

Dr inż. Zygmunt Kuran  
Mgr inż. Sławomir Skrodzki

## DOSKONALENIE METOD BADANIA ZABEZPIECZEŃ

Planując opracowanie oprogramowania dla urządzenia UTC-GT umożliwiającego automatyczne badanie zabezpieczeń poddajemy pod dyskusję metody badań różnych urządzeń zabezpieczeniowych. Temat pozornie wydaje się oczywisty, ale zmieniające się zabezpieczenia oraz sprzęt pomiarowy powodują, że wiele zagadnień należy ponownie przemyśleć.

W krajowej energetyce, w której dominują przekładniki prądowe o znamionowym prądzie wtórnym 5 A oczekuje się od sprzętu testującego zdolności wymuszania prądów  $20 I_n$ , czyli 100 A. Większość importowanego sprzętu do testowania zabezpieczeń dostosowana jest do przekładników o znamionowym prądzie wtórnym 1 A. Dostosowanie tego sprzętu do przekładników o prądzie wtórnym 5 A, wymaga stosowania dodatkowych wzmacniaczy, co znacznie podnosi cenę i ciężar urządzeń. W artykule przedstawiamy propozycje rozwiązania tego problemu.

Instytut Energetyki jest producentem urządzenia testującego UTC-GT. Historia urządzenia UTC-GT rozpoczyna się dwadzieścia lat temu, gdy zbudowano analogowe urządzenie UT-GT3 (*urządzenie testujące, do badania zabezpieczeń generatorów i transformatorów*) – z takim przeznaczeniem budowano pierwsze analogowe egzemplarze urządzenia. Dzisiaj urządzenie UTC-GT (*dla zaznaczenia wersji cyfrowej dodano literę C*), dostosowane jest do badania wszystkich typów zabezpieczeń pól średniego napięcia łącznie z polami silnikowymi i automatyką SCO i SPZ, zabezpieczeń transformatorów oraz zabezpieczeń generatorów. W tym obszarze energetyki dominują przekładniki o prądzie wtórnym 5 A. Aby nie podnosić nadmiernie wagi urządzenia i jednocześnie uzyskać zakres wyjść prądowych na poziomie 50 A, i 100 A zrezygnowano z trójfazowej wersji urządzenia na rzecz wersji jednofazowej. Zdecydowana większość zwarcień sieciowych jest przecież jednofazowa lub dwufazowa. Pozwala to dobrze symulować zwarcia niesymetryczne. Przewidziano również możliwość realizacji trójfazowego źródła prądowego lub napięciowego, jest to niezbędne do badania niektórych zabezpieczeń.

Badanie tak wielu zabezpieczeń urządzeniem jednofazowym wymaga pewnej wiedzy odnośnie układów probierczych. Wiedzę tą zbieramy od dwudziestu lat, jest ona oczywista dla teoretyków z dziedziny zabezpieczeń. Niemniej jednak w warunkach polowych, gdy szybko musimy dostosować układ probierczy do zbadania określonego zabezpieczenia jest bardzo przydatna.

### Opis urządzenia UTC-GT

Urządzenie to zbudowane jest z cyfrowego generatora sygnałów sterujących i precyzyjnego wzmacniacza-wtórniaka. Wyliczone matematycznie przebiegi testujące odtwarzane są w przetwornikach cyfrowo-analogowych jako sygnały sterujące. Mają one żadaną amplitudę, fazę i czas trwania z zachowaniem wysokiej klasy dokładności. Wzmacniacz-wtórniak wymusza prąd i napięcie dokładnie według obliczonego wzorca. Miernik zastąpiony zostaje układem kontroli, który uruchamia sygnał ostrzegawczy, gdy wymuszone przebiegi nie są wierną kopią obliczonego wzorca. Przy takiej konstrukcji urządzenia przestają istnieć problemy z powtarzalnością badań, z fazą początku generowania przebiegów, z czasem trwania próby i z automatyzacją badań. Badając zabezpieczenia od

przeciążeń nie musimy sprawdzać, czy wymuszany prąd nie zmienił wartości. Przy obecnej technice z większą dokładnością można sinusoidę wygenerować, niż zmierzyć.

Podstawowy element wykonawczy nowego testera jest wzmacniacz-wtórnik. Jest on zrealizowany bez wykorzystania przekładnika prądowego. Wyeliminowanie przekładnika zmniejsza wagę urządzenia i umożliwia generowanie przebiegów zawierających składową stałą.

Urządzenie zawiera:

- Trzy wyjścia analogowe. Wyjście A jest zawsze prądowe i ma na zakresie 2 A rozdzielczość 1 mA, a na zakresie 50 A rozdzielczość 10 mA. Wyjście B jest prądowe o zakresie 50 A i rozdzielczości 10 mA lub napięciowe o zakresie 150 V i rozdzielczości 0,1 V. Trzecie wyjście jest napięciowe, wartość napięcia wynosi 100 V AC o częstotliwości sieci i jest nienastawialna. Napięcie to jest niezbędne przy sprawdzaniu trójfazowych zabezpieczeń impedancyjnych. Wyjścia analogowe są od siebie izolowane. Moc szczytowa każdego źródła prądowego o zakresie 50 A wynosi 500 W i jest osiągalna dla obciążenia 0,1  $\Omega$ . Maksymalne napięcie wyjścia prądowego wynosi 10 V. Zakres regulacji częstotliwości wynosi 4,5 Hz do 65 Hz, a fazy 0 do 360°.
- Dwa sekundomierze, wejścia sekundomierzy są od siebie izolowane. Sekundomierz pierwszy jest niezależny od pracy urządzenia. Sekundomierz drugi ma początek liczenia czasu aktywowany wewnątrz przyciskiem START.
- Przekaznik odwzorowania stanu wyłącznika, który jest niezbędny przy badaniu automatyki SPZ-tu. Przy wyborze jednego z dwóch sposobów badania SPZ-tu przekaznik ten odwzorowuje stan położenia wyłącznika.

