyżywa	Wpływa	
Yd11	R	0	R	T	
	S	0	S	R	
	T	0	T	S	
Yd1	R	0	R	S	

	S	0	S	T	$I_1 = I_{1zm} \cdot \frac{g_{WN} g_T}{\sqrt{3} g_{SN}}$
	T	0	T	R	
Yd5	R	0	T	R	
	S	0	R	S	
Yd7	T	0	S	T	
	R	0	S	R	
	S	0	T	S	
	T	0	R	T	
Yy0	R	S	R	S	$I_1 = I_{1zm} \cdot \frac{g_{WN} g_T}{g_{DN}}$

3.4 Wyznaczanie charakterystyki czasowej $t = f(I)$

Przy wyznaczaniu charakterystyki czasowej korzystamy z układu pomiarowego (rysunek 5). Czas zadziałania jest to czas mierzony od chwili pojawienia się ustalonej wartości prądu zasilającego wywołującego zadziałanie przekaźnika, większego od wartości początkowej prądu rozruchowego I_{ro} a mniejszego niż 4 A. Pomiaru należy wykonać wielokrotnie powtórzyć dla każdej wartości prądu. Po zakończeniu badań należy wyliczyć średnie wartości czasów działania i wykreślić charakterystykę $t = f(I)$.

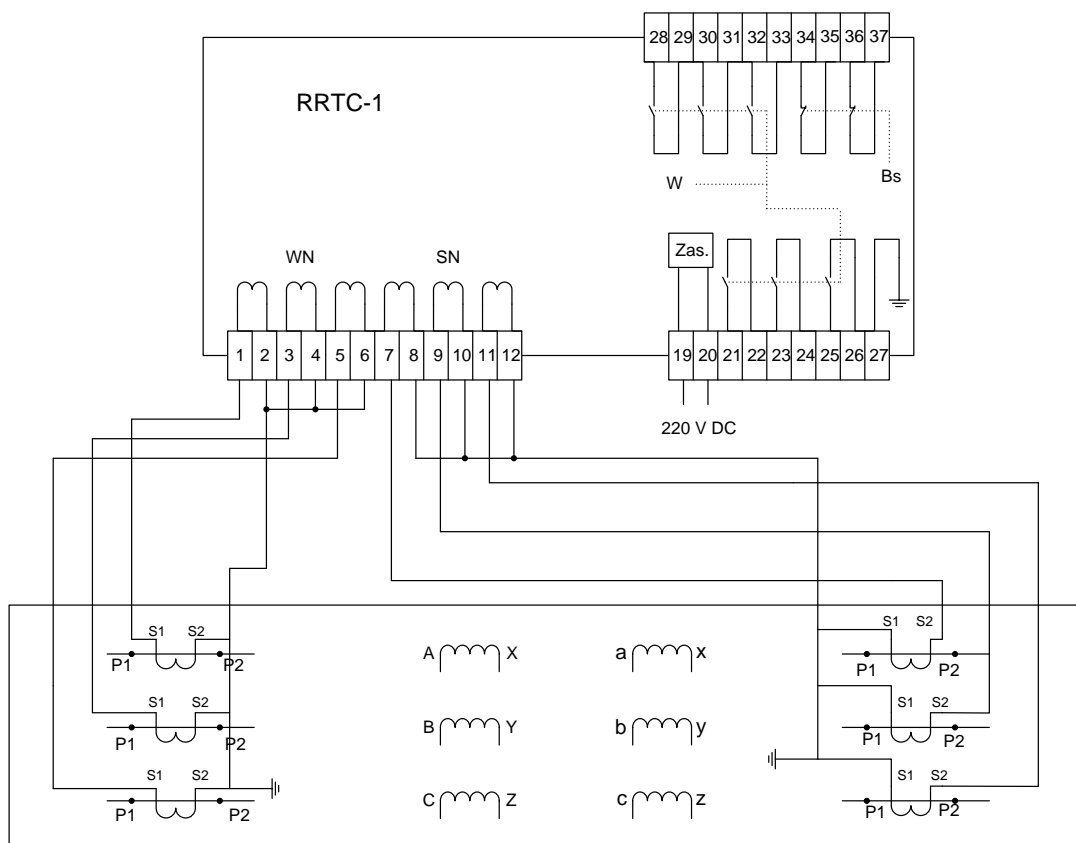


Rys. 5 Schemat do badania charakterystyki czasowej $t = f(I)$

Tablica 5 Tabela do pomiarów średnich czasów zadziałania przekaźnika RRTC-1

Lp	k_h	I_r	t_1	I_{Inas}	t	I
-	-	[A]	[ms]	[A]	[ms]	[A]

[illegible]



