

Dr inż. Zygmunt Kuran
Mgr inż. Sławomir Skrodzki
Instytut Energetyki Warszawa

Na tle ewolucji sprzętu do badania zabezpieczeń elektroenergetycznych i metod badawczych artykuł przedstawia najnowsze opracowania Instytutu Energetyki. Nowe urządzenia umożliwiają wykonanie wielu badań, których dotychczas nie można było wykonać. Urządzenia bardzo dobrze nadają się do automatyzacji procesu badań.

CZYM I JAK BĘDZIEMY BADAĆ URZĄDZENIA EAZ

Od wielu lat Zakład Automatyki Zabezpieceniowej Instytutu Energetyki wyposażał swoją bazę laboratoryjną w stoły laboratoryjne, wymuszałniki prądu, przesuwniki fazy, generatory sygnałów, wzmacniacze, wybiorniki fazy, częstotściomierze, sekundomierze, fazomierze, itp., a to wszystko po to, aby skutecznie badać urządzenia elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej w skrócie EAZ. Pomimo tak starannie wyposażanego laboratorium wielu badań nie można było wykonać, np. pomiaru czasu wybiegu przełączników. Dzisiaj cały ten sprzęt, którego nie pomieści się na małej ciężarówce jest zastępowany wielokrotnie tańszym, dużo lepszym urządzeniem o wadze nie przekraczającej kilkunastu kilogramów.

Jak to jest możliwe?. Aby to zrozumieć najlepiej prześledzić ewolucję sprzętu laboratoryjnego, jaka dokonała się w ostatnich latach.

Metody badań

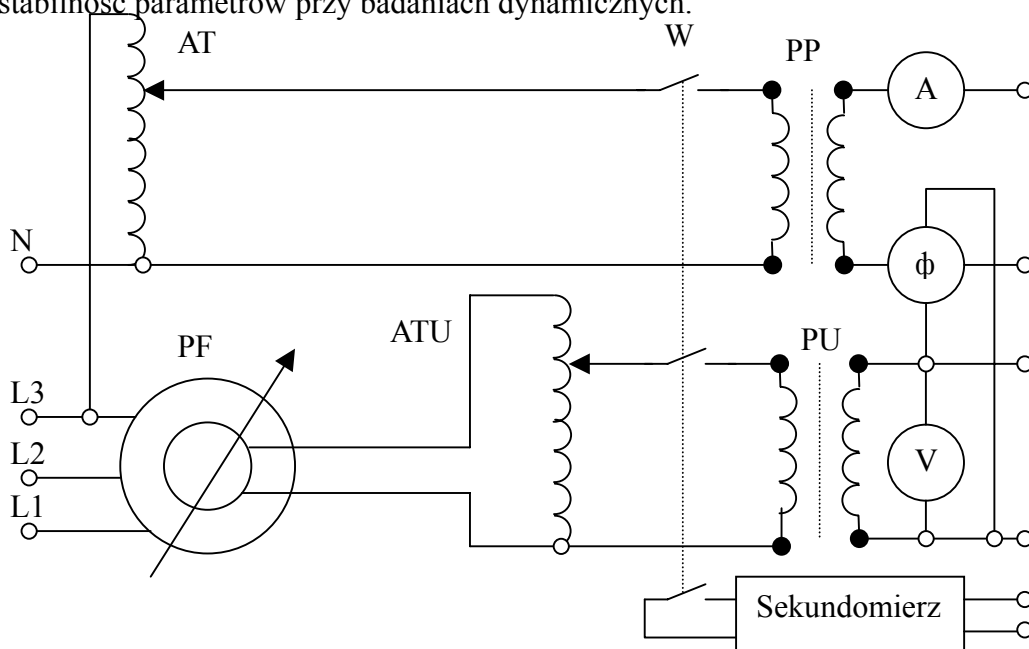
Większość badań urządzeń EAZ wykonuje się u nas metodą „najeżdżania”, która polega na tym, że stopniowo reguluje się wielkość zasilającą, aż do zadziałania badanego zabezpieczenia. Stosując taką metodę bardzo szybko uzyskujemy wynik pomiaru, można jednak uznać ją za dopuszczalną tylko wtedy, gdy wiemy, że dane zabezpieczenie zostało przebadane dynamicznie, czyli metodą drugą, i nie ma nadmiernego rozrzutu pomiędzy wynikami tych badań. Druga metoda badań polega na skokowym przechodzeniu od warunków obciążeniowych do warunków zwarciovych. Taka metoda stwarza badanej automatyce EAZ warunki bardzo zbliżone do naturalnych warunków eksploatacyjnych. W metodzie tej musimy wykonać wiele prób, aby dokładnie określić wartości rozruchowe zabezpieczeń, w porównaniu z metodą pierwszą jest czasochłonna. Optymalnym wydaje się połączenie obu metod, to znaczy najpierw metodą „najeżdżania” należy pomierzyć wartość rozruchową zabezpieczenia, a następnie potwierdzić to metodą symulacji zwarcia. Łączenia obu metod w jednym cyklu pomiarowym jeszcze się nie rozpowszechniło nawet w najnowocześniejszym sprzęcie, mamy nadzieję, że jest to tylko kwestia czasu.

