

Dr inż. Zygmunt Kuran  
Mgr inż. Sławomir Skrodzki  
Mgr inż. Emil Tomczak  
Dr inż. Krzysztof Woliński

## **Analiza działania zabezpieczeń różnicowych RRTC – 1 na podstawie zapisów rejestratora kryterialnego**

### **1. Wprowadzenie**

Impulsem do opracowania nowej generacji zabezpieczenia różnicowego były problemy z prowadzeniem prawidłowej eksploatacji dotychczas powszechnie stosowanego do ochrony transformatorów 110/SN zabezpieczenia RRTT-6 i RRTT-7. Elektroniczne, tranzystorowe z autonomicznym zasilaczem zabezpieczenie różnicowe RRTT-7 opracowane w latach sześćdziesiątych (produkowane przez Zakłady REFA w Świebodzicach) po licznych próbach modernizacji i problemach z elementami elektronicznymi nie zawsze było gwarantem prawidłowego działania [2, 3]. Na początku lat 80-tych pojawiły się na krajowym rynku analogowe zabezpieczenia różnicowe opracowane w systemie ZAZ i SMAZ, które były alternatywą dla zabezpieczeń RRTT, jednak z uwagi na rozwój zabezpieczeń cyfrowych w połowie lat 90-tych zaprzestano produkcji zabezpieczeń analogowych. W 1997 roku Instytut Energetyki w Warszawie przystąpił do opracowywania w pełni cyfrowego zabezpieczenia różnicowego transformatora. Pierwsze egzemplarze tych zabezpieczeń zainstalowano w roku 1998 [1].

W roku 1999 Instytut Energetyki rozpoczął proces wdrażania do eksploatacji nowej generacji zabezpieczenia różnicowego typu RRTC-1. Do końca 2002 roku Laboratorium Automatyki i Zabezpieczeń Instytutu Energetyki opuściło 215 egzemplarzy tych zabezpieczeń, które są sukcesywnie włączane do eksploatacji [4]. Są one stosowane do ochrony transformatorów zarówno dwuuzwojeniowych, jak i trójuzwojeniowych. Zabezpieczenie RRTC-1 jest wyposażone w nowy rodzaj rejestratora zakłóceń nazwany przez twórców rejestratorem kryterialnym.

Dzięki bardzo dobrej współpracy z użytkownikami nowych zabezpieczeń cyfrowych do Instytutu Energetyki na bieżąco są przekazywane zapisy rejestratorów kryterialnych z ciekawszych zdarzeń. Otrzymywany materiał ma wartość prób zwarciovych i jest tym cenniejszy, że pochodzi z różnych konfiguracji sieciowych oraz ze współpracy z różnymi typami przekładników prądowych [5].

### **2. Rejestrator kryterialny**

Zabezpieczenie RRTC-1 posiada rejestrator kryterialny, który pozwala na kontrolę poprawności pracy i optymalizację nastawień zabezpieczenia. Analiza przebiegów zarejestrowanych przez rejestrator pozwala wykonać dogłębną analizę pracy zabezpieczenia dotyczącą czasu awaryjnej pracy transformatora.

Rejestrator kryterialny rejestruje 120 ms przebiegów wewnętrznych zabezpieczenia (przetworzonych przez algorytmy zabezpieczeniowe) od momentu pobudzenia. Momentem wyzwolenia rejestratora jest przekroczenie przez prąd różnicowy wartości początkowego prądu rozruchowego nastawionego w zabezpieczeniu, niezależnie od wartości prądu stabilizacji i prądu drugiej i piątej harmonicznej. Takie skonfigurowanie powoduje, że rejestrator zapisuje wszystkie zadziałania zabezpieczenia, a także załączenia transformatora i zwarcia zewnętrzne

zasilane przez dany transformator w przypadku, gdy prąd uchybowy w gałęzi różnicowej przekroczy wartość początkowego prądu rozruchowego. Zapisy rejestratora kryterialnego są prezentowane graficznie w pięciu oknach, które przedstawiają:

A/ Lewe – górne: prąd różnicowy (przebieg czerwony) i sumę blokowania (przebieg żółty). Przekroczenie przez prąd różnicowy wartości sumy blokowania jest równoznaczne z zadziałaniem zabezpieczenia.

B/ Lewe – środkowe: prąd hamujący.

C/ Lewe – dolne: współczynnik bezpieczeństwa.

D/ Prawe – górne: zawartość prądu 100 Hz w prądzie różnicowym.

E/ Prawe – dolne: zawartość prądu 250 Hz w prądzie różnicowym.

Wartości pokazywane w powyższych oknach są wartościami maksymalnymi, wybranymi z trzech faz. Suma blokowania z okna „A” jest sumą prądu hamującego (okno „B”) pomnożonego przez współczynnik hamowania, prądu 100 Hz (okno „D”) pomnożonego przez współczynnik blokowania od 100 Hz i prądu 250 Hz (okno E) pomnożonego przez współczynnik blokowania od 250 Hz (wartości współczynników są ustawiane w zabezpieczeniu). W prawej dolnej części ekranu wyświetlane są wartości wielkości pokazywanych graficznie w wyżej opisanych oknach, odczytane dla dowolnego momentu czasowego z pokazywanego zakresu (ustawiane kursorem) oraz wartości pierwotne prądów fazowych strony górnej i dolnej transformatora odczytane w 20 ms po pobudzeniu rejestratora.

Sposób wyzwalania rejestratora kryterialnego (przekroczenie przez prąd różnicowy nastawionej wartości początkowego prądu rozruchowego) powoduje, że pierwsze milisekundy zdarzenia (od 3 do 10 ms w zależności od wartości prądu różnicowego) nie są rejestrowane. Całkowity czas działania zabezpieczenia RRTC-1 składa się z czasu nie rejestrowanego (jak wyżej), czasu działania algorytmu (czas od początku rejestracji do momentu przecięcia się przebiegów prądu różnicowego i sumy blokowania w oknie „A”) i czasu działania przełącznika wyjściowego (8 ms).

Skokowa zmiana prądu różnicowego (pojawienie się i zanik) powoduje przeregulowanie filtra drugiej harmonicznej przez czas ok. 25 ms, co uwidoczni się podskokiem wartości prądu drugiej harmonicznej pokazywanego w oknie „D” (patrz rys. 1 i rys.2).

