

Piotr MAJ

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA, KATEDRA METROLOGII

Zastosowanie urządzeń wirtualnych do testowania i aplikacji z wykorzystaniem specjalizowanych układów scalonych

Mgr inż. Piotr MAJ

Absolwent Wydziału Elektroniki, Automatyki, Informatyki i Elektrotechniki Akademii Górniczo – Hutniczej. Studia na kierunku Inżynieria Komputerowa w Przemśle ukończył w roku 2005 i od tego czasu jest doktorantem wydziału EAIiE AGH. Tematyka rozprawy doktorskiej z elektroniki jest ściśle związana z projektowaniem i testowaniem specjalizowanych układów scalonych.



e-mail: piotr.maj@agh.edu.pl

Streszczenie

W ostatnich latach dzięki postępowi w technologii produkcji układów VLSI stało się możliwe projektowanie i stosunkowo tanie prototypowanie specjalizowanych układów scalonych służących do odczytu różnego typu czujników pomiarowych. Znaczną część czasu w procesie uruchamiania finalnej aplikacji opartej o układy ASIC stanowi ich testowanie oraz budowanie kompletnego systemu pomiarowego. Dzisiaj używa się do tego celu komputera PC wraz z różnego typu kartami akwizycji sygnałów, czyli tak zwanych urządzeń wirtualnych. Pozwalają one przenieść mierzone sygnały na ekran komputera, który przyjmuje funkcjonalność np. multimetru, oscyloskopu lub generatora. Zakładając taką modułową budowę różnych urządzeń kontrolno-pomiarowych wkładanych do komputera w postaci kart, można połączyć ich działanie w jednym systemie używając dedykowanego oprogramowania. Stąd czas potrzebny na testy i uruchamianie układów ASIC można znacząco skrócić, skracając czas tworzenia aplikacji kontrolno-pomiarowej. Okazuje się, że tego typu komputerowe systemy pomiarowe są co najmniej tak dokładne, a w pewnych zakresach częstotliwości sygnałów mierzonych nawet dokładniejsze od urządzeń tradycyjnych, a ich funkcjonalność w dużej mierze zależy od inwencji użytkownika. Dzięki wykorzystaniu środowiska LabVIEW możliwe jest bardzo szybkie tworzenie zarówno małych jak i rozbudowanych aplikacji testowych. Niniejszy artykuł pokazuje zarówno zalety jak i ograniczenia urządzeń wirtualnych oraz przykład aplikacji do testowania specjalizowanych układów scalonych.

Słowa kluczowe: urządzenia wirtualne, LabVIEW, testowanie układów scalonych

The use of virtual instruments for testing and application with application specific integrated circuits

Abstract

Nowadays, as a result of progress in technology and production of VLSI integrated circuits it is possible to design and low-cost prototyping application specific integrated circuits, which are used for reading many different measuring sensors. In a process of implementation of a final application based on ASICs, most of the time is consumed by testing and creating the measuring systems. Today for this purposes PC computers with many different data acquisition cards are used. They are called the Virtual Instruments and are able to present the measured signals on the computer screen. The graphical user interface can be shown as it is a multimeter, an oscilloscope or a generator. Assuming this modular-based architecture of measuring systems placed in PC computers it is possible to connect them in one system using dedicated software. Now, the time required for testing and implementation of an ASIC can significantly be reduced by limiting the time required for creating the measuring software. It turns out that computer based measuring systems are just as accurate as traditional devices and it's functionality depends strongly on users invention. By using graphical LabVIEW environment it is possible to create both small and large computer based measuring applications in a

very short time. This article presents advantages and disadvantages of virtual devices. There will be also shown an example of an application for testing application specific integrated circuits.