Rys. 7 Schemat podłączenia zabezpieczenia cyfrowego RRTC-1 do modelu fizycznego transformatora

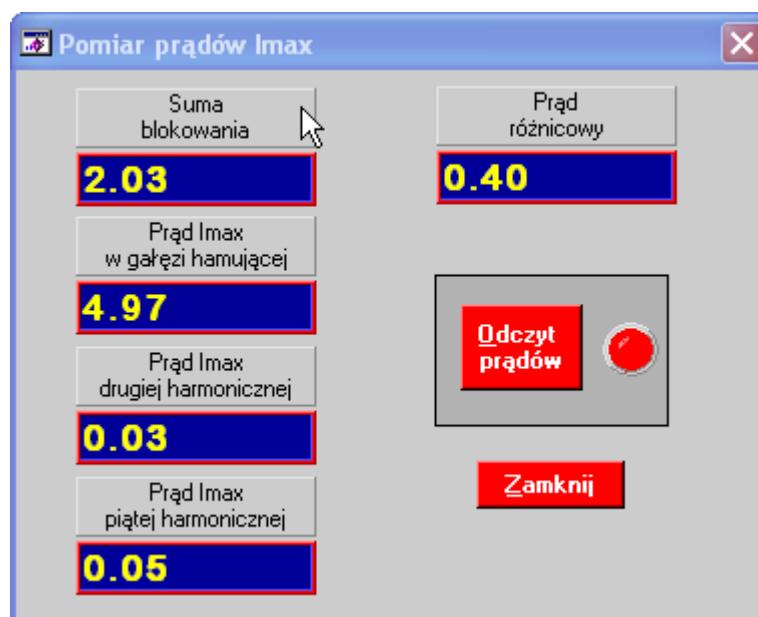
Przebieg ćwiczenia:

1. Wymusić w obwodzie podłączonym zgodnie z rysunkiem 7 prąd znamionowy;
2. Przy pomocy amperomierza z cęgami dokonać pomiaru prądu płynącego po stronie pierwotnej i wtórnej transformatora (cęgi należy włączyć w fazę najbardziej obciążoną np.: między punkt P1- A po stronie WN oraz x- P2 po stronie SN transformatora);
3. Odczytane wartości prądów przemnożyć przez 1000 i zapisać w oknie konfiguracyjnym programu *RRTC_2B*, jako prądy znamionowe strony pierwotnej i wtórnej transformatora ($I_{nT} - WN$ oraz $I_{nT} - SN$);
4. Dobrać wartości przekładni przekładników prądowych (wartości przekładni będą jednakowe dla obu przekładników i równe wartości prądu znamionowego strony SN transformatora);
5. Zdefiniować grupę połączeń transformatora oraz wartość prądu rozruchowego i współczynnika hamowania (rys 8);



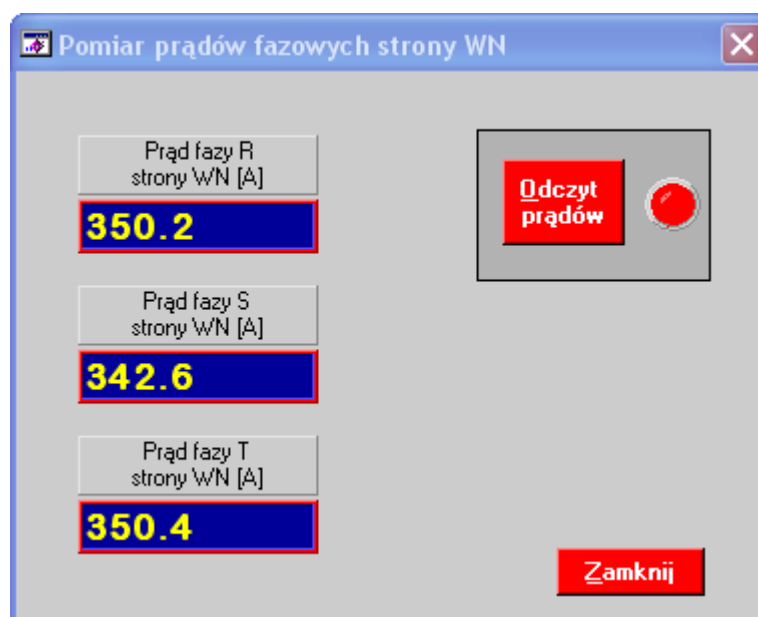
Rys. 8 Widok okna konfiguracyjnego programu RRTC_2B