### **3. Działanie zabezpieczenia w przypadku zwarć wewnętrznych**

W dotychczas zarejestrowanych 21 działaniach zabezpieczenia różnicowego RRTC-1, nie było przypadku związanego z uszkodzeniem wewnętrznym transformatora [4,6]. Przyczyny działania zabezpieczenia były następujące:

- zwarcia dwufazowe w polu SN transformatora spowodowane przez drobne ssaki (koty, kuny) - 8 przypadków,
- podwójne zwarcia doziemne w sieci SN, drugie doziemienie w polu SN transformatora (uszkodzenie odgromnika, izolatora przepustowego) – 4 przypadki,
- zwarcia dwufazowe w polu SN transformatora spowodowane uszkodzeniem przekładników napięciowych - 4 przypadki,
- zwarcia jednofazowe w polu 110 kV transformatora spowodowane uszkodzeniem odgromników - 2 przypadki,
- inne przyczyny - 3 przypadki.

Wszystkie działania były prawidłowe. Działań zbędnych i brakujących do chwili obecnej nie stwierdzono.

We wszystkich przypadkach zabezpieczenie działało zgodnie z założeniami konstrukcyjnymi, tj. z czasem działania poniżej 35 ms. Czas działania zabezpieczenia jest krótszy w przypadku wzrastającej wartości prądu różnicowego. Czas likwidacji zwarcia był różny i zależał przede wszystkim od czasów własnych wyłączników. Z zapisów rejestratora kryterialnego wynika, że czasy działania wyłączników często przekraczają wartość 70 ms. Na rysunkach 1 – 4 pokazano przykładowe rejestracje z działania zabezpieczenia.

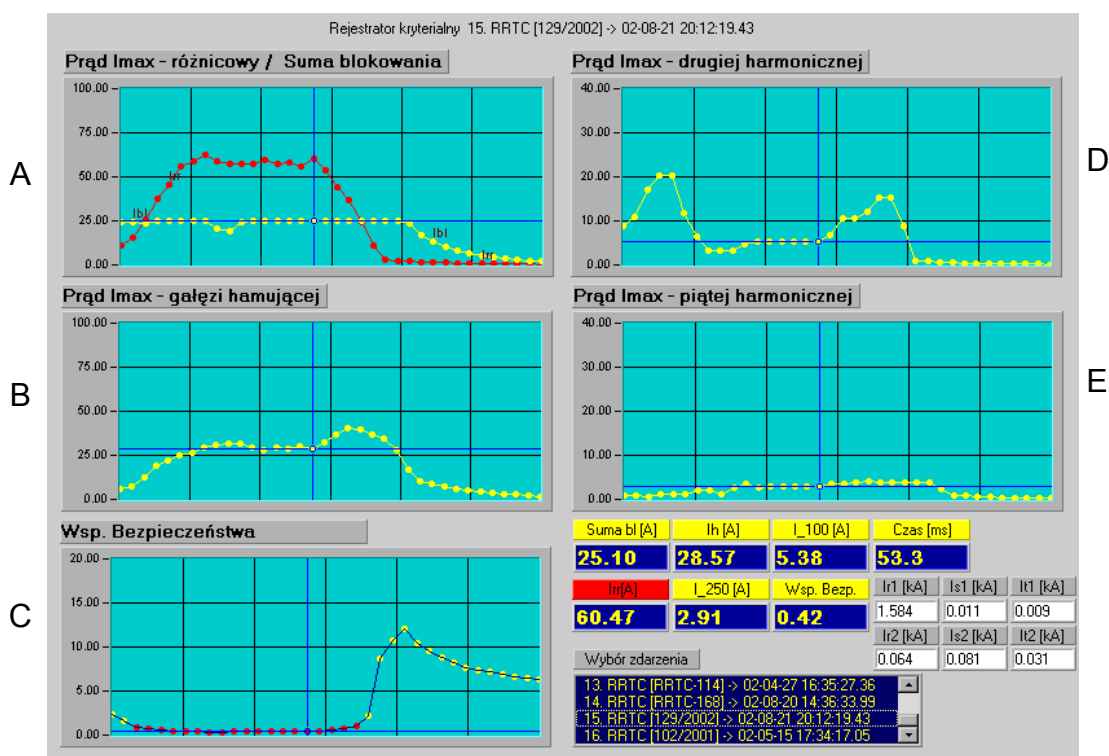
Rysunek 1. przedstawia zapis rejestratora kryterialnego z działania zabezpieczenia RRTC-1 spowodowanego zwarcie jednofazowym w polu 110 kV (zwarcie na iskierniku izolatora przepustowego fazy L1 po stronie 110 kV). Prąd różnicowy w tym przypadku po stronie wtórnej osiągnął wartość ponad 60 A (kilkunastokrotnie przekroczony prąd znamionowy transformatora). Suma blokowania (okno „A”) doszła do nastawionego limitu 25 A (wyliczone wartości sumy blokowania powyżej limitu są obcinane), dzięki czemu wyliczany w zabezpieczeniu prąd różnicowy bardzo szybko przekroczył sumę blokowania i to przyśpieszyło działanie zabezpieczenia. Czas działania zabezpieczenia wyniósł: czas nie rejestrowany + czas algorytmu + czas działania przekaźnika wyjściowego = 3 ms + 7 ms + 8 ms = **18 ms**. Czas trwania zwarcia liczony od momentu powstania zwarcia do momentu przerwania prądu przez wyłącznik wyniósł: czas nie rejestrowany + czas zarejestrowany = 3 ms + 54 ms = **57 ms**. Moment przerwania prądu zwarcia przez wyłącznik można określić z przebiegu prądu różnicowego (moment rozpoczęcia opadania prądu różnicowego w oknie „A”) lub z przebiegu prądu drugiej harmonicznej (moment wystąpienia przeregulowania wywołanego skokowym zanikiem prądu – okno „D”). Na rys. 1 moment przerwania prądu zwarcia został zaznaczony kursorem. Czas działania wyłącznika wyniósł: czas trwania zwarcia – czas działania zabezpieczenia = 57 ms – 18 ms = **39 ms**. Brak limitu sumy blokowania spowodował by powstanie w zabezpieczeniu przebiegów zbliżonych w kształcie do pokazanych na rys.2 i wydłużenie czasu działania zabezpieczenia do 35 ms. W oknie „D” obrazującym przebieg prądu drugiej harmonicznej, między przeregulowaniami wywołanymi skokowym pojawieniem się prądu zwarcia i skokowym zanikiem tego prądu widać sporą zawartość drugiej harmonicznej w prądzie różnicowym (ok. 9 %), co świadczy o procesie nasycania się przekładnika prądowego.

