

Zabezpieczenia i Automatyka Elektroenergetyczna



Badanie zabezpieczenia od zwarć doziemnych
generatora pracującego na szyny zbiorcze

Zakłócenia w pracy generatorów synchronicznych i wymagania stawiane zabezpieczeniom generatorowym

1. Wprowadzenie

Zakłócenia w pracy generatorów można podzielić na:

- uszkodzenia generatorów,
- nienormalne warunki pracy generatorów.

Ogólnie biorąc najważniejszymi oraz bardzo cennymi elementami układu elektroenergetycznego są generatory synchroniczne. Uszkodzenia generatorów synchronicznych mają duży wpływ na pracę systemu elektroenergetycznego i pociągają za sobą poważne straty materialne. Przyczyny uszkodzeń generatorów synchronicznych mogą być natury:

- elektrycznej (np. zwarcia, przepięcia, przeciążenia, praca niepełnofazowa),
- mechanicznej (np. zagrzanie łożysk, uszkodzenie uzwojeń wskutek wstrząsów, uderzeń, zatarcia).

2. Zakłócenia elektryczne

Zakłócenia natury elektrycznej w zależności od miejsca ich powstania można podzielić na wewnętrzne i zewnętrzne. Do zakłóceń wewnętrznych należą zwarcia powstałe w uzwojeniach stojana i wirnika oraz uszkodzenia w obwodzie wzbudzenia. Do zakłóceń wewnętrznych powstających w stojanie należą:

- zwarcia doziemne,
- zwarcia międzyfazowe,
- zwarcia międzyzwojowe.

Do zakłóceń wewnętrznych powstających w wirniku i obwodzie wzbudzenia należą:

- zwarcia pojedyncze,
- zwarcia podwójne,
- nadmierny wzrost napięcia,
- utrata wzbudzenia,
- przeciążenia prądowe w uzwojeniu wirnika.

Zakłóceniami zewnętrznymi są nazwane te, których źródła powstawania znajdują się w systemie elektroenergetycznym lub po stronie napędu generatora. Zalicza się do nich:

- zwarcie wielkoprądowe,
- asymetria prądowa,
- przeciążenie prądowe w uzwojeniu stojana,
- zmniejszenie częstotliwości,
- pracę asynchroniczną,
- pracę silnikową.

- **Zwarcia doziemne**

Jednofazowe zwarcia doziemne w uzwojeniu stojana należą do najczęściej występujących zakłóceń w pracy generatorów synchronicznych. Przy zwarcu uzwojeń stojana z kadłubem, prąd doziemny powyżej 20 A może z dużym prawdopodobieństwem przekształcić się zwarcie międzyfazowe. Zabezpieczenie generatora synchronicznego powinno spowodować bezzwłoczne odcięcie generatora od szyn zbiorczych i odwzbudzenie. W wyniku doświadczeń okazało się mianowicie, że krater wypalony w żelazie prądem jest mały nawet przy natężeniu ponad 200 A,

jeżeli wyłączenie nastąpiło po czasie nie dłuższym niż 0,3 s. Jeżeli pojemnościowy prąd przy zwarcu uzwojenia stojana z kadłubem nie przekracza 5 A, zabezpieczenie może działać tylko na sygnalizację.

Jednoznaczne ustalenie przyczyn uszkodzeń uzwojeń stojanów turbogeneratorów jest sprawą trudną. Zwykle problematykę tę dyskutuje się w sferze przypuszczeń i przewidywań. Uważa się jednak, że głównymi przyczynami uszkodzeń stojanów turbogeneratorów były:

- zużycie materiałów (starzenie cieplne lub zmęczenie izolacji),
- wady materiałowe i fabrykacyjne,
- wady konstrukcyjne i projektowe,
- wady montażu,
- wady eksploatacji i remontów.

Do mniej groźnych rodzajów zakłóceń w pracy generatorów synchronicznych należą zwarcia doziemne w obwodzie wzbudzenia. Pojedyncze doziemne zwarcia tego rodzaju nie przedstawiają bezpośredniego zagrożenia dla generatora synchronicznego, ponieważ obwód wzbudzenia przeważnie pracuje jako izolowany od ziemi; natomiast zwarcia podwójne doziemne powodują powstanie asymetrii magnetycznej generatora niebezpiecznej dla jego pracy i z tego powodu powinny być wyłączane.

- Zwarcia międzyfazowe i międzyzwojowe

Zwarcia międzyfazowe w uzwojeniu stojana generatorów synchronicznych zdarzają się znacznie rzadziej niż zwarcia doziemne. Wynika to stąd, że izolacja pomiędzy przewodami różnych faz uzwojenia stojana ułożonymi w jednym żłobku jest dwukrotnie większa niż izolacja przewodu jednej fazy uzwojenia względem żelaza stojana. Najbardziej prawdopodobnymi miejscami zwarć międzyfazowych są połączenia

czołowe uzwojeń stojana. W przypadku wystąpienia zwarcia międzyfazowego lub międzyzwojowego w uzwojeniu stojana występuje przepływ dużych prądów, wielokrotnie większych od prądu znamionowego, dlatego muszą być likwidowane w jak najkrótszym czasie przez odcięcie generatora synchronicznego od szyn zbiorczych i przez jego odwzbudzenie,

- **Przeciążenia ruchowe**

Przeciążenia ruchowe charakteryzujące się stosunkowo nieznacznym wzrostem prądu ponad wartość znamionową, nie podlegają wyłączeniu ze względu na znaczną przeciążalność cieplną generatora synchronicznego, lecz muszą być sygnalizowane, aby personel dyżurujący mógł przedsięwziąć środki zaradcze w celu odciążenia generatora.

- **Asymetria prądowa**

Źródłem asymetrii prądowej charakteryzującej się występowaniem składowej przeciwnej prądu w uzwojeniu stojana jest prawie zawsze zewnętrzny układ elektroenergetyczny. Asymetria ta grozi nagrzaniem mas wirujących generatora synchronicznego prądami wirowymi o podwójnej częstotliwości oraz w konsekwencji zniszczeniem generatora. Niewielkie asymetrie prądowe w generatorze synchronicznym powinny być sygnalizowane, natomiast duże asymetrie powinny być wyłączane.

- **Praca silnikowa**

O pracy silnikowej generatora synchronicznego mówi się gdy z jakiegokolwiek powodu w czasie normalnej pracy turbozespołu zostanie przerwany dopływ czynnika napędowego do turbiny. Taki stan pracy generatora synchronicznego nie może być dopuszczony, gdyż grozi uszkodzeniem turbiny, wymaga przede wszystkim odłączenia generatora od szyn zbiorczych w czasie nie przekraczającym 2-3 min.

- **Utrata wzbudzenia generatora**

W przypadku utraty wzbudzenia generatora, stan taki nie stanowi bezpośredniego zagrożenia dla generatora synchronicznego. Przechodzi on wtedy w stan pracy asynchronicznej, następuje wzrost poboru prądu biernego z sieci. W przypadku krótkotrwałej utraty wzbudzenia przez generator synchroniczny należy ten stan sygnalizować, natomiast w przypadku długotrwałej utraty wzbudzenia należy generator synchroniczny wyłączyć z pracy.

