

Jerzy HOJA

Antoni SZCZYPTA

Waldemar TLAGA

## SYSTEM POMIAROWY DO DIAGNOSTYCZNEJ I FUNKCJONALNEJ KONTROLI PAKIETÓW URZĄDZEŃ ELEKTRONICZNYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono system diagnostyczno-funkcjonalny pakietów urządzeń elektronicznych, sterowany za pomocą komputera typu IBM-PC oraz magistrali pomiarowej IEC-625. Omówiono w szczególności organizację komutatorów pomiarowych i bloku pomiarowego LC oraz oprogramowanie sterujące i wspomagające.

### 1. WSTĘP

Jednym z warunków zwiększenia wielkości produkcji urządzeń elektronicznych, przy jednoczesnym wzroście ich złożoności oraz niezawodności jest wprowadzenie pełnej kontroli międzyoperacyjnej i finalnej wytwarzanych pakietów (modułów). Spełnienie tych wymagań w sposób obiektywny jest możliwe przez zastosowanie w procesie technologicznym automatycznych systemów pomiarowych. Wychodząc na przeciw tym potrzebom w Zespole Skomputeryzowanej Techniki Pomiarowej Instytutu Technologii Elektronicznej PG opracowano i wdrożono w przemyśle trzy generacje systemów pomiarowo-diagnostycznych pakietów [1,2,3]. Jednakże stały rozwój nowych technologii wytwarzania urządzeń wymusił zapotrzebowanie na nowe jakościowo systemy pomiarowe pakietów, spełniające między innymi następujące wymagania:

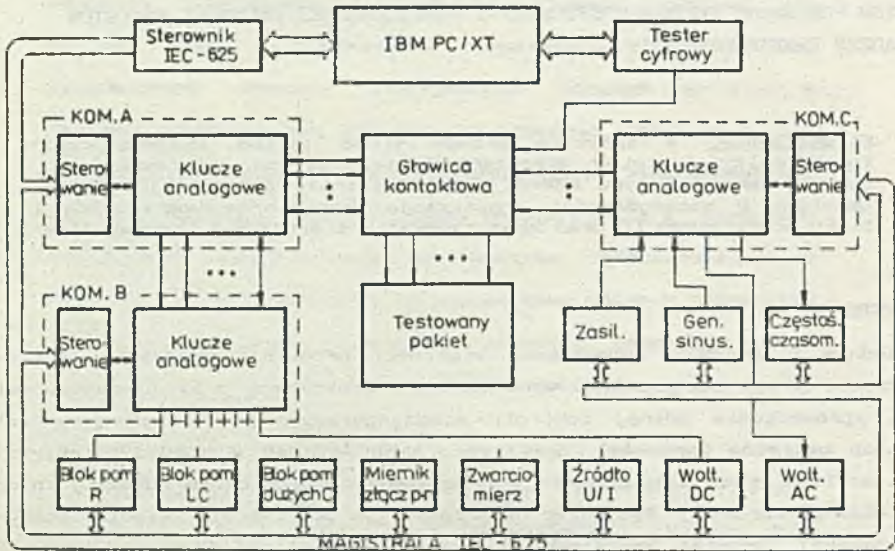
- testowanie pakietów analogowo-cyfrowych na jednym stanowisku,
- zwiększenie liczby oraz rodzaju elementów poddawanych testowaniu,
- zwiększenie szybkości i dokładności pomiarów,
- automatyczna generacja testów pomiarowych,
- włączenie systemu pomiarowego w komputerowo sterowany proces technologiczny (CIM).

Zespół STP biorąc pod uwagę ww. wymagania oraz światowe trendy rozwojowe systemów pomiarowych, podjął się realizacji komputerowo sterowanego systemu do diagnostycznej i funkcjonalnej kontroli pakietów.

### 2. STRUKTURA SIECI POMIAROWEJ I STERUJĄCEJ

System pomiarowy, którego schemat został przedstawiony na rys.1, jest sterowany za pomocą komputera typu IBM-PC oraz magistrali pomiarowej w standardzie IEC-625. Za pośrednictwem tej magistrali sterowane są:

- dwustopniowy komutator (A i B), wykorzystywany przy kontroli diagnostycznej pakietów, umożliwiającą dołączenie w wersji maksymalnej 1000 punktów pomiarowych,
- komutator (C), organizujący sieci pomiarowe testów funkcjonalnych,
- zestaw autonomicznych bloków pomiarowych, realizujących wszystkie niezbędne procedury pomiarowe (pomiar  $R$ ,  $G$ ,  $C$ ,  $L$ , testowanie tranzystorów, diod i układów scalonych, pomiary zwarc i rozwarć, napięcie DC i AC, częstotliwości i czasu),
- bloki programowanych źródeł sygnałów sinusoidalnych oraz stałoprądowych ze stabilizacją wyjściowego napięcia lub prądu.