Urządzenie UTC-GT może pracować w trybie MANUAL, w którym wszystkie zmiany zadawanych parametrów nastawiane są ręcznie, w trybie ZWARCIE, w którym mierzy się czasy zadziałania, a zmiany parametrów zadawane są skokowo oraz w trybie NAJAZD, w którym mierzy się wartość rozruchową i powrotu badanego zabezpieczenia, zmiany parametrów następują automatycznie w nastawionych krokach.

## **Podstawowe układy pracy urządzenia UTC-GT**

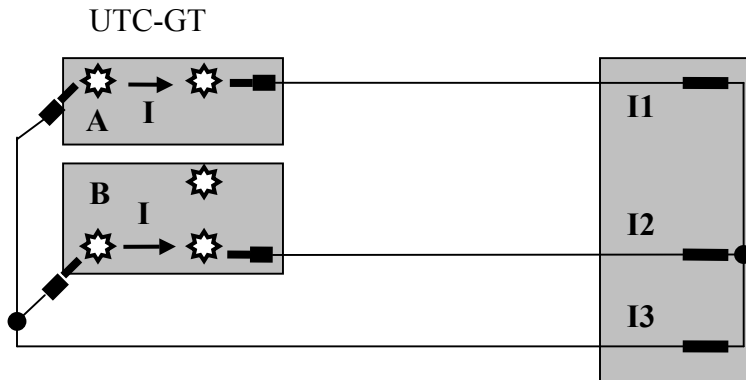
### ***Układ jednofazowy***

Najczęściej stosowanym układem połączenia urządzenia testującego UTC-GT z zabezpieczeniem jest układ: jednofazowy prąd, jednofazowe napięcie, dwa prądy lub prąd i napięcie. Jest to wystarczające do zbadania większości zabezpieczeń. Zabezpieczenia prądowe zwarciove muszą działać poprawnie niezależnie czy prąd wymuszamy w jednej lub w dwóch fazach. Jeśli badamy analogowe zabezpieczenie, to powinniśmy sprawdzać jego działanie w każdej fazie oddzielnie, w przypadku zabezpieczeń cyfrowych sprawdzenie możemy ograniczyć do jednej fazy pod warunkiem, że w pozostałych fazach skontrolujemy wartość prądu mierzonego przez zabezpieczenie. Jeśli przekaznik ma uzwojenia z dostępnymi wszystkimi końcami prąd możemy wymusić w trzech fazach. Unikniemy wtedy pobudzania się zabezpieczeń od asymetrii, ale tylko tych bazujących na nierównomierności amplitud. W tym układzie możemy badać również zabezpieczenia podprądowe. Zabezpieczenia od przeciążeń bada się tak samo, przy czym w tych przypadkach, gdy jest ono zbudowane w oparciu o prąd jednej wybranej fazy należy to uwzględnić. Zabezpieczenia ziemnozwarciowe kierunkowe oraz prądowe kierunkowe bada się również w układzie jednofazowym.

Obwody napięciowe zabezpieczeń mogą być jednofazowe, połączone w układzie V, oraz w układzie trójkąta lub gwiazdy. Badanie zabezpieczeń nadnapięciowych nie stwarza na ogół kłopotów. Natomiast do badania zabezpieczeń podnapięciowych, przy połączeniu obwodów wejściowych w trójkąt lub w gwiazdę, korzystnie jest stosować układ z rys. 2. W niektórych wypadkach może być stosowany układ z rys. 4.

### Układ realizacji trójfazowego źródła prądu

W celu uzyskania z urządzenia trójfazowego symetrycznego prądu UTC-GT ustawiamy między prądami przesunięcie fazowe  $120^\circ$  i realizujemy układ niepełnej gwiazdy, rys.1. Istnieje wtedy możliwość regulowania trójfazowego prądu do 50 A. W trybie MANUAL wprowadzono dodatkowy rodzaj pracy, który umożliwia ręczną symetryczną regulację trójfazowego prądu, czyli pokręcając nastawnikiem regulujemy trójfazowy symetryczny prąd nie tracąc symetrii, dotyczy to tylko najnowszej produkcji.