- **Wzrost napięcia**

Nadmierny wzrost napięcia na zaciskach generatora synchronicznego, przeważnie bywa spowodowany uszkodzeniem urządzenia do regulacji napięcia lub w przypadku generatorów synchronicznych napędzanych turbinami wodnymi nagłym wzrostem prędkości obrotowej wskutek odciążenia tych generatorów mocą czynną. W przypadku generatorów synchronicznych o wielkich mocach pracujących w bloku z transformatorami niewielki nawet wzrost napięcia powyżej 110% napięcia znamionowego może spowodować nadmierne przemagnesowanie

i nagrzanie transformatora blokowego, natomiast w przypadku generatorów synchronicznych napędzanych turbinami wodnymi znaczny wzrost napięcia powyżej 200% napięcia znamionowego może stanowić zagrożenie dla izolacji uzwojeń tych generatorów. Zabezpieczenie od wzrostu napięcia powinno zadziałać na odwzbudzenie generatora synchronicznego lub na wyłączenie go z pracy.

3. Zakłócenia mechaniczne

Poza zakłóceniami o charakterze elektrycznym w pracy generatorów należy się liczyć z występowaniem zakłóceń o charakterze mechanicznym.

Podczas pracy generatora synchronicznego mogą wystąpić następujące przeciążenia mechaniczne w generatorze:

- a) zwiększenie siły odśrodkowej, występujące przy rozbieganiu hydrogeneratora lub przy zwiększaniu prędkości obrotowej turbogeneratora o ponad 20%,
- b) pulsacja momentu napędowego o podwójnej częstotliwości, występujące w przypadkach zwarć niesymetrycznych,
- c) udary dynamiczne sił działających na uzwojenie stojana w przypadku zwarć na zaciskach generatora przy pełnym wzbudzeniu,
- d) udary oscylacyjne momentu mechanicznego działającego na wał generatora, sprzęgło i wał turbiny w przypadku bliskich zwarć zewnętrznych trójfazowych.

W wyniku przeciążeń mechanicznych jak w pkt. a) może dojść do uszkodzenia uzwojeń wirnika, przy przeciążeniu mechanicznym jak w pkt. b) i c) dochodzi do uszkodzenia połączeń czołowych uzwojeń stojana, a w pkt. d) nastąpić może urwanie sprzęgła łączącego wał turbiny z wałem generatora.

Jako zabezpieczenie przed rozbieganiem się turbogeneratorsa stosuje się sterowanie zamknięciem zaworu odcinającego czynnika napędowego (pary wodnej, gazu lub wody) w przypadku stwierdzenia nadmiernego zwiększenia prędkości obrotowej generatora synchronicznego. Do zapobiegania zagrożeń wymienionych w pkt. b) stosuje się szybką eliminację zwarć bliskich zewnętrznych. Ograniczenie uderów dynamicznych sił działających na uzwojenie stojana następuje poprzez ograniczenie uderów prądu zwarciovego (np. nieuziemiienie punktu gwiazdowego transformatora blokowego).

Na uwagę zasługuje sprawa zapobiegania następstwom zagrożeń mechanicznych pkt. d).

Jeżeli bliskie zwarcie trójfazowe wystąpi w stanie dużego obciążenia generatora mocą czynną, to turbogenerator zostaje raptownie odciążony co prowadzi do zwiększenia prędkości obrotowej wirników turbozespołu. Jednocześnie pojawią się mechaniczne drgania skrętne wału turbina - generator, powodując wzrost naprężeń skręcających tego wału. Jeżeli teraz z chwilą eliminacji zwarcia turbogenerator - przez otwarcie odpowiedniego wyłącznika - zostanie ponownie obciążony mocą czynną, to na wale pojawia się moment skręcający, który nakładając się na wytworzone poprzednio oscylacyjne momenty skręcające powoduje wzrost naprężeń skręcających wału. Oscylacje te są szczególnie niebezpieczne dla długich wałów nowoczesnych turbozespołów o mocy 1000MW lub większej, przy czym mogą one doprowadzić do zniszczenia sprzęgła, łączącego obydwie części wału turbozespołu.

Poza tym istnieją również uszkodzenia o charakterze mechanicznym w pracy turbozespołu, które wymagają zamknięcia zaworu odcinającego (np. wzrost prędkości obrotowej, utrata próżni w skraplaczu, spadek ciśnienia oleju). Zabezpieczenia od tych zakłóceń powinny zadziałać jednak nie tylko na zamknięcie zaworu odcinającego, ale również na

otwarciu głównego wyłącznika, aby zapobiec napędzaniu turbiny przez generator synchroniczny pracujący w charakterze silnika synchronicznego. Tego rodzaju praca mogłaby spowodować przegrzanie turbiny w części niskoprężnej.

Generatory synchroniczne w elektrowniach są narażone na pożar spowodowany powstaniem łuku elektrycznego zwarciovego. Rozprzestrzenianiu się ognia sprzyja istnienie w generatorze materiałów palnych (izolacji) oraz ruch powietrza chłodzącego. W celu zlikwidowania w zarodku powstającego ognia stosowane są urządzenia, których działanie polega na wtryskiwaniu do komory generatora synchronicznego strumienia wody, pary wodnej, dwutlenku węgla lub azotu. Urządzenia do gaszenia pożaru są zazwyczaj uruchamiane ręcznie przez obsługę elektrowni w przypadku stwierdzenia warunków uzasadniających użycie środków gaszących. Uruchamianie tych urządzeń przez zabezpieczenia przekąźnikowe jest stosowane stosunkowo rzadko i tylko w uzasadnionych przypadkach. Urządzenia do gaszenia pożaru nie są stosowane w przypadku generatorów synchronicznych o chłodzeniu wodorowym, gdyż atmosfera wodoru usuwa niebezpieczeństwo pożaru w przypadku powstania zwarców wewnętrznych.

4. Sposoby likwidacji zakłóceń

W tablicach 1 i 2 podano zestawienia typowych zakłóceń o charakterze elektrycznym i mechanicznym występujących w pracy generatorów synchronicznych i turbozespołów oraz podano wymagany sposób ich likwidacji lub konieczność sygnalizacji przez zabezpieczenia przekąźnikowe.