Keywords: Virtual Instruments, LabVIEW, testing of ASIC

1. Wstęp

Projektowanie specjalizowanych układów scalonych (ang. Application Specific Integrated Circuits - ASIC) jest jedną z najszybciej rozwijających się dziedzin mikroelektroniki. Jest to spowodowane dynamicznym rozwojem technologii produkcji układów bardzo wysokiej skali integracji (Very Large Scale Integration VLSI), oraz zapotrzebowaniem na takie układy w niemal każdej dziedzinie wiedzy, m.in. naukach technicznych, fizyce, biologii. Jeszcze 20 lat temu technologia pozwalała na wytwarzanie w podłożu krzemowym tranzystorów o długości kanału 1µm, obecnie sprzedawane procesory INTEL wykonane są już w technologii 65nm, a zapowiada się wprowadzenie technologii 45nm. Tak szybki rozwój technologii i zmniejszenie wymiarów tranzystora powiększyło wachlarz możliwości projektowanych układów scalonych, które w zależności od wykorzystania, wyposażane są w coraz więcej różnorodnych funkcji a wiele z nich można nawet zakwalifikować jako SOC (ang. System On Chip). W większości przypadków układy ASIC stosowane do odczytu różnego typu mikroczytników mają charakter mieszany analogowo-cyfrowy, a informacja przekazywana do systemów nadrzędnych ma postać cyfrową. Skomplikacja układów scalonych i ich złożona budowa niesie za sobą pewne konsekwencje: z jednej strony rośnie ich funkcjonalność i możliwości aplikacyjne, z drugiej strony więcej wysiłku należy włożyć w projekt i testy poprawności działania takiego układu, które często znacznie przekraczają czas przeznaczony na ich projektowanie. Z tego powodu zasadne jest poszukiwanie takich metod testowania układów scalonych, które wydadnie skrócą czas na nie poświęcony.

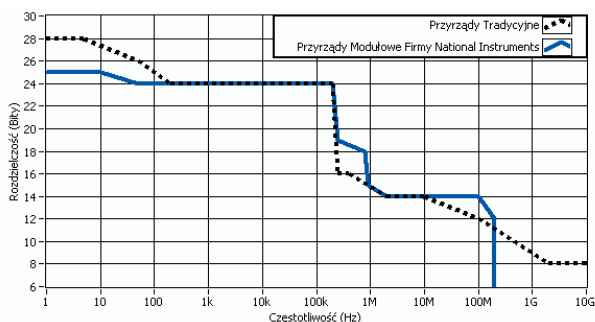
2. Urządzenia wirtualne

Jedną z efektywniejszych metod skrócenia czasu poświęconego na testowanie jest wyeliminowanie „czasu martwego” w pomiarach poprzez zastąpienie tradycyjnych urządzeń pomiarowych, do obsługi których niezbędny jest operator, przyrządami wirtualnymi pozwalającymi na zautomatyzowanie procesu pomiarowego. Należy tutaj wyjaśnić pojawiające się już w tytule artykułu pojęcie „urządzenia wirtualnego”. Jest to urządzenie posiadające wszystkie cechy tradycyjnych urządzeń pomiarowych takich jak multimetry, oscyloskopy, generatory czy nawet analizatory widma lub analizatory sygnałów cyfrowych. Jednak w rzeczywistości jest to program pracujący na komputerze klasy PC lub, coraz częściej, komputerach mobilnych (laptop, pocket PC) wyposażonych w odpowiedni interfejs wejścia/wyjścia, którym najczęściej jest specjalizowana karta pomiarowa.

2.1. Przyrządy modułowe

Przyjmując, że przyrządem wirtualnym jest szeroko pojęty komputer wyposażony w program z interfejsem użytkownika oraz dedykowane urządzenie wejścia/wyjścia łatwo zauważyć, że nie