6. Zapisać ustawione parametry do przekaźnika (w tym celu należy kliknąć myszką na czerwony klawisz z napisem *Zapis nastaw*) rys. 8;
7. Odczytać i zapisać wartości prądów maksymalnych, fazowych prądów różnicowych i hamujących oraz wartości prądów drugiej harmoniczej (aby tego dokonać należy kliknąć myszką na funkcję *Pomiary -1* umieszczoną w oknie konfiguracyjnym na pasku narzędzi. Po aktywowaniu tej funkcji z wyświetlonej listy można będzie odczytać wyżej wymienione parametry klikając myszką na odpowiednie pole);



Rys 8 .Widok okienka do pomiaru prądów maksymalnych

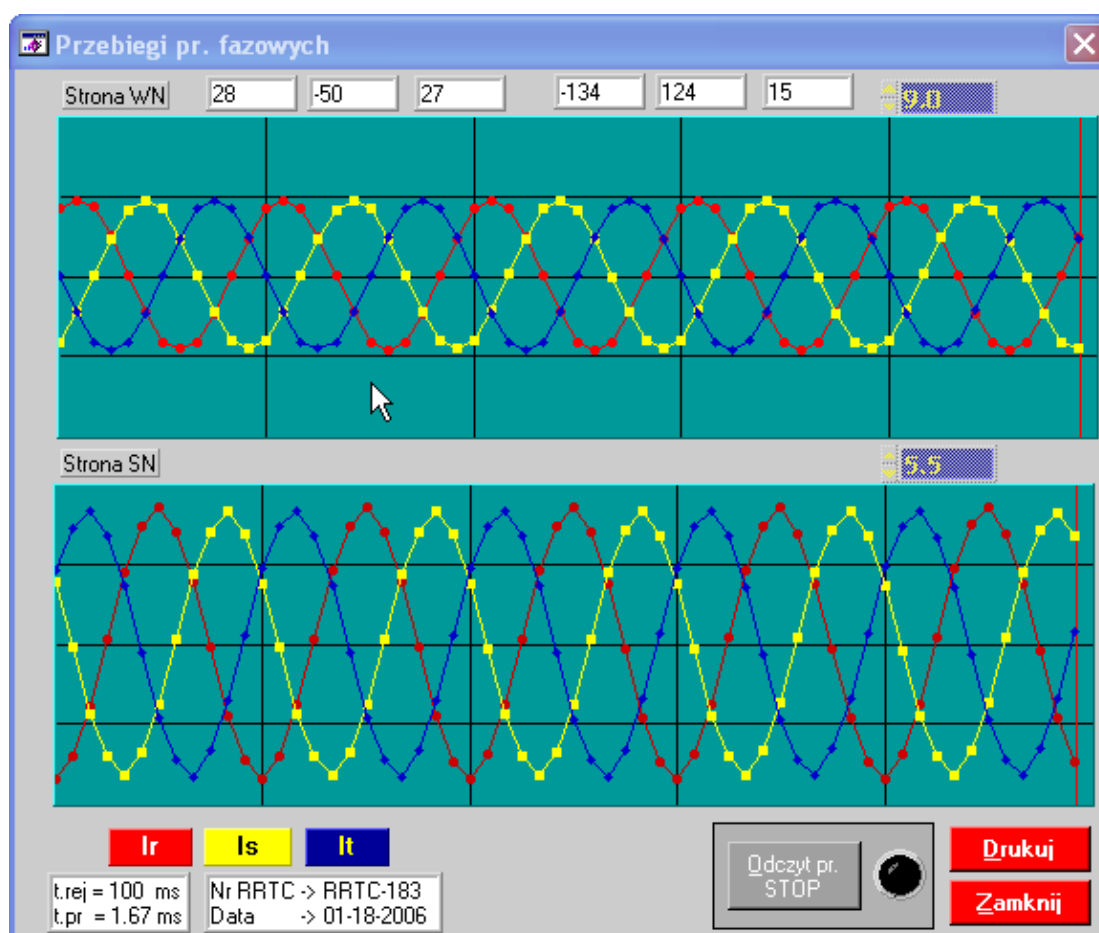
8. Odczytać i zapisać wartości prądów fazowych płynących po stronie WN i SN transformatora(to można wywołać aktywując myszką pole z napisem *Pomiary-2* a następnie wybór odpowiedniego pola);



