

dr inż. Zygmunt Kuran  
mgr inż. Emil Tomczak  
mgr inż. Sławomir Skrodzki  
Instytut Energetyki Warszawa

## **BADANIE CYFROWYCH ZABEZPIECZEŃ RÓŻNICOWYCH TRANSFORMATORÓW**

### **Streszczenie**

W eksploatacji pojawiło się wiele nowoczesnych cyfrowych zabezpieczeń różnicowych transformatorów. Okazało się, że są poważne kłopoty z ich badaniem, ponieważ nie ma do tego odpowiedniego sprzętu. W artykule przedstawiono rozwiązanie tego problemu. Zaprezentowano metody badań opracowanych w Instytucie Energetyki cyfrowych zabezpieczeń różnicowych. Zaprezentowano opracowane również w Instytucie urządzenie testujące.

### **1. Wstęp**

Uruchamianie w eksploatacji cyfrowych zabezpieczeń różnicowych transformatorów jest łatwiejsze niż uruchamianie zabezpieczeń konwencjonalnych, ponieważ mniejsze jest prawdopodobieństwo zrobienia błędu w odrutowaniu. Znacznie trudniejsze są jednak badania zabezpieczeń cyfrowych, gdyż mamy do sprawdzenia zabezpieczenia, w których nastawione są grupy połączeń i przekładnie transformatora oraz przekładnie prądowe przekładników. Do wykonania takich badań niezbędny jest bardzo wyspecjalizowany sprzęt. Wymagania sprzętowe można częściowo zastąpić dobrą znajomością metod badania zabezpieczeń.

Rangę badań nieco zmniejsza jedna niezmienna cech zabezpieczeń różnicowych, która polega na tym, że w warunkach eksploatacyjnych takie stany pracy jak: załączenie transformatora, pełne obciążenie oraz zwarcia zewnętrzne, są testami poprawności pracy zabezpieczenia różnicowego. Takie testy sprawdzają bardzo dużą część zabezpieczenia, nie sprawdzają jednak wszystkiego, np. nie sprawdzają jak zachowa się zabezpieczenie w warunkach ekstremalnych.

Pomimo, że sama eksploatacja jest testem, większość specjalistów od zabezpieczeń uważa, że zabezpieczenie różnicowe należy jednak poddawać okresowo badaniom, które dadzą pewność, że wszystko jest dobrze nastawione i nie będzie żadnych niespodzianek. Jest to trochę tak jak z samochodem, oczekujemy, że po przeglądzie w autoryzowanej stacji obsługi będziemy jeździć bez awaryjnie do następnego przeglądu. Mało kto wybiera wariant eksploatacji samochodu, aż do wystąpienia awarii.

Umiejętności wykonywania badań nie unikniemy, ponieważ każde nieprawidłowe zadziałanie zabezpieczenia różnicowego zmusi nas do wykonania takich badań.

### **2. Charakterystyki zabezpieczeń różnicowych**

W ostatnich latach uległy pewnej modyfikacji wzory opisujące prąd rozruchowy  $I_r$  i hamujący  $I_h$  zabezpieczenia różnicowego. Jeszcze w okresie wdrażania zespołów typu ZAZ prąd różnicowy określany był wzorem  $I_r = \underline{I}_1 - \underline{I}_2$ . Wzór ten powstał w wyniku zbytniego zasugerowania się nazwą „zabezpieczenie różnicowe” i jest w sprzeczności z prawami Kirchhoffa mówiącymi, że suma prądów w każdym węźle powinna być równa zero. Wzór na prąd różnicowy przybrał zatem postać:  $I_r = \underline{I}_1 + \underline{I}_2$  i wszystkie znane firmy stosują ten wzór. Natomiast, co do prądu hamującego nie ma jednomyślności. Różnorodność wzorów na prąd hamujący sprawia, że takie same nastawienia mogą oznaczać różną czułość poszczególnych zabezpieczeń.

