

Zbigniew WYSOCKI

## MIKROKOMPUTEROWE URZĄDZENIE DO SPRAWDZANIA I PRÓB APARATURY ELEKTROENERGETYCZNEJ AUTOMATYKI ZABEZPIECZENIOWEJ - MUSPA EAZ

**Streszczenie.** Artykuł prezentuje system mikroprocesorowy umożliwiający testowanie urządzeń EAZ w stanach quasi-statycznych, dynamicznych i przejściowych

**Summary.** The paper presents the microprocessor based system for relay testing under quasi-static, dynamic and transient states.

**Zusammenfassung.** In dem Beitrag wird ein Microprozessorsystem, wo eine automatische Untersuchung der Schutz- und Automatisierungsanlagen in den quasistationären, dynamischen und transienten Zuständen ermöglicht wird, dargestellt.

### 1. WSTĘP

Urządzenia elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej (EAZ) poddawane są testom polegającym wprowadzaniu na ich wejścia odpowiednich sygnałów testujących. Z punktu widzenia zmian sygnałów testowych, badania urządzeń EAZ podzielić można na:

- quasi-statyczne,
- dynamiczne,
- przejściowe.

Badania quasi-statyczne charakteryzują się powolnymi zmianami sygnałów wejściowych (prąd, napięcie) i są wykorzystywane do określania charakterystyk zabezpieczeń, pomiaru współczynników powrotu i innych parametrów technicznych testowanego urządzenia.

Badania dynamiczne, w czasie których sygnały wejściowe podawane są w sposób udarowy, mają na celu określenie czasu zadziałania testowanego zabezpieczenia.

W czasie badań przejściowych przebiegi wejściowe zabezpieczenia wykazują zmienność charakterystyczną dla nienormalnych stanów pracy chronionego obiektu. Celem tych badań jest sprawdzenie poprawności działania zabezpieczeń w czasie nieustalonych stanów zwarciovych.

Testowanie urządzeń EAZ przeprowadzane było do niedawna wyłącznie metodami konwencjonalnymi, które wykorzystują:

- układy elektryczne złożone z autotransformatorów, wymuszalników prądowych, dławików regulacyjnych, przesuwników fazowych i przyrządów pomiarowych dla uzyskiwania przebiegów quasi-statycznych i dynamicznych,
- fizyczne modele systemu elektroenergetycznego umożliwiające generowanie przebiegów przejściowych.

Należy podkreślić, że źródła sygnałów testowych, zwłaszcza prądowych, muszą mieć znaczną moc bowiem niektóre z testów wymagają zasilania obwodów wejściowych zabezpieczania prądami o wartościach kilkadziesiąt razy większych od prądu znamionowego (1A lub 5A).

W okresie kilku ostatnich lat znane firmy zachodnie, produkujące seryjnie zabezpieczenia EAZ, zaczęły wykorzystywać dla testowania swoich wyrobów systemy mikroprocesorowe, które w porównaniu z urządzeniami testowania konwencjonalnego, zapewniają znacznie większe możliwości w zakresie:

- automatyzacji czynności związanych z testowaniem i opracowywaniem uzyskanych wyników,
- precyzji zmian i pomiaru sygnałów wejściowych zabezpieczeń,
- generowania sygnałów testowych o żądanych kształtach (wyższe harmoniczne, składowa aperiodyczna),
- powtarzalności testów.

Systemy mikroprocesorowe stosowane do badań urządzeń EAZ charakteryzują się przede wszystkim tym, że obwody wejściowe testowanych urządzeń zasilane są ze wzmacniaczy mocy sterowanych sygnałami testowymi.

Sygnały testowe uzyskuje się generalnie na dwa sposoby:

- wykorzystując programowane, sterowane w trybie on-line przez mikroprocesor, wielokanałowe generatory przebiegów,
- rejestrując w postaci dyskretnej (np. na dyskietce) przebiegi występujące podczas zwarc w rzeczywistych obiektach energetycznych (transformatory, linie przesyłowe, itp.) bądź uzyskiwane na drodze modelowania analogowego lub cyfrowego.

W celu sterowania wzmacniaczy mocy dyskretne sygnały testowe przetwarzane są na postać analogową z wykorzystaniem przetworników C/A.