Rys 9 Widok okienka do pomiaru prądów fazowych strony WN w zakładce *Pomiary-2*

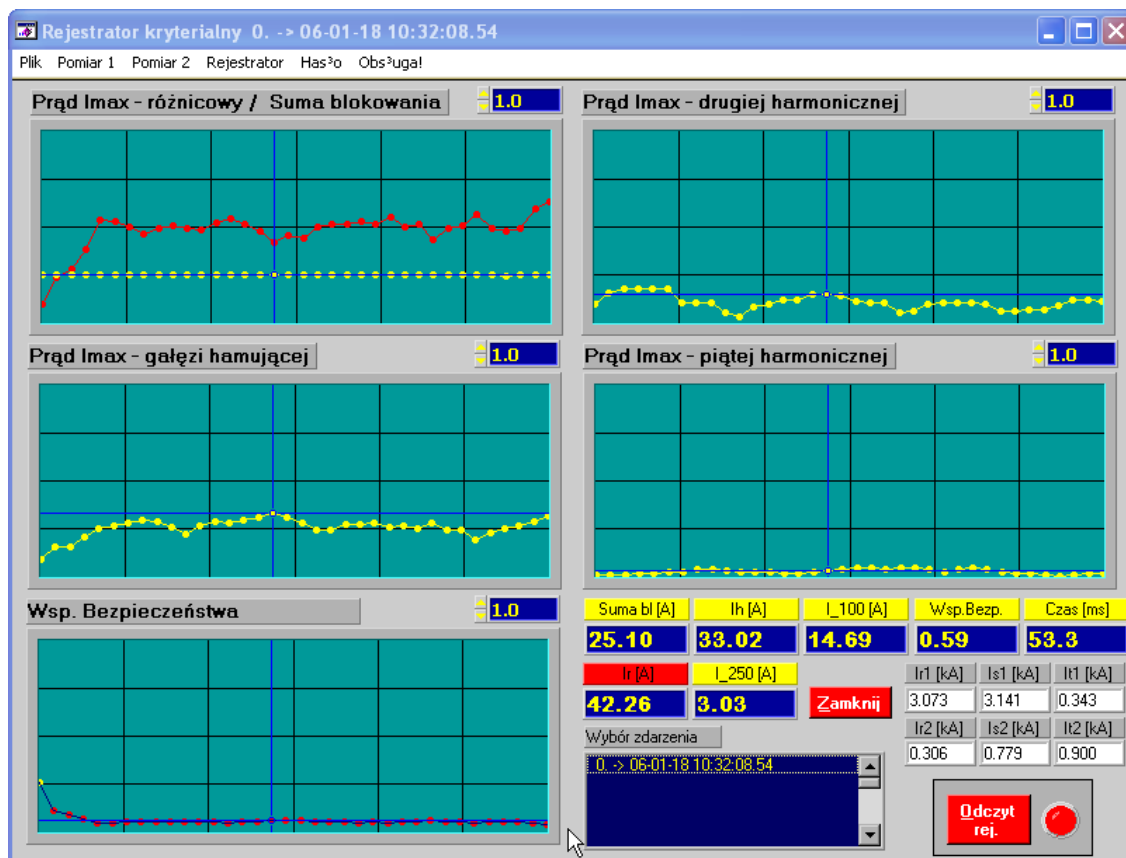
Aby można było odczytać z przełącznika rzeczywiste wartości prądów konieczne jest podzielenie wartości prądów fazowych transformatora strony WN i SN przez 200.

9. Analiza przebiegów prądów fazowych transformatora po stronie WN i SN (rys 9)



Rys 9 Widok okienka od obserwacji przebiegów prądów fazowych w zakładce *Pomiary-2*

10. Dokładna analiza przebiegów parametrów zapisanych w rejestratorze kryterialnym(klikając lewym klawiszem myszki na okno *Rejestrator* na pasku narzędzi. Do wyboru są dwa rejestratory zdarzeń i kryterialny).
11. Przeanalizować przebiegi znajdujące się w rejestratorze kryterialnym.



Rys 10 Widok okna rejestratora kryterialnego po zadziałaniu zabezpieczenia wywołanego zwarcie po stronie WN transformatora o grupie połączeń Yd11

Sprawozdanie

1. Pomiar prądu rozruchowego zabezpieczenia różnicowego RRTC-1

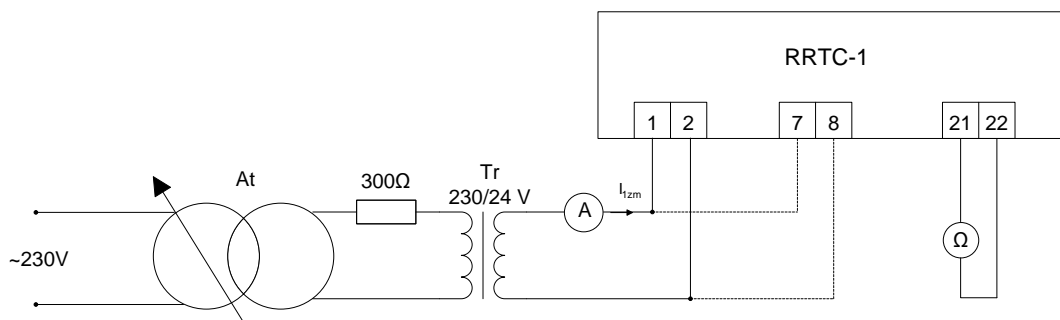
Dane transformatora:

Obiekt chroniony: **Transformator**
 Układ połączeń: Yd11

Uzwojenia:	Pierwotne	Wtórne
Prąd znamionowy:	50A	500A

Przekładniki

Uzwojenia:	Pierwotne	Wtórne
Prąd strony pierwotnej	50A	500.00 A
Prąd strony wtórnej	5.00 A	5.00 A



Rys 11 Schemat do badania prądu rozruchowego przekaźnika RRTC-1

Tabela 1 Wyniki pomiarów prądu rozruchowego przekaźnika RRTC-1 zasilanego od strony WN

Lp	I_r	I_{1zm}	I_{rWN}	Δ	ε
-	A	A	A	-	%
1					
2					
3					
4					
5					

gdzie:

I_r - prąd rozruchowy nastawiany na przekaźniku;

I_1 - prąd zmierzony;

I_{rWN} - prąd rozruchowy obliczony;

Δ - błąd bezwzględny;

ε - błąd względny.

Tabela 2 Wartości współczynnika k w zależności od zasilania przekaźnika

Grupa Połączeń	Trójfazowe symetrycz. Od strony:		Dwufazowe prądem jedno-fazowym od		Jednofazowe od strony	
	WN	SN	WN	SN	WN	SN
Y - D	1	1	$2/\sqrt{3}$	1	$1/\sqrt{3}$	1
Y - Y	1	1	1	1	1	1
Y - Y(d)	1	1	1	1	$2/3$	$2/3$

Prąd I_{rWN} obliczmy zależności:

$$I_{rWN} = \frac{I_r \cdot \vartheta_{SN}}{k \cdot \vartheta_T}$$

gdzie:

ϑ_{SN} - przekładnia przekładników strony SN wynosząca 1;

ϑ_T - przekładnia transformatora wynosząca 1;

k - odczytany z tabeli 2 wynoszący $\frac{1}{\sqrt{3}}$.

Przykładowe obliczenia:

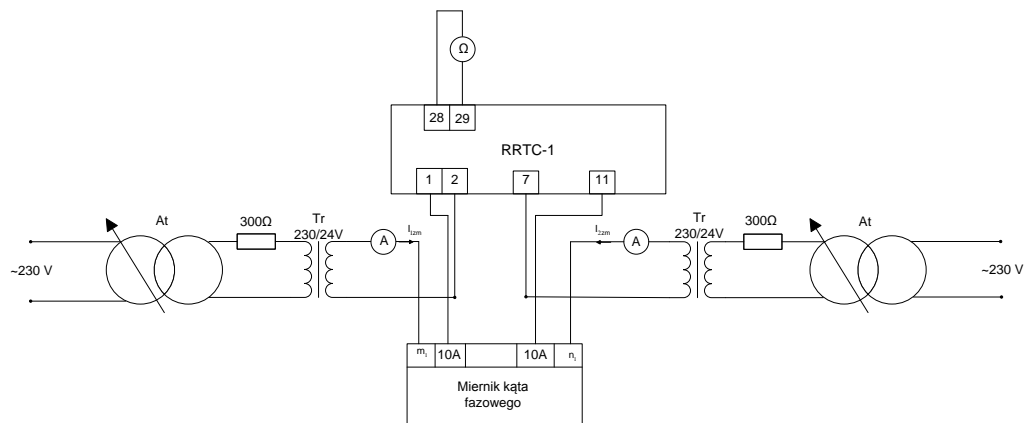
$$I_{rWN} = \frac{I_r \cdot \vartheta_{SN}}{k \cdot \vartheta_T} = \frac{0,5 \cdot 1}{\frac{1}{\sqrt{3}} \cdot 1} = 0,866A$$

$$\Delta = I_1 - I_{WN} = 0,86 - 0,866 = 0,006A$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{I_1} \cdot 100\% = \frac{0,006}{0,866} \cdot 100\% = 0,69\%$$

6. Wyznaczanie charakterystyki stabilizacji $I_r = f(I_h)$

Wykreślenie charakterystyki stabilizacji polegało na zasileniu przekaźnika RRTC-1 zgodnie z tabelą 3 oraz ustaleniu odpowiedniej wartości prądu rozruchowego na przekaźniku. Badanie polegało na ustawieniu wartości prądu I_2 mniejszej niż wartość prądu rozruchowego nastawionego na przekaźnik i zwiększaniu prądu I_1 aż do zadziałania zabezpieczenia notując jednocześnie wartości prądu z amperomierzy. Następnie zmniejszając o odpowiednią wartość prąd I_2 zwiększać prąd I_1 aż do zadziałania przekaźnika.