TABLICA 1

Zakłócenia o charakterze elektrycznym w pracy generatorów synchronicznych i sposoby ich likwidacji

Rodzaj zakłócenia	Sposoby likwidacji				
	Otwarcie		Odwzbudzenie	Zamknięcie zaworu odcinającego	Sygnalizacja ostrzegawcza
	Wyłącznika głównego	Wyłącznika potrzeb własnych			
Zwarcie międzyfazowe w uzwojeniu stojana	X	X	X	X	
Zwarcie uzwojenia stojana z kadłubem	X	X	X	X	
Zwarcia zwojowe w uzwojeniu stojana	X	X	X	X	
I zwarcie doziemne w obwodzie wzbudzenia					X
II zwarcie doziemne w obwodzie wzbudzenia	X	X	X	X	
Zwarcie zewnętrzne niewyłłączone przez odpowiednie zabezpieczenie	X	X	X	X	
Przeciążenia ruchowe					X
Asymetria prądowa	I stopień				X
	II stopień	X			
Praca silnikowa	X	X	X		
Utrata wzbudzenia	albo				X
	albo	X	X	X	
Wzrost napięcia	X	X	X	X	
Dowolne zakłócenie likwidowane przyciskiem bezpieczeństwa w polu generatora w nastawni	X	X	X	X	

TABLICA 2

Zakłócenia o charakterze mechanicznym w pracy turbozespołów
i sposoby ich likwidacji

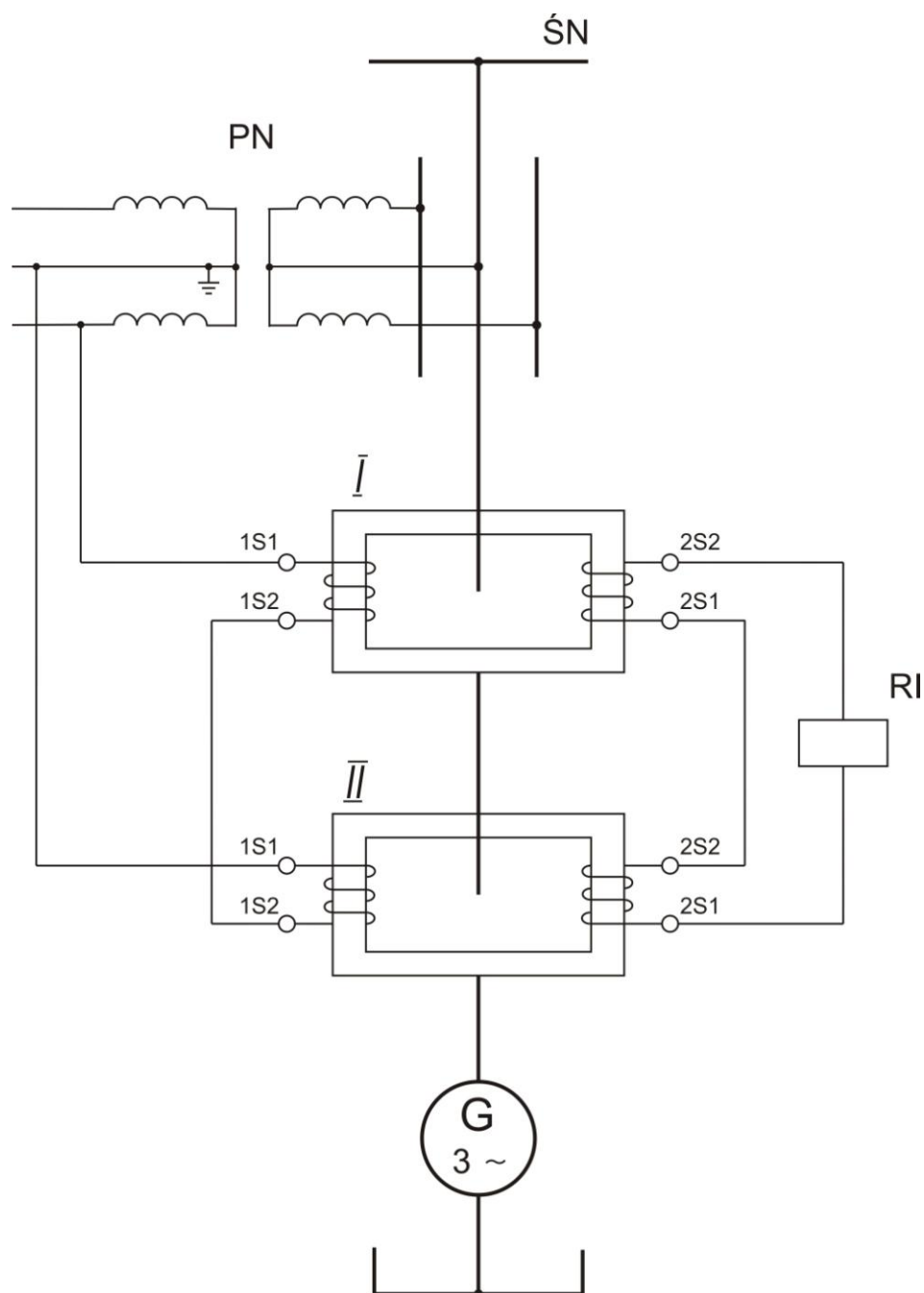
Rodzaj zakłócenia		Zamknięcie zaworu odcinającego	Uruchomienie rezerwowej pompy olejowej	Sygnalizacja ostrzegawcza
Zwiększenie prędkości obrotowej		X		
Nierównomierne wydłużenie się części starych i wirujących	I stopień			X
	II stopień	X		
Wygięcie wału				X
Utrata próżni w kondensatorze		X		
Spadek ciśnienia oleju	I stopień		X	
	II stopień	X		
Uszkodzenie łożyska oporowego		X		
Nienormalne stany turbiny (drgania wału, drgania łożysk, nadmierne wydłużanie cieplne kadłuba, niedopuszczalna temperatura łożysk, zbyt niski lub zbyt wysoki poziom wody w odpowietrzaczu, zbyt niski poziom oleju w głównym zbiorniku, zbyt wysoka temperatura pary odlotowej)				X

5. Zabezpieczenia ziemnozwarciowe z dwurdzeniowym przekładnikiem Ferrantiego

Współczesne rozwiązania zabezpieczeń od zwarć doziemnych w uzwojeniach stojana generatora pracującego w bloku z transformatorem obejmują 100% tych uzwojeń i wyraźnie różnią się od rozwiązań zabezpieczeń stosowanych do ochrony uzwojeń generatorów pracujących na szyny zbiorcze.

W rozwiązaniu zabezpieczeń ziemnozwarciowych uzwojeń stojanów generatorów pracujących na szyny zbiorcze występują nadal określone problemy. Istota problemu polega na tym by zabezpieczenie ziemnozwarciowe, przy znacznych wymiarach rdzeni magnetycznych dostosowanych do objęcia wiązki kabla względnie mostu szynowego, miało wysoką czułość i obejmowało możliwie największą część uzwojeń (np. ponad 96%). W praktyce uzyskanie takiego rozwiązania, które spełniałoby te wymagania, nie jest takie proste i stąd też stosowane są różne układy. Na uwagę zasługuje układ dwurdzeniowego przekładnika typu Ferranti z podmagnesowaniem prądem przemiennym. Rdzenie tych przekładników wykonuje się ze zwykłych blach transformatorowych, a ich wymiary dostosowane są do objęcia wiązki kabla (przekładniki kablowe) lub wyprowadzenia szynowego od generatora (przekładniki szynowe).