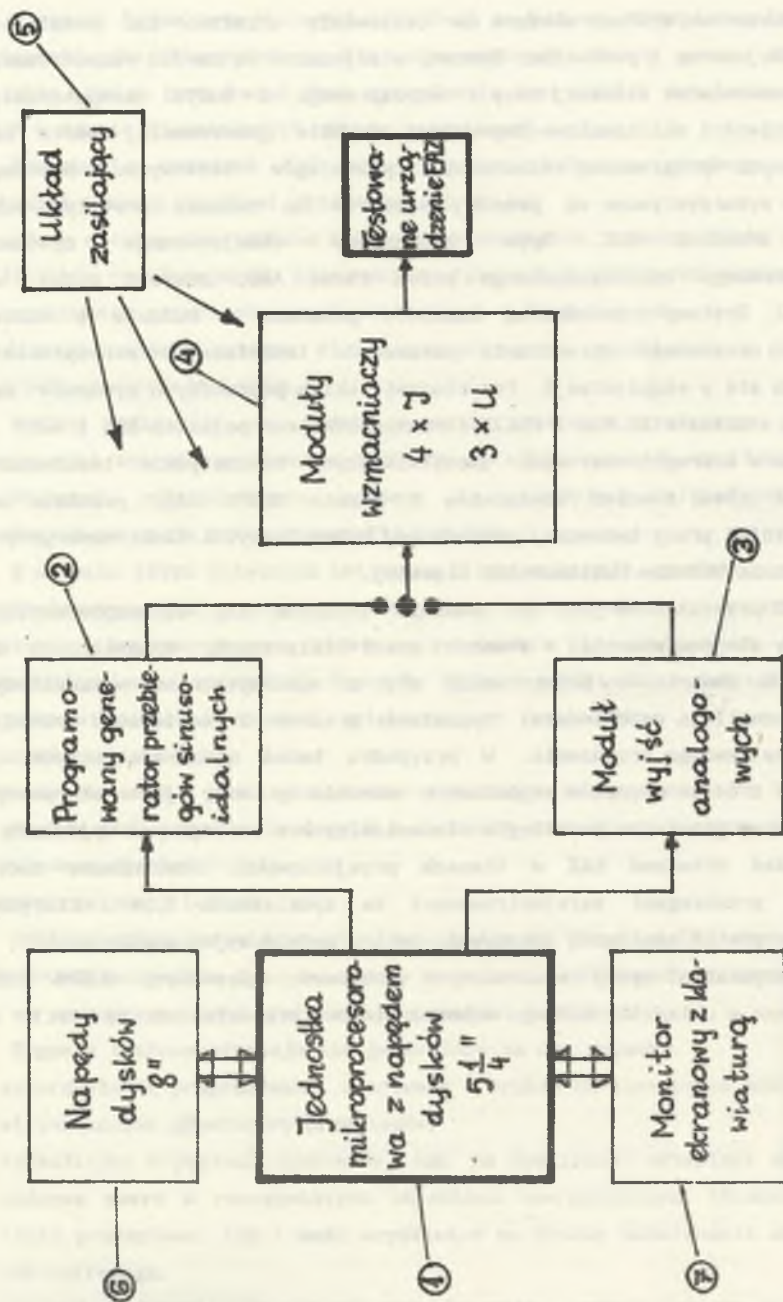
Mikroprocesorowe systemy służące do testowania urządzeń EAZ podzielić można na stacjonarne i przewoźne. Systemy stacjonarne są bardzo rozbudowane, posiadają wzmacniacze wielkiej mocy i współpracują z dużymi komputerami, których możliwości obliczeniowe zapewniają szybkie generowanie, oparte na skomplikowanych programach, różnorodnych przebiegów testowych. Systemy stacjonarne wykorzystywane są przede wszystkim do badania prototypowych rozwiązań urządzeń EAZ. Opis złożonego, stacjonarnego systemu mikroprocesorowego wykorzystywanego przez firmę ABB, znaleźć można w artykule [4]. Systemy przewoźne są znacznie prostsze w budowie i służą głównie do okresowego sprawdzania parametrów technicznych zabezpieczeń znajdujących się w eksploatacji. Przykładami takich przewoźnych systemów są rozwiązania o nazwach XS 92a i FREJA firm zachodnioeuropejskich BBC i ABB.

Do systemów mikroprocesorowych umożliwiających automatyczne testowanie urządzeń EAZ należy również rozwiązanie o nazwie MUSPA EAZ, powstałe w ramach 3-letniej pracy badawczej prowadzonej przez Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów Politechniki Śląskiej.