Postaramy się zilustrować to na poniższych wykresach. W tym celu na umownym transformatorze z dwustronnym zasilaniem, do którego dopływa prąd  $I_1$  i odpływa prąd  $I_2 = -I_1$ , robimy kontrolowane zwarcie tak, że prąd  $I_2$  będzie stopniowo malał, a po dojściu do zera zmieni kierunek i wzrośnie aż do wartości prądu  $I_1$ , prąd  $I_r$  osiągnie wtedy wartość  $2I_1$ . Dla zabezpieczeń A; B; C i D, które mają różne wzory na prąd  $I_h$  sporządzimy wykres  $I_r/I_h$  w funkcji  $I_r$ , rys.1. Wzory na prąd  $I_h$ :

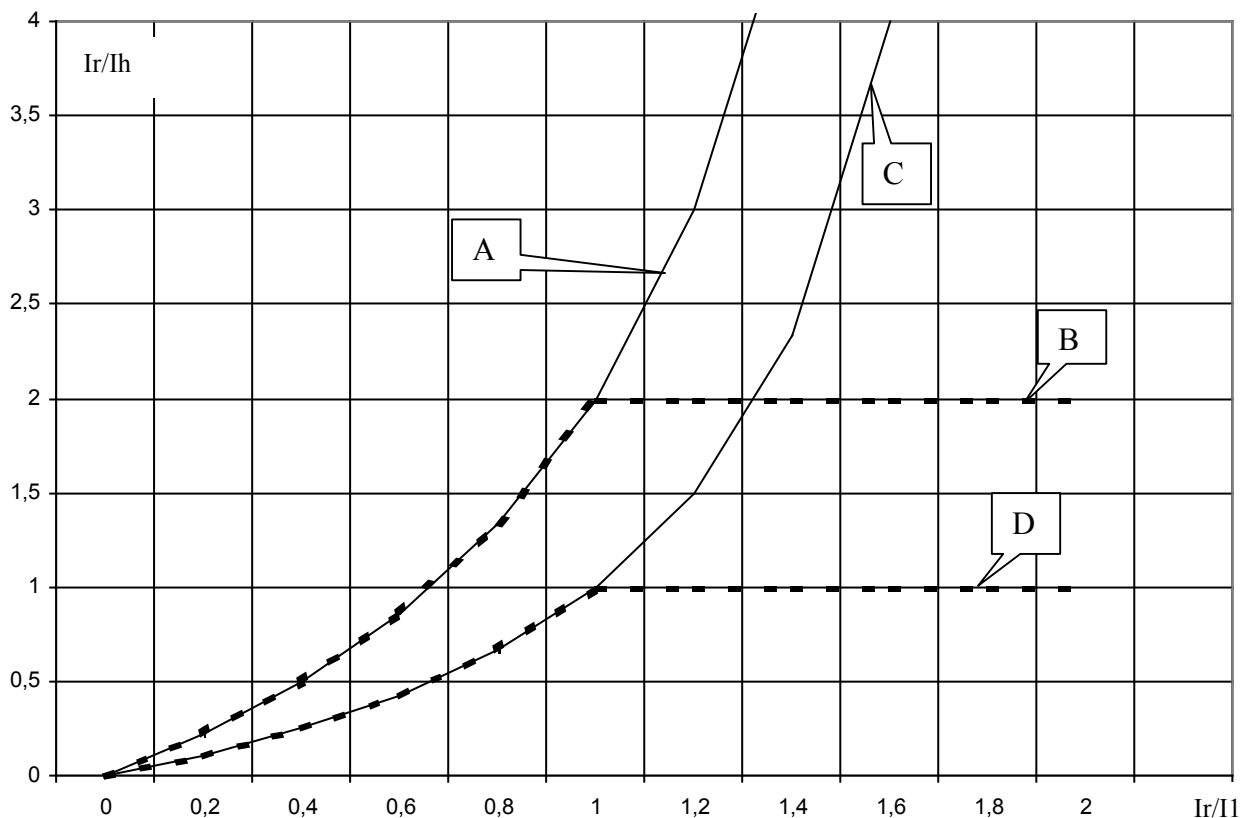
$$A: I_h = 0,5 | I_1 - I_2 |$$

$$B: I_h = 0,5 \{ | I_1 | + | I_2 | \}$$

$$C: I_h = | I_1 - I_2 |$$

$$D: I_h = | I_1 | + | I_2 |$$

Jeśli przyjmiemy zasadę, że dopuszczamy wartość nastawienia współczynnika stabilizacji równą połowie maksymalnej osiąganego wartości  $I_r/I_h$ , to przy jednostronnym zasilaniu transformatora możemy maksymalnie nastawić: w przypadku A i B  $k = 1$ , a w przypadku C i D  $k = 0,5$ , natomiast przy dwustronnym zasilaniu akceptowalna wartość współczynnika stabilizacji jest dla wzoru A zbliżona do 2, a dla wzoru C zbliżona do 1. Dla wzorów B i D nie ma warunków do nastawienia zwiększonej wartości współczynnika stabilizacji. Jeśli obniżamy wartość nastawionego współczynnika stabilizacji w stosunku do podanych wartości maksymalnych, to wzrasta nam czułość i szybkość działania zabezpieczenia.



Rys. 1 Zależność współczynnika  $I_r/I_h$  w funkcji  $I_r$

### 3. Wpływ grupy połączeń na transformowanie się prądów zwarciovych

#### Grupa połączeń Y-y

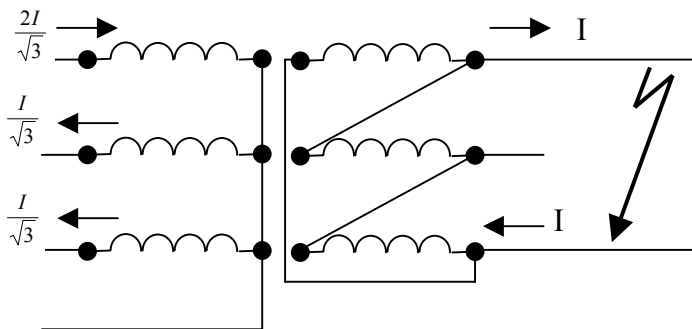