jest to nowe pojęcie. Pierwsze komputerowe systemy pomiarowe pojawiły się już w roku 1981 jako skutek zaprezentowanej w tym samym roku magistrali ISA (ang. Industry Standard Architecture) przez firmę IBM. Komputerowe systemy pomiarowe oparte o magistralę ISA były jeszcze bardzo ograniczone ze względu na możliwości obliczeniowe komputerów jak również ograniczenia kart pomiarowych i transfer danych (8MB/s) i przez to nie mogły się równać z urządzeniami tradycyjnymi. W kwietniu 1993 firma INTEL zaprezentowała magistralę PCI (Peripheral Component Interconnect), która szybko stała się nowym standardem poprawiając komfort pracy z urządzeniami zewnętrznymi (peryferyjnymi) głównie przez możliwość ich wykorzystania zaraz po podłączeniu do magistrali (ang. Plug and Play), zwiększenie przepustowości oraz możliwość komunikacji bez udziału procesora. W roku 1997 firma National Instruments zaproponowała rozszerzenie magistrali PCI dla modułowych przyrządów nazywając je PXI (PCI eXtension for Instrumentation), które obecnie jest promowane przez 59 członków tzw. PXI Systems Alliance. PXI posiada rozwiązania analogiczne do rozwiązań PCI z tą różnicą, że dają one większe możliwości synchronizacji i bezpieczeństwa systemów pomiarowych. Zwiększenie prędkości transmisji Magistrali PCI do 533 MB/s (PCI-Express do 8GB/s) pozwoliło budować zarówno szybsze systemy komputerowe jak i wydajniejsze karty pomiarowe uniezależniając się od praktycznego ograniczenia w transmisji danych. Skutkuje to obecnie bardzo dobrymi parametrami modułowych przyrządów, które w pewnych zakresach częstotliwości sygnałów mierzonych nie ustępują urządzeniom tradycyjnym (rys. 1) [1].



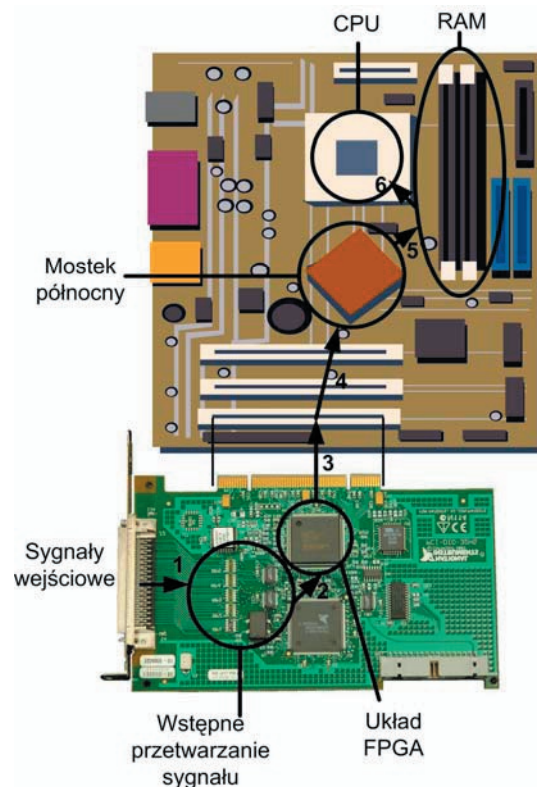
Rys. 1. Porównanie tradycyjnych i modułowych przyrządów pomiarowych (2004)
Fig. 1. Comparison of traditional and modular measuring instruments (2004)

Aby przyrządy modułowe były konkurencyjne do zastosowań tradycyjnych, oprócz szybkich i dokładnych torów pomiarowych, powinny szybko przesyłać dane do pamięci RAM komputera PC. Uproszczony schemat drogi, którą przebywa zmierzony sygnał pokazany jest na rys. 2. Sygnały doprowadzone do konektora zewnętrznego karty pomiarowej (1) przechodzą wstępną analizę a następnie często poprzez układ programowalnych bramek logicznych (2) przekazywane są do magistrali płyty głównej (3). Następnie poprzez magistralę PCI (4) do mostka północnego i dalej do pamięci RAM (5). Dane z pamięci RAM są odpowiednio przetwarzane przez procesor w sposób zdefiniowany w aplikacji pracującej na komputerze.