Rys.1. Schemat blokowy systemu

Fig.1. Block diagram of the system

W systemie przewidziano oddzielny blok testera układów cyfrowych sterowany bezpośrednio z komputera IBM-PC. Przyjęte rozwiązanie pozwala na testowanie z częstotliwością do 20MHz w 32 kanałach.

System został wyposażony w głowicę wielostrzową z dociskiem mechanicznym stanowiącą niezależny panel, co zapewnia łatwą zmianę na inny typ głowicy np. z dociskiem podciśnieniowym lub pneumatycznym.

W dalszej części artykułu zostaną przedstawione wybrane rozwiązania stosowane w systemie pomiarowym, spełniające wymagania postawione na wstępie. Należy do nich struktura i organizacja komutatorów pomiarowych, nowa generacja bloków pomiarowych, których przykładem jest miernik parametrów  $L$   $C$  oraz oprogramowanie sterujące systemem i wspomagające programistę przy programowaniu testów pomiarowych pakietów badanych.

### 3. ORGANIZACJA KOMUTATORÓW POMIAROWYCH

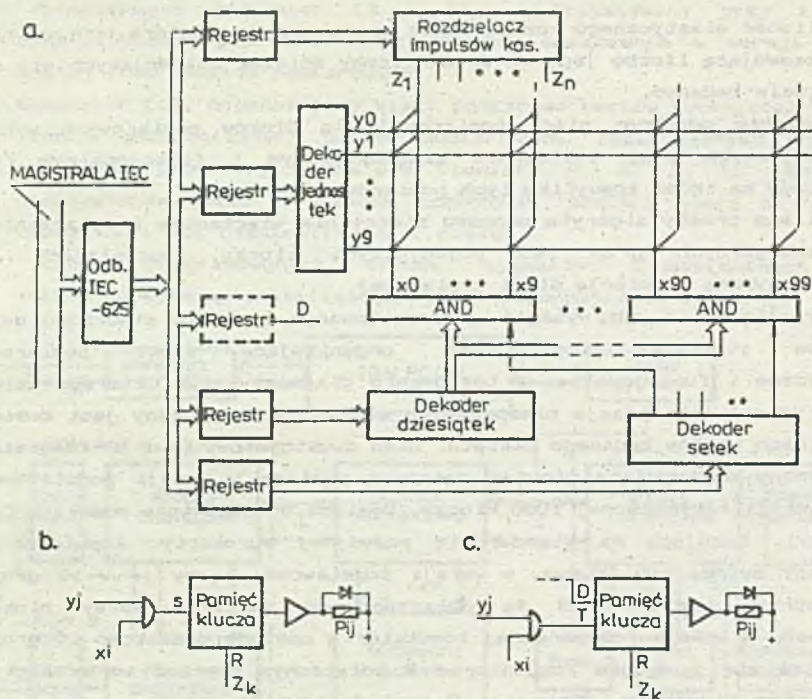
Projektując strukturę komutatora uwzględniono następujące wymagania:

- możliwość elastycznego rozszerzania pojemności komutatora, optymalnie dopasowującą liczbę jego we/wy do liczby ścieżek znajdujących się na pakiecie badanym,
- tworzenie odrębnej sieci pomiarowej dla bloków pomiarowych wykorzystywanych przy testowaniu diagnostycznym i funkcjonalnym (ze względu na różną specyfikę tych pomiarów),
- możliwie prosty algorytm procesu sterowania włączaniem i wyłączaniem poszczególnych grup lub pojedynczych kluczy, pozwalający na automatyczną generację sieci pomiarowej.

Dla zrealizowania ww. wymagań w prezentowanym systemie stworzono dwie niezależne struktury komutacyjne, organizujące sieci pomiarowe diagnostyczne i funkcjonalne. W testowaniu diagnostycznym, którego celem jest wykrycie i lokalizacja niesprawnych elementów, konieczny jest dostęp do wszystkich węzłów badanego pakietu. Ślad dwustopniowy (A i B) komutator diagnostyczny obsługujący głowicę ostrzową posiada w wersji podstawowej 500 a w wersji rozszerzonej 1000 kluczy. Posiada on strukturę modułową (po 50 kluczy), bazującą na standardzie podwójnej eurokarty. Komutator A wybierający ostrza kontaktowe, w wersji podstawowej łączy je w 10 grup, które poprzez komutator B są dołączane do zacisków we/wy bloków pomiarowych. W wersji rozszerzonej komutator A posiada dodatkowo 10 grup, które łączą się z drugim komutatorem B połączonym poprzez we/wy bloków pomiarowych z pierwszym. Komutator B posiada również strukturę modułową. Podstawowy moduł zawiera 2 szyny pomiarowe umożliwiające łączenie bloków pomiarowych do 10 grup. Taka modularność zapewnia możliwość łatwego rozszerzania komutatora B o nowe bloki pomiarowe.

Sterowanie kluczami komutatora diagnostycznego zostało przedstawione na rys. 2a i 2b. Przyjęta organizacja pozwala na włączanie dowolnego klucza drogą zaprogramowania litery A lub B i liczby 3-cyfrowej oznaczającej numer klucza w odpowiednim komutatorze. Z zapamiętanego w rejestrach numeru, w macrycy o współrzędnych  $x_i, y_j$ , (gdzie;  $y_j$  - jest współrzędną odpowiadającą wartości jednostki, a  $x_i$  - jest współrzędną odpowiadającą dziesiątce w określonej setce numeru klucza), koincydencyjnie sterowana jest pamięć danego klucza. Wyłączanie zaprogramowanych kluczy odbywa się wspólnie dla każdej grupy  $z_k$  komutatora A, lub w przypadku komutatora B grupy kluczy związanych z dołączonym blokiem pomiarowym.

Testy funkcjonalne realizowane są również poprzez ostrza kontaktowe głowicy, jednak ich ilość jest znacznie ograniczona. Są to wejścia i wyjścia testowanych układów. Dlatego zastosowany w systemie jednostopniowy komutator funkcjonalny posiada odmienną organizację sterowania kluczami (rys. 2a i 2c). Każdy klucz jest wybierany indywidualnie, natomiast odłączany może być grupowo, jak również indywidualnie. Taka organizacja wynika z konieczności utrzymania ciągłości sygnałów zasilających i pobudzających w trakcie testowania. Indywidualne rozłączanie jest realizowane przez podanie do komórki pamięci klucza informacji o tym, czy wybierany numer klucza ma zostać włączony ( $D=1$ ), lub odłączony ( $D=0$ ). Ta informacja jest przesyłana łącznie z liczbą, określającą numer sterowanego klucza.



Rys. 2a. Organizacja sterowania komutatorów pomiarowych

Rys. 2b. Element pamięci klucza komutatora diagnostycznego.  
2c. - funkcjonalnego

Fig. 2a. The control organization of measuring scanners

Fig. 2b. The memory cell of diagnostic scanner key,  
2c. - of functional scanner key

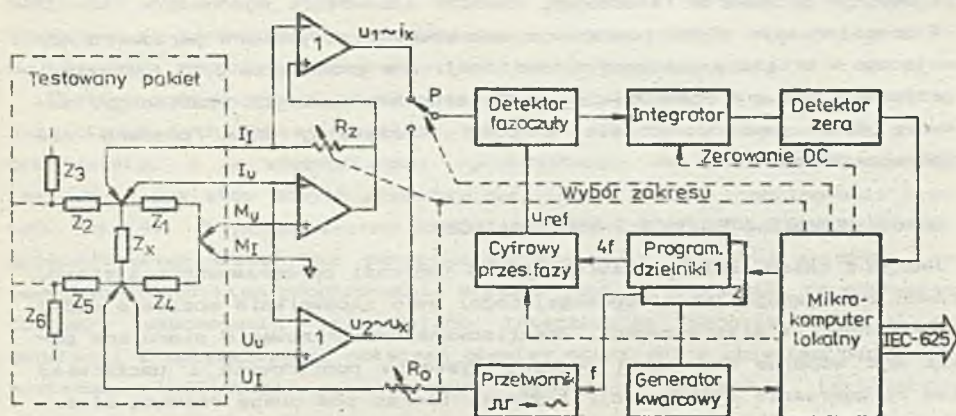
Elementami wykonawczymi w komutatorach są 2-rurkowe przełączniki kontaktowe typu K-93. Dołączanie się do węzłów układu testowanego za pomocą kluczy 2-strykowych umożliwia eliminację wpływu rezystancji doprowadzeń.

#### 4. ORGANIZACJA BŁOKÓW POMIAROWYCH

Specyfika pomiarów diagnostycznych i funkcjonalnych pakietów elektronicznych wymusza stosowanie w trakcie testowania różnych układów pomiarowych i źródeł sygnałów pobudzających, w zależności od typu elementów i układów znajdujących się na płycie badanej. Z tego względu system pomiarowy musi być wyposażony w szeroki zestaw bloków pomiarowych realizujących typowe pomiary (R, L, C, U, f, T itp.), ale także musi posiadać strukturę pozwalającą na rozbudowę o opcjonalne bloki pomiarowe. Z drugiej strony, podstawową trudnością pomiarów diagnostycznych jest boczniujący wpływ obwodów otaczających element mierzony.

Z powyższych względów w systemie przyjęto zasadę stosowania specjalizowanych, w pełni autonomicznych bloków pomiarowych sterowanych z magistrali IEC-625. Specjalizacja bloków jest ukierunkowana na zastosowanie

metod pomiarowych odpornych na bocznikowanie elementów mierzonych. W prezentowanym systemie przykładem tego typu układu jest blok pomiarowy pojemności i indukcyjności. Przedstawiony on został na rys.3. z przykładowym fragmentem sieci pomiarowej. Sześcioprzewodowe połączenie trójkąta impedancji ( $Z_x, Z_1, Z_4$ ) z zaciskami wejściowymi bloku eliminuje wpływ bocznikujący  $Z_1$  i  $Z_4$  na  $Z_x$ . Zastosowana na rys.3. metoda pomiarowa określa poszukiwaną wartość parametru  $Z_x$  (dla szeregowego układu zastępczego) lub  $Y_x$  (dla układu równoległego) wykorzystując do tego celu cztery składowe wektorów prądu i napięcia wydzielonych z sygnałów proporcjonalnych do prądu ( $i_x \rightarrow u_1$ ) i napięcia ( $u_x \rightarrow u_2$ ) na elemencie mierzonym [4].



Rys.3. Schemat blokowy miernika LC

Fig.3. Block diagram of the LC meter

Element mierzony jest zasilany sygnałem sinusoidalnym kształtowanym z przebiegu prostokątnego, uzyskanego z generatora kwarcowego w wyniku podziału częstotliwości w programowanym dzielniku 2. Wydzielenie w detektorze fazoczułym żądanej składowej ( $Re u_1, Im u_1, Re u_2, Im u_2$ ) z sygnałów  $u_1$  i  $u_2$  jest uzależnione od położenia przełącznika P i przesunięcia fazowego sygnału odniesienia  $u_{ref}$ . Sygnał  $u_{ref}$  jest tworzony w cyfrowym przesuwniku fazy z przebiegu uzyskiwanego również z generatora kwarcowego drogą podziału w dzielniku częstotliwości 1. Wydzielone składowe za pomocą integratora i detektora zera są przetwarzane na odcinki czasu wg. zasady stosowanej w woltomierzach z podwójnym całkowaniem. Zmierzone metodą cyfrową odcinki czasu ( $T_1 - T_4$ ) wykorzystywane są przy obliczaniu poszukiwanych parametrów, zgodnie z następującymi zależnościami:

$$L = \frac{R_z}{\omega} \frac{T_1 T_4 + T_2 T_3}{(T_1)^2 + (T_2)^2}, \quad C = \frac{1}{\omega R_z} \frac{T_1 T_4 + T_2 T_3}{(T_1)^2 + (T_2)^2}$$

Obliczenia przeprowadzane są w mikrokomputerze bloku pomiarowego zrealizowanym na Z80 z zegarem 4MHz. Mikrokomputer ten realizuje sterowanie procesem pomiarowym oraz zapewnia komunikację z otoczeniem poprzez interfejs IEC-625.

Programowane są następujące parametry bloku:

- rodzaj mierzonego parametru (L, C)
- zakres pomiarowy (C: 10pF .. 10mF, L: 10μH .. 10H),
- częstotliwość pomiarowa (100Hz, 1kHz, 10kHz),
- poziom sygnału pomiarowego ( $0.2V_{sk}$ ,  $1V_{sk}$ ),
- polaryzacja DC.

Sterowanie procesem pomiarowym polega na realizacji trzech cykli ładowania i rozładowania integratora (3-krotne przetwarzanie z podwójnym całkowaniem) poprzedzonych odcinkami czasu przeznaczonymi na zerowanie DC integratora a także na sterowaniu przełącznika P oraz cyfrowego przełącznika fazy, w sposób zapewniający wydzielenie odpowiednich składowych w detektorze fazoczułym.

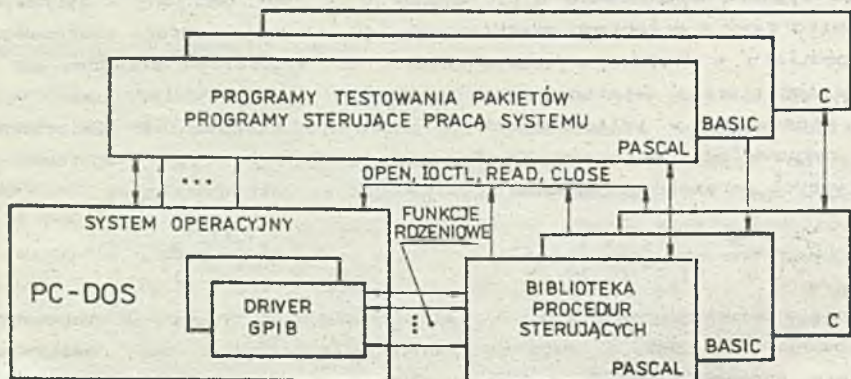
W zrealizowanym bloku pomiarowym zakresowy błąd pomiaru parametru dominującego w układzie zastępczym immittancji nie przekracza 0.5%. Natomiast w przypadku pomiaru elementów o współmiernych składowych immittancji, zakresowy błąd pomiaru wzrasta o 0.2%. Maksymalny czas pomiaru nie przekracza 350ms.

#### 5. OPROGRAMOWANIE STERUJĄCE I WSPOMAGAJĄCE

Jednym z celów jakie postawiono przed twórcami oprogramowania systemu, zarówno sterującego jak i wspomagającego, było zapewnienie możliwie dużej uniwersalności i elastyczności. Zrealizowane oprogramowanie sterujące powinno być wspólne dla całej rodziny systemów pomiarowych i umożliwiać łatwe rozszerzenie konfiguracji systemu, biorąc pod uwagę rosnącą złożoność obiektów testowanych, przewidziano wyposażenie systemu w zespół programów wspomagających proces generacji, testowania i uruchamiania oprogramowania pomiarowego. Docelowo przewidywana jest możliwość automatycznej generacji programów na podstawie danych przechwytywanych z systemów oprogramowania typu CAD używanych do projektowania pakietów badanych.

Strukturę podstawowego oprogramowania sterującego pracą systemu przedstawiono na rys.4. Zostało ono zrealizowane jako:

- moduł instalowalnych w ciele systemu operacyjnego programów



Rys. 4. Organizacja oprogramowania sterującego.

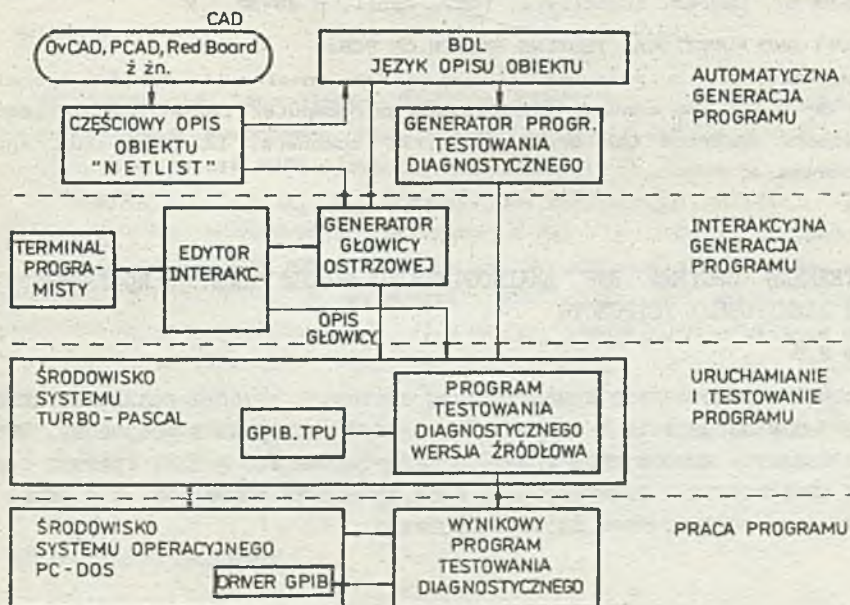
Fig. 4. Control software organization

sterujących pracą magistrali pomiarowej (driver GPIB),

- moduł odpowiednich dla danego języka programowania bibliotek procedur sterujących.