Podmagnesowanie prądem przemiennym o odpowiedniej wartości umożliwia uzyskanie wysokoczułego zabezpieczenia ziemnozwarciowego. Układ takiego zabezpieczenia ziemnozwarciowego generatora przedstawiono na rys. 5.1.

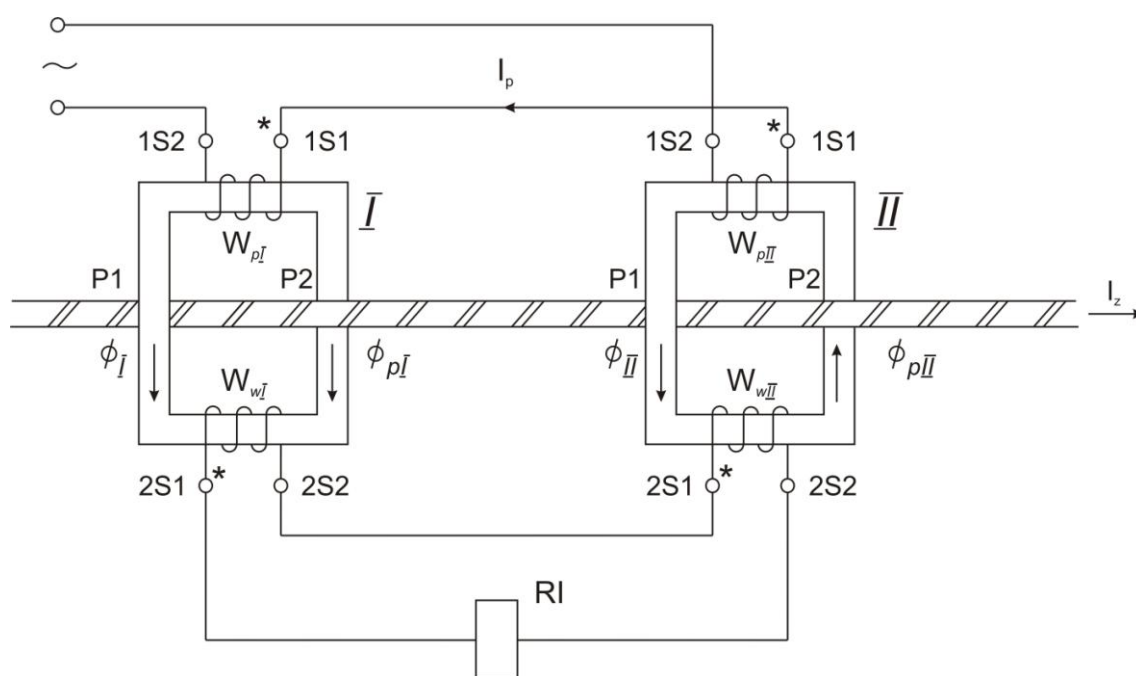


Rys. 5.1. Układ zabezpieczenia ziemnozwarciowego z dwurdzeniowym przekładnikiem Ferrantiego z podmagnesowaniem napięciem zmiennym

6. Budowa i zasada działania dwurdzeniowego przekładnika Ferrantiego z podmagnesowaniem

Na rys.6.1 pokazano układ połączeń dwurdzeniowego przekładnika Ferrantiego z podmagnesowaniem rdzeni prądem przemiennym.

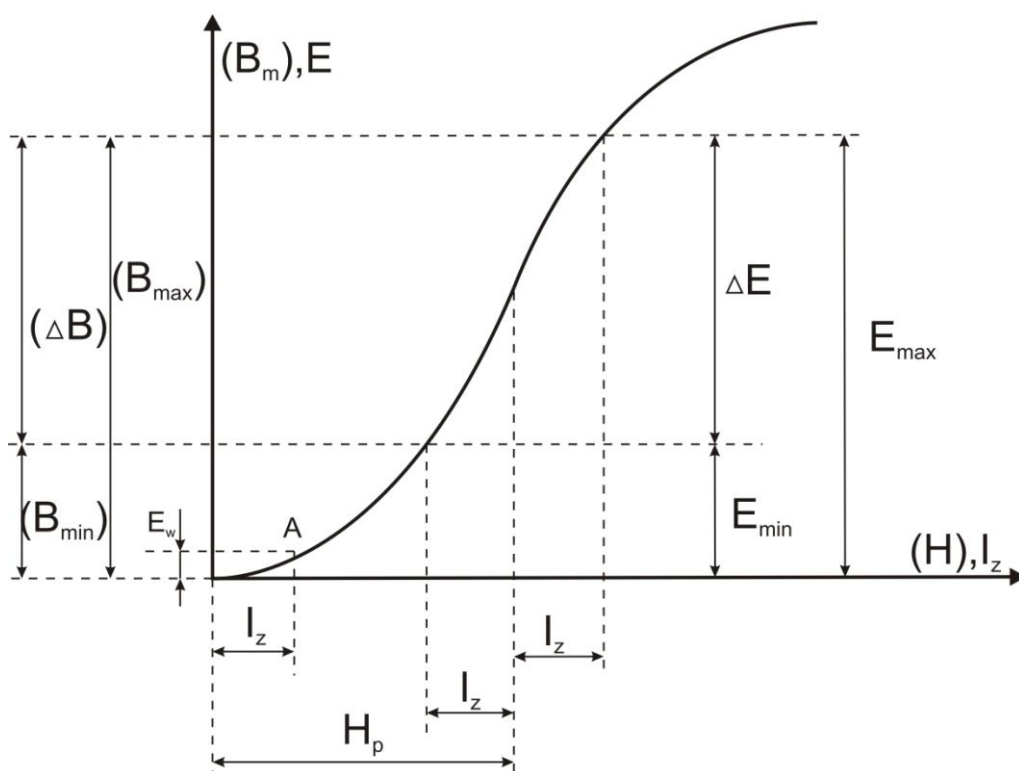
Przekładnik składa się z dwóch, jednakowych rdzeni magnetycznych. Na każdym rdzeniu nawinięte są dwa uzwojenia: wtórne W_{wI} / W_{wII} / oraz podmagnesowujące W_{pI} / W_{pII} /. Uzwojenia wtórne łączy się szeregowo zgodnie, a podmagnesowujące szeregowo przeciwsobnie rys.6.1. Uzwojenia wtórne przeznaczone są do zasilania przekątnika prądowego, a uzwojenia podmagnesowujące zasila się z obcego źródła prądu np. z przekładników napięciowych.



Rys.6.1 Schemat układu połączeń dwurdzeniowego przekładnika Ferrantiego z podmagnesowaniem prądem przemiennym

Przez okna obu rdzeni przeprowadzony jest obwód pierwotny, którym płynie prąd ziemnozwarciowy I_z . Przepływający prąd I_z wzbudza w obydwu rdzeniach magnetycznych I i II strumienie magnetyczne Φ_I i Φ_{II} skierowane zgodnie. Strumienie te w uzwojeniach wtórnych W_{wI} i W_{wII} wzniecają siły elektromotoryczne, które sumują się i na zaciskach wyjściowych przekładników otrzymuje się napięcie wypadkowe. Jeżeli przepływający prąd I_z ma małą wartość, to wzniecane siły elektromotoryczne w uzwojeniach wtórnych $/W_{wI}$ i $W_{wII}/$ są małe, a stąd wypadkowa E_w /rys.6.2 p.A/ jest również mała, co najczęściej uniemożliwia pobudzenie przekładnika.