Transformatory grupy połączeń Y-y transformują bez przesunięć fazowych składową zgodną i przeciwną prądu. Jeśli zera gwiazd są uziemione to również transformowana jest składowa zerowa. Przy badaniu zabezpieczeń różnicowych z nastawioną grupą połączeń typu Y-y nie ma żadnych problemów, prądy można wymuszać jednofazowo, dwufazowo, lub trójfazowo tak samo po obu stronach transformatora.

### Grupa połączeń Y-yd

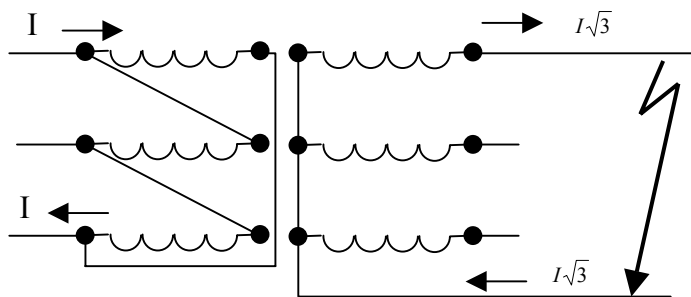
Dla grup połączeń Y-yd z dodatkowym uzwojeniem połączonym w trójkąt, sytuacja nie już tak prosta, tak samo transformuje się składowa zgodna i przeciwna, a nie transformuje się składowa zerowa. Po stronie transformatora po której nie ma warunków do przepływu składowej zerowej nigdy nie dowiemy się czy po stronie przeciwnej taka składowa przepływa, w związku z tym jedynym rozwiązaniem dla zabezpieczenia różnicowego jest wyeliminować składową zerową i pozostawić zabezpieczenie różnicowe działające na podstawie rozplądów składowej zgodnej i przeciwnej. Musimy o tym pamiętać w trakcie badań. Jeśli zdecydujemy się na wymuszanie po dowolnej ze stron transformatora prądu zawierającego składową zerową, to musimy pamiętać, że zabezpieczenie będzie widziało tylko sumę składowych zgodnych i przeciwnych. Cechą charakterystyczną układów Y-y jest to, że nie przesuwają fazy i wartości prądów w odpowiednich fazach nie są przesunięte. Badając zabezpieczenia o grupie połączeń Y-yd możemy wymuszać prąd jako jednofazowy lub dwufazowy, przy czym z prądu jednofazowego powinna być wyeliminowana składowa zerowa, gdyż zabezpieczenie i tak ją wyeliminuje..