MUSPA EAZ przeznaczony jest do badania urządzeń EAZ (zabezpieczenia, lokalizatory miejsca zwarcia) w stanach quasi-statycznych, dynamicznych i przejściowych. Badania te przeprowadza się z wykorzystaniem wzmacniaczy mocy, które zasilają odpowiednimi sygnałami prądowe i napięciowe obwody wejściowe testowanego urządzenia. W przypadku badań quasi-statycznych i dynamicznych źródłem sygnałów wejściowych wzmacniaczy mocy jest sterowany mikroprocesorem generator przebiegów sinusoidalnych o analogowych wyjściach. Podczas badań urządzeń EAZ w stanach przejściowych, wzmacniacze mocy zasilane są przebiegami zarejestrowanymi na dyskietkach 5,25", których konwersja na postać analogową dokonywana jest w module wyjść analogowych.

W celu uzyskania wyżej wymienionych możliwości testowych MUSPA EAZ skonfigurowano w układzie, którego schemat blokowy przedstawiono na rys.1.





Rys. 1. Schemat blokowy urządzenia testującego MUSPA EAZ  
 Fig. 1. Block diagram of the test set MUSPA EAZ

## 2. OPIS PODSTAWOWYCH PODZESPOŁÓW MUSPA EAZ

### 2.1. Jednostka mikroprocesorowa

Jednostka mikroprocesorowa (JM) składa się z dwóch pakietów: SBC i DMA. SBC jest pakietem komputera jednopłytkowego zbudowanego na bazie mikroprocesora INTEL 8080A o pełnych zasobach. Pakiet DMA zawiera układy sterowania bezpośrednim dostępem do pamięci oraz układ uniwersalnego kontrolera dla jednostek pamięci na dyskach elastycznych. Integralną częścią jednostki mikroprocesorowej jest napęd dysków elastycznych 5,25" typu MF 1800/900 (WRL).

### 2.2. Programowany generator przebiegów sinusoidalnych

Programowany generator przebiegów sinusoidalnych (GPS) sterowany przez komputer JM, umożliwia generowanie 6 sygnałów analogowych o regulowanej częstotliwości, amplitudzie i przesunięciu fazowym. Dodatkowo urządzenie zapewnia współpracę komputera z wyjściami dwustanowymi testowanego przy użyciu MUSPA EAZ zabezpieczenia.

W skład GPS wchodzi następujące moduły:

- moduł dekodera adresów służący do komunikacji z komputerem, którego zadaniem jest wypracowanie odpowiednich sygnałów wybierających i strobujących w celu umożliwienia wymiany danych z właściwym rejestrem,
- moduł wytwarzania sygnałów taktujących, który spełnia rolę zegara czasu rzeczywistego i umożliwia pomiar czasu zadziałania testowanych zabezpieczeń oraz regulację częstotliwości wyjściowych sygnałów generatora,
- moduł przetwarzania cyfrowo-analogowego (składający się z trzech jednakowych, dwuwyjściowych pakietów), który ma za zadanie przekształcenie ostatecznie uformowanych sygnałów cyfrowych (amplituda, faza, częstotliwość) na wyjściowe sygnały analogowe, służące do sterowania zewnętrznymi wzmacniaczami mocy,
- moduł obsługi dwustanowych wyjść testowanego zabezpieczenia, którego zadaniem jest przetworzenie wartości sygnałów dwustanowych do poziomu TTL i zapamiętanie chwil czasowych, w których następowały zmiany stanów logicznych ww. wyjść.

### 2.3. Moduł wyjść analogowych

Moduł wyjść analogowych (MWA) służy do odtwarzania w postaci analogowej 8 przebiegów dyskretnych przepisanych z dyskietki 5,25" do pamięci RAM znajdującej się na karcie mikroprocesora. Dla przesyłania próbek sygnałów z RAM do MWA wykorzystano uniwersalny port równoległego we/wy. Wprowadzanie danych do portu odbywa się przez kanał DMA. W skład MWA wchodzi:

- scalony 10-bitowy przetwornik C/A,
- demultiplexer kanałów,
- układ pamiętający (dla każdego kanału),
- filtr wyjściowy (dla każdego kanału).

Maksymalna częstotliwość próbkowania, dla której można odtworzyć przebieg wynosi 3200 Hz (w każdym kanale).