Jeżeli założy się, że prąd $I_z = 0$ i jednocześnie doprowadzi się napięcie do uzwojeń podmagnesowujących W_{pI} i W_{pII} to w uzwojeniach tych zaczną płynąć prądy, które wzniecają w rdzeniach magnetycznych I i II Φ_{pI} i Φ_{pII} skierowane przeciwnie.



Rys.6.2. Charakterystyka magnesowania przekładnika dwurdzeniowego z podmagnesowaniem

W uzwojeniach roboczych W_{wI} i W_{wII} /rys.6.1/ wyindukują się siły elektromotoryczne w przeciwnych kierunkach, a napięcie wypadkowe na zaciskach przekładnika powinno być równe 0. W rzeczywistości ze względu na nieuniknione różnice występujące między rdzeniami przekładnika, w obwodzie wtórnym pojawi się prąd uchybowy wywołany prądem podmagnesowującym.

W przypadku gdy w obwodzie pierwotnym płynie prąd zwarciovym I_z i jednocześnie w uzwojeniach podmagnesowujących płynie prąd I_p , który jest w fazie z prądem I_z , wówczas w jednym rdzeniu /II/ strumień jest proporcjonalny do sumy, a w drugim /I/ do różnicy algebraicznej amperozwojów prądu zwarciovego płynącego w obwodzie pierwotnym i prądu płynącego przez uzwojenia podmagnesowujące. Wypadkowe strumienie magnetyczne w rdzeniach przekładnika mają przeciwne kierunki, a stąd wznieczana pod ich wpływem w uzwojeniach wtórnych W_{wI} i W_{wII} siły elektromotoryczne E_{max} i E_{min} również mają przeciwne kierunki. W tych warunkach na zaciskach uzwojeń wtórnych w przekładnikach występuje różnica tych sił $\Delta E = E_{max} - E_{min}$. Przy takim samym prądzie zwarciovym I_z spełniony jest warunek $\Delta E > E_w$. Wartość prądu podmagnesowującego powinna zostać tak dobrana by ΔE w danych warunkach osiągnęła największą wartość, a to jest równoznaczne z uzyskaniem największej czułości działania zabezpieczenia ziemnozwarciowego rys.6.2.

W przypadku kiedy między prądem ziemnozwarciowym I_z i prądem podmagnesowującym I_p występuje przesunięcie fazowe, to w rdzeniach należy uwzględnić sumę względnie różnicę geometryczną amperozwojów. Przesunięcie kątowe między I_z i I_p występuje zawsze i nie jest stałe w przypadku kiedy uzwojenie podmagnesowujące W_{pI} i W_{pII} przekładnika zasilane są napięciem przewodowym otrzymywanym z przekładników napięciowych.

7. Prądy uchybowe przekładnika dwurdzeniowego

Prąd uchybowy dwurdzeniowego przekładnika ziemnozwarciowego wynika bezpośrednio z konstrukcji tego przekładnika.

Wartość prądu uchybowego można obliczyć korzystając ze wzoru:

$$I_u = I_{up} + I_{ur} + I_{un}$$

Gdzie:

I_{up} - składowa prądu uchybowego pochodząca od podmagasowania rdzeni,

I_{ur} - składowa prądu uchybowego pochodząca od strumienia rozproszenia,

I_{un} - składowa prądu uchybowego wynikająca z miejsca zabudowy przekładnika.

W praktycznych rozwiązaniach dwurdzeniowych przekładników z podmagnesowaniem przy $I_z = 0$ zawsze należy się liczyć z występowaniem różnicy między wartościami sił elektromotorycznych w uzwojeniach wtórnych indukowanych strumieniami podmagnesowującymi rdzenie.

Skuteczne ograniczenie wartości I_{up} dla określonego przekładnika można uzyskać poprzez regulację liczby zwojów uzwojenia podmagnesowującego na jednym rdzeniu przekładnika.

Prostokątny kształt rdzenia magnetycznego uniemożliwia zachowanie takich samych odległości między zwojami uzwojenia wtórnego a przewodami obwodu pierwotnego. Ponadto niemożliwy do osiągnięcia jest równomierny rozkład zwojów uzwojenia wtórnego na obwodzie

prostokątnego rdzenia magnetycznego o dużych wymiarach. W tych warunkach, przy $I_z = 0$, występuje strumień rozproszenia, który w uzwojeniach wtórnych indukuje siły elektromotoryczne i może płynąć prąd uchybowy I_{ur} .

Stosowanie przekładników z rdzeniami toroidalnymi z równomiernie rozmieszczonymi zwojami uzwojeń wtórnych na obwodach rdzeni oraz zamontowania przewodów obwodu pierwotnego w środku okien rdzeni magnetycznych, skutecznie ogranicza wartość prądu I_{ur} . Występowanie I_{un} (prądu nierównoważenia) bezpośrednio związane jest z miejscem zabudowy przekładnika ziemnozwarciowego na linii kablowej lub moście szynowym między zaciskami generatora a wyłącznikiem generatora. Im bliżej zacisków generatora zostanie zamontowany przekładnik ziemnozwarciowy, tym mniejsza wartość prądu I_{un} .

8. Prąd rozruchowy zabezpieczenia

Wartość prądu rozruchowego przekładnika nadprądowego określa się ze wzoru:

$$I_r \geq k_b (k \cdot I_{zg} + n_i \cdot I_u)$$

gdzie i

- k_b - współczynnik bezpieczeństwa dla zabezpieczeń bezzwłocznych $k_b = 3 \div 4$, a dla zwłocznych $k_b = 1,5 \div 2$,
- k - współczynnik uwzględniający wzrost prądu w stanach nieustalonych ($k = 3 \div 4$ dla zabezpieczeń bezzwłocznych),
- I_{zg} - prąd ziemnozwarciowy dopływający do miejsca zwarcia w sieci od strony generatora,
- n_i - przekładnia prądowa przekładnika ziemnozwarciowego,
- I_u - całkowity prąd uchybowy.