### Grupa połączeń Y-d

Rozpląd prądów dla zwarcia dwufazowego po stronie trójkąta transformatora o grupie połączeń Y-d11 i przekładni napięciowej 1:1 przedstawia rys.2. Zwarcie jest bez udziału ziemi i po obu stronach transformatora nie ma prądu składowej zerowej. Jeśli odwrócimy zasilanie i od strony trójkąta transformatora pracującego na biegu jałowym dołączymy generator, a od strony gwiazdy zrobimy jednofazowe zwarcie doziemne, to otrzymamy rozpląd prądów taki jak na rys. 3. Zauważymy, że od strony trójkąta rozpląd prądów w obu przypadkach jest identyczny, a od strony gwiazdy różni się. Różnica polega na tym, że w przypadku pierwszym nie ma składowej zerowej. Po dodaniu tej składowej uzyskujemy obraz prądu identyczny jak w przypadku drugim.



Rys. 2 Rozpląd prądów w transformatorze o grupie połączeń Y-d11 zasilanym od strony gwiazdy przy zwarceniu dwufazowym po stronie trójkąta.



Rys. 3 Rozpląd prądów w transformatorze o grupie połączeń Y-d11 zasilanym od strony trójkąta przy zwarceniu jednofazowym po stronie gwiazdy.

Analizując dokładnie przebiegi po obu stronach transformatora o grupie połączeń typu Y-d stwierdzamy, że składowa zerowa nie transformuje się, natomiast składowa zgodna i przeciwna transformują się zgodnie z godzinowym przesunięciem odpowiadającym danej grupie połączeń,

przy czym składowa przeciwna transformuje się z uwzględnieniem odwrotnego kierunku wirowania wektorów. To znaczy, jeśli dla składowej zgodnej przesunięcie wynosi  $11h$ , to dla składowej przeciwnej wynosi  $1h$ . Z tego powodu prądy niesymetryczne niezawierające składowej zerowej po przetransformowaniu zmieniają układ wektorów.

#### **4. Sposoby przeliczania prądów na jedną ze stron transformatora w celu ich porównania**

Opracowując zabezpieczenie RRTC-1/2 dla transformatora dwu-uzwojeniowego wzorowaliśmy się na istniejących układach zabezpieczeń, w których dla transformatorów w układzie Y-d przekładniki strony gwiazdy połączone były zawsze w trójkąt. Następnie prąd dopasowywany był do prądu uzwojenia transformatora połączonego trójkąt za pośrednictwem przekładników wyrównawczych, mówiąc krócej prądy przeliczone zostały na stronę trójkąta. Taki układ zabezpieczenia bardzo dobrze sprawdzała się w praktyce. Dlatego do nowego zabezpieczenia RRTC-1 zastosowaliśmy taką samą metodę przeliczania prądów gwiazdy transformatora na stronę trójkąta transformatora. Oznacza to, że jeśli w zabezpieczeniu nastawimy prąd rozruchowy np.  $1\text{ A}$ , to uzyskamy działanie zabezpieczenia przy wymuszaniu prąd  $1\text{ A}$  od strony trójkąta, taka sama próba wykonywana od strony gwiazdy wymaga przemnożenia prądu przez odpowiednie współczynniki. Opisana technika realizacji zabezpieczenia automatycznie eliminuje składową zerową prądu. Fakt eliminowania składowej zerowej prądu należy podkreślić szczególnie, gdyż wpływa to na technikę badania tych zabezpieczeń. Istnienie składowej zerowej w prądzie gwiazdy nie ma żadnego wpływu na działanie zabezpieczenia.