### 2.4. Moduły wzmacniaczy mocy

W skład MUSPA EAZ wchodzi cztery jednokanałowe wzmacniacze J do zasilania obwodów prądowych i trzy jednakowe wzmacniacze U do zasilania obwodów napięciowych urządzeń EAZ. Wzmacniacze J i U składają się z przedwzmacniacza i części mocowej, przy czym układ przedwzmacniacza (zbudowany na bazie tranzystorów serii BD137, BD138) jest uniwersalny dla obu rodzajów wzmacniaczy. Część mocowa wzmacniacza J bazuje na tranzystorach 2N3055 sterowanych parą tranzystorów komplementarnych 2N3055/BDX18. Wzmacniacz U posiada na wyjściu transformator (sterowany j/w) o zwijanym rdzeniu wykonanym z blachy anizopermowej.

### 2.5. Napędy dysków elastycznych 8"

Napędy dysków elastycznych 8" wykorzystywane są do obsługi dyskietek z oprogramowaniem testowym MUSPA EAZ.

## 3. ZASOBY PROGRAMOWE MUSPA EAZ

Oprogramowanie MUSPA EAZ stanowi sześć podstawowych programów:

- 1) CHARKIER dla wyznaczania charakterystyki kierunkowej przełączników  $U=f(\alpha)$ ,  
 $I=idem$ ,

- 2) CHARHAM dla wyznaczania charakterystyki stabilizacji przekaźników  
 $I_r = f(I_n)$ ,
- 3) CHARFAZ dla wyznaczania charakterystyki rozruchowej przekaźników nadprądowych fazowo-zależnych  $I_r = f(I, \alpha)$ ,  $U = \text{idem}$ ,
- 4) CHARIMP dla wyznaczania charakterystyki impedancyjnej  $Z_r = f(U, \alpha)$ ,  $I = \text{idem}$ ,
- 5) CHARTFZ dla wyznaczania charakterystyki czasowej przekaźnika odległościowego  $t = f(Z)$ ,
- 6) TP dla testowania urządzeń EAZ w stanach przejściowych z wykorzystaniem przebiegów zwarciovych zarejestrowanych wcześniej na dyskietkach 5,25".

#### 4. TESTOWANIE URZĄDZEŃ Z WYKORZYSTANIEM MUSPA EAZ

##### 4.1. Uwagi ogólne

Testowanie urządzeń przebiega w dwóch etapach. W etapie pierwszym przeprowadza się kalibrację, której zadaniem jest ustalenie wartości wzmocnienia torów napięciowych i prądowych w zależności od przyjętych maksymalnych wartości prądów i napięć testowych. Wykorzystując w tym celu program KALIBRACJA operator wprowadza z klawiatury poniższe wartości:

- znamionowy prąd  $I_n$  badanego urządzenia,
- maksymalną wartość prądu testowego jako krotność  $I_n$ ,
- znamionowe napięcie  $U_n$  badanego urządzenia,
- maksymalną wartość napięcia testowego jako krotność  $U_n$ .

Następnie sterując - uzyskiwanym programowo sygnałem sinusoidalnym ( $5V_{pp}$ ) - wybrane wejścia wzmacniaczy, operator reguluje potencjometrami wzmocnienia tak, by w obwodach wejściowych testowanego urządzenia pojawiły się znamionowe wartości prądu i napięcia. Czynności wykonywane w ramach drugiego etapu testowania urządzenia wynikają z rodzaju przeprowadzanych badań.

##### 4.2. Badania w stanach quasi-statycznych lub dynamicznych

W przypadku testowania zabezpieczenia w stanach quasi-statycznych lub dynamicznych operator wykonuje poniższą sekwencję czynności:

- 1) uruchamia odpowiedni dla rodzaju badanego przekaźnika i mierzonej charakterystyki program główny, wybrany spośród pierwszych pięciu programów wymienionych w p.3,

- 2) określa korzystając z podprogramu DANE wartości parametrów programu głównego wybrane z podanego poniżej zestawu:
- testowane tory prądowe, napięciowe,
  - wejścia współpracujące z modułem obsługi sygnałów dwustanowych GPS,
  - wstępne przesunięcie fazowe sygnałów testowych,
  - zmiana  $\Delta\varphi$  przesunięcia fazowego dla kolejnych punktów charakterystyki,
  - zmiana  $\Delta I$  prądu w przypadku zdejmowania charakterystyki stabilizacji,
  - skok I (skok U) związany z pomiarem punktu charakterystyki; pomiar punktu charakterystyki polegający na powolnej zmianie prądu (lub napięcia) odbywa się dwustopniowo: najpierw prąd (napięcie) regulowany jest (od zera do wartości rozruchowej) zgrubnie ze skokową zmianą wielkości określoną właśnie przez skok I (skok U), a następnie dokładnie (w ograniczonym przedziale wartości) z minimalnym przyrostem wielkości wynikającym z uwarunkowań technicznych. W programie CHARTFZ skok U określa wyjątkowo zmianę wartości napięcia dla kolejnego punktu charakterystyki  $t=f(Z)$  wyznaczonej przez udarowe sterowanie wzmacniaczy mocy,
  - czas własny testowanego zabezpieczenia,
  - czas max wykorzystywany w programie CHARTFZ określający przedział czasu, w którym powinna nastąpić zmiana stanu na wyjściu dwustanowym testowanego zabezpieczenia.
- 3) wybiera opierając się na podprogramie WYNIKI DO ZBIORU opcję tworzenia zbioru z wynikami pomiarów,
- 4) inicjuje klawiszem ENTER badanie zabezpieczenia.