Rysunek 2. przedstawia zapis rejestratora kryterialnego z działania zabezpieczenia RRTC-1 spowodowanego zwarcie podwójnym doziemnym w sieci SN. Pierwsze doziemienie powstało w głębi sieci w fazie L2, drugie doziemienie powstało w polu transformatora w fazie L1 (uszkodzony izolator przepustowy transformatora po stronie SN). Prąd różnicowy nieznacznie przekroczył wartość prądu znamionowego transformatora. Przebieg sumy blokowania w oknie „A” jest pełny (nie jest obcinany), ponieważ uzyskiwane wartości są znacznie poniżej ustawionych limitów. Czas działania zabezpieczenia wyniósł: 7 ms + 20 ms + 8 ms = **35 ms**. Czas trwania zwarcia wyniósł: 7 ms + 73 ms = **80 ms**. Czas działania wyłącznika wyniósł: 80 ms – 35 ms = **45 ms**. W oknie „D” między przeregulowaniami druga harmoniczna nie występuje, co świadczy o braku nasycania się przekładników.

Rysunek 3. przedstawia zapis rejestratora kryterialnego z działania zabezpieczenia RRTC-1 spowodowanego zwarcie dwufazowym L2-L3 na zaciskach strony SN transformatora (zwarcie wywołane przez kunę). Prąd różnicowy osiągnął ponad pięciokrotną wartość prądu znamionowego transformatora. Suma blokowania w

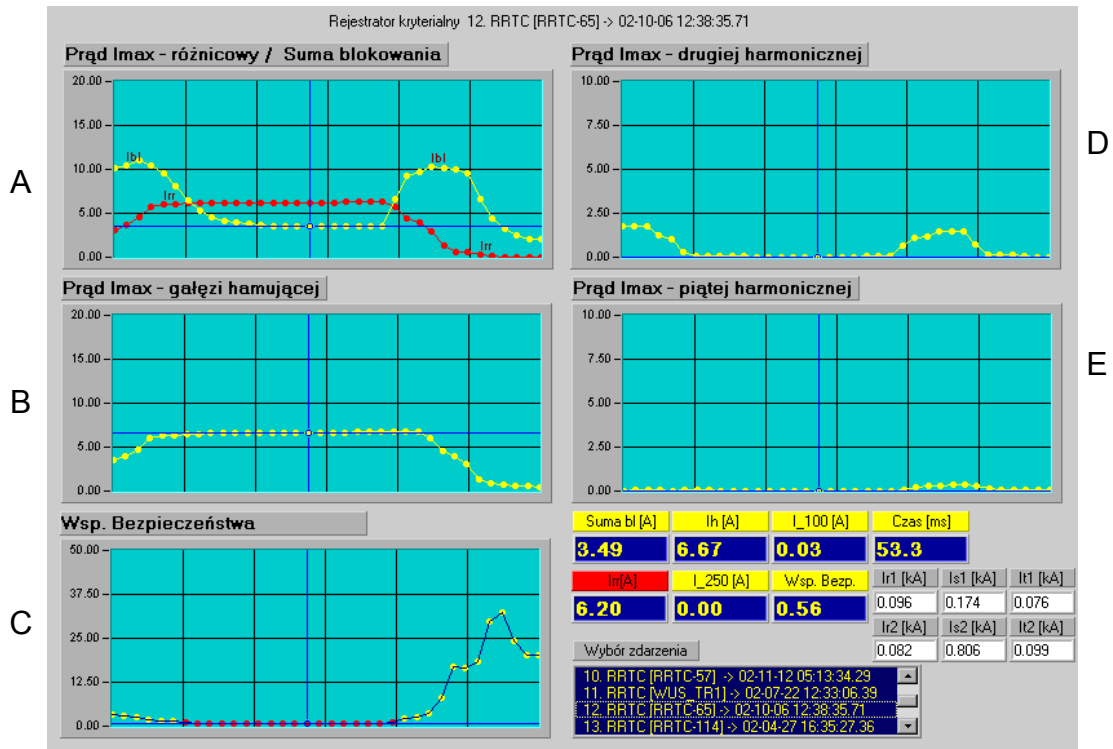
oknie „A” nie doszła do poziomu limitu (ustawienie standardowe 25 A). Czas działania zabezpieczenia wyniósł: 5 ms + 18 ms + 8 ms = **31 ms**. W zarejestrowanym czasie 120 ms brak jest oznak przerwania prądu zwarcia, co oznacza, że wyłącznik działał z czasem powyżej 94 ms (z innych źródeł wiadomo, że wyłącznik zadziałał i zwarcie zostało zlikwidowane).

Rysunek 4. przedstawia zapis rejestratora kryterialnego z działania zabezpieczenia RRTC-1 spowodowanego uszkodzeniem przekładnika napięciowego zainstalowanego w polu SN transformatora i podłączonego do faz L1–L2. Zwarcie początkowo dwufazowe przerodziło się po 50 ms w zwarcie trójfazowe. Moment zwarcia trzeciej fazy uwidoczniły jest dodatkowym przeregulowaniem prądu drugiej harmonicznej (okno „D”) spowodowanym skokowym pojawieniem się prądu różnicowego w trzeciej fazie. Prąd różnicowy osiągnął wartość ok. 6,8 krotności prądu znamionowego transformatora. Suma blokowania w początkowej fazie zwarcia doszła do poziomu limitu (25 A). Czas działania zabezpieczenia wyniósł: 5 ms + 13 ms + 8 ms = **26 ms**. W zarejestrowanym czasie 120 ms brak jest oznak przerwania prądu zwarcia, co oznacza, że wyłącznik działał z czasem powyżej 99 ms (z innych źródeł wiadomo, że wyłącznik zadziałał i zwarcie zostało zlikwidowane).