Rys 1. Sposób podłączenia urządzenia UTC-GT przy badaniu trójfazowych zabezpieczeń prądowych

Opisany układ umożliwia badanie zabezpieczeń przeciążeniowych silników bez pobudzania zabezpieczeń od asymetrii reagujących na składową przeciwną prądu  $I_2$ . Zmniejszając wartość wektora prądu  $I_B$  zadawanego w torze B możemy uzyskać prąd niesymetryczny bez zawartości składowej zerowej. Wartość procentowa prądu  $I_2$  wynosi wtedy:

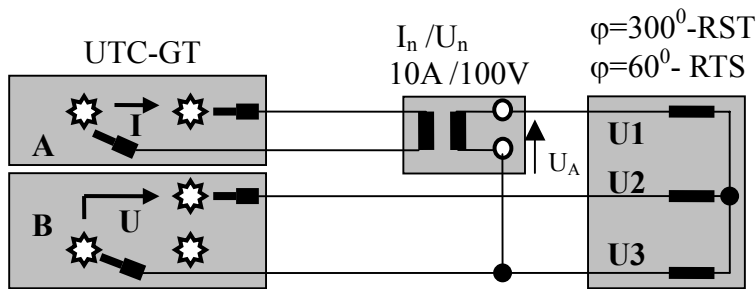
$$I_2 = \frac{I_A - I_B}{\sqrt{3} I_A} 100\%$$

### Układ realizacji trójfazowego źródła napięcia

Do badania zintegrowanych nowoczesnych zabezpieczeń częstotliwościowych i napięciowych stosowanych w polach pomiaru napięcia sieci SN i dla generatorów, niezbędne jest źródło trójfazowego napięcia z gwarantowanym przesunięciem fazowym między wektorami. W takich sytuacjach urządzenie UTC-GT można wykorzystać do generowania trójfazowego napięcia w układzie „V”. Realizujemy to przez zastosowanie zewnętrznego transformatora przetwarzającego prąd kanału A na napięcie, rys.2. Zainteresowanym, Instytut Energetyki dostarcza taki transformator. Potrzeba wykonywania opisanych badań pojawiła się niedawno, dlatego zastosowano zewnętrzny transformator, który docelowo montowany będzie w obudowie urządzenia UTC-GT. Napięcie z transformatora zewnętrznego ma 100 V dla prądu 10 A, pod warunkiem, że obciążenie nie przekroczy ok. 0,5 W. Przy większych obciążeniach należy doregulować wartość napięcia przez zwiększenie prądu ze źródła A.

Jeżeli w opisanym układzie, zachowując ustawione przesunięcie fazowe zmniejszymy wartość napięcia wyjścia B, to zawartość procentowa składowej przeciwniej  $U_2$  w napięciu wynosi:

$$U_2 = \frac{U_A - U_B}{\sqrt{3} U_A} 100\%$$

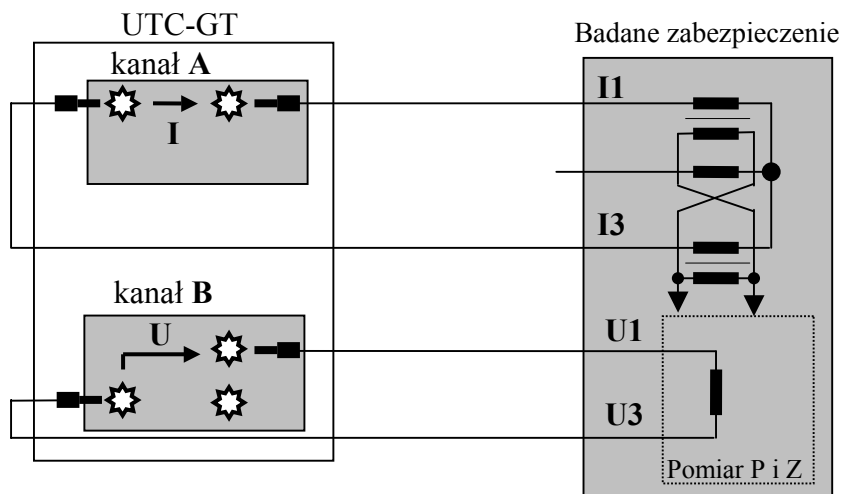


Rys.2. Sposób podłączenia urządzenia UTC-GT przy badaniu trójfazowych zabezpieczeń napięciowych

### Badanie urządzeń mierzących moc i impedancję

Obecnie większość cyfrowych zespołów zabezpieczeń realizuje oprócz funkcji zabezpieczeniowych również pomiary mocy. Dlatego urządzenie UTC-GT musi być przystosowane do sprawdzania przetworników pomiarowych mocy i liczników energii.