Opracowując zabezpieczenie różnicowe RRTC-1/3 dla transformatora trójuzwojeniowego nie mieliśmy tak dobrego wzorca, rozważając różne warianty doszliśmy do wniosku, że przeliczanie prądów na jedną ze stron dolnego napięcia jest uciążliwe i nieuzasadnione technicznie, ponieważ z powodu częstego przypisywania poszczególnym uzwojeniom transformatora różnych mocy nastawiany prąd rozruchowy zabezpieczenia mógłby przyjmować nienaturalne wartości. Najwłaściwszym wydało się nam przeliczanie wszystkich prądów transformatora na stronę gwiazdy, czyli stronę wysokiego napięcia transformatora. Przy tej technice przeliczania prądu powstaje problem ze składową zerową. W transformatorze trójuzwojeniowym przynajmniej jedno uzwojenie jest połączone w trójkąt, lub istnieje trójkąt wyrównawczy. W takiej sytuacji nie jest możliwe odtworzenie prądów gwiazdy na podstawie prądów uzwojeń połączonych w trójkąt, gdyż brakuje nam informacji o składowej zerowej. Na stronę gwiazdy (strona wysokiego napięcia) można jedynie przeliczyć składową zgodną i przeciwną prądu, które transformują się zgodnie z ogólnymi zasadami transformacji. Algorytm przeliczania prądów musi, zatem eliminować składową zerową prądu. Fakt ten ma istotne znaczenie na proponowane układy probiercze.

#### **5. Badanie zabezpieczeń**

Aby upewnić się, że dobrze podłączyliśmy i nastawiliśmy zabezpieczenie różnicowe powinniśmy wykonać następujące próby:

1. Sprawdzenie prawidłowości podłączenia przekładników,
2. Pomiar prąd rozruchowego,
3. Sprawdzenie nastawienia przekładni przekładników i transformatora,
4. Sprawdzenie nastawienia grupy połączeń transformatora,
5. Badanie stabilizacji, czyli nachylenia charakterystyki,
6. Sprawdzenie blokowania zabezpieczenia przy udarach prądu magnesującego,
7. Sprawdzenie blokowania przy przemagnesowaniu transformatora,
8. Sprawdzenie działania przy prądzie trzeciej harmonicznej,
9. Badanie działania zabezpieczenia przy dużej wartości prądu, wskazującej na wystąpienie zwarcia wewnętrznego, bez względu na zawartość harmoniczną oraz pomiar czasów działania.

Zakres sprawdzenia według punktów 1 do 3 i częściowo punktu 4 można wykonać wymuszalnikiem prądów pierwotnych, może to być wymuszalnik typu DOK produkowany w Instytucie Energetyki. Odpowiednie współczynniki do przeliczania prądów znajdują się w tablicach 1 i 2. Prąd zasilający przeliczony przez przekładnie przekładników i transformatora oraz pomnożony przez współczynnik k daje prąd widziany przez zabezpieczenie. Do wykonania sprawdzeń wg punktów 4 do 9 niezbędne jest wyspecjalizowane urządzenie testujące oraz umiejętność dostosowania układu probierczego do typu zabezpieczenia i nastawionej grupy połączeń.

Tablica 1 Zależność współczynnika k od sposobu zasilania zabezpieczenia RRTC-1/2

Grupa Połączeń	Trójfazowe symetrycz. Od strony:		Dwufazowe prądem jednofazowym od strony:		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

Tablica 2. Zależność współczynnika k od sposobu zasilania zabezpieczenia RRTC-1/3

Grupa Połączeń	Trójfazowe symetrycz. Od strony:		Dwufazowe prądem jednofazowym od strony:		Jednofazowe od strony:	
	WN	SN	WN	SN	WN	SN
Y – D	1	1	1	$2/\sqrt{3}$	2/3	$1/\sqrt{3}$
Y – Y	1	1	1	1	2/3	1

### Wybór układu probierczego

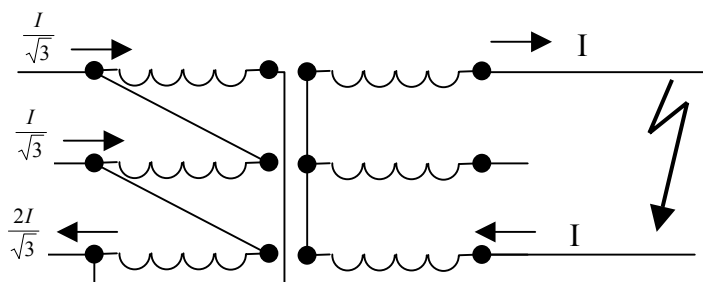
Aby symulować przepływ prądu skrośnego przez transformator o grupie połączeń typu Y-d, można podłączyć z obu stron transformatora dwa symetryczne źródła prądu o stosownym dla transformatora przesunięciu fazowym. Możemy wtedy wymusić prąd skrośny, będzie to symulacja symetrycznego zwarcia zewnętrznego. Możemy również zmniejszyć jeden z prądów w celu wymuszenia prądu różnicowego, będzie to symulacja symetrycznego zwarcia wewnętrznego. Znacznie częstsze są jednak zwarcia niesymetryczne jednofazowe i dwufazowe w czasie których transformator nie wprowadza przesunięcia fazowego pomiędzy prądami strony pierwotnej i wtórnej. Należy to podkreślić, brak przesunięcia fazowego pomiędzy prądami strony pierwotnej i wtórnej przy zwarcu niesymetrycznym, nie przeszkadza wcale, aby składowa zgodna i przeciwna prądu transformowały się odpowiednio do swojego kierunku wirowania i zgodnie z przesunięciami fazowymi właściwymi dla nastawionej grupy połączeń transformatora. Suma wszystkich przetransformowanych składowych daje wypadkowy prąd bez przesunięcia fazowego. Zaprezentowanie odpowiednich metod badań i dostosowanego do nich specjalistycznego sprzętu jest głównym celem referatu. Naszym celem jest wybranie układu probierczego, który umożliwi pełne sprawdzenie charakterystyk zabezpieczenia różnicowego poprzez symulację zwarcia niesymetrycznych. Symulacja powinna być wykonana przy użyciu dwóch jednofazowych źródeł prądu.

Tablica 3 Sposób podłączenia prądów probierczych do zabezpieczenia RRTC-1/2 w zależności od nastawionej grupy połączeń transformatora

Grupa połączeń	Strona WN Prąd $I'_2$		Strona SN Prąd $I_1$		Sposób przeliczania prądu $I'_2$ na $I_2$
	Wpływa	Wypływa	Wypływa	Wpływa	
Yd11	R	0	R	T	$I_2 = I'_2 \frac{g_{WN} g_T}{\sqrt{3} g_{SN}}$
	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 Yy(d)0	R	S	R	S	$I_2 = I'_2 \frac{g_{WN} g_T}{g_{SN}}$
	S	T	S	T	
	T	R	T	R	

Taki sam problem jak z badaniem cyfrowych zabezpieczeń różnicowych pojawił się przy badaniu analogowych zabezpieczeń różnicowych zawierających przekładniki wyrównawcze w środku zabezpieczenia, tak jak było np. w zespołach typu ZAZ. Sprawdził się wtedy układ probierczy wykonany zgodnie z rozplływem prądów przedstawionym na rys.3 Wejścia zabezpieczenia przyłączane do gwiazdy transformatora zasilane są jednofazowym prądem między zerem i fazą, wejścia podłączone do strony trójkąta transformatora zasilane są jednofazowym prądem między fazami. Ponieważ zabezpieczenie RRTC-1/2 dla transformatora dwuuzwojeniowego jest zbudowane bardzo podobnie proponujemy stosowanie takiego samego układu probierczego. Sposób podłączenia prądów probierczych do zabezpieczenia RRTC-1/2 w zależności od nastawionej grupy połączeń transformatora przedstawia tablica 3. Obecność składowej zerowej w prądzie gwiazdy nie deformuje pomiarów, ponieważ składowa ta jest eliminowana w trakcie przeliczania na stronę trójkąta, a jej obecność uwzględniona została w wartości pierwiastka z trzech.

Do badania zabezpieczenia transformatora trójuzwojeniowego wybór tego samego układu nie jest korzystny, ponieważ jednofazowy prąd zanim zostanie porównany z prądami stron średniego napięcia będzie miał odfiltrowaną składową zerową i będzie widziany jako  $2/3$  swojej wartości. Niespełnione byłoby założenie, że prąd wpływający od tej strony, na którą przeliczane są prądy nie powinien zawierać dodatkowych współczynników. Dla zlikwidowania składowej zerowej należy zasilić zabezpieczenie od strony gwiazdy prądem w dwóch fazach, wtedy po stronie trójkąta pojawi się obraz prądu taki jak na rys. 4.



Rys.4 Rozplływ prądów w transformatorze o grupie połączeń Y-d11 zasilanym od strony trójkąta przy zwarciu dwufazowym po stronie gwiazdy.

Ponieważ do wymuszenia takiego prądu niezbędne było by trójfazowe źródło, dlatego dodamy do tego prądu taką wartość składowej zerowej, że uzyskamy prąd jednofazowy. W podobny sposób rozplływ prądów z rys.2 zmienił się na rozplływ przedstawiony na rys.3. Ponieważ na układzie z rys.3 pojawiły się warunki do przepływu składowej zerowej, to ta składowa popłynęła, nie zmieniając rozplływów składowej zgodnej i przeciwnej. W transformatorze z rys.4 taki prąd nie ma warunków do zaistnienia, ale do zabezpieczenia może być doprowadzony, ponieważ przekładniki połączone są w gwiazdę. W wyniku tej operacji do zabezpieczenia dopływa dodatkowo składowa zerowa, która jest jednak eliminowana w algorytmie przeliczania prądu ze strony trójkąta na stronę gwiazdy i nie wpływa na wynik przeliczenia. Sposób podłączenia prądów probierczych do zabezpieczenia RRTC-1/3 dla różnych grup połączeń transformatora przedstawia tablica 4. Obecność dodanej składowej zerowej uwzględniona jest w pierwiastku z trzech wchodzącym do wzoru na prąd..

Tablica 4 Sposób podłączenia prądów pobierczych do zabezpieczenia RRTC-1/3w zależności od nastawionej grupy połączeń transformatora

Grupa połączeń	Strona SN Prąd $I'_1$		Strona WN Prąd $I_2$		Sposób przeliczania prądu $I'_1$ na $I_1$	
	Wpływa	Wypływa	Wypływa	Wpływa		
Yd11	R	0	R	S	$I_1 = \frac{I'_1 g_{SN}}{\sqrt{3} g_{WN} g_T}$	
	S	0	S	T		
	T	0	T	R		
Yd1	R	0	R	T		
	S	0	S	R		
	T	0	T	S		
Yd7	R	0	T	R		
	S	0	R	S		
	T	0	S	T		
Yd5	R	0	S	R		
	S	0	T	S		
	T	0	R	T		
Yy0	R	S	R	S		$I_1 = I'_1 \frac{g_{SN}}{g_{WN} g_T}$
	S	T	S	T		
	T	R	T	R		

#### Opis urządzenia testującego

Założenia do urządzenia testującego:

- Układ pobierczy powinien generować dwa prądy,  $I_1$  i  $I_2$ , do zasilania dwóch stron transformatora,
- Prąd wpływający od tej strony transformatora, po której zabezpieczenie bilansuje prądy nie powinny być przeliczane przez współczynniki, ( dla nastawienia  $I_r = 1A$  zabezpieczenie powinno działać przy 1A prądu wpływającego)
- Prądy  $I_r$  i  $I_h$  powinny być nastawiane bezpośrednio na urządzeniu testującym, prądy wymuszane  $I_1$  i  $I_2$  powinny automatycznie przybierać wymagane wartości wynikające z: prądów  $I_r$ ,  $I_h$ , grupy połączeń i przekładni transformatora, oraz przekładni prądowej przekładników,
- Powinna istnieć możliwość dodawania do prądu  $I_r$  i  $I_h$  prądów wyższych harmonicznych celem badania stopnia blokowania,

Zgodnie z powyższymi założeniami pracuje jeden z programów urządzenia testującego UTC-GT opracowanego w Instytucie Energetyki. Do zadawanych prądów  $I_r$ ,  $I_h$  można dodawać dowolną harmoniczną począwszy od drugiej aż do dwudziestej. Prądy wymuszane w zabezpieczeniu określone są wzorami:

$$I_1 = I_h - 0.5I_r$$

$$I_2 = k(I_h + 0.5I_r)$$



Współczynnik  $k$  może się zmieniać od zera do dziesięciu. Powyższe wzory dostosowują urządzenie UTC-GT do badania zabezpieczeń typu A i B, według oznaczeń z rys 1. Wartość wymuszanych prądów wynosi 2 razy po 50 A. Moc szczytowa wzmacniaczy wynosi 2 razy 500W.

Zastosowanie dwóch różnych układów do badania charakterystyk stabilizacji zabezpieczenia RRTC-1/2 dla transformatora dwuuzwojeniowego i RRTC-1/3 dla transformatora trójuzwojeniowego sugeruje, że nie są to jednakowe zabezpieczenia. Zróbmy zatem następującą próbę, - na transformatorze o grupie połączeń Y-d i przekładni napięciowej 1:1 wyposażonym w przekładniki prądowe również o przekładni 1:1 zainstalowano zabezpieczenie RRTC-1/2 dla transformatora dwuuzwojeniowego i RRTC-1/3 dla transformatora trójuzwojeniowego. Jeśli nastawimy prąd rozruchowy obu zabezpieczeń np. na 1 A, a w transformatorze po stronie trójkąta zrobimy wewnętrzne zwarcie raz dwufazowe, a raz trójfazowe i zasilimy transformator z regulowanego trójfazowego źródła, to przy stopniowym zwiększaniu trójfazowego napięcia dołączanego raz od strony gwiazdy, a raz od strony trójkąta, uzyskamy zadziałanie zabezpieczeń przy wartościach prądu podanych w tabelicy 5.

Tablica 5. Maksymalny prąd fazowy, w chwili zadziałania zabezpieczenia

Typ zabezpieczenia	Zasilanie od strony gwiazdy		Zasilanie od strony trójkąta	
	Zwarcie dwufazowe	Zwarcie trójfazowe	Zwarcie dwufazowe	Zwarcie trójfazowe
Dla Dwuuzwojeniowego tr.	$\frac{2}{\sqrt{3}} \text{ A}$	1 A	1 A	1 A
Dla trójuzwojeniowego tr,	1 A	1 A	$\frac{\sqrt{3}}{2} \text{ A}$	1 A

Widoczne w tabelicy 1 różnice czułości poszczególnych zabezpieczeń w reagowaniu na niesymetryczne zwarcia nie przekraczają 15% i nie mają większego praktycznego znaczenia. Wnikliwi badacze powinni o tym jednak wiedzieć. Wykonując badania zabezpieczeń zgodnie z układami zaproponowanymi w artykule, symulującymi zwarcia niesymetryczne, uzyskujemy wyniki takie same jak w powyższym przykładzie przy zwiarcach symetrycznych.

## 6. Wnioski

1. Dostępne na rynku zabezpieczenia różnicowe mają prąd hamujący opisany różnymi wzorami, z tego względu jednakowo nastawione różne typy zabezpieczeń mogą mieć różną czułość.
2. Do badania cyfrowych zabezpieczeń różnicowych niezbędny jest wyspecjalizowany sprzęt, a do sprawdzenia obwodów prądowych i przekładników niezbędny jest wymuszalnik prądów pierwotnych.
3. Badanie charakterystyk stabilizacji oraz blokad zabezpieczeń różnicowych może być wykonywane poprzez symulację zwarć niesymetrycznych, niezbędne jest wtedy takie dostosowanie układów probierczych, aby prądy mogły być zadawane z dwóch jednofazowych regulowanych źródeł.

## Literatura

[1] Winkler W. Wiszniewski A.; Automatyka zabezpieczeniowa w systemach elektroenergetycznych. Warszawa, WNT 1999r

[2] Zydanowicz J.; Elektroenergetyczna automatyka zabezpieczeniowa. Warszawa, WNT 1983r