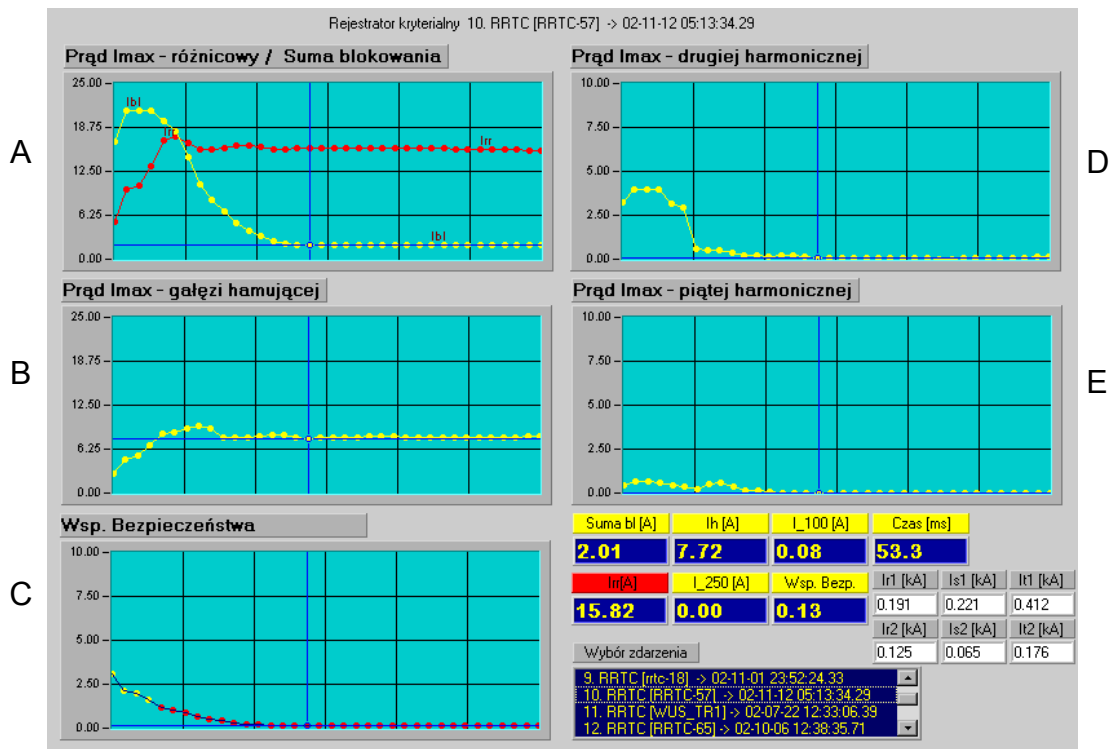
Rys.1

Zwarcie jednofazowe fazy L1 na iskierniku izolatora przepustowego po stronie 110 kV – transformator 110/15 kV 16 MVA



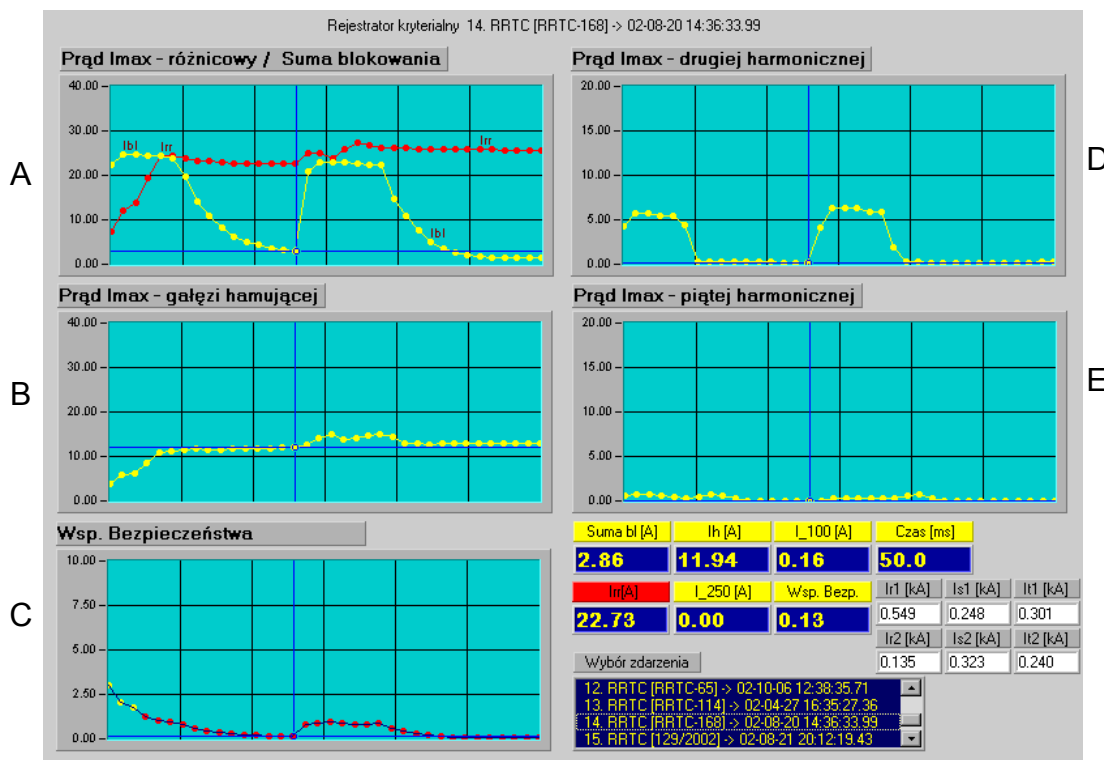
Rys.2

Zwarcie podwójne doziemne po stronie SN z jednym doziemieniem w fazie L2 w głębi sieci i z drugim doziemieniem w polu transformatora w fazie L1 (uszkodzenie izolatora przepustowego) – transformator 110/15 kV 16MVA



Rys. 3

Zwarcie L2-L3 na szynach 15 kV w polu transformatora spowodowane przez kunę. Transformator 110/15 kV 16 MVA



Rys. 4

Zwarcie L1-L2 (po 50 ms rozwinięte do trójfazowego) na szynach 15 kV w polu transformatora spowodowane uszkodzeniem przekładnika napięciowego - transformator 110/15 kV 16 MVA (rzeczywista grupa połączeń Yd1)

#### 4. Zachowanie się zabezpieczenia przy zwarciach zewnętrznych

W dotychczasowym okresie eksploatacji różnicowych zabezpieczeń cyfrowych RRTC-1 nie stwierdzono działania zabezpieczenia w przypadku wystąpienia zwarcia poza strefą chronioną. Rejestrator kryterialny dostępny w zabezpieczeniu umożliwia analizę występujących zjawisk i sprawdzenie, czy przyjęte nastawienie nie powodują zbyt dużego zbliżenia się do granicy działania. Przy zwarciach zewnętrznych pobudzenie rejestratora kryterialnego następuje, gdy w gałęzi różnicowej pojawi się prąd uchybowy przekraczający wartość nastawionego początkowego prądu rozruchowego. Sytuacja taka może wystąpić w przypadku gdy, przez transformator przepływa duży prąd zwarciový (np. bliskie zwarcie zewnętrzne) lub gdy przełącznik zaczeów jest ustawiony na zaczeie oddalonym od położenia środkowego oraz w przypadku wystąpienia nasycenia przekładników prądowych. W dotychczasowej praktyce eksploatacyjnej stosowano nastawienie progu rozruchowego zabezpieczenia różnicowego na poziomie  $0,5 I_{nT}$ , co powodowało, że liczba zwarć zewnętrznych rejestrowanych przez rejestrator kryterialny była niewielka.

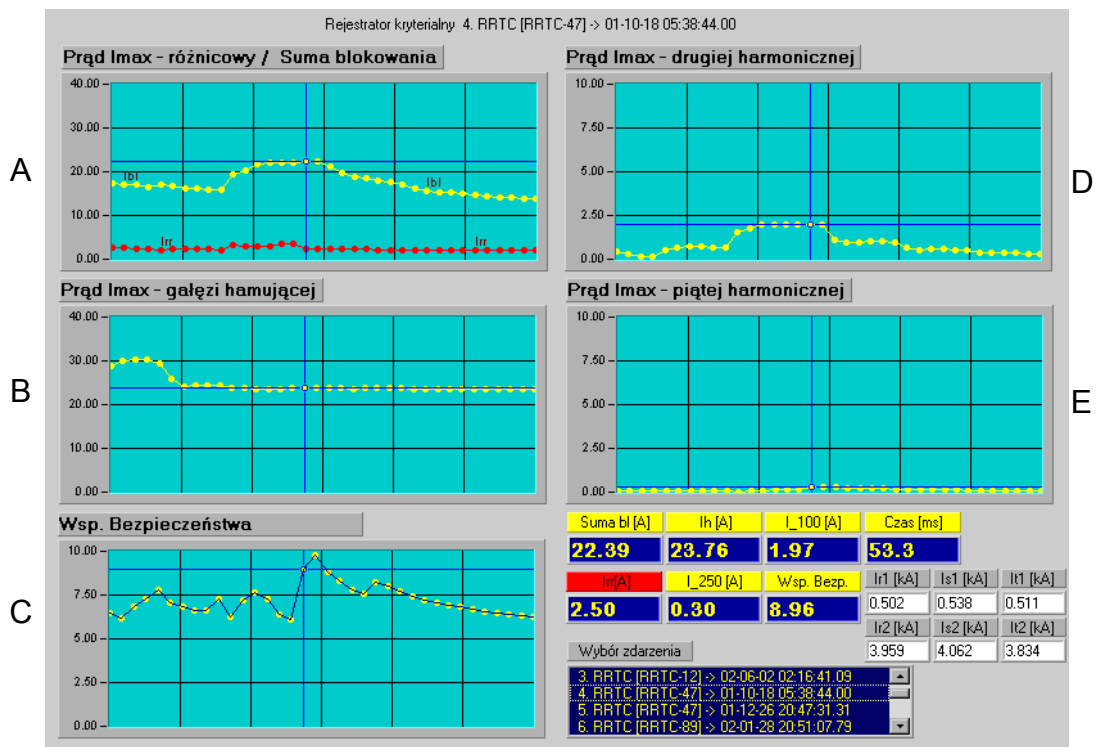
Do końca 2002 roku w zbiorach Laboratorium Automatyki i Zabezpieczeń Instytutu Energetyki znalazło się 14 zapisów z bliskich zwarć zewnętrznych trójfazowych i 14 zapisów ze zwarć dwufazowych. Na rysunkach 5 – 6 przedstawiono przykłady rejestracji przy przepływie przez transformator prądów zwarć zewnętrznych.

Rysunek 5 przedstawia zapis rejestratora kryterialnego z bliskiego trójfazowego zwarcia zewnętrznego w sieci 15 kV. Prąd przepływający przez transformator (prąd

skrośny) osiągnął wartość ok.  $4,3 I_{nT}$ . Duża zawartość drugiej harmonicznej w prądzie różnicowym (patrz okno D) świadczy o nasyceniu się przekładników prądowych. Największe nasycenie nastąpiło po ok. 40 ms zapisu i następnie stopniowo ustępowało. Na koniec zapisu po 120 ms nasycenie praktycznie ustąpiło. Współczynnik bezpieczeństwa ulegał wahaniom, ale przez cały okres zapisu nie spadł poniżej wartości, którą osiągnął na koniec zapisu po ustąpieniu nasycenia przekładników (ok. 6).

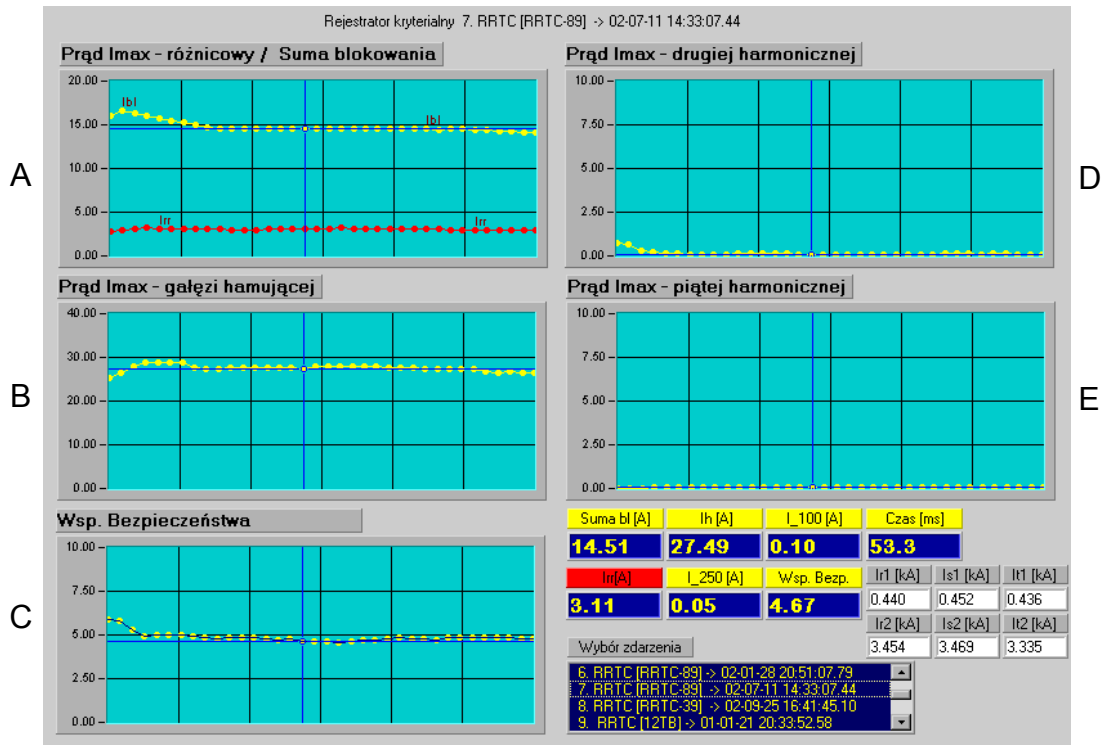
Rysunek 6 przedstawia zapis rejestratora kryterialnego z bliskiego trójfazowego zwarcia zewnętrznego w sieci 15 kV. Prąd skrośny wyniósł ok.  $5,6 I_{nT}$ . Na zapisanych przebiegach brak jest oznak nasycenia się przekładników. Prąd różnicowy osiągnął wartość ok. 10 % prądu skrośnego i był spowodowany (prawdopodobnie) ustawieniem przełącznika zaczełów w momencie zwarcia na zaczeple oddalonym od położenia środkowego. Współczynnik bezpieczeństwa wyniósł ok. 5.

Rysunek 7 przedstawia zapis rejestratora kryterialnego z bliskiego zwarcia zewnętrznego dwufazowego L1-L3 w sieci 15 kV. Zwarcie to w zapisanym czasie po 80 ms przerodziło się w zwarcie trójfazowe. Moment zwarcia trzeciej fazy uwidoczony jest dodatkowym przeregulowaniem prądu drugiej harmonicznej (okno „D”) spowodowanym skokowym pojawieniem się prądu różnicowego w trzeciej fazie. Prąd skrośny wyniósł ok.  $5 I_{nT}$ . Na zapisanych przebiegach brak jest oznak nasycenia się przekładników. Pojawienie się prądu różnicowego tak jak w przykładzie z rys. 6 spowodowane zostało rozstrojeniem przekładni transformatora przez ustawienie przełącznika zaczełów na zaczeple oddalonym od położenia środkowego. Współczynnik bezpieczeństwa wyniósł ok 5.

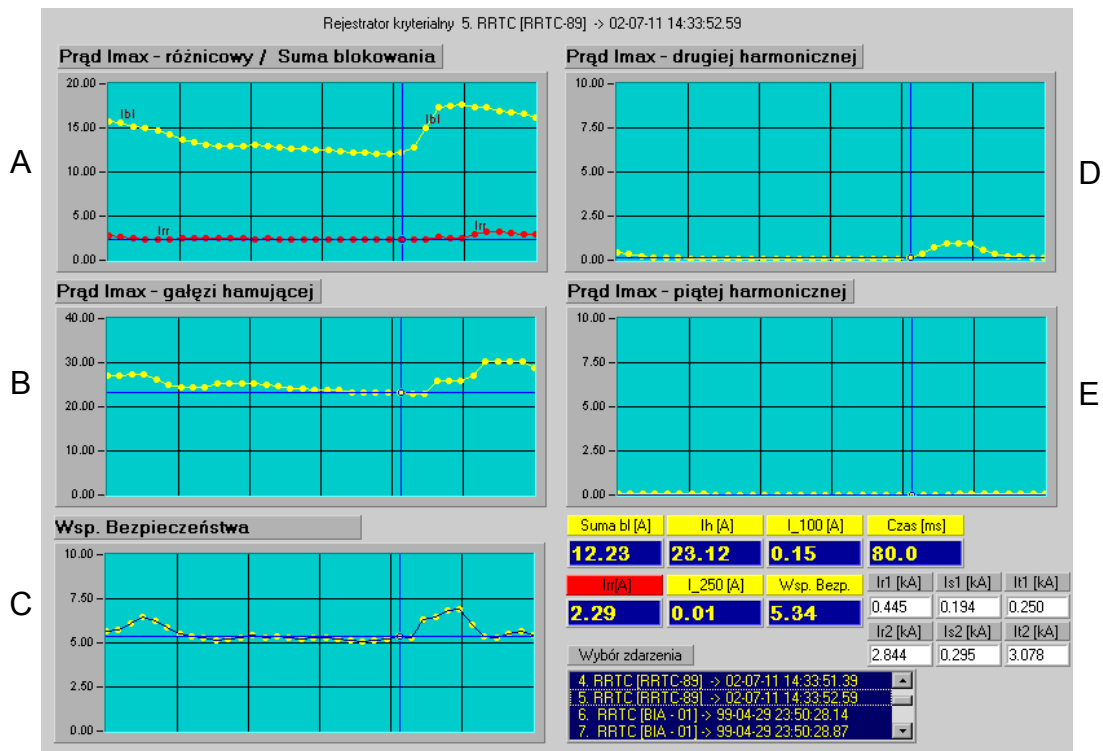


Rys. 5

Zwarcie zewnętrzne trójfazowe w sieci SN z widocznym nasyceniem przekładników prądowych - transformator 110/15 kV 25 MVA



Rys. 6  
Zwarcie zewnętrzne trójfazowe w sieci SN bez nasycenia przekładników - transformator 110/15 kV 16 MVA



Rys. 7  
Zwarcie zewnętrzne dwufazowe L1-L3 w sieci SN po 80 ms przeradzające się w zwarcie trójfazowe bez nasycenia przekładników - transformator 110/15 kV 16 MVA



Analiza rejestracji zwarć zewnętrznych wykazuje, że zwarcia te są rozpoznawalne przez zabezpieczenie RRTC-1 z dużym zapasem bezpieczeństwa. Ze względu na fakt, że w przypadku nasycenia się przekładników w prądzie różnicowym pojawia się duża zawartość drugiej harmonicznej, wzrost prądu różnicowego jest kompensowany stabilizacją od filtra drugiej harmonicznej i współczynnik bezpieczeństwa nie ulega obniżeniu.

## 5. Zachowanie się zabezpieczenia podczas załączania transformatora

Do końca 2002 roku w zbiorach Laboratorium Automatyki i Zabezpieczeń Instytutu Energetyki znalazło się 137 przebiegów z załączenia transformatorów. Podczas tego procesu łączeniowego zabezpieczenie różnicowe zawsze zachowywało się prawidłowo. Nie wystąpiły działania zbędne.

Rejestrator kryterialny pobudza się przy załączeniu transformatora, jeśli na skutek udaru prądu magnesującego pojawi się prąd różnicowy przekraczający wartość nastawionego początkowego prądu rozruchowego. Zabezpieczenia różnicowe RRTC-1 są instalowane najczęściej na transformatorach 110kV/SN. Transformatory te z reguły posiadają dość duże udary prądu magnesującego, co powoduje częste uruchomienia rejestratora kryterialnego.

Najniższa zawartość prądu 100 Hz w prądzie różnicowym w przeanalizowanych przypadkach wyniosła 21,5% i przy przyjętym współczynniku blokowania od 100 Hz równym 5 skutecznie blokowała działanie zabezpieczenia (współczynnik bezpieczeństwa jest powyżej 1,3).

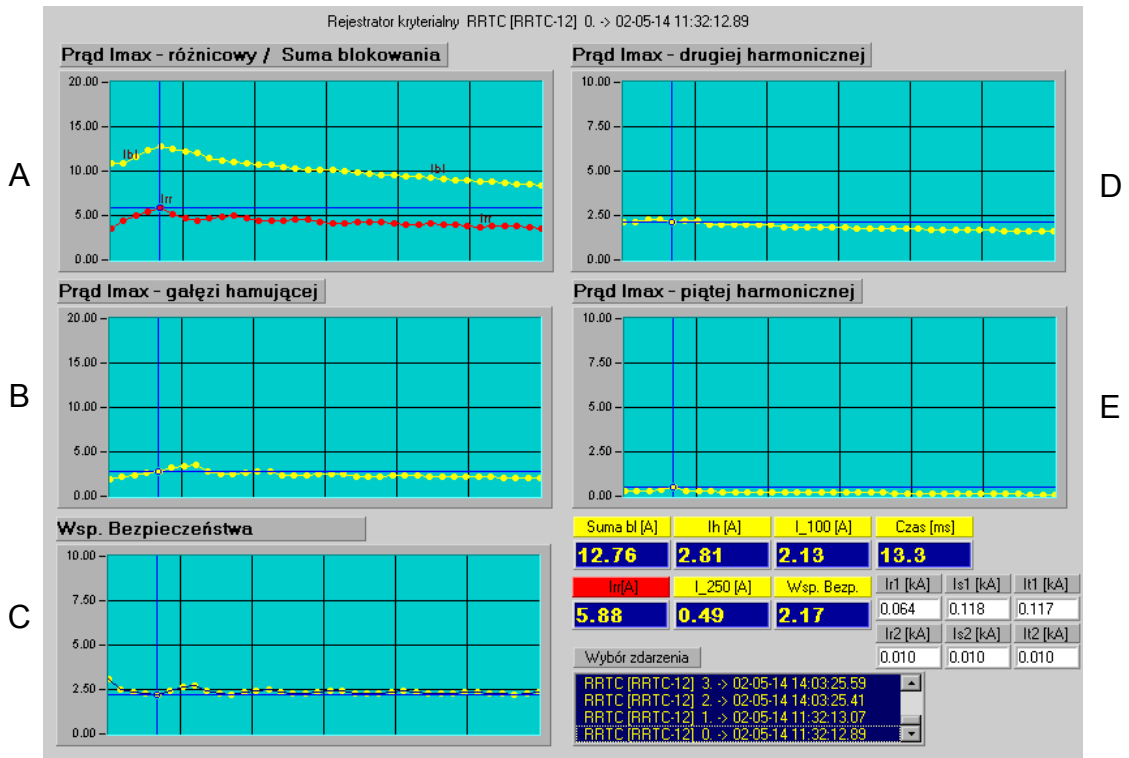
Wielkość udaru prądu magnesującego zależy od wielu czynników (konstrukcja transformatora, warunki systemowe, kąt fazowy załączenia) i waha się w dużych granicach. Maksymalna wartość prądu różnicowego zarejestrowana podczas załączania transformatora od strony wyższego napięcia wyniosła 11,85 A. Algorytm obliczania prądu różnicowego w zabezpieczeniu RRTC-1 między innymi uśrednia obliczoną wartość i w znacznym stopniu eliminuje składową nieokresową. Taki sposób obliczeń powoduje, że rzeczywista amplituda udaru prądu magnesującego w pierwszej fazie rejestracji może być ok. trzykrotnie większa od zapisanej w zabezpieczeniu.

Na rysunkach 8 – 10 pokazano przykładowe rejestracje z załączenia transformatora. Wybrane rejestracje pochodzą ze zbioru ok. 25 załączeń tego samego transformatora 110/15 kV o mocy 25 MVA.

Na rysunku 8 pokazano rejestrację załączenia o najczęściej występującej amplitudzie i zawartości drugiej harmonicznej w udarze prądu magnesującego. Współczynnik bezpieczeństwa wyniósł w tym przypadku powyżej 2.

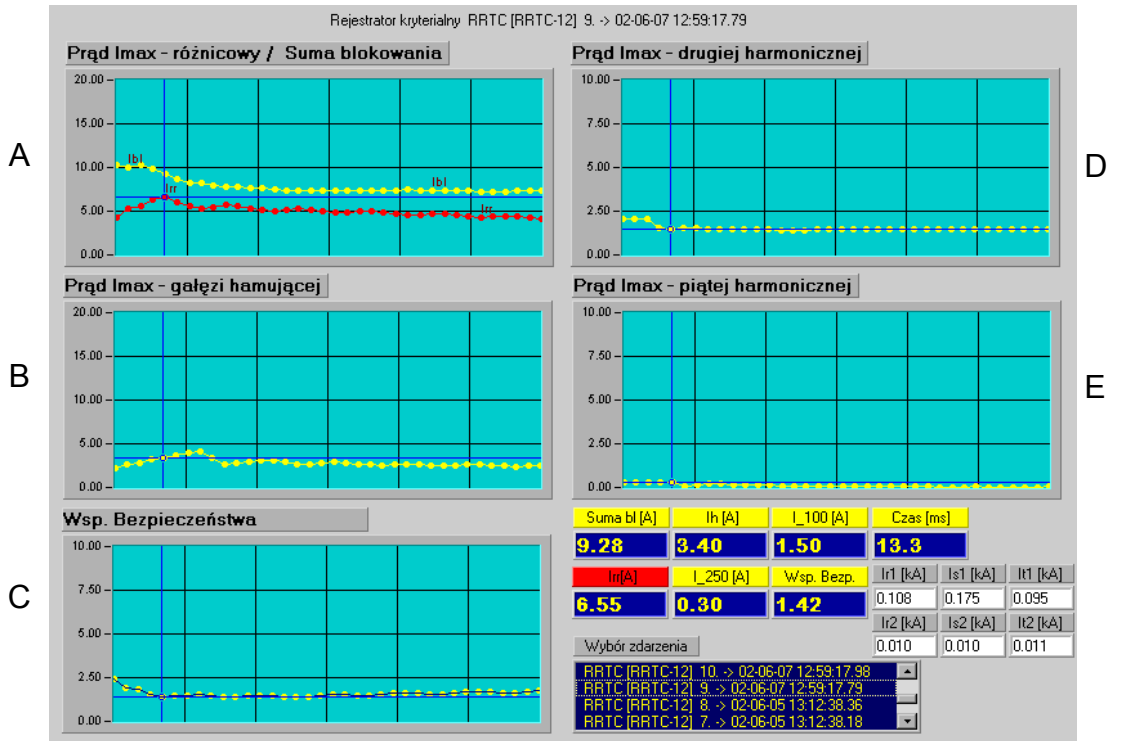
Rysunek 9 przedstawia zapis rejestratora kryterialnego z przypadku załączenia, w którym wystąpiła najmniejsza zawartość drugiej harmonicznej w udarze prądu magnesującego. Najmniejsza wartość współczynnika bezpieczeństwa w tym przypadku wyniosła 1,38.

Rysunek 10 przedstawia zapis rejestratora kryterialnego z przypadku, w którym wystąpiła najwyższa amplituda udaru prądu magnesującego (9,38 A).