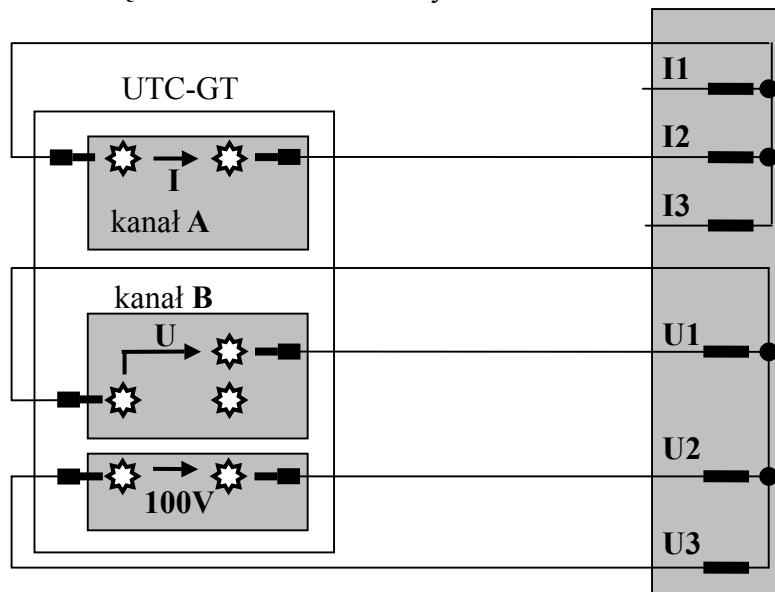
Układy pomiarowe mocy i energii realizowane w układzie pełnym można sprawdzać zasilając badane zabezpieczenie prądem i napięciem w jednej fazie, np. L1 - 0. Dla znamionowych wartości prądu 5 A i napięcia 57 V zabezpieczenie będzie wskazywało 1/3 mocy znamionowej. Pomiary w pozostałych fazach powinny dawać taki sam wynik. Jeśli w opisanym zabezpieczeniu mierzona jest impedancja, to obliczana jest jako stosunek napięcia i prądu. Obwody prądowe i napięciowe połączone są w gwiazdę, można jednocześnie zasiląć prądem i napięciem dwie fazy, np. L1 i L2. Wtedy badane zabezpieczenie, dla znamionowych wartości, 5 A i 100 V powinno, wskazywać  $100/\sqrt{3}$  % mocy znamionowej. Układy pomiarowe mocy i energii zrealizowane w układzie ARONA można badać zasilając jednofazowo dwa połączone równolegle uzwojenia napięciowe i połączone szeregowo uzwojenia prądowe. Wtedy dla zasilania 5 A, 100 V i bez stosowania dodatkowego przesunięcia fazowego wskazanie powinno wynieść  $2/\sqrt{3}$  % mocy znamionowej.



Rys. 3 Badanie zabezpieczeń działających na zasadzie pomiaru mocy i impedancji bazujących na jednym systemie pomiarowym

Podobnie postępujemy, jeśli pomiar mocy zrealizowany został w oparciu o układ przedstawiony na rys.3. W układzie tym moc mierzona jest przez jeden system pomiarowy, do którego doprowadzono jedno napięcie międzyprzewodowe i różnicę dwóch prądów. Takie rozwiązanie stosowane było w okresie zabezpieczeń analogowych, gdy chodziło o

oszczędzanie liczby systemów pomiarowych. Przykładem są zespoły dla bloków generator-transformator typu ZAZ, w których na tej zasadzie zbudowane było zabezpieczenie od utraty wzbudzenia i od zrzutu mocy. Pełni ono dobrze swoje funkcje gdy dokonuje się pomiaru mocy przy obciążeniu symetrycznym. W opisanym przypadku urządzenie testując należy przyłączyć w sposób przedstawiony na rys. 3.. Dla znamionowych wartości prądu 5 A i napięcia 100 V urządzenie wskaże moc o  $2/\sqrt{3}$  wyższą od znamionowej. Opisany układ wykorzystywany jest również do pomiaru impedancji. Zabezpieczenia impedancyjne należy sprawdzać również w tym układzie stosując następujący wzór na impedancję:  $Z = \frac{U}{2I}$ , w którym  $I$  oraz  $U$  są wielkościami zadawanymi.



Rys.4. Sposób podłączenia urządzenia UTC-GT przy badaniu trójfazowych zabezpieczeń podimpedancyjnych