Tradycyjny sprzęt laboratoryjny do badania EAZ

Klasyczny układ laboratoryjny przedstawiony jest na rysunku. Składa się ze źródła prądu zrealizowanego na autotransformatorze AT i przekładniku prądowym PP oraz ze źródła napięcia zbudowanego z trójfazowego przesuwnika fazowego PF, autotransformatora ATU, przekładnika napięciowego PU. W skład układu wchodzi również łącznik W i komplet mierników. Najczęściej układ wykorzystywany jest do „najeżdżania” wielkości zasilającej, ale po wykorzystaniu łącznika W umożliwia również wykonanie badań dynamicznych. W

warunkach laboratoryjnych układ często wykonany jest jako trójfazowy i ma postać stołu laboratoryjnego. Do wad układu należy:

- Niestabilność zadanych parametrów w funkcji czasu,
- Brak możliwości regulacji częstotliwości i zawartości harmonicznych,
- Brak możliwości wyboru fazy załączenia i czasu wyłączenia prądu i napięcia, szczególnie chodzi o czasy liczone w milisekundach.
- Niestabilność parametrów przy badaniach dynamicznych.



Tradycyjny zestaw sprzętu do badania zabezpieczeń

W celu usunięcia pierwszych dwóch wad zastępowano zasilanie z sieci zasilaniem z generatora. Mała moc generatorów zmuszała do stosowania wzmacniaczy. Układy takie miały dalej ograniczoną moc, uzyskiwano regulację prądu co najwyżej do kilkunastu amperów. Brak odpowiednich trójfazowych generatorów i przesuwników fazowych powodowały, że takie układy stosowane były do regulacji tylko jednego toru prądowego lub jednego toru napięciowego. Można było wymuszać prąd lub napięcie o dowolnej częstotliwości, niemniej jednak nie uzyskiwano możliwości mieszania częstotliwości podstawowej z harmonicznymi. W układzie pomiarowym oprócz amperomierza i woltomierza pojawiał się wtedy jeszcze miernik pomiaru częstotliwości. Opisanych wad nie eliminowało również zastosowanie transformatorów elektronicznych.

Specjalistyczny sprzęt do badania zabezpieczeń odległościowych budowany był często w postaci trójfazowego modelu złożonego z odpowiednich impedancji. Przez wykonanie zwarcia w takim modelu uzyskiwano jednocześnie przebiegi testujące prądu i napięcia. Takie modele wyposażane były zazwyczaj w wybiornik fazy wykonywanego zwarcia, dzięki temu dość dobrze odwzorowywały dynamikę powstawania zwarcia, były jednak mało dokładne i miały ograniczoną zdolność regulacyjną.