Rys 12 Schemat służący do wyznaczenia charakterystyki stabilizacji RRTC-1

Tabela 3 Sposób zasilania przekaźnika RRTC-1 w zależności od grupy połączeń

Grupa połączeń	Strona WN Prąd I_{1zm}		Strona SN Prąd I_2		Przeliczenie prądu I_{1zm} na I_1
	Wpływa	Wypływa	Wpływa	Wpływa	
Yd11	R	0	R	T	$I_1 = I_{1zm} \cdot \frac{g_{WN} g_T}{\sqrt{3} g_{SN}}$
	S	0	S	R	
	T	0	T	S	
Yd1	R	0	R	S	
	S	0	S	T	
	T	0	T	R	
Yd5	R	0	T	R	
	S	0	R	S	
	T	0	S	T	
Yd7	R	0	S	R	
	S	0	T	S	
	T	0	R	T	
Yy0	R	S	R	S	$I_1 = I_{1zm} \cdot \frac{g_{WN} g_T}{g_{DN}}$

Tabela 4 Wyniki pomiarów do wyznaczenia charakterystyki

Lp	I_{1zm}	I_{2zm}	I_r	I_h
-	[A]	[A]	[A]	[A]
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				

gdzie:

I_{1zm} - prąd płynący do przekaźnika od strony WN;

I_{2zm} - prąd płynący do przekaźnika od strony SN;

I_r - prąd różnicowy;

I_h - prąd hamujący.

Prąd I_r obliczamy zależności:

$$I_r = |I_1 + I_2|$$

Podczas przeliczania prądu I_1 na prąd I_1' nie posłużyłem się poniższym przeliczeniem, aby nie zaniżyć wartości prądów.

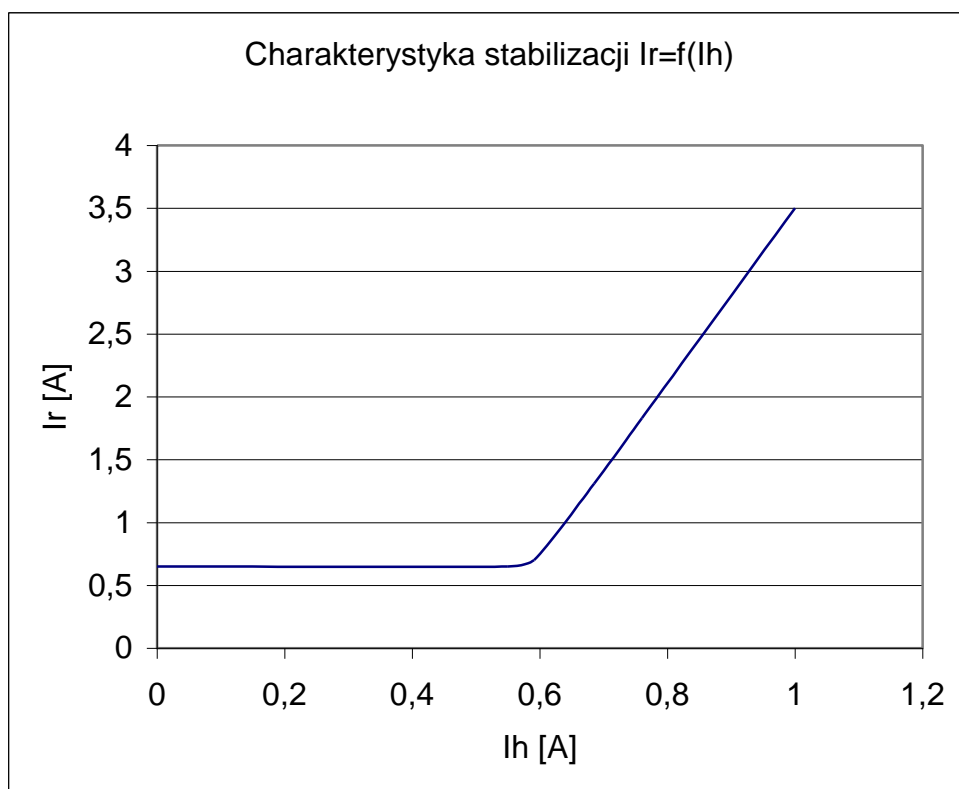
$$I_1 = I_{1zm} \cdot \frac{S_{WN} S_T}{\sqrt{3} S_{SN}}$$

gdzie:

I_{max} - większy z prądów I_1 lub I_2 w tym przypadku I_1 ;

I_r - prąd różnicowy wyliczony ze wzoru wyżej.

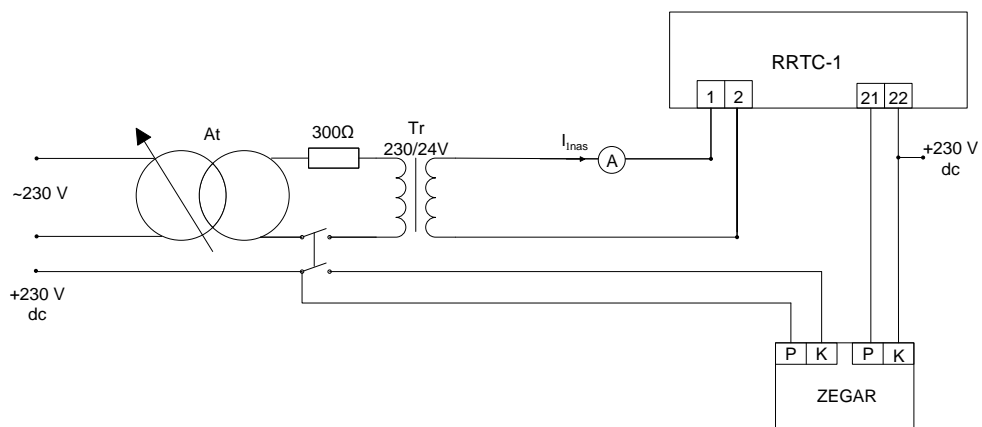
W związku z problemami natury technicznej jakie napotkałem przy wykonywaniu tego ćwiczenia część charakterystyki stabilizacji została wyznaczona teoretycznie, dając w połączeniu z tą wyznaczoną w czasie badań zbliżoną do rzeczywistej (rysunek 7.17).



Rys 13 Charakterystyka stabilizacji przekaźnika RRTC-1

7. Wyznaczanie charakterystyki czasowej $t=f(I)$

Pomiary wykonuje się nastawiając wartość prądu z wymuszalnika większą niż próg rozruchowy ustawiony na przekaźniku a następnie zamyka się odłącznik i za pomocą zegara mierzy się czas między zamknięciem odłącznika a zadziałaniem zabezpieczenia. Ze sporządzonych pomiarów wyznacza się charakterystykę czasową $t=f(I)$.



Rys 14 Schemat układu do badania charakterystyki czasowej $t=f(I)$

Tablica 5 Wyniki pomiarów średnich czasów zadziałania przekaźnika RRTC-1

Lp	k_h	I_r	t	I_l	t_{sr}	I_{lsr}
-	-	[A]	[ms]	[A]	[ms]	[A]
1						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						

gdzie:

k_h - współczynnik hamowania;

I_r - prąd rozruchowy nastawiany w przekaźniku;

t - czas;

I_l - prąd nastawiony;

$t_{\text{śr}}$ - średni czas;
 $I_{\text{śr}}$ - średnia wartość prądu nastawianego.

Przykładowe obliczenia:

Prąd zadziałania przekaźnika przeliczony na stronę WN oblicza się z zależności:

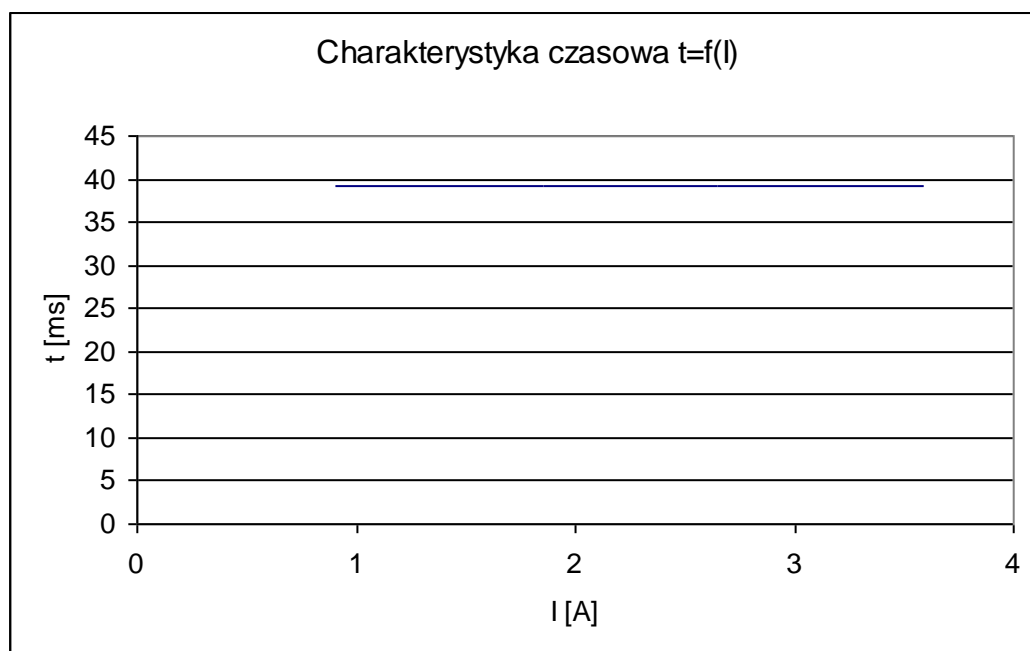
$$I_{\text{rWN}} = \frac{I_r \cdot \vartheta_{\text{SN}}}{k \cdot \vartheta_T}$$

gdzie:

ϑ_{SN} - przekładnia przekładników strony SN równa 1;

ϑ_T - przekładnia transformatora wynosząca 1;

k - odczytany z tabeli 2 wynoszący $\frac{1}{\sqrt{3}}$.



Rys 15 Charakterystyka czasowa $t=f(I)$ przekaźnika RRTC-1

Wnioski

Pytania i zadania kontrolne na zaliczenie.

1. Jakimi metodami można osiągnąć poprawną pracę zabezpieczenia różnicowo-prądowego wzdłużnego niewrażliwą na udary prądu magnesującego?
2. Jak odstroić zabezpieczenie różnicowe wzdłużne od blokowania piątą harmoniczną będącą składową prądu różnicowego podczas zwarć wewnętrznych i nasyceniu przekładników prądowych?
3. W jaki sposób uzyskuje się niewrażliwość zabezpieczenia różnicowo-prądowego na udary prądu magnesującego?
4. Dlaczego przekładniki różnicowe buduje się jako stabilizowane i na czym ta stabilizacja polega?
5. Jaką rolę w przekładniku różnicowym spełnia człon nadprądowy bezzwłoczny $I_{>>}$?
6. Zdefiniować pojęcia: początkowy prąd rozruchowy I_{r0} , współczynnik stabilizacji przekładnika różnicowego k_h . W jakich okolicznościach nastawia się większe wartości I_{r0} i k_h ?
7. Dlaczego przekładniki różnicowe blokuje się drugą i piątą harmoniczną prądu rozruchowego?
8. Wyjaśnić, dlaczego dla niektórych grup połączeń transformatora niezbędna jest eliminacja składowej zerowej z porównywanych w przekładniku różnicowym prądów I_r i I_h .
9. Narysować i omówić charakterystykę stabilizacji przekładnika różnicowego. Napisać wzór na współczynnik stabilizacji. Wymienić przekładniki różnicowe stabilizowane.
10. Wymienić, jakie wielkości nastawia się w przekładniku RRTC-1.
11. Wymienić, główne przyczyny powstawania prądów niezrównoważenia w obwodach różnicowych zabezpieczenia różnicowego, oraz podać sposoby ograniczania prądów niezrównoważenia.
12. Czy zawsze włączaniu transformatora w stanie jałowym towarzyszy uderzenie prądu magnesującego? Wykazać na przykładzie $\Phi(t)$ i $i_\mu(t)$.
13. Narysować schemat połączeń uzwojeń oraz wykresy fazorowe napięć transformatora o grupie połączeń $Yd()$.
14. Dlaczego sposób zasilania przekładnika podczas wyznaczania charakterystyki stabilizacji zależy od grupy połączeń transformatora nastawianej w przekładniku?
15. Wyjaśnić, dlaczego w zależności na wyznaczanie prądu rozruchowego obliczonego I_{rWN} uwzględnia się współczynnik k ?

Literatura

1. Żydanowicz J.: Automatyka zabezpieczeniowa w systemach elektroenergetycznych. WNT 1985
2. Borkiewicz K.: Automatyka zabezpieczeniowa regulacyjna i łączeniowa w systemie elektroenergetycznym. „Ziad” Bielsko – Biała 1998
3. Winkler W., Wiszniewski A.: Automatyka zabezpieczeniowa w systemach elektroenergetycznych. WNT 1999
4. Synal B.: Elektroenergetyczna automatyka zabezpieczeniowa. OWPW 2000
5. Inżynierska Praca Dyplomowa: Zabezpieczenie różnicowe wzdłużne transformatora wielkiej mocy – budowa stanowiska laboratoryjnego z wykorzystaniem zespołu ZT-22. Lublin 2003
6. OMICRON Test Universe 1.3 Advanced Protection. 1999
7. Praca zbiorowa pod red. Jana Machowskiego: Laboratorium cyfrowej elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej. OWPW 2003
8. Plamitzer A.: Maszyny elektryczne. WNT 1982
9. Zabezpieczenie Różnicowe RRTC-1/2 i RRTC-1/3 dla transformatorów dwu i trójfazowych. IEN 2001
10. <http://matkorki.w.interia.pl/>