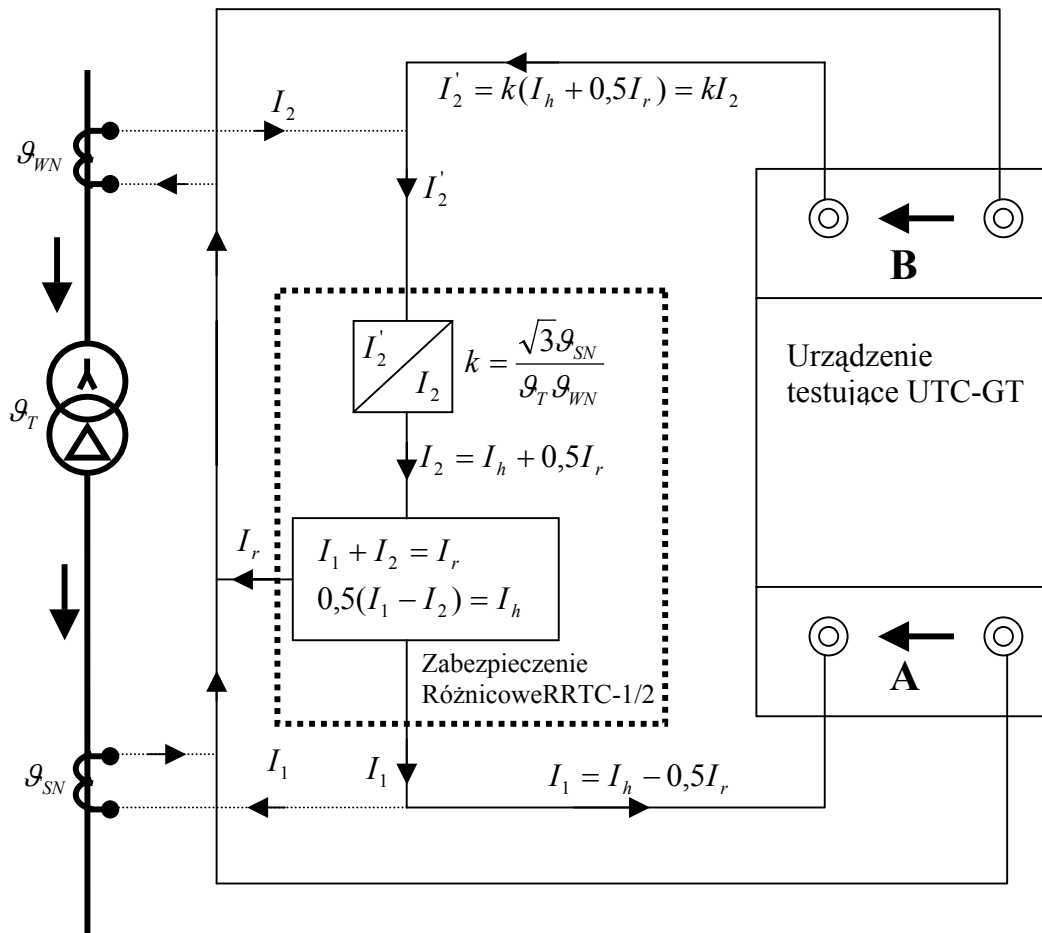
Przykład sprawdzania zabezpieczeń impedancyjnych generatorów w zespołach typu ZAZ przedstawia rys.4. W torach napięciowych tych zabezpieczeń zastosowane są mini selektory nie reagujące na fazę. Dlatego na dwie fazy badanego zabezpieczenia podano nie regulowane napięcie 100 V, dzięki temu fazy te nie biorą udziału w pomiarze i można wyznaczać charakterystykę dla prądu regulowanego w kanale A i napięcia regulowanego w kanale B. W torach prądowych zastosowane są max. selektory. Metody tej nie można stosować, gdy do poprawnej pracy zabezpieczenia potrzebne jest określone przesunięcie fazowe każdego wektora dołączonych napięć.

### ***Badanie zabezpieczeń różnicowych***

Zaproponowany układ probierczy umożliwi pełne sprawdzenie charakterystyk zabezpieczenia różnicowego poprzez symulację zwarć niesymetrycznych. Symulacja jest wykonywana przy użyciu dwóch jednofazowych źródeł prądu. Urządzenie UTC-GT zostało tak skonstruowane, że po jego prawidłowym podłączeniu do badanego zabezpieczenia i nastawieniu właściwej wartości współczynnika  $k$ , badamy charakterystykę zabezpieczenia różnicowego bez dokonywania jakichkolwiek przeliczeń.

Poglądowy układ podłączania zabezpieczenia różnicowego RRTC-1/2 do transformatora i alternatywnie do urządzenia testującego UTC-GT przedstawia rys.5. Rysunek wyjaśnia również znaczenie poszczególnych symboli. Współczynnik  $k$  jest wyliczony w zależności od parametrów transformatora i przekładników. Odpowiednie wzory i zaciski, do

których należy podłączać urządzenie UTC- GT podaje instrukcja obsługi zabezpieczenia RRTC-1/2. Dla zamodelowania przepływu prądu skrośnego transformatora przez zabezpieczenie, w urządzeniu UTC-GT z wyjścia B prąd musi wypływać, a do wyjścia A prąd musi wpływać. Dlatego strzałka opisująca wyjście A nie zgadza się z kierunkiem prądu wpływającego.



Rys.5 Poglądowe rozprędy prądów przy podłączeniu zabezpieczenia różnicowego RRTC-1/2 do transformatora o grupie połączeń Y-d oraz do urządzenia testującego UTC-GT

W urządzeniu UTC-GT prądy  $I_r$  i  $I_h$  zadawane są w amperach natomiast prąd  $I_1$  na wyjściu A oraz prąd  $I_2$  na wyjściu B określone są wzorami  $I_1 = I_h + 0,5I_r$  oraz  $I_2' = k(I_h - 0,5I_r)$ .

Wyluczane w zabezpieczeniu różnicowym prądy  $I_r$  i  $I_h$  są wynikiem odpowiedniego sumowania i odejmowania prądów  $I_1$  i  $I_2$ , z których przynajmniej jeden nie występuje fizycznie, a jest wynikiem podzielenia prądu wpływającego  $I_2'$  przez współczynnik  $k$  wyluczony z przekładni transformatora i przekładników. W urządzeniu UTC-GT musimy odtworzyć ten proces, prąd otrzymywany na wyjściu B jest prądem  $I_2'$  związanym z prądem  $I_2$  zależnością  $I_2' = kI_2$ . Wartość współczynnika  $k$  może być zadawana w przedziale od zera do dziesięciu z krokiem, co 0,001, natomiast każdy z prądów  $I_1$  i  $I_2'$  może być regulowany w zakresie od zera do 50 A.

Urządzenie UTC-GT umożliwia dodawanie do prądu 50 Hz dowolnej wyższej harmonicznej z zakresu od drugiej do dwudziestej.