Sprzęt przeznaczony do badań w terenie

W celu ułatwienia badań eksploatacyjnych budowano na bazie opisanego sprzętu przenośne urządzenia testujące nazywane również walizkami pomiarowymi, które pracują do dzisiaj. Założeniem było, aby w jednej obudowie znajdował się komplet sprzętu umożliwiającego wykonanie określonych badań. Przykładem takiego testera może być

wyprodukowane w Instytucie Energetyki urządzenie testujące UT-GT3, skrót ten oznacza: „urządzenie do testowania zabezpieczeń generatorów i transformatorów”. Urządzenie to zawiera:

- Jednofazowy autotransformator z przekładnikiem prądowym, który umożliwia regulację prądu w zakresie do 50A
- Elektroniczny analogowy przesuwnik fazowy pracujący na częstotliwości sieciowej o zakresie regulacji 0-360°,
- Generator przebiegu sinusoidalnego o zakresie regulacji 45 do 500Hz,
- Wzmacniacz typu wtórnik o mocy 100W z układem umożliwiającym mieszanie sygnału przesuwnika z sygnałem generatora, wzmacniacz współpracuje z przekładnikiem prądowym lub napięciowym, przy czym dopasowanie mocy wzmacniacza do mocy obciążenia realizowane jest odczepami przekładników,
- Układ przełączników umożliwiający skokową kontrolowaną zmianę regulowanych wielkości to znaczy: amplitud, fazy, częstotliwości, z jednoczesnym uruchomieniem sekundomierza,
- Uniwersalny miernik do pomiaru amplitudy prądów i napięć, przesunięcia fazowego, częstotliwości i czasu.

Po porównaniu obu zaprezentowanych układów, stacjonarnego i przenośnego zauważymy, że w UT-GT3 zastąpiono trójfazowy przesuwnik fazy elektronicznym oraz zastosowano wzmacniacz z możliwością mieszania sygnałów z przesuwnika i generatora. Zastosowano również nowy sposób sterowania przesuwnika i generatora umożliwiający skokową zmianę wielkości zasilających z jednego poziomu na inny. W urządzeniu tym zastosowano również uniwersalny miernik o bardzo zwartej konstrukcji. Urządzenie ma dwa wyjścia, jedno jest prądowe, a drugie napięcie lub oba mogą być prądowe. Zaprojektowany został jeszcze specjalny rodzaj pracy przeznaczony wyłącznie do badania zabezpieczeń różnicowych.

Opisane urządzenie UT-GT3 zbudowane zostało jako uniwersalne z przeznaczeniem do badania zabezpieczeń bloków generator-transformator, transformatorów oraz wszelkiego rodzaju pól średniego napięcia. Na rynku istnieje kilka typów urządzeń działających na podobnej do opisanej zasadzie, ale o mniejszej liczbie spełnianych funkcji.

Do wad opisanego urządzenia należy:

- W celu skokowego załączenia wybranej wielkości trzeba najpierw wielkość tą wyregulować potencjometrem na żadaną wartość i następnie wyłączyć ją i ponownie załączyć, dla dużych prądów procedura ta jest praktycznie niewykonalna ze względu na szybkie nagrzewanie się obwodu prądowego,
- Nie ma możliwości załączania wybranych wielkości precyzyjnie na określony okres czasu, np. ułamek sekundy, nie ma również wybiornika fazy,
- Amplitudy zadawane z sieci, to znaczy z autotransformatora i z przesuwnika podlegają takim samym wahaniom jak napięcie w sieci,
- Urządzenie ma bardzo dużo potencjometrów i przełączników, co wpływa na zwiększoną jego awaryjność,
- Obecność autotransformatora oraz przekładników prądowych powiększa wagę urządzenia,
- Analogowy charakter urządzenia praktycznie uniemożliwia realizację automatyzacji procesów badań.

Tak długa lista wad nie jest w stanie pomniejszyć szeregu zalet, do których należą:

- Jednym urządzeniem o wadze nie przekraczającej 20kg włączonym do jednofazowej sieci 230V AC można badać zabezpieczenia prądowe, napięciowe, mocowe, kierunkowe, admitancyjne, częstotliwościowe, impedancyjne, czasowe i różnicowe,

- Uniwersalny miernik amplitud, fazy, częstotliwości nie wymaga żadnej obsługi i dostosowuje się automatycznie do zakresu zadawanych wielkości,
- Urządzenie umożliwia mieszanie podstawowej harmonicznej prądu lub napięcia z wyższymi harmonicznymi, tego nie realizowały tradycyjne urządzenia.