9. Ćwiczenie laboratoryjne

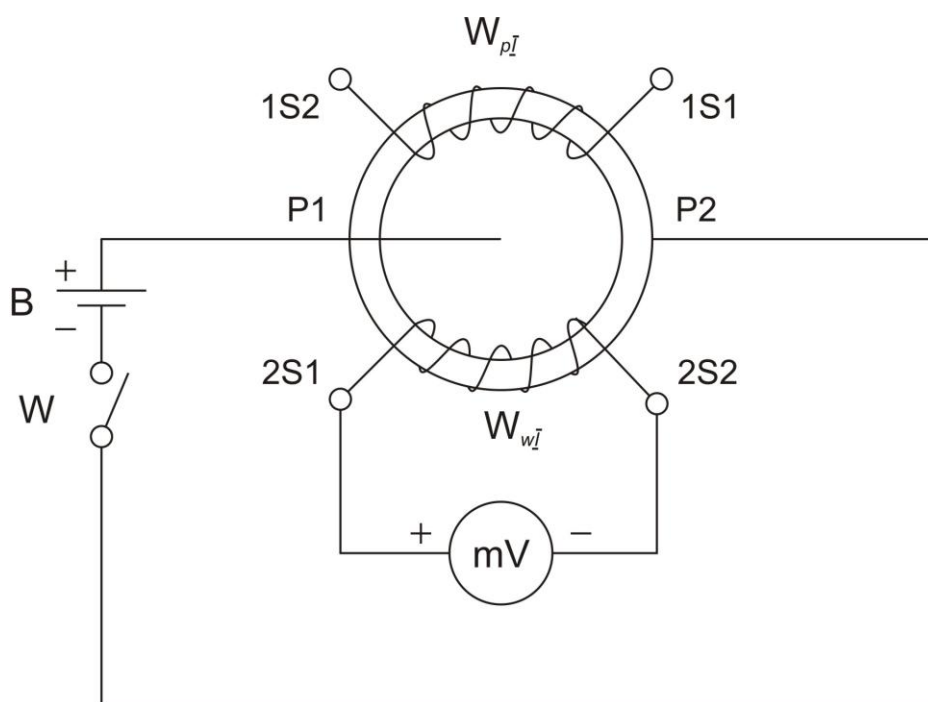
Celem ćwiczenia jest zapoznanie z budową i zasadą działania dwurdzeniowych przekładników ziemnozwarciowych, z podmagnesowaniem prądem przemiennym, wpływem podmagnesowania na czułość działania zabezpieczeń oraz układami wysokoczułych, zabezpieczeń ziemnozwarciowych generatorów pracujących na szyny zbiorcze.

Spośród wielu rozwiązań zabezpieczeń ziemnozwarciowych stosowanych do ochrony generatorów pracujących bezpośrednio na szyny zbiorcze często są stosowane rozwiązania z przekładnikami dwurdzeniowymi z podmagnesowaniem rdzeni prądem przemiennym. Stosowane układy charakteryzują się dobrą, czułością i gwarantują objęcie co najmniej 70% uzwojenia stojana generatora. Dopasowanie przekładnika do współpracy z przekaźnikiem gwarantuje uzyskanie wysokiej czułości działania układu zabezpieczeniowego.

9.2. Sprawdzenie zgodności oznaczeń zacisków uzwojeń przekładnika

Znajomość oznaczeń zacisków uzwojeń wtórnych W_{wI} i W_{wII} i podmagnesowujących W_{pI} i W_{pII} na każdym rdzeniu magnetycznym przekładnika jest niezbędna do wykonania poprawnych połączeń tych uzwojeń na obu rdzeniach.

Schemat układu pomiarowego do sprawdzania zgodności oznaczeń zacisków metodą Scheringa przedstawiono na rys.9.1.



Rys.9.1. Schemat układu pomiarowego do sprawdzania zgodności oznaczeń zacisków metodą Scheringa

B - bateria lub akumulator (1,5-6,0V), W-wyłącznik

Jeżeli przy zamykaniu wyłącznika W wskazówka miliwoltomierza wychyli się na skalę, a przy otwieraniu w kierunku przeciwnym, oznacza to, że zaciski są oznakowane zgodnie (rys.9.1).

9.3. Wyznaczanie charakterystyk magnesowania

Znajomość przebiegu charakterystyk magnesowania rdzeni magnetycznych przeznaczonych do budowy dwurdzeniowych przekładników Ferrantiego z podmagnesowaniem jest niezbędna.

Przekładnik zestawiony z dwóch rdzeni mających zbliżone przebiegi charakterystyk magnesowania ma stosunkowo małą wartość prądu uchybowego I_u , co zapewnia wysoką czułość układu. Na rys.9.2 przedstawiono układy pomiarowe do wyznaczania charakterystyk magnesowania rdzenia magnetycznego oraz dwóch rdzeni pierścieniowych tworzących przekładnik o uzwojeniach wtórnych W_{wI} i W_{wII} połączonych szeregowo zgodnie i uzwojeniach podmagnesowujących W_{pI} i W_{pII} połączonych szeregowo przeciwsobnie. Przy zakresie zmian prądu pierwotnego 0 - 30A należy wyznaczyć:

a) charakterystykę magnesowania jednego rdzenia magnetycznego

$$U_{wI} = f(I_1)$$

b) charakterystykę magnesowania układu składającego się z dwóch uzwojeń wtórnych przekładnika W_{wI} i W_{wII} połączonych szeregowo

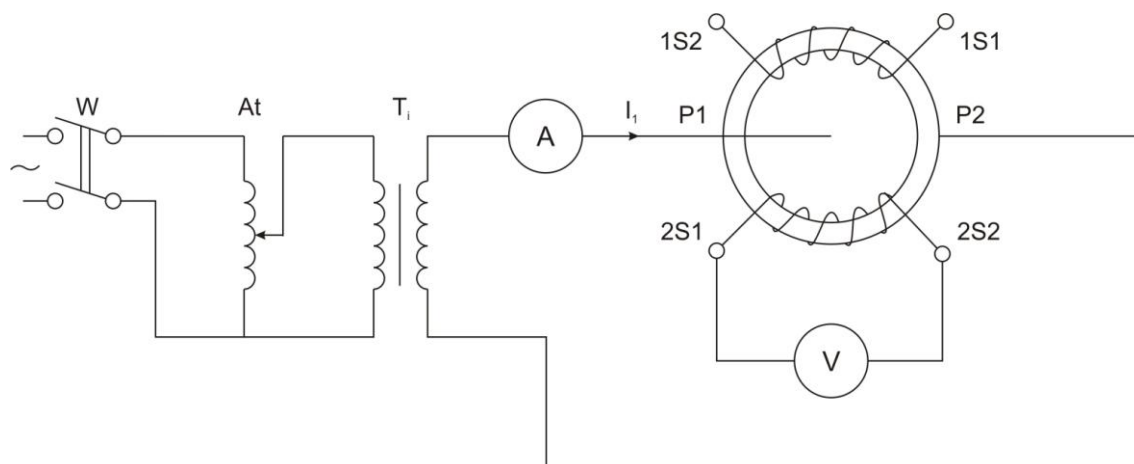
zgodnie $U_{wI,II} = f(I_1)$

c) charakterystykę magnesowania układu składającego się z dwóch uzwojeń podmagnesowujących przekładnika W_{pI} i W_{pII} połączonych