Opisaną prostotę badań uzyskamy tylko pod warunkiem podłączenia prądu  $I_1$  do tej strony zabezpieczenia, na którą przeliczane są prądy. Nastawiany współczynnik  $k$  będzie dotyczył wtedy tylko prądu  $I_2$ .

Badanie charakterystyki stabilizacji zabezpieczenia różnicowego polega na nastawianiu na urządzeniu UTC-GT żądanej wartości prądu hamującego  $I_h$  i zwiększaniu prądu  $I_r$  do zadziałania zabezpieczenia. Odczytane wartości prądów  $I_r$ ,  $I_h$  w amperach nanosimy bezpośrednio na charakterystykę zabezpieczenia.

### ***Badanie zabezpieczeń reagujących na składową przeciwną***

Przedstawione poniżej reguły odnoszą się do obwodów prądowych i napięciowych. Jeśli obwody prądowe badanego zabezpieczenia połączone są w gwiazdę, i zostaną zasilone jednofazowym prądem, np. na fazę L1 – 0, to w wymuszonym prądzie składowa przeciwna  $I_2$  będzie wynosiła  $I_2 = \frac{1}{3}I$ . Przesunięcie fazowe składowej przeciwnej jest zgodne z prądem wymuszonym.

Jeśli natomiast to samo zabezpieczenie zasilimy jednofazowym prądem wymuszonym przez dwie fazy, np. L1 i L2, to składowa przeciwna  $I_2$  będzie wynosiła  $I_2 = \frac{I}{\sqrt{3}}$ .

Przesunięcie fazowe składowej przeciwnej zmieni się o  $30^\circ$ . W opisany sposób możemy badać zabezpieczenia reagujące na amplitudę składowej przeciwnej. Natomiast jeśli badane zabezpieczenie zostało zrealizowane tak, że reaguje na procentową zawartość składowej przeciwnej to musimy zrealizować próby w układzie z rys.1.

### **Doskonalenie metod badania zabezpieczeń**

*Czy cyfrowe zespoły zabezpieczeniowe trzeba przeprogramowywać na czas badań?*  
Stare zabezpieczenia składały się przeważnie z pojedynczych zabezpieczeń. Sprawdzało się zatem kolejno poszczególne zabezpieczenia, które rzadko kiedy wzajemnie na siebie oddziaływały. A jeśli blokady były potrzebne, to najłatwiej było je wykonać wkładając papierek między styki odpowiedniego przekaźnika. Sposób prosty, ale był akceptowany, gdy tym papierkiem było 100 zł – gwarantowało to, że ów papierek nie będzie tkwił tam zbyt długo.

Obecnie wymuszając prądy w obwodach nowoczesnych sterowników zasilamy wszystkie zabezpieczenia prądowe. Zabezpieczenia te najczęściej działają na ten sam przekaźnik wyłączający. Dochodzi często do kolizji, nie wiemy, które zabezpieczenie spowodowało zamknięcie zestyku wyłączającego. Pojawiła się zatem skłonność do przeprogramowywania zespołów na czas prób. Nie ma tylko gdzie wkładać kaucji gwarantującej ponowne przeprogramowanie. A jeśli nawet wszystko poprawnie się odbyło, to czujemy pewien niepokój, że zabezpieczenie z prawdziwymi nastawieniami nigdy nie było badane.

Naszym zdaniem próby należy tak przeprowadzać, aby zawsze kontrolować sygnał wysyłany przez przekaźnik wyłączający, a zasilanie zabezpieczeń organizować tak, aby zabezpieczenia pobudzane były selektywnie. Stawiamy zatem tezę: - jeśli istnieje zabezpieczenie, którego nie umiemy pobudzić, tak żeby dawało sygnał na zamknięcie zestyku, to w cyfrowym zespole zabezpieczeń jest ono niepotrzebne. Oznacza to, że zaprogramowanie dwóch identycznych zabezpieczeń w tym samym zespole cyfrowym nie daje rezerwowania. Poniżej przedstawiamy najczęściej występujące konflikty.

Występuje zbędne działanie zabezpieczenia zwłocznego podczas sprawdzania wartości rozruchu i powrotu zabezpieczenia bezzwłocznego. Typowe nastawienie członu zwłocznego wynosi około 1 s, w tym czasie w tradycyjny sposób nie można zmierzyć wartości rozruchowej i powrotu zabezpieczenia bezzwłocznego. Rozwiązaniem tego problemu jest

możliwe poprzez realizację próby dynamicznej. Generujemy prąd w czasie krótszym od nastawienia zabezpieczenia zwłocznego. Zwiększając w kolejnych próbach amplitudę prądu oczekujemy na zadziałanie zabezpieczenia. Jeszcze sprawniej wykonamy próbę korzystając z trybu pracy „NAJAZD”. Wtedy w jednej próbie możemy zmierzyć wartość rozruchową i odpadu zabezpieczenia. Kroki, z którymi zwiększają się wielkości zadawanej w trybie „NAJAZD” realizowane są co dwa okresy, ok. 40 ms, w takim czasie przeciętne bezzwłoczne zabezpieczenie jest w stanie zareagować na krokową zmianę. W 0,4 s zrobimy zatem 10 kroków, np. dla nastawienia 5 A możemy nastawić „NAJAZD” w zakresie od 4,75 A do 5,25 A, i z powrotem do 4,75 A, krok wyniesie 0,05 A. Krokowe obniżanie amplitudy podwoi czas próby. Dlatego przy krótkim nastawieniu członu zwłocznego pomiar współczynnika powrotu korzystnie jest wykonać w drugim cyklu, w którym najazd ustawimy od 5,25 A do 4,75 A. Opisaną procedurę można stosować również przy badaniu zabezpieczeń prądowych kierunkowych i częstotliwościowych, wtedy krokowej zmianie podlega kąt lub częstotliwość.