Kalibratory

Uważny czytelnik zdziwi się, dlaczego tyle uwagi poświęca się sprawą, które już dawno zostały rozwiązane przez branżę zajmującą się urządzeniami pomiarowymi. Wszystkie wymienione zagadnienia związane z koniecznością regulacji amplitudy, fazy, częstotliwości zostały już rozwiązane i zastosowane w kalibratorach. Jest to oczywiście prawda, ale tylko częściowa. Co do dokładności zadawania parametrów nie zgłaszamy żadnych zastrzeżeń. Kalibratory nie spełniają wymagań dynamicznych, zadany parametr powinien stabilizować swoją wartość w pierwszych milisekundach od chwili załączenia, przeregulowania i długi okres stabilizowania się parametrów są niedopuszczalne. Drugim ograniczeniem jest zakres wymuszanych prądów, w miernictwie mierzy się prądy o zakresie zbliżonym do znamionowego, podczas gdy w zabezpieczenia muszą kontrolować prądy o zakresach zwarciovych, niejednokrotnie kilkadziesiąt razy wyższych od prądu znamionowego.

Przełom w konstrukcji -cyfrowe urządzenia testujące

Decydujący wpływ na rozwój urządzeń testujących wywarła dopiero technika cyfrowa i gotowi jesteśmy twierdzić, że jej wpływ na sprzęt testujący jest znacznie większy niż na zabezpieczenia. Tego obecnie jeszcze wyraźnie nie widać, bo sprzęt testujący z powodu wysokich cen jest mało rozpowszechniony. Według naszych przewidywań sprzęt do testowania zabezpieczeń powinien tanieć w większym stopniu niż zabezpieczenia. Wynika to z zasady działania tego sprzętu. Będą również teraz niewątpliwie zrealizowane nieudane dotychczas próby budowy testerów, takich żeby przez „naciśnięcie guzika start” test sam się dokonał. Dzisiaj, mało kto pamięta, ile pracy zostało włożone w nieudane próby konstruowania takich testerów.

Rewelacyjność wprowadzanych zmian wynika z dwóch powodów:

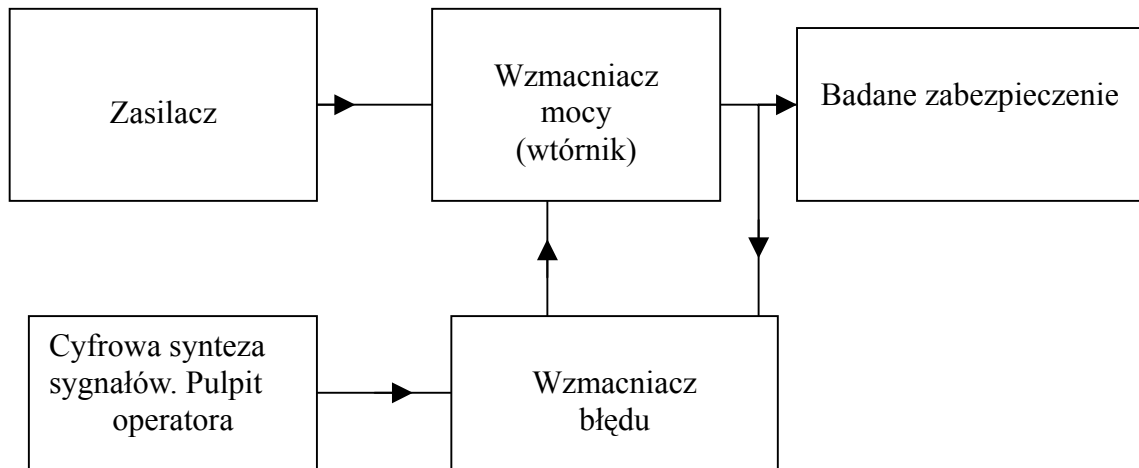
- Są techniczne możliwości budowy cyfrowego generatora współpracującego z przetwornikiem cyfrowo-analogowym
- Dopracowana została technologia tranzystorów polowych pozwalających na budowę wysoko sprawnych zasilaczy i wzmacniaczy,