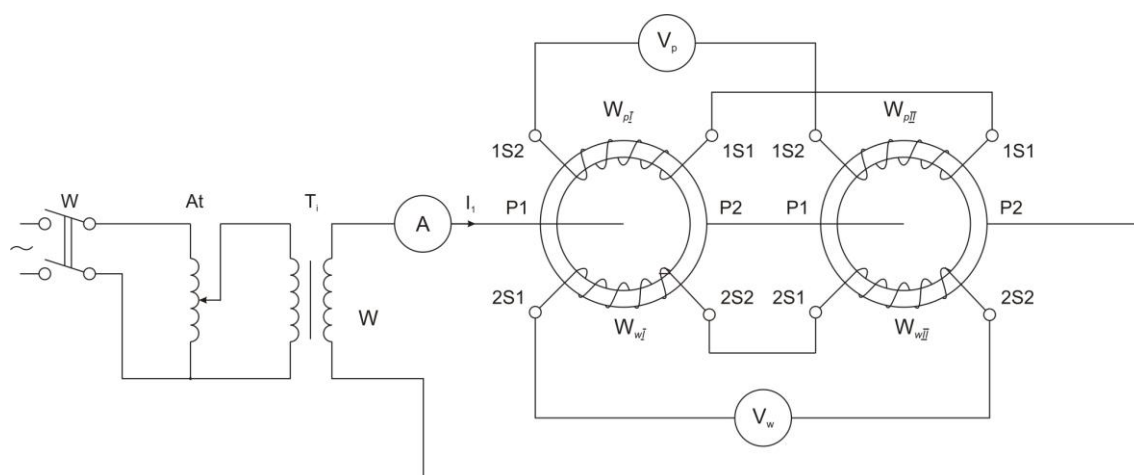
szerelowo przeciwsobnie $U_{pI,II} = f(I_1)$

Wyniki pomiarów zestawić w tablicy 9.2. Na podstawie wyników pomiarów sporządzić wykresy $U = f(I)$

a)



b)



Rys.9.2. Schematy układów pomiarowych, do wyznaczania charakterystyk magnesowania: a) rdzenia magnetycznego, b) przekładnika dwurdzeniowego. W - wyłącznik, At - autotransformator, T_i - transformator izolacyjny (bezpieczeństwa), A - amperomierz elektromagnetyczny kl. 0,5; V, V_w, V_p – woltomierz o dużej impedancji wejściowej

TABLICA 9.2.

Jeden rdzeń																
I	A															
U	V															
Uzwojenia wtórne																
I	A															
U	V															
Uzwojenia podmagnesowujące																
I	A															
U	V															

9.4. Pomiary prądów rozruchowych przekaźnika

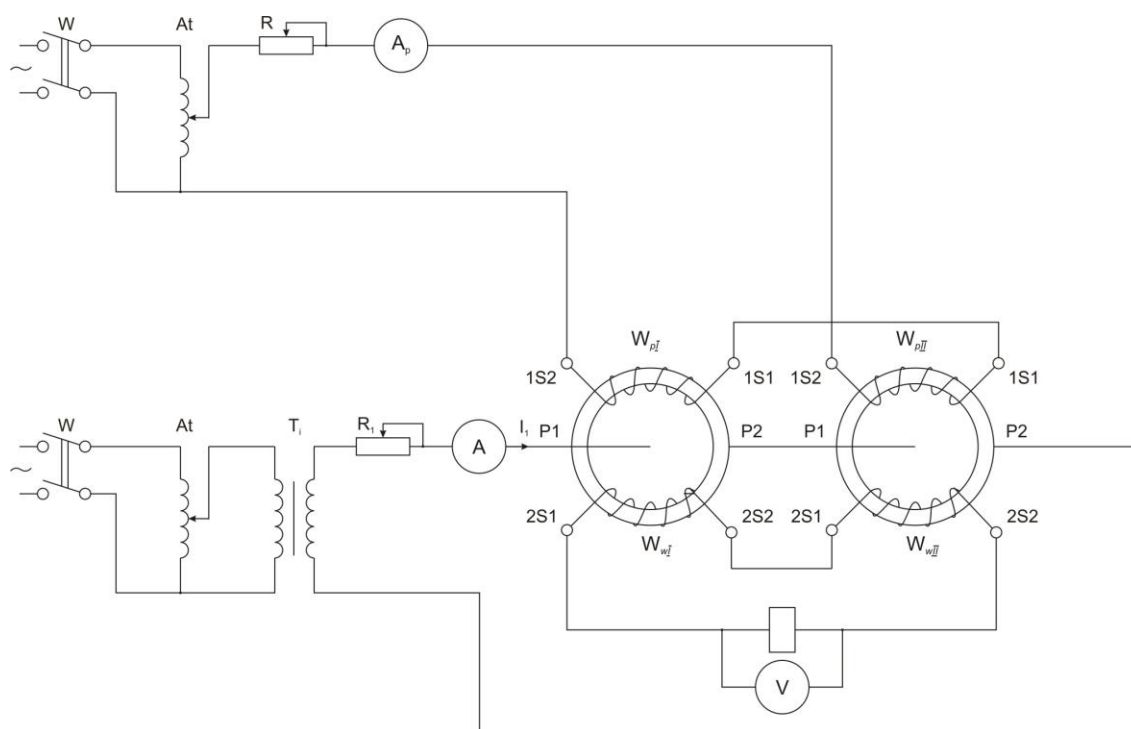
Na przekaźniku RIgx - 10 należy nastawić najmniejszą wartość prądu zadziałania. Przyjme się że prąd ziemnozwarciowy $I_1(I_z)$ jest w fazie z prądem odmagnesowującym. Schemat układu pomiarowego przedstawiono na rys.9.3

Równocześnie z pomiarem prądu rozruchowego należy mierzyć spadek napięcia na przekaźniku nadprądowym.

Wyznaczyć prąd rozruchowy oraz spadek napięcia na przekaźniku przy:

- prądzie podmagnesowującym $I_p = 0$
- prądzie podmagnesowującym zmieniającym się w zakresie $0 \div 60\text{mA}$ zwiększając wartość co 5mA .

Wyniki pomiarów zestawić w tablicy 9.3



Rys.9.3 Schemat układu pomiarowego do wyznaczania wartości prądu rozruchowego przekaźnika zasilanego 2 dwurdzeniowego przekładnika z podmagnesowaniem prądem przemiennym

W - wyłączniki; At, At₁ - autotransformatory; T_i - transformator izolacyjny (bezpieczeństwa); R, R₁ - opornice regulacyjne; RI - przekaźnik nadprądowy; V - woltomierz cyfrowy; A - amperomierz elektromagnetyczny; A_p - miliamperomierz elektromagnetyczny.