#### 4.3. Badania w stanach przejściowych

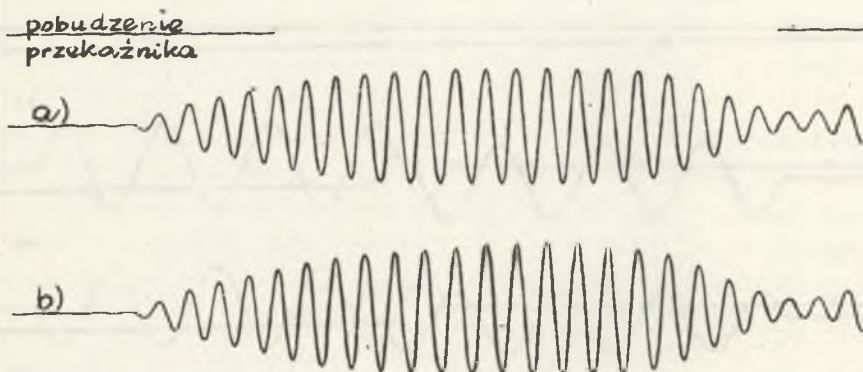
Badanie urządzeń EAZ w stanach przejściowych wymaga uruchomienia programu TP, który umożliwia zasilanie obwodów wejściowych testowanego urządzenia trójfazowym sygnałem o czasie trwania ok. 0,5 s, symulującym stan zakłócenia wybranego elementu elektroenergetycznego. Przebiegi stanu zakłócenia rejestrowane są wcześniej w postaci dyskretnej na dyskietce 5,25".

#### 5. OCENA POPRAWNOŚCI DZIAŁANIA I PRZYDATNOŚCI MUSPA EAZ

Poprawność działania złożonego systemu elektronicznego można ocenić sprawdzając, czy spełnia on określone wymagania.



W przypadku MUSPA EAZ sprawdzano spełnianie podstawowego, zdaniem autora, wymagania dotyczącego "równości" sygnałów zasilających badane urządzenie EAZ z sygnałami sterującymi wzmacniacze mocy. Jako kryterium spełnienia tego wymagania przyjęto zgodność kształtów ww. sygnałów i równość przesunięć fazowych między wybranymi sygnałami wejściowymi testowanego urządzenia i odpowiadającymi im sygnałami sterującymi.



Rys.2. Sygnały testowe dla badania przekaznika napięciowego w stanach przejściowych

- a) sygnał wejściowy wzmacniacza napięciowego,
- b) sygnał wejściowy przekaznika