2.2. Interfejs użytkownika

Kolejnym istotnym elementem budowy urządzenia pomiarowego jest jego interfejs, na którym użytkownik jest w stanie odczytać wynik pomiaru. Powszechnie dostępne dzisiaj urządzenia posiadają przejrzyste i funkcjonalne interfejsy pozwalające na wykorzystanie zalet zakupionego urządzenia. Nie zmienia to jednak faktu, że są one nie konfigurowalne i, niezależnie od zastosowania, nie ma możliwości zmiany sposobu prezentowania zmierzonych sygnałów ponad to, co proponuje producent. W tym względzie lepiej prezentują się właśnie

urządzenia wirtualne, których interfejs jest pokazany na monitorze programem komputerowym z zaprojektowanym wcześniej panelem frontowym (panelem użytkownika). Aplikacja, która powoduje wyświetlanie danych pobiera je z pamięci, odpowiednio przetwarza i wyświetla na panelu głównym programu. Jest to niezwykle atrakcyjna funkcjonalność z punktu widzenia użytkownika, która staje się tym większa, im większe są możliwości tworzenia zaawansowanych interfejsów. Te możliwości zależą od narzędzi wybranych do tworzenia interfejsu. Są nimi różnorodne środowiska programistyczne jak na przykład: Visual Studio, Delphi, Matlab, InTouch czy LabVIEW. Jego wybór jest podyktowany znajomością danego środowiska



Rys. 2. Schemat przepływu mierzonych sygnałów pomiarowych
Fig. 2. Measuring data flow from card connector to CPU

oraz jego możliwościami. Należy mieć na uwadze, że wykorzystując języki wyższego poziomu można ominąć wiele problemów implementacji numerycznej popularnych algorytmów (FFT, filtracja cyfrowa itp.). Na przykład środowisko LabVIEW posiada kilkaset specjalizowanych funkcji do analizy danych. Dodatkowo funkcjonalność środowiska można zwiększyć wielokrotnie poprzez zastosowanie jednego z kilkunastu specjalizowanych modułów.

3. Testowanie układów scalonych

Podsumowując informacje dotyczące budowy przyrządów wirtualnych można powiedzieć, że modułowe przyrządy pomiarowe nie ustępują parametrami przyrządom tradycyjnym, a zastosowanie szybkiego transferu danych z karty do pamięci RAM w żaden sposób nie ogranicza możliwości akwizycji sygnału przez kartę pomiarową. Dodatkowo wykorzystanie zasobów komputera (procesor + karta graficzna) pozwala na budowę dedykowanego i konfigurowalnego systemu kontrolno-pomiarowego. Od razu uwidacznia się szereg zalet takiego rozwiązania, z których główne to:

- szybkie zapisywanie nawet bardzo dużych ilości danych w pamięci nie ulotnej,
- możliwość jednoczesnego wykorzystania dużej ilości przyrządów i ich wzajemna synchronizacja,

- możliwość wymiany modułu w przypadku jego niewystarczającej dokładności lub szybkości bez ingerowania w strukturę systemu,

- duża szybkość obliczeń poprzez zastosowanie silnej jednostki obliczeniowej,

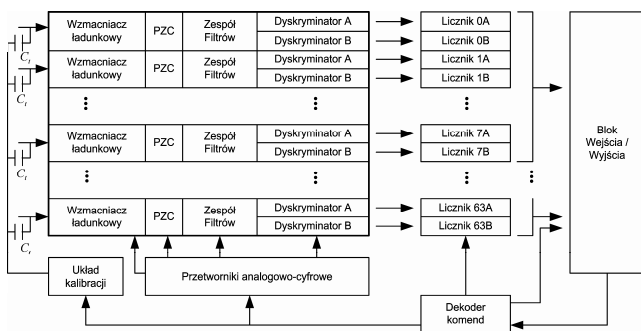
- możliwość zautomatyzowania procesu pomiarowego,

- możliwość wykonywania różnych interfejsów (urządzeń) w oparciu o ten sam sprzęt pomiarowy.

Jest to funkcjonalność wciąż niemożliwa do osiągnięcia przez tradycyjne oscyloskopy, generatory czy multimetry a doceniana przