



## Wykorzystanie wirtualnych przyrządów pomiarowych do diagnozowania układów czwórnikowych

ZDZISŁAW CHUDY, JAKUB Z. KAŻMIERCZAK<sup>1</sup>

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Instytut Radioelektroniki,  
<sup>1</sup>Instytut Systemów Elektronicznych, 00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

**Streszczenie.** Już od pewnego czasu zaznacza się wyraźna tendencja do tworzenia przyrządów pomiarowych wykorzystywanych w diagnostyce układów elektronicznych o jak największej uniwersalności i elastyczności. Tendencja ta znalazła swoje odzwierciedlenie w konstruowaniu na coraz większą skalę tzw. wirtualnych przyrządów pomiarowych. Celem artykułu jest próba klasyfikacji tego typu przyrządów wśród przyrządów pomiarowych, przedstawienie kryteriów oceny parametrów tych przyrządów oraz prezentacja wykorzystania wirtualnych przyrządów pomiarowych w zintegrowanym systemie diagnostycznym układów czwórnikowych, w szczególności wzmacniaczy i amplifiltrów.

**Słowa kluczowe:** wirtualne przyrządy pomiarowe, diagnostyka układów elektronicznych, system diagnostyczny

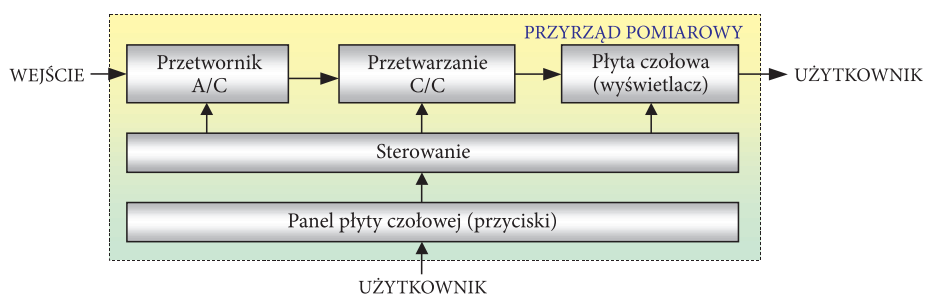
### 1. Klasyfikacja przyrządów pomiarowych

Ewolucja przyrządów pomiarowych następowała wraz z rozwojem nauki i techniki. Zmianie ulegały zarówno sposoby przetwarzania sygnału, metody konstruowania przyrządów, jak i sposoby korzystania z urządzeń pomiarowych oraz stopień ich wzajemnej integracji.

Pierwszą generacją przyrządów pomiarowych były tradycyjne przyrządy analogowe, ręcznie sterowane z płyty czołowej. Odczyt wyniku przez użytkownika polegał na porównaniu stopnia wychylenia się wskaźnika z odpowiednią skalą.

Wprowadzenie bloku dyskretyzacji sygnału (przetworników analogowo-cyfrowych) doprowadziło do powstania przyrządów drugiej generacji — przyrządów cyfrowych. Tym samym został wyeliminowany subiektywizm odczytu wyniku,

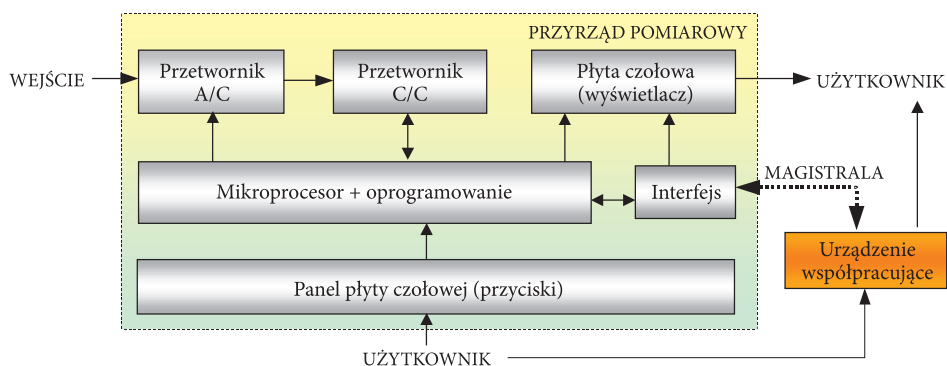
lecz nadal pozostał ręczny sposób sterowania przyrządem. Przyrząd taki stanowi zamkniętą całość z określonymi możliwościami wprowadzania i wyprowadzania danych, z ustalonym sposobem komunikacji z użytkownikiem poprzez pokrętła, przyciski, wyświetlacze. Głównymi elementami składowymi takich przyrządów są specjalizowane obwody (np. obwody kondycjonowania sygnału, konwertery A/C czy wewnętrzne magistrale danych), które przekształcają rzeczywiste sygnały, analizują je i umożliwiają prezentację wyników użytkownikowi. Producent sprzętu definiuje wszystkie funkcje przyrządu, a użytkownik nie może ich zmienić. Strukturę takiego przyrządu cyfrowego przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Struktura przyrządu cyfrowego

Dla przyrządów tej generacji charakterystyczne jest nadal wyłącznie ręczne sterowanie oraz brak możliwości współpracy z innymi przyrządami (czasem wyposażone są tylko w interfejs drukarki).

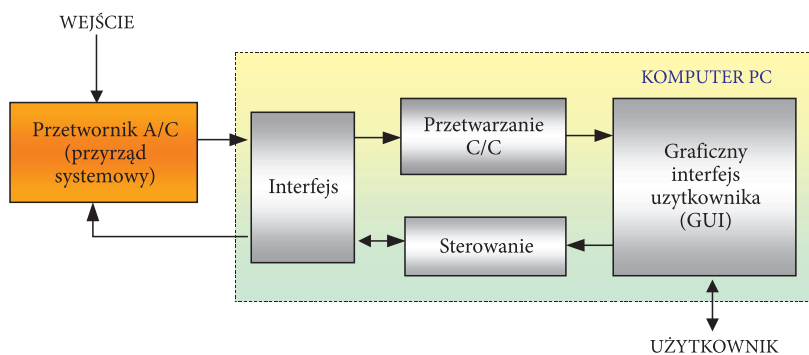
Jako przyrządy trzeciej generacji można traktować przyrządy „systemowe”, które oprócz pracy w trybie autonomicznym jako samodzielne urządzenia pomiarowe mogły być zdalnie sterowane dzięki wyposażeniu ich w kanały cyfrowej komunikacji zewnętrznej (tzw. interfejsy cyfrowe). Uproszczoną strukturę takiego klasycznego przyrządu systemowego przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Struktura klasycznego przyrządu systemowego

Dzięki zastosowaniu w budowie układów mikroprocesorowych oraz specjalistycznego, wewnętrznego oprogramowania znacznie poszerzono ich funkcjonalność, szczególnie poprzez wprowadzenie zaawansowanych algorytmów cyfrowej obróbki danych.

Ostatnią, czwartą generacją są przyrządy wirtualne. Stanowią one kombinację odpowiednio oprogramowanego komputera z przyrządami systemowymi lub urządzeniami pomiarowymi najnowszej generacji (np. karty typu „plug-in” czy moduły panelowe). Przyrząd taki może być sterowany zarówno ręcznie jak i automatycznie, ale wyłącznie za pośrednictwem komputera. Do pierwszych konstrukcji tego typu można zaliczyć system przyrządów współpracujących z komputerem poprzez magistralę IEEE 488.1 firmy Hewlett Packard z 1987 r. (rys. 3).

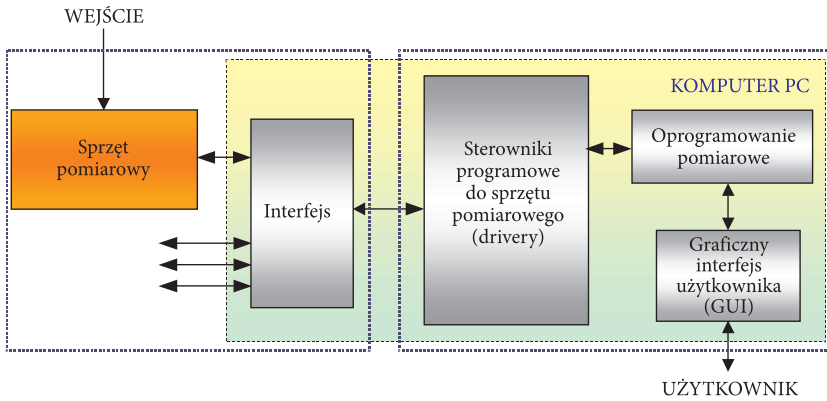


Rys. 3. Struktura wirtualnego przyrządu pomiarowego

Jednak w ostatnim czasie rozwój modułów pomiarowych, układów mikroprocesorowych oraz rozbudowa i zwiększenie zakresu funkcjonalności interfejsów doprowadziły do pewnej modyfikacji struktury wirtualnych przyrządów pomiarowych. Można w nich było wyróżnić zasadniczo dwie części: sprzęt oraz oprogramowanie stanowiące jedną funkcjonalną całość (rys. 4).

W części sprzętowej można wyróżnić układy komputera i sprzęt pomiarowy połączone ze sobą magistralą interfejsu. W części programowej znajduje się oprogramowanie firmowe, na które składa się system operacyjny komputera i specjalizowane sterowniki modułów pomiarowych, oraz oprogramowanie użytkownika, czyli aplikacja pomiarowa, na którą składa się graficzny interfejs operatora przyrządu oraz oprogramowanie realizujące zasadnicze procedury pomiarowe.

Konfiguracje zarówno części sprzętowej jak i oprogramowania określa samodzielnie użytkownik odpowiednio do potrzeb realizowanego zadania. Bogata oferta dostępnego sprzętu komputerowego, specjalistycznego oprogramowania pomiarowego oraz modułów pomiarowych wraz ze sterownikami skutkuje bardzo dużą różnorodnością możliwych praktycznych rozwiązań, zapewniając jednocześnie elastyczność i łatwą rekonfigurowalność zbudowanego układu.



Rys. 4. Struktura nowego wirtualnego przyrządu pomiarowego

## 2. Wirtualne przyrządy pomiarowe

Istnieje bardzo wiele definicji przyrządu wirtualnego [1]. Jedną z najczęściej przytaczanych jest określenie przyrządu wirtualnego jako inteligentnego przyrządu pomiarowego stanowiącego połączenie pewnego sprzętu nowej generacji z mikrokomputerem osobistym ogólnego przeznaczenia i przyjaznym dla użytkownika oprogramowaniem. Ta niejednoznaczność i brak precyzji, a często również pewna niekonsekwencja w wykorzystaniu terminologii, doprowadziły do tego, że różne konfiguracje architektury przyrządów pomiarowych są nazywane przyrządami wirtualnymi. Można w tej dziedzinie wyróżnić trzy grupy (niekiedy nazywane kategoriami) [2].

Pierwszą grupę stanowią fizycznie istniejące autonomiczne przyrządy posiadające interfejs przyrządowy (IEC-626, RS232 lub inne pochodne) sterowane za pomocą komputera (wyposażonego w kartę danego interfejsu). Dzięki graficznemu



Rys. 5. Sterowanie analizatorem widma z poziomu komputera PC

interfejsowi (GUI) na ekranie monitora możliwe jest zarówno zarządzanie poszczególnymi przyrządami, jak i tworzenie prostych systemów pomiarowych (poprzez odpowiednie oprogramowanie) (rys. 5).

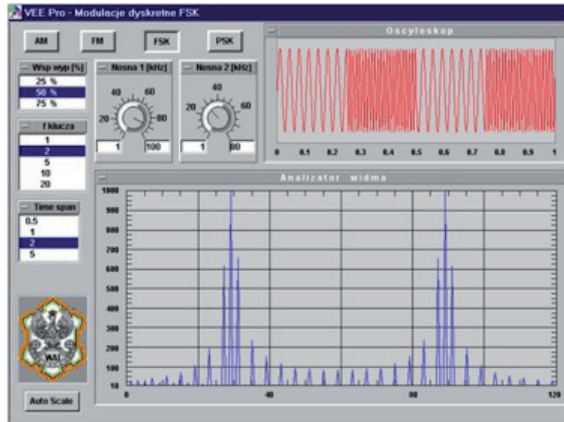
Drugą grupę przyrządów wirtualnych stanowią komputery PC wyposażone w kartę akwizycji danych (DAQ) lub moduł pomiarowy (typu VXI lub PXI), bezpośrednio współpracujące z magistralą mikrokomputera. W tej grupie nie ma już autonomicznego przyrządu pomiarowego. Są tylko jego poszczególne elementy, zaś płytę czołową symuluje panel graficzny na ekranie monitora (rys. 6). Taki przyrząd sterowany jest już całkowicie za pomocą komputera.



Rys. 6. Przyrząd wirtualny bazujący na kartach DAQ, VXI i PXI

Trzecią grupę przyrządów wirtualnych stanowią same w sobie graficzne środowiska programowe. Nie można tu wyróżnić nie tylko przyrządu pomiarowego, ale nawet żadnego jego elementu. Przyrząd od początku do końca został stworzony z wykorzystaniem programu. Dane do takiego przyrządu mogą pochodzić z plików innych komputerów czy sprzętu pomiarowego lub mogą być generowane przez sam program. Przykład takiego przyrządu wirtualnego umożliwiającego obserwację wpływu poszczególnych parametrów sygnałów modulujących na widmo sygnału zmodulowanego przedstawiono na rysunku 7.

Do trzeciej grupy przyrządów wirtualnych coraz częściej zaliczane są popularne ostatnio różnego rodzaju symulatory rzeczywistych przyrządów pomiarowych. Nie są one oczywiście w stanie dokonywać pomiarów, ale w przypadku specjalistycznej aparatury (zarazem bardzo drogiej) jest to nieraz jedyna okazja, aby móc zapoznać się z obsługą takiego przyrządu. Niekiedy są w stanie „pracować” wykorzystując dane pomiarowe z rzeczywistych przyrządów, lecz z reguły ich wykorzystanie ogranicza się do celów edukacyjnych. Na rysunku 8 przedstawiono „osobisty analizator widma” R3131 firmy Rohde & Schwarz opracowany przez Advantest Corporation [3].



Rys. 7. Wirtualny analizator sygnałów zmodulowanych



Rys. 8. Symulator R3131 — osobisty analizator widma

### 3. Kryteria oceny parametrów wirtualnych przyrządów pomiarowych

Wirtualne przyrządy pomiarowe mogą być oceniane według kryteriów metrologicznych lub kryteriów informatycznych [4]. Głównym kryterium oceny metrologicznej przyrządów wirtualnych spełniających wymagania funkcjonalne jest niepewność wyników pomiarów. Kryteria informatyczne oceny parametrów przyrządów wirtualnych są to typowe kryteria stosowane przy ocenie projektów informatycznych z uwzględnieniem ich specyfiki. Kryterium o charakterze mieszanym (metrologiczno-informatycznym) to szybkość działania przyrządów, szczególnie szybkość działania ich części programowej przy danej części sprzętowej.

Niepewność wyników pomiarów wykonywanych wirtualnymi przyrządami pomiarowymi zależy od niepewności przetwarzania analogowo-analogowego, analogowo-cyfrowego oraz od niepewności przetwarzania cyfrowo-cyfrowego realizowanego w komputerze. Niepewności te charakteryzują się najczęściej takimi parametrami jak rozdzielczość przetwarzania, przesunięcie zera charakterystyk

przetwarzania, niestałość wzmocnienia, nieliniowość różniczkowa i całkowita charakterystyk przetwarzania oraz dryft temperaturowy sygnałów odniesienia i czas ustalania sygnału mierzonego.

Niepewność torów przetwarzania danych realizowanych w komputerze zależy przede wszystkim od klasy zastosowanych algorytmów przetwarzania danych, sposobu ich programowej implementacji (z uwzględnieniem precyzji procesora cyfrowego) oraz niepewności danych pomiarowych podlegających przetwarzaniu.

Główne kryteria informatyczne oceny parametrów przyrządów wirtualnych to: odporność, niezawodność, testowalność, rozszerzalność, otwartość i efektywność [5].

Odporność programu oznacza jego zdolność do akceptowalnego zachowania w warunkach nienormalnych, nieujętych w specyfikacji wymagań. Niezawodność to konieczność stałej poprawnej pracy, aby przyrząd wirtualny w sytuacji awaryjnej mógł przejść w stan bezpieczny dla badanego obiektu. Testowalność oznacza łatwość sprawdzenia poprawności programu. Mieści się w tym zarówno łatwość przygotowania testów używanych w fazie testowania i oceny, jak i czytelność programu sprzyjająca wykrywaniu błędów podczas uruchamiania programu. Rozszerzalność określa łatwość adaptowania programu do zmieniających się wymagań użytkownika. Jest to dość istotne kryterium, bowiem właśnie ona jest jedną z podstawowych cech tych przyrządów. Łatwość modyfikacji oprogramowania umożliwia dodawanie nowych funkcji przetwarzania, modyfikację istniejących funkcji, modyfikację graficznego interfejsu użytkownika. Kryterium to jest wyjątkowo łatwe do spełnienia w projektowaniu wirtualnych przyrządów pomiarowych przy użyciu zintegrowanych środowisk programowych (np. LabVIEW, LabWindows/CVI, Agilent VEE). Otwartość określa łatwość współpracy opracowanego programu z innym oprogramowaniem. Warunkiem osiągnięcia dużej otwartości jest jak najszersze stosowanie uznanych standardów w całym procesie projektowym. W przypadku wirtualnych przyrządów dotyczy to standardowych narzędzi projektowania (np. LabVIEW), standardowych protokołów komunikacyjnych (np. IEC-625 czy RS-232, a dla rozproszonych systemów diagnostycznych wykorzystujących przyrządy wirtualne również TCP/IP) oraz standardowych organizacji plików i baz danych. Efektywność określa skuteczność i oszczędność wykorzystania zasobów sprzętowych, takich jak procesor, pamięć i urządzenia peryferyjne komputera.

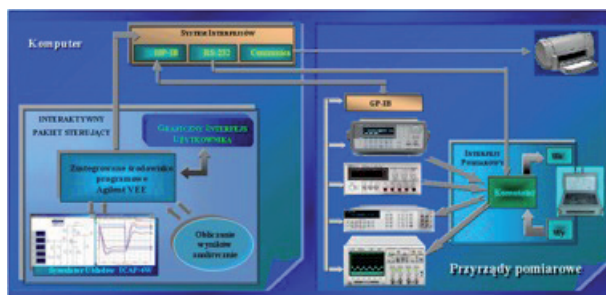
Specyficzną cechą wirtualnych przyrządów pomiarowych jest zależność szybkości ich działania nie tylko od sprzętowej części pomiarowej, ale również od komputera, na którym przyrząd jest zaimplementowany. O ile szybkość działania tradycyjnych, autonomicznych przyrządów pomiarowych jest ściśle określona przez sztywną konstrukcję przyrządu, o tyle szybkość działania przyrządów wirtualnych jest zależna także od charakterystyk komputera, na którym wirtualny przyrząd w danej chwili jest zainstalowany. Parametry komputera oraz oprogramowania systemowego i użytkowego w istotny sposób wpływają na szybkość działania całego wirtualnego przyrządu pomiarowego.

Czas działania każdego takiego przyrządu wirtualnego składa się z czasów wykonania trzech podstawowych etapów działania przyrządu: akwizycji danych pomiarowych, przetwarzania danych pomiarowych oraz prezentacji wyników pomiarów.

Czas akwizycji to suma czasów przetwarzania analogowo-analogowego realizowanego przez czujnik pomiarowy oraz czasu przetwarzania analogowo-cyfrowego realizowanego przez przetwornik analogowo-cyfrowy. Dla rozproszonych przyrządów wirtualnych czas akwizycji jest w głównej mierze zdeterminowany przez czas transmisji danych (zależny m.in. od zajętości i szybkości kanału komunikacyjnego — np. sieci komputerowej). Całkowity czas przetwarzania danych zależy od sposobu realizacji części programowej wirtualnego przyrządu oraz od czynników sprzętowych komputera, na którym zainstalowano dany przyrząd wirtualny. Czas wizualizacji wyników pomiaru zależy głównie od użytej karty graficznej i od złożoności sposobu wyświetlania wyników pomiaru.

#### 4. Zintegrowany system diagnostyczny układów czwórnikowych

W zespole Układów Elektronicznych Wydziału Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej już od kilku lat do diagnozowania układów czwórnikowych (w szczególności wzmacniaczy, amplifiltrów i filtrów) wykorzystuje się zintegrowany system pomiarowo-diagnostyczny [6]. Stanowisko diagnostyczne to sterowana jednostka wymuszająco-pomiarowa składająca się z jednostki sterującej (bazującej na zintegrowanym środowisku programowym Agilent Vee) sprzęgniętej poprzez system interfejsów z grupą wysokiej klasy autonomicznych przyrządów pomiarowych (rys. 9).



Rys. 9. Schemat stanowiska diagnostycznego

Wykorzystanie w prezentowanym systemie diagnostycznym środowiska programowego umożliwia nie tylko prawidłowe sterowanie przyrządami i przesyłanie danych pomiędzy nimi, ale także pozwala na akwizycję, archiwizację i przetwarzanie tych danych. Zapewnia również możliwość zobrazowania przebiegu procesów



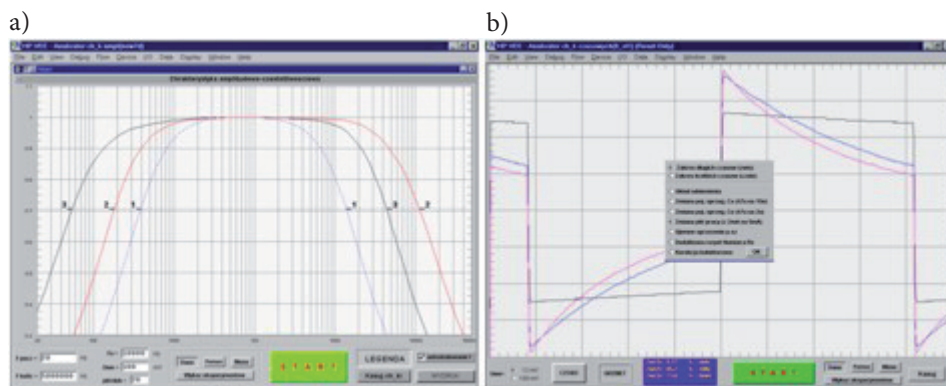
diagnostycznych, stanu wszystkich elementów systemu, a także odpowiednią wizualizację danych pomiarowych oraz wyników ich przetwarzania.

## 5. Wirtualne przyrządy pomiarowe w systemie diagnostycznym wzmacniaczy

Prezentowany system diagnostyczny, dzięki wykorzystaniu graficznego środowiska programowego w oparciu o grupę autonomicznych przyrządów pomiarowych, został wzbogacony o cały szereg wirtualnych przyrządów. Takie wzbogacenie systemu umożliwiło znaczne zwiększenie zakresu diagnozowania układów oraz usprawniło metodykę diagnostyczną przy zachowaniu minimalnych dodatkowych kosztów.

Dla potrzeb diagnozowania parametrów roboczych wzmacniaczy stworzono wirtualny analizator charakterystyk (rys. 10a). Umożliwia on pomiar charakterystyk amplitudowo-częstotliwościowych i amplitudowo-fazowych oraz wyznaczenie podstawowych parametrów roboczych (m.in. częstotliwości granicznych, wzmocnień itp.).

Do diagnozowania parametrów czasowych badanych układów bardzo przydatny jest wirtualny analizator charakterystyk czasowych (rys. 10b).

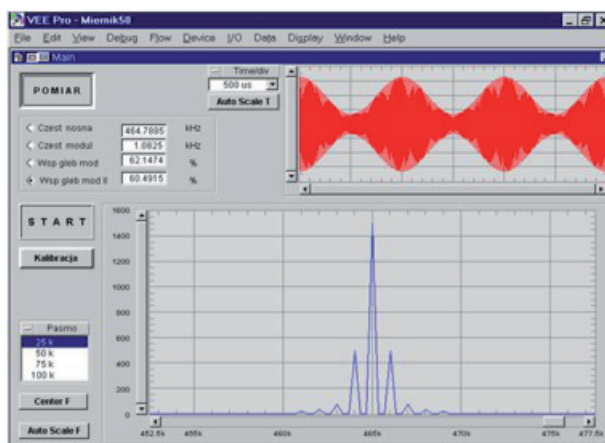


Rys. 10. Okno analizatora charakterystyk częstotliwościowych i czasowych

Analizator ten umożliwia nie tylko obserwację charakterystyk czasowych będących odpowiedzią na wymuszenie impulsem prostokątnym, ale także pomiar głównych parametrów czasowych (np. wartości zwiisu i czasu narastania odpowiedzi czasowej na wymuszenie przebiegami o różnych kształtach).

Dodatkowo dzięki wykorzystaniu wirtualnych przyrządów system diagnostyczny umożliwia przeprowadzenie pomiarów rezystancji wejściowych i wyjściowych diagnozowanych układów, szeregu wzmocnień oraz określenie stopnia wprowadzanych zniekształceń nieliniowych (TDH) przez badane układy, a wszystko to w funkcji wcześniej określonych parametrów.

Do diagnozowania układów wymuszanych sygnałem złożonym (zmodulowanym) wykorzystuje się z kolei wirtualny analizator sygnałów zmodulowanych (rys. 11).



Rys. 11. Okno analizatora charakterystyk sygnałów złożonych

Umożliwia on ocenę zdolności pracy badanych układów z sygnałami zmodulowanymi oraz obserwację i pomiar podstawowych parametrów takich sygnałów.

## 6. Podsumowanie

Pojawienie się wirtualnych przyrządów pomiarowych doprowadziło do znaczących modyfikacji metod przeprowadzania procesów diagnostycznych. Dzięki nowoczesnemu sprzętowi informatycznemu możliwe jest tworzenie stanowisk i systemów diagnostycznych charakteryzujących się niskim kosztem przy zachowaniu odpowiedniej szybkości działania oraz dokładności diagnozowania. Obecnie specjalistyczne, złożone systemy diagnostyczne są bardzo drogie, a więc trudno dostępne dla części laboratoriów. Wykorzystanie wirtualnych przyrządów pomiarowych w prostszych, a zarazem tańszych systemach, znacznie zmienia tę sytuację. Możliwe jest stworzenie systemu diagnostycznego o zmiennej konfiguracji architektury w pełni zależnej od projektanta (użytkownika). Ta uniwersalność wirtualnych przyrządów pomiarowych obok wyżej wymienionych cech decyduje o bardzo dużej ich przydatności nie tylko w diagnostyce, ale również we współczesnej elektronice.

*Artykuł wpłynął do redakcji 14.12.2009 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w grudniu 2010 r.*

## LITERATURA

- [1] R. RAK, *Wirtualny przyrząd pomiarowy – realne narzędzie współczesnej metrologii*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2003.
- [2] W. WINIECKI, *Wirtualne przyrządy pomiarowe*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2003.
- [3] Instrukcja: *The personal spectrum analyzer simulator R3131*, Germany, Rohde & Schwarz Engineering and Sales GmbH, 2006.
- [4] W. WINIECKI, *Ocena parametrów wirtualnych przyrządów pomiarowych*, *Pomiary Automatyka Robotyka*, 7-8, 2004, 51-55.
- [5] M. FLORCZYK, *Przegląd wybranych metod testowania aplikacji informatycznych pod kątem ich zastosowania do testowania wirtualnych przyrządów pomiarowych*, *Pomiary Automatyka Kontrola*, 7/8, 2002, 25-28.
- [6] J. KAŻMIERCZAK, *Zintegrowane stanowisko laboratoryjne do badania parametrów wzmacniaczy*, XXXVI Międzynarodowa Konferencja Metrologów MKM'04, Ustroń 2004, 285-290.

Z. CHUDY, J. Z. KAŻMIERCZAK

**Applications of virtual measurement devices for diagnostics  
of four-terminal network circuits**

**Abstract.** For some time now, a clear tendency for designing versatile measuring devices for diagnostics of electronic circuits can be observed. This tendency results in creation of so-called virtual measuring devices. The aim of this paper is an attempt to find a place of this type of devices in general classification of measuring instruments, presentation of criteria of assessment of their parameters and presentation of applications of virtual measuring devices in an integrated system for diagnostics of amplifiers and amplifiers.

**Keywords:** virtual instruments, diagnostic device electronic, diagnostic system