Fig.2. Test quantities for transient state testing of the voltage relay

- a) input signal of the voltage amplifier
- b) input signal of the relay

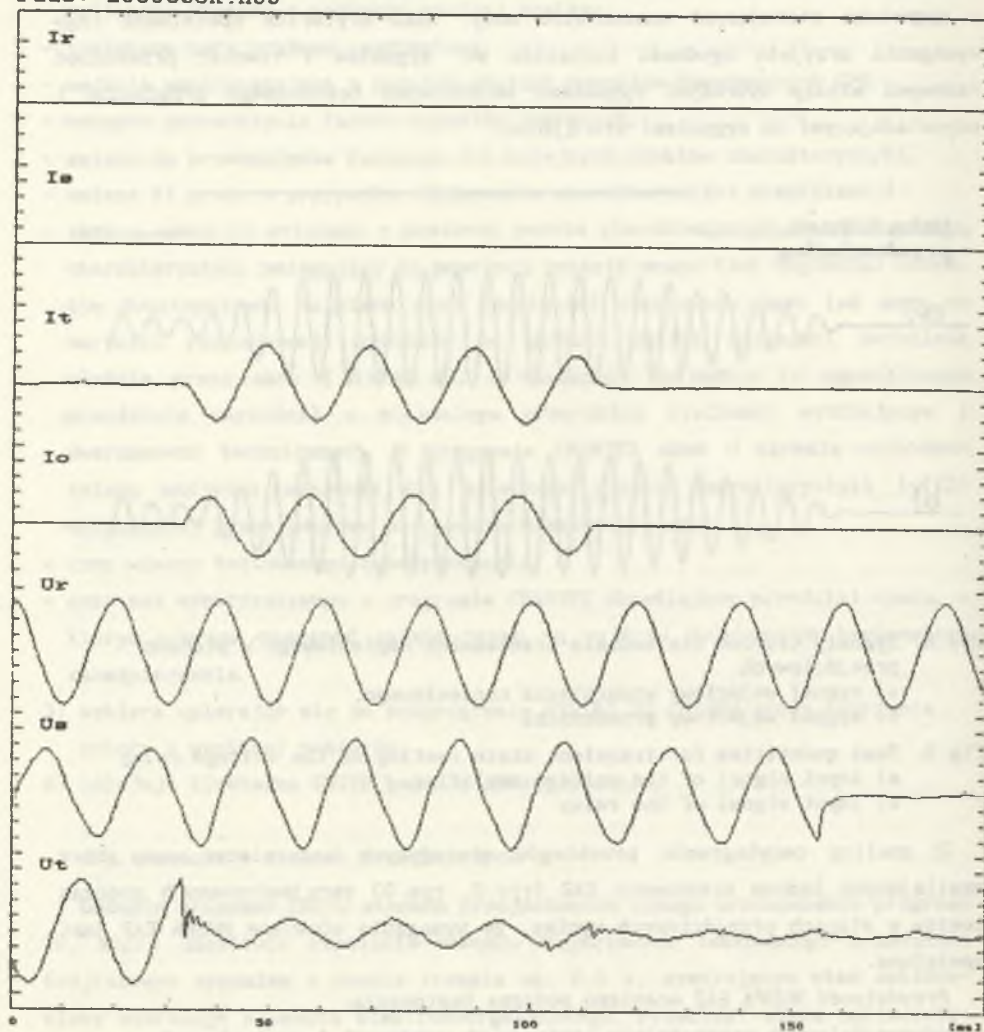
Z analizy oscylogramów przebiegów sterujących wzmacniacze mocy oraz zasilających badane urządzenie EAZ (rys.2, rys.3) zarejestrowanych podczas testów w stanach przejściowych wynika, że wymaganie stawiane MUSPA EAZ jest spełnione.

Przydatność MUSPA EAZ oceniano podczas testowania:

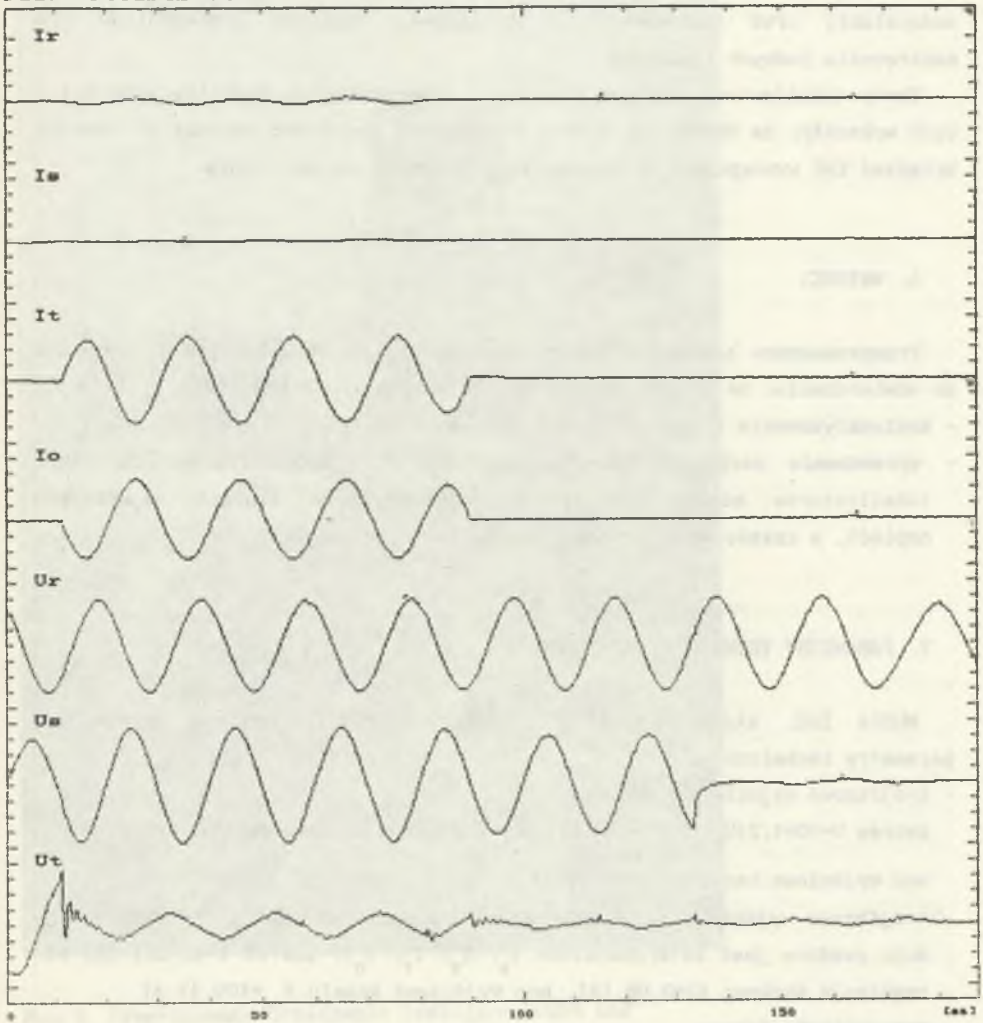
- jednoweściowych przekazników pomiarowych prądowych i napięciowych,
- przekaznika nadprądowego fazowo-zależnego,
- mikroprocesorowego lokalizatora miejsca zwarcia dla napowietrznych linii najwyższych napięć.