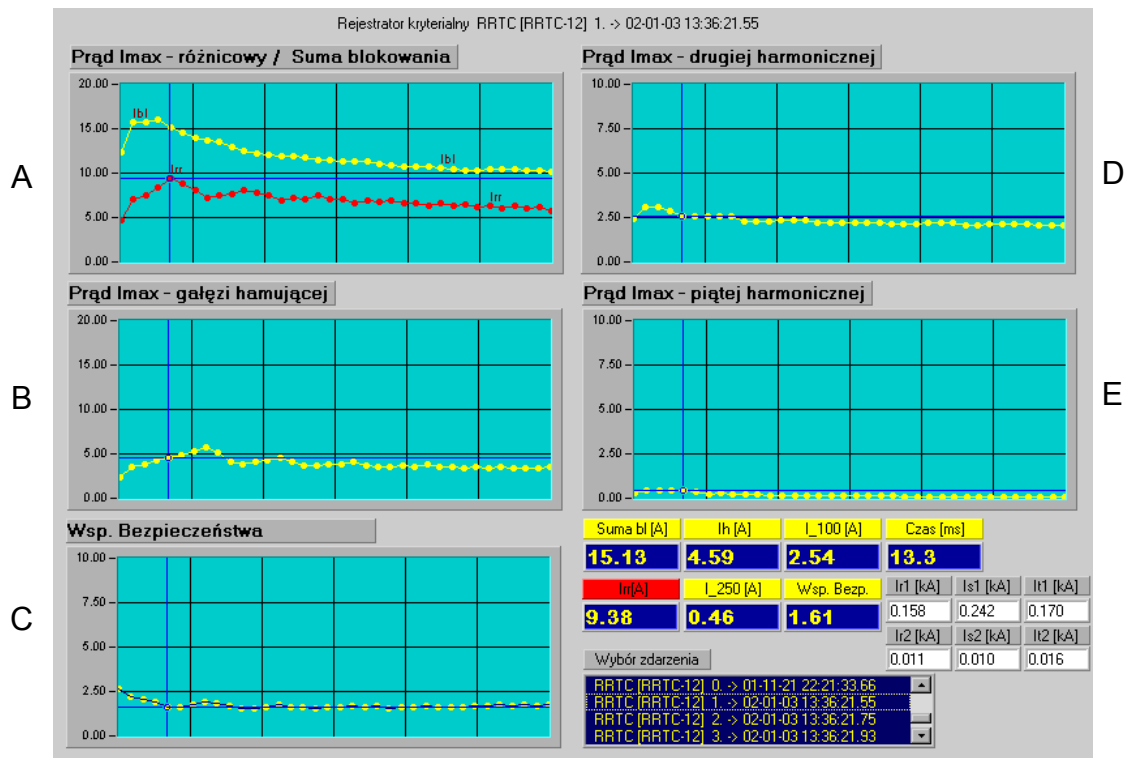
Rys. 8

Załączenie transformatora na bieg jałowy. Udar o przeciętnej wielkości i zawartości drugiej harmonicznej. Transformator 110/15 kV 25 MVA



Rys. 9

Załączenie transformatora (z rys. 8) na bieg jałowy z najmniejszą zarejestrowaną zawartością drugiej harmonicznej.



Rys. 10

Załączenie transformatora (z rys. 8) na bieg jałowy z największą zarejestrowaną wartością udaru prądu magnesującego.

## 6. Wnioski

Wyposażenie zabezpieczenia RRTC-1 w rejestrator kryterialny pozwoliło zgromadzić bardzo bogaty materiał o zachowaniu się zabezpieczenia w różnych sytuacjach sieciowych. Analiza zebranego materiału wykazała, że przyjęte nastawienia są zbyt wysokie i można je znacznie obniżyć [7].

Dotychczasowy okres eksploatacji zabezpieczenia różnicowego w pełni potwierdza słuszność założeń przyjętych przy opracowywaniu zabezpieczenia RRTC-1.

Zabezpieczenie RRTC-1 prawidłowo interpretuje zwarcia w strefie chronionej i działa szybko z założonym czasem. Przy zwarciach poza strefą jest prawidłowo blokowane ze współczynnikiem bezpieczeństwa powyżej 2.

Czasy działania części wyłączników zainstalowanych po stronie 110 kV transformatorów są zbyt długie, co powoduje wydłużanie czasu trwania zwarcia nawet ponad 120 ms.

Analiza rejestracji z załączeń transformatorów potwierdza słuszność przyjętych poziomów nastaw dla drugiej harmonicznej.

Aktualne nastawienia fabryczne filtra drugiej harmonicznej całkowicie kompensują uchyby powstałe na skutek nasycenia przekładników prądowych.

## Literatura

- [1] Kuran Z., Tomczak E., Woliński K. *Próby łączeniowe transformatora z nowym zabezpieczeniem różnicowym RRTC – 1*. Automatyka Elektroenergetyczna. 1999, nr 3, s. 16 – 21.
- [2] Woliński K. *Analiza działania zabezpieczeń transformatorów 110/ŚN w latach 1987 – 1996 na terenie Zakładu energetycznego Białystok S.A.*

- Automatyka Elektroenergetyczna. 1997, nr 3 – 4, s. 53 – 56.
- [3] Kuran Z., Skrodzki S. *Ocena zabezpieczeń różnicowych transformatorów pracujących w krajowej energetyce*. Automatyka Elektroenergetyczna. 2001, nr 4, s.14 – 15.
- [4] Skrodzki S. *Wybór zapisów rejestratorów kryterialnych zebranych z zabezpieczeń różnicowych RRTC – 1 w roku 2002.EAZ/1356/2002*. Instytut Energetyki, Pion Elektryczny, Laboratorium Automatyki i Zabezpieczeń, Warszawa, 2002
- [5] Skrodzki S., Tomczak E. *Badania zwarciove zabezpieczeń różnicowych RRTC – 1 na podstawie zapisów rejestratora kryterialnego*. Ogólnopolska Konferencja „Zabezpieczenia przekaźnikowe w energetyce”. Myczkowce, 2 – 4 października 2002.Materiały konferencyjne, s. 57 – 62.
- [6] Skrodzki S. *Wybór zapisów rejestratorów kryterialnych zebranych z zabezpieczeń różnicowych RRTC – 1 w roku 2001.EAZ/1345/2001*. Instytut Energetyki, Pion Elektryczny, Laboratorium Automatyki i Zabezpieczeń, Warszawa, 2001
- [7] Skrodzki S. *Wytyczne do optymalizacji nastawień zabezpieczenia różnicowego transformatora RRTC – 1*. Opracowanie Laboratorium Automatyki i Zabezpieczeń. Instytut Energetyki. Warszawa, 2002.