Technika analogowa nie potrafiła wygenerować żadanego przebiegu z zadawalającą dokładnością, a technika cyfrowa robi to doskonale. Wykorzystując technikę cyfrową łatwiej jest wygenerować precyzyjny przebieg sinusoidalny niż zmierzyć parametry takiego przebiegu. Wynika to z tego, że dokładność przetworników C/A jest większa od dokładności przetworników A/C. Dlatego dokładność kalibratorów zaczyna być wyższa od dokładności mierników.

Drugi powód to łatwość budowania wysokosprawnych zasilaczy i wzmacniaczy. Uzyskany z przetwornika C/A bardzo dokładny przebieg testujący musi zostać wzmocniony w odpowiednim wzmacniaczu wtórniku, tak abyśmy uzyskali przebieg o odpowiedniej ilości amperów lub wolt. Ze względu na konieczność uzyskania dobrej dynamiki w opisanym układzie nie stosuje się żadnych mierników, a za precyzję powtórzenia wzorca odpowiada wzmacniacz błędu.

Schemat blokowy nowoczesnego urządzenia testującego przedstawiono na rysunku. Wzmacniacz wtórnik może być impulsowy lub analogowy. Wzmacniacz impulsowy ma bardzo wysoką sprawność energetyczną, nie potrafi jednak przenosić wysokich harmonicznych. Pomimo to, takie wzmacniacze stosuje się w niektórych urządzeniach. Wzmacniacz analogowy przenosi doskonale wysokie harmoniczne, ale ma gorszą sprawność,

jest jednak częściej stosowany. We wszystkich nowoczesnych urządzeniach testujących nie ma na wyjściu przekładników dopasowujących moc urządzenie do mocy obciążenia, ponieważ ograniczyłyby to zdolność przenoszenia składowej stałej i zwiększyło ich wagę. Dopasowanie to realizuje się przeważnie poprzez regulację napięcia wyjściowego zasilacza.



Schemat blokowy nowoczesnego urządzenia do testowania EAZ

W urządzeniu wyeliminowane zostały wszystkie przełączniki i mierniki, natomiast miejsce nastawników zajął enkoder pełniący rolę uniwersalnego nastawnika. Rolę mierników przejął wzmacniacz błędu, który odpowiada za wierne powtórzenie na wyjściu sygnału sterującego. Poprawia to zdecydowanie dynamikę tych urządzeń, gdyż mierniki były zdecydowanie zbyt wolne. Dzięki temu urządzenie staje się bardzo proste i cena urządzeń powinna się obniżyć. Powstają dodatkowo warunki do automatyzacji procedur testujących. Z drugiej strony, jeśli pojawi się zapotrzebowanie na wyspecjalizowane oprogramowanie to będą się z tym wiązały pewne koszty.

Wymagania dla urządzeń testujących EAZ

W odróżnieniu od zabezpieczeń, dla których prawie wszystkie parametry są znormalizowane, dla urządzeń testujących brak jest normy określających wymagania. Jedyną istniejącą w tym zakresie normą PN-EN 61010-1/1999 określa wyłącznie wymagania odnośnie bezpieczeństwa związanego z obsługą sprzętu probierczego. W związku z tym Instytut Energetyki uznał za celowe opracowanie wymagań dla sprzętu testującego. Za podstawę opracowania przyjęto istniejące normy przekąźnikowe. Założono, że wymagania będą sformułowane tak, aby urządzenia wykonane na ich podstawie pozwalały na badanie zabezpieczeń zgodnie z obowiązującymi normami przekąźnikowymi. Dodatkowo dzięki takim wymaganiom można oceniać istniejące na rynku testery. Urządzenia testujące do sprawdzania zabezpieczeń mogą być również poddane legalizacji stosowanej dla przyrządów pomiarowych. Legalizacja pomija jednak parametry dynamiczne, które mają dla zabezpieczeń znaczenie podstawowe.

Urządzenia testujące powinny umożliwiać badanie zabezpieczeń zgodnie z normami przekąźnikowym PN-EN 60255 i dlatego musi spełniać co najmniej następujące wymagania:

- Dopuszczalny współczynnik odkształcenia fali sinusoidalnej mniejszy od 2%,
- Zawartość składowej stałej nieustalanej w prądzie przemiennym maksymalnie do 5%,
- Dokładność ustawienia przesunięcia fazowego 2%,

- Zakres regulacji przesunięcia fazowego między przebiegami 360° ,
- Dokładność ustawienia częstotliwości 0.5%,
- Dokładność ustawienia amplitudy prądu i napięcia powinna być nie gorsza od klasy badanych zabezpieczeń, w praktyce na ogół wystarczająca jest dokładność 1%
- Wielkości zasilające, to znaczy: prąd, napięcie, częstotliwość, przesunięcie fazowe powinny mieć regulację płynną i skokową,
- Powstanie chwilowego uchybu większego niż 2% w stosunku do przebiegu zadanego powinno być sygnalizowane, jest to szczególnie istotne przy przebiegach dynamicznych,
- Wymagane są następujące sposoby realizacji skokowej zmiany wielkości zasilającej:
 - od zera do określonej wartości,
 - od określonej wartości do zera,
 - od jednej określonej wartości do drugiej określonej wartości,

W urządzeniach testujących EAZ niezbędna jest znajomość klasy ustawienia każdej dającej się ustawić wielkości zasilającej. Jest to nieco inne wymaganie niż w miernictwie, gdzie klasa często jest podawana dla końca zakresu skali.

Dynamika źródła prądowego powinna być określona w danych technicznych urządzenia testującego, najlepiej w postaci oscylogramu przebiegu prądu dla różnych faz załączenia. Dla niektórych szybkich zabezpieczeń kształt tych przebiegów może mieć istotne znaczenie.

Modernizacja urządzenia UT-GT3

Wysokie ceny importowanego sprzętu testującego są jeszcze ciągle zaporowe dla małych odbiorców takich jak rejony energetyczne i niektóre elektrownie. W związku z tym postanowiliśmy unowocześnić urządzenie UT-GT3, które po modernizacji będzie nosiło nazwę UTC-GT. Zdecydowaliśmy, że urządzenie UTC-GT będzie realizowało wszystkie funkcje urządzenia UT-GT3, a ponad to będzie w pełni cyfrowe i wyposażone w duży wyświetlacz alfanumeryczny pozwalający na użytkowanie urządzenia bez dodatkowego komputera. Przeznaczone jest do wykonania badań następujących zabezpieczeń: wszystkich pól średniego napięcia, automatyk SPZ, SCO, zabezpieczeń generatorów i transformatorów (w tym zabezpieczeń od poślizgu biegunów), a w szczególności cyfrowych zabezpieczeń różnicowych transformatorów. Badania mogą być wykonywane metodą „najeżdżania” jak również metodą symulacji warunków zwarciovych. Urządzenie bardzo dobrze odtwarza warunki zwarciove i nie ma już potrzeby stosowania modeli do symulacji przebiegów zwarciovych.

Parametry podstawowe

- W dwóch jednofazowych kanałach wyjściowych urządzenie może generować prąd i napięcie lub dwa prądy,
- Zakres nastawienia prądu wynosi 0 do 50A AC lub DC, zakres nastawienia napięcia wynosi 0 do 150V, równoległa praca kanałów rozszerza zakres regulacji prądu do 100A AC lub DC, klasa nastawienia 0.5% dla nastawień większych od 10mA,
- Zakres regulacji częstotliwości dla podstawowej harmonicznej 4,5 do 55Hz i dla wyższych harmonicznych 9 do 1100Hz, dokładność nastawienia 0,001Hz,
- Zakres regulacji fazy 0 do 360° , dokładność nastawienia $0,2^\circ$

Właściwości podstawowe

- Przejście od wielkości obciążeniowych do wielkości zwarciovych i powrót do wielkości obciążeniowych może dokonywać się skokowo lub płynnie w cyklu automatycznym, przy czym sposób i tempo zmian są przedmiotem nastawienia,
- Automatycznie zapisywane są wartości wszystkich parametrów dla chwili zadziałania i powrotu zabezpieczenia,
- Automatycznie zapisywane są czas działania i czas powrotu badanych zabezpieczeń,

- Automatycznie mierzone są czasy zwarcia i przerwy w cyklu SPZ, maksymalnie 7 czasów,
- Może generować przebiegi zwarcioowe o czasie trwania od 1ms do 1000s zachowując bardzo dobrą dynamikę bez przeregulowań, możliwy jest wybór fazy załączenia prądu i napięcia.

Właściwości dodatkowe

- Do pierwszej harmonicznej może dodawać dowolną wyższą harmoniczną wybraną z przedziału od drugiej do dwudziestej, a w wybranych konfiguracjach może dodawać dwie wyższe harmoniczne. Może również przesunąć fazę jednej wyższej harmonicznej w stosunku do pierwszej harmonicznej,
- Przy badaniu cyklów SPZ odwzorowuje położenie wyłącznika ułatwiając współpracę z zabezpieczeniem,
- Jeden z układów pracy jest przystosowany specjalnie do badania zabezpieczeń różnicowych
- Jest dobrze przystosowane do pracy zarówno w warunkach polowych jak i laboratoryjnych, jest funkcjonalne, a waga nie przekracza 12kG,

Urządzenie ma łącze RS232, przewiduje się, że opracowywane oprogramowanie na komputer PC zapewni automatyzację procesu badań i wydruk protokołów. Do badania najpopularniejszych krajowych przekładników planuje się opracowanie gotowych pakietów programowych. Programy będą tworzone przy współpracy z użytkownikami badanych urządzeń.

Automatyzacja badań

Tradycyjne metody wykonywania badań polegają na tym, że osoba wykonująca badania zna doskonale badany obiekt i sprzęt, którym wykonuje badania. Ocena wyniku badania dokonywana jest na bieżąco przez osobę wykonującą badania.

Cyfrowe urządzenia do badania zabezpieczeń doskonale nadają się do automatyzacji procesu badania. Proces badań zaczyna zmierzać w kierunku pełnej automatyzacji polegającej na tym, że po połączeniu testera z badanym obiektem uruchamiany jest automatyczny test, który przebiega według założonego algorytmu. Wyniki kolejnych prób oceniane są automatycznie bez naszego udziału i dostają ocenę pozytywną lub negatywną. Mamy dużo szczęścia, jeśli procedura zakończy się wydrukowaniem protokołu z samymi pozytywnymi wynikami. W przeciwnym razie czeka nas żmudna praca związana nie tylko z analizą pracy zabezpieczenia, ale również z analizą pracy programu obsługującego tester. Metoda ta jest na pewno słuszna, ale tylko w sytuacji, jeśli mamy do przebadania dużą ilość jednakowo skonfigurowanych urządzeń EAZ. W praktyce mamy jednak do czynienia z dużą różnorodnością zabezpieczeń i tylko te najliczniejsze być może doczekają się opracowania automatycznych testów. Obecna rzeczywistość wymaga jednak od obsługi pełnej kontroli procesu sprawdzania.

W Instytucie Energetyki do wykonywania badań pełnych zabezpieczeń używamy tylko takiego sprzętu, który nie wyręcza obsługi w opracowaniu metod badań i w ocenie wyników testu.

W chwili obecnej firmy zagraniczne oferują kilka typów urządzeń najnowszej generacji przeznaczonych do badania EAZ i przystosowanych głównie do badania zabezpieczeń odległościowych. Ceny tych urządzeń są ciągle wysokie.