Testowanie zabezpieczeń sygnałami quasi-statycznymi i dynamicznymi przebiegało zgodnie z oczekiwaniami i potwierdziło korzyści związane z automatyzacją czynności pomiarowych wykonywanych dotąd przez operatora.

File: Z00089CK.H59



File: BYC2SIEN.L08



Rys.3. Sygnały testowe dla badania lokalizatora zwarcia linii napowietrznych w stanach przejściowych

- a) sygnały wejściowe wzmacniaczy napięciowych i prądowych  
 b) sygnały wejściowe lokalizatora

Fig.3. Test quantities for transient state testing of the fault locator for overhead lines

- a) input signals of the voltage and current amplifiers  
 b) input signals of the locator

Określenie wartości rozruchowych, współczynników powrotu i czasów zadziałania oraz charakterystyki biegunowej badanych przekładników nie nastęrczało żadnych trudności.

Testy lokalizatora miejsca zwarcia z wykorzystaniem sygnałów przejściowych wykazały, że MUSPA EAZ może z powodzeniem symulować warunki do badania urządzeń EAZ występujące w rzeczywistym systemie energetycznym.

## 6. WNIOSKI

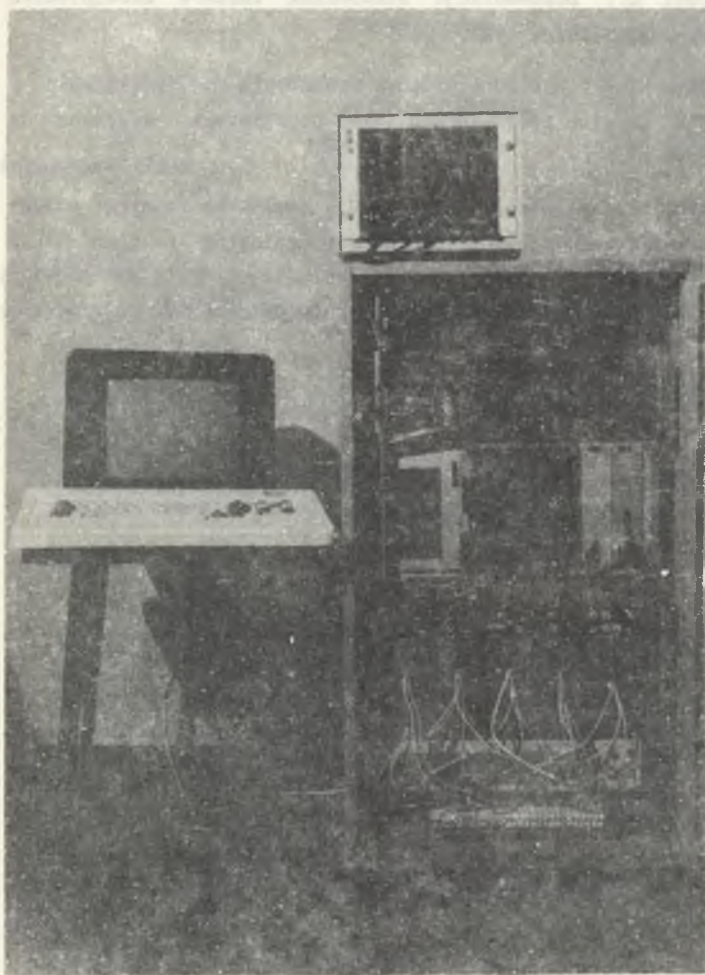
Przeprowadzone badania z wykorzystaniem systemu MUSPA EAZ dają podstawę do stwierdzenia, że prezentowane w artykule urządzenie umożliwia:

- zautomatyzowanie rutynowych badań przekładników EAZ,
- sprawdzenie zachowania się zabezpieczeń i innych urządzeń EAZ (np. lokalizatorów miejsca zwarcia w napowietrznych liniach najwyższych napięć), w czasie przejściowych stanów zakłóceńowych.

## 7. PARAMETRY TECHNICZNE MUSPA EAZ

MUSPA EAZ, którego zdjęcie przedstawia rys.4, posiada następujące parametry techniczne:

- trójfazowe wyjście napięciowe:  
zakres  $U=(0+1,2)U_n$ ;  $U_n = \frac{100}{\sqrt{3}}$  [V] ac, regulacja skokowa  $\Delta U \approx 0,2$  [V]  
moc wyjściowa kanału  $S_{wy} \approx 50$  [V·A]
- trójfazowe wyjście prądowe (w przypadku badań w stanach przejściowych wyjście prądowe jest czterokanałowe  $I_R, I_S, I_T, I_0$ ); zakres  $I=(0+20)$  [A] ac: regulacja skokowa  $\Delta I \approx 0,08$  [A], moc wyjściowa kanału  $S_{wy} \approx 100$  [V·A]
- przesunięcie fazowe:  
zakres  $\varphi=(0+360)$  [deg], regulacja skokowa  $\Delta \varphi \approx 1,4$  [deg]
- częstotliwość sygnalu:  
zakres  $f=(45+55)$  [Hz], regulacja skokowa  $\Delta f=0,01$  [Hz]
- pomiar czasu:  
zakres  $t=(0+10)$  [s], dokładność  $\Delta t=0,5$  [ms]
- 8 wejść optoelektronicznych do obsługi wyjść dwustanowych testowanego zabezpieczenia  
zakres napięć  $U=(30+220)$  [V] dc.



Rys. 4. Programowane urządzenie testujące MUSPA EAZ

Fig. 4. Programmable test set MUSPA EAZ

#### LITERATURA

- [1] Praca zbiorowa: Urządzenie do statycznego i dynamicznego testowania przekaźników odległościowych, zbudowane na bazie MLZ1L. Etap 1 i 2, Gliwice 1988, 1989 (praca niepublikowana, wykonana na zlecenie PdcOch Katowice).

- [2] Kałużny T., Skroboł G.: Dokumentacja sterownika testera zabezpieczeń elektroenergetycznych. Gliwice 1989.
- [3] Przybylski M., Wysocki Z.: Mikroprocesorowe urządzenie do sprawdzania i prób aparatury EAZ. Gliwice 1990 (praca nie publikowana, wykonana na zlecenie IEn Warszawa).
- [4] Nimmersjö G. i inni: A digitally-controlled, real-time analog power-system simulator for closed-loop protective relaying testing. IFE Transactions on Power Delivery, no.1, 1988.
- [5] Brown Boveri: Programmable test set type XS 92a.
- [6] ABB: A relay test system FREJA, 1988.

Recenzent: prof.dr hab.inż. Andrzej Wiszniewski

Wpłynęło do Redakcji dnia 1 czerwca 1991r.

#### MUSPA EAZ - MICROPROCESSOR BASED RELAY TEST SYSTEM

##### Abstract

MUSPA EAZ presented in this paper, is a unique relay and other equipment (for example: fault locators) test system intended for testing in the laboratory. MUSPA EAZ is designed only for automatic testing. The calibration of the test system is done manually. MUSPA EAZ has two sources of the testing signals: the three-phase voltage/current generator (used for relay testing under quasi-static and dynamic states) and the 5,25" diskette (used in the case of transient states relay tests).

A dedicated personal computer with display device and keyboard make the tests easy to do.