Podprogramy sterujące pracą magistrali rozszerzają możliwości operacji we/wy systemu operacyjnego PC-DOS. System pomiarowy organizowany jest jako zespół maksymalnie 16 niezależnych urządzeń logicznych. Możliwa jest praca wielokontrolerowa magistrali oraz realizacja pomiarów współbieżnych. Dostęp do tych operacji z poziomu stosowanego języka programowania zapewniają za pomocą odpowiedniego protokołu komunikacyjnego proste w konstrukcji biblioteki procedur sterujących. Osiągnięto w ten sposób możliwość wymiennego stosowania różnych języków i narzędzi programowych używanych do konstruowania oprogramowania narzędziowego, sterującego oraz do tworzenia właściwych programów testujących badane pakiety.

Elastyczność konstrukcji oprogramowania podstawowego pozwala również na rozwinięcie tych funkcji systemu, których celem jest wspomaganie pracy programisty, a w szczególności wykorzystanie do generacji programów testowania pakietów danych przechwytywanych ze stacji programowania typu CAD. Na rys. 5 przedstawiono koncepcję rozwoju oprogramowania wspomagającego programistę. Bez zmniejszania ogólności projektu założono, że podstawowym językiem programowania systemu jest Turbo-Pascal. Na pierwszym poziomie wspomagania przewidziano interakcyjny program służący do generacji i optymalizacji połączeń głowicy ostrzowej z obiektem badanym i systemem. Możliwości automatycznej generacji programów testujących



Rys.5. Generacja oprogramowania testującego.

Fig.5. Testing programm generation.

powstają w chwili sprzężenia systemów testowania z systemami projektowania. Projektowane pakiety opisywane są w systemach CAD za pomocą plików o formacie typu "netlist". Pliki te, w zależności od stopnia integracji systemu CAD z systemami CIM, z różną precyzją opisują strukturę elektryczną i topologię pakietu. W ogólnym przypadku dane te nie są wystarczające do konstrukcji programu testującego i muszą być rozszerzone do postaci typu BDI (Board description language) w pełni wystarczającej do wygenerowania kompletnego programu.

## 5. ZAKOŃCZENIE

Przedstawiony system diagnostyczno-funkcyjny jest realizowany w ramach CPBR 8.3.7. Pełne zakończenie prac i wdrożenie do produkcji seryjnej jest przewidziane w 1990 r.

## LITERATURA

- [1] Hoja J., Szczypta A., Tłaga W., Zielenko R.: Zastosowanie MERY 305 do diagnostyki oraz kontroli pakietów analogowych i cyfrowych. Informatyka, 1979, nr1, s.16-19.
- [2] Zielenko R., Szczypta A., Tłaga W., Toczek W.: System pomiarowo-diagnostyczny elektronicznych zespołów funkcjonalnych sterowany mikrokomputerem MERA-400. Materiały VIII Krajowej Konferencji Automatyki, Szczecin, 1980, s.815-820.
- [3] Hoja J., Tłaga W., Zielenko R.: In-circuit board testing system with concurrent measurements. 2nd IMEKO-TC4 Symposium, Warsaw, Poland, 1987, May 26-28, p.101-108.
- [4] Hoja J.: Measurement method of the RLC elements by processing the four components of the current and voltage vectors. 32 th Annual Conference JUREMA 87, Zagreb, Yugoslavia, 1987, April, p.29-32.

## IN-CIRCUIT AND FUNCTIONAL TESTING SYSTEM OF PCBs.

The paper presents a measurement system for in-circuit and functional testing of PCBs. The control block bases on computer IBM-PC and IEC-625 bus. Authors describe the organization of scanners, LC-meter unit and system software.

## ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ДИАГНОСТИЧЕСКО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ МОДУЛЕЙ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

### Резюме

В статье представлена измерительная система, которая реализует диагностическо-функциональное тестирование модулей электронных устройств. Система управляется компьютером IBM-PC с интерфейсом IEC - 625. Указана организация измерительных коммутаторов, блок измерения элементов С а также управляющее и вспомогательное опrogramмирование.