Podwójne działanie zabezpieczeń wystąpi podczas badania zespołów zawierających zabezpieczenie różnicowe i zabezpieczenia nadprądowe. W celu sprawdzenia zabezpieczenia nadprądowego należy blokować działanie zabezpieczenia różnicowego podając drugą harmoniczną prądu na uzwojenia przeznaczone dla drugiej strony transformatora. W zależności od typu zabezpieczenia może to być dowolna faza lub ta, w której aktualnie badane jest zabezpieczenie nadprądowe. Taka próba wiernie odpowiada sytuacji, gdy powstaje zwarcie w chwili załączania transformatora. Możliwa jest również inna selektywna próba, która będzie odpowiadała rzeczywistości. Zabezpieczenie różnicowe należy zasilać prądem skośnym transformatora według rys. 5. Prąd taki nie pobudza zabezpieczenia różnicowego, a pobudza tylko zabezpieczenie nadprądowe. Sytuacja taka odpowiada zwarcia zewnętrznemu transformatora. Oczywiście najlepszym rozwiązaniem jest stosowanie zabezpieczenia różnicowego z odrębnymi obwodami prądowymi i z oddzielną cewką wyłączającą. Występuje również sytuacja odwrotna, że zabezpieczenie nadprądowe uniemożliwia zdejmowanie charakterystyk zabezpieczenia różnicowego. Naszym zdaniem nie ma potrzeby zdejmowania charakterystyk zabezpieczenia różnicowego powyżej nastawienia prądu rozruchu zabezpieczenia prądowego bezzwłoczno. Natomiast w przypadku zabezpieczenia zwłocznego pomiar powinien się dokonać przed jego zadziałaniem.

*Wartość rozruchową zabezpieczeń sprawdzało się u nas zawsze przez „najeżdżanie”, decydowały o tym możliwości sprzętowe. Czy na pewno jest to najlepsza metoda? Metoda ta niewątpliwie pozwala najszybciej określić wartość rozruchową zabezpieczenia. Z punktu widzenia naturalnych warunków pracy zabezpieczenia tak określona wartość jest mało wiarygodna, szczególnie przy zabezpieczeniach szybkich. Dlatego, po takim określeniu wartości rozruchowej dla bezzwłoczno zabezpieczenia korzystnie jest wykonać kilka pomiarów czasu działania w pobliżu zmierzonej wartości rozruchowej. Dla niektórych typów zabezpieczeń wyniki dynamiczne mogą się istotnie różnić od wyników statycznych.*

*W danych technicznych stosowanych w kraju zabezpieczeń nie jest określony czas wybiegu, czy na pewno jest to parametr, który można pomijać?. Czas wybiegu jest parametrem określanym dla zabezpieczeń zwłocznych. Oznacza on czas odmierzany od momentu obniżenia się maksymalnego przewidywanego dla danego obwodu prądu do momentu zadziałania zabezpieczenia. Prąd zanika przed zadziałaniem zabezpieczenia, a pomimo to może dojść do jego działania. Prąd obniża się nie do zera, a do warunków obciążenia powiększonych o prąd samorozruchu silników, czyli do wartości, przy której normalnie przekładnik nie działa.. Dla różnych typów zabezpieczeń czas ten wynosi od 30 ms do 150 ms. Najkrótszy czas stopniowania zabezpieczeń nie może być krótszy od sumy czasów: działania wyłącznika i czasu wybiegu. Tylko w niektórych konstrukcjach zabezpieczeń czas wybiegu może być zastępowany czasem odpadu. W nowych zespołach gdzie sygnał wyłączający ma często określony czas trwania, nie można zmierzyć czasu*



powrotu. Czas wybiegu można natomiast zmierzyć zawsze. Jeśli chcemy zatem skracać czasy stopniowania zabezpieczeń to musimy koniecznie zmierzyć rzeczywisty czas wybiegu. Tradycyjny sprzęt pomiarowy nie dawał możliwości pomiaru tego czasu, a urządzenie UTC-GT jest do tego dobrze dostosowane.

W związku z naszą aktywną pracą w obszarze zabezpieczeń różnicowych często trafiają do nas telefoniczne zapytania, przy jakim prądzie powinno zadziałać zabezpieczenie różnicowe w czasie najeżdżania przekładników prądem pierwotnym. Odnośnie naszych zabezpieczeń informacje te znajdują się w instrukcji zabezpieczenia RRTC-1, patrz tablica 1.

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

Zabezpieczenie różnicowe RRTC-1/2						
	Zasilanie trójfazowe symetryczne		Zasilanie dwufazowe prądem jednofazowym od strony:		Zasilanie jednofazowe od strony:	
	WN	SN	WN	SN	WN	SN
<b>Y-d</b>	$\frac{I_{SN}}{I_T}$	$I_{SN}$	$\frac{\sqrt{3}}{2} \frac{I_{SN}}{I_T}$	$I_{SN}$	$\frac{\sqrt{3} I_{SN}}{I_T}$	$I_{SN}$
<b>Y-y</b>	$\frac{I_{SN}}{I_T}$	$I_{SN}$	$\frac{I_{SN}}{I_T}$	$I_{SN}$	$\frac{I_{SN}}{I_T}$	$I_{SN}$
<b>Y-yd</b>	$\frac{I_{SN}}{I_T}$	$I_{SN}$	$\frac{I_{SN}}{I_T}$	$I_{SN}$	$\frac{3 I_{SN}}{2 I_T}$	$\frac{3}{2} I_{SN}$
Zabezpieczenie różnicowe RRTC-1/3						
<b>Y-d</b>	$I_{WN}$	$I_T I_{WN}$	$I_{WN}$	$\frac{\sqrt{3}}{2} I_T I_{WN}$	$\frac{3}{2} I_{WN}$	$\sqrt{3} I_T I_{WN}$
<b>Y-y</b>	$I_{WN}$	$I_T I_{WN}$	$I_{WN}$	$I_T I_{WN}$	$\frac{3}{2} I_{WN}$	$I_T I_{WN}$

k -współczynnik przez które należy pomnożyć nastawiony prąd rozruchowy, aby otrzymać prąd pierwotny, przy którym nastąpi rozruch zabezpieczenia.

Przy zasilaniu zabezpieczenia od strony pierwotnej odczytujemy przede wszystkim na zabezpieczeniu prądy fazowe. Zgodność odczytu z wymuszonym prądem jest potwierdzeniem właściwego nastawienia przekładni przekładników i świadczy ponadto o drożności obwodów prądowych. Sprawdzamy również prąd, przy którym zabezpieczenie zadziała, jest to sprawdzenie nastawienia prądu rozruchowego. Badania takie można wykonać wymuszalnikiem prądów pierwotnych typu DOK produkowanym w Instytucie Energetyki. Umożliwia on wymuszanie prądów do 2400 A.

Jeśli mamy badać nieznaną nam zabezpieczenie zainstalowane na transformatorze o grupie połączeń Y-d lub D-y i dowolnym przesunięciu fazowym, powinniśmy na wstępie określić znamionowe prądy pierwotne i wtórne dla każdej strony transformatora. W celu oceny prawidłowości nastawienia, proponujemy posłużyć się następującymi wskazówkami. Zasilamy zabezpieczenie niesymetrycznie znamionowym prądem pierwotnym  $I_n$  transformatora oddzielnie dla każdej strony i sprawdzamy wskazywaną przez zabezpieczenie wartość prądu różnicowego. Zaczynamy od zasilania jednofazowego w dwóch fazach, tak aby w jedną fazę prąd wpływał, a z drugiej wypływał. Przy zasilaniu strony, na którą prąd różnicowy jest przeliczany pojawia się w dwóch fazach  $I_n$  bez żadnego współczynnika. Przy zasilaniu strony przeciwnej prąd w dwóch fazach wyniesie  $I_n/\sqrt{3}$ , a w jednej będzie dwa razy większy  $2I_n/\sqrt{3}$ . Może być wyrażony w %, w amperach pierwotnych lub wtórnych.

Następnie wymuszając prądu w jednej fazie upewniamy się czy włączona jest kompensacja składowej zerowej. Przy zasilaniu strony, na którą prądy są przeliczane w gałęzi różnicowej w jednej fazie pojawi się  $I_n$ , pod warunkiem, że kompensacji nie ma, lub w dwóch fazach  $I_n/3$  i w trzeciej  $2I_n/3$ , gdy kompensacja jest włączona. Przy zasilaniu strony przeciwnej w dwóch fazach gałęzi różnicowej pojawi się  $I_n/\sqrt{3}$ , a w trzeciej zero. Jeśli zaistnieje inna sytuacja, to zabezpieczenie jest prawdopodobnie błędnie nastawione. Może się zdarzyć, że po stronie sieci uziemionej nie stwierdzamy istnienia kompensacji prądu  $I_o$ . Nie oznacza to, że jest błąd, gdyż kompensacja ta może być realizowana w algorytmie przeliczeniowym prądu z jednej strony na drugą.

Po zidentyfikowaniu wartości prądu różnicowego odpowiadającego znamionowym prądom w poszczególnych fazach łatwo możemy określić wartości rozruchowe przy różnych sposobach wymuszania prądu.

### **Wnioski**

1. Zmieniające się zabezpieczenia oraz sprzęt do ich testowania skłaniają do ciągłego doskonalenia metod badawczych.
2. Przekładniki prądowe o znamionowym prądzie wtórnym 5 A sprawiają, że przed sprzętem testującym stawiane są bardzo wysokie wymagania co do mocy źródeł prądowych, jednym ze sposobów rozwiązania tego problemu jest stosowanie testerów niepełnofazowych.
3. Skuteczne badanie nowoczesnych cyfrowych zabezpieczeń różnicowych można osiągnąć nie tylko przez unowocześnianie sprzętu testujących, ale również przez doskonalenie metod badań.