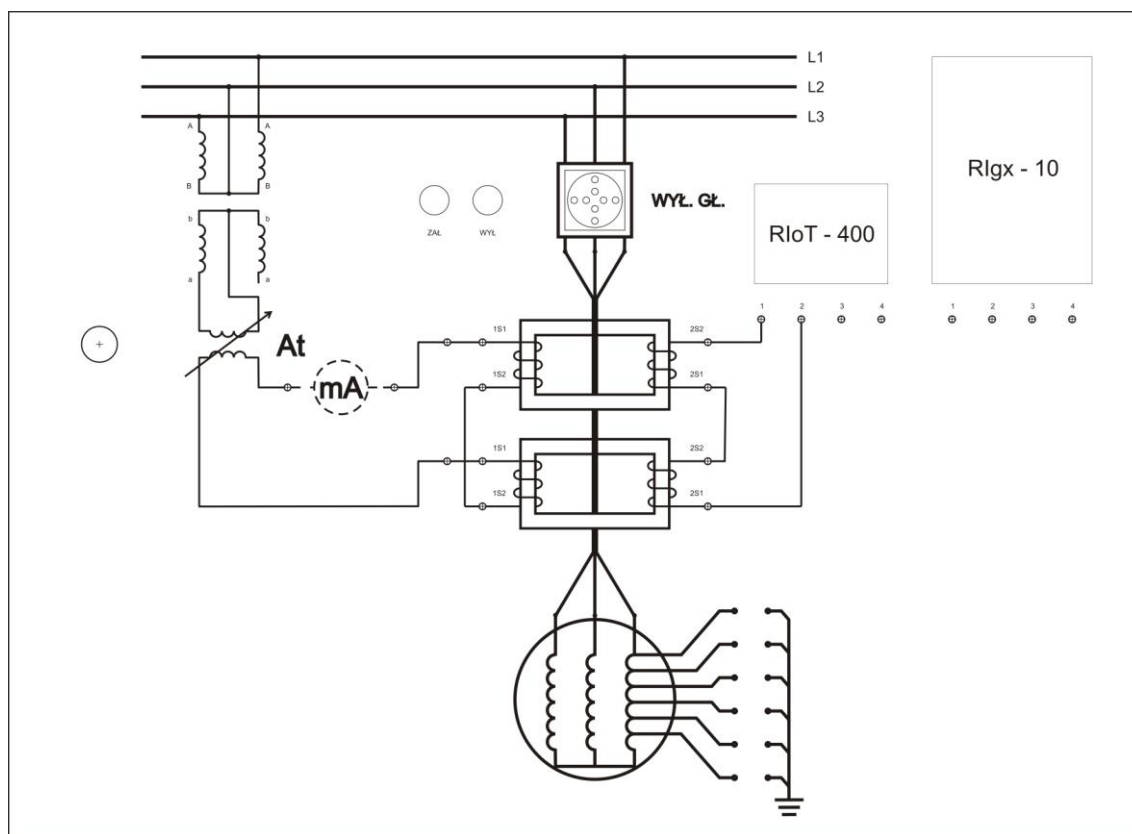
Tablica 9.3

I_p	mA					
I_r	mA					
U	mV					

Każdy pomiar wykonać 3 razy. Sporządzić, wykres zależności $I_r = f(I_p)$
Przeprowadzić analizę wyników pomiarów. Opracować wnioski.

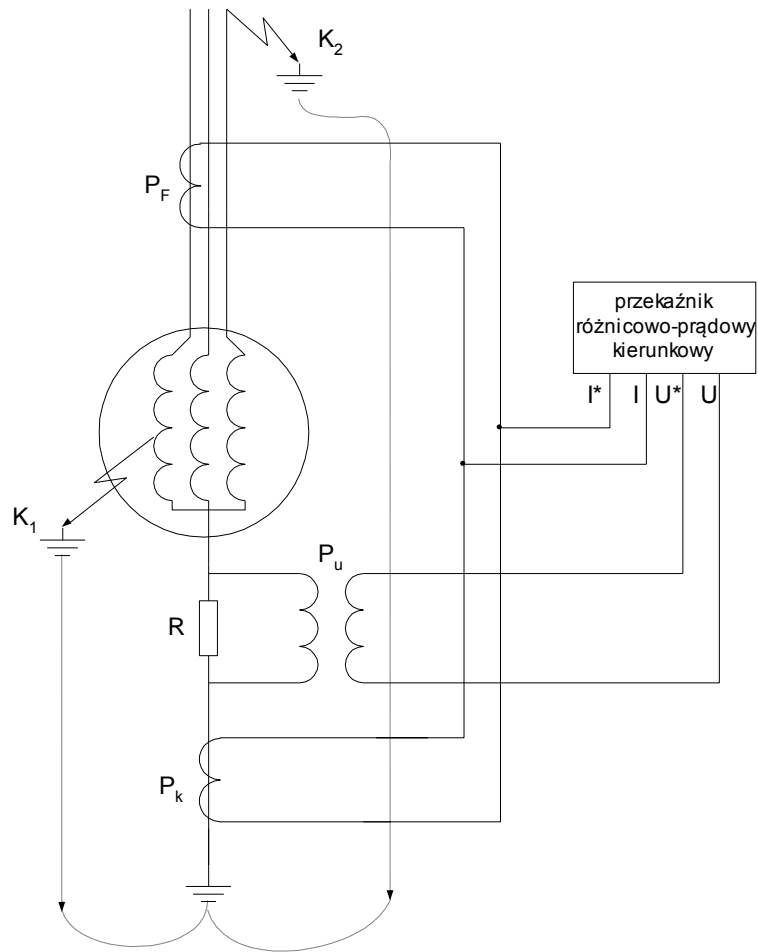
9.5. Funkcjonalne sprawdzenie zabezpieczenia

Schemat układu przedstawiono na rys.9.4. W przedstawionym układzie wykonujemy zwarcia kolejno w różnych punktach uzwojenia generatora przy prądzie podmagnesowania równym zero, obserwujemy zakres działania zabezpieczenia, następnie zwiększamy wartość prądu podmagnesowania tak aby zwiększyć zakres działania zabezpieczenia. Obserwujemy jak zmiana wartości prądu podmagnesowania wpływa na zmianę strefy działania zabezpieczenia. Wnioski umieszczamy w sprawozdaniu.



Rys.9.4 Schemat połączeń do sprawdzenia funkcjonowania zabezpieczenia.

9.5.7. Analiza zabezpieczenia różnicowo-prądowego kierunkowego generatora synchronicznego



Rys. 9.5 Układ połączeń zabezpieczenia kierunkowego, mocowego.

P_F – przekładnik typu Ferranti
 P_k – przekładnik kompensujący
 P_u – przekładnik napięciowy
 K_1, K_2 – strefy zwarciove

W przypadku zwarcia w strefie punktu K_1 zabezpieczenie pobudzi się i zadziała. Nastąpi tak gdyż wystąpi różnica w przepływającym prądzie przez oba przekładniki. Prąd zwarciovy zamknie się poprzez urządzenie zabezpieczane, uziemienie, przekładnik kompensujący i ponownie urządzenie zabezpieczane. W związku z tym nie popłynie składowa zerowa przez przekładnik Ferrantiego i wystąpi różnica prądów co spowoduje pobudzenie zabezpieczenia. W przypadku zwarcia w strefie punktu K_2

zabezpieczenie nie zadziała, ponieważ prąd zwarciovyy zamyka się poprzez oba przekładniki a tym samym nie wystąpi różnica prądowa i zabezpieczenie nie zostanie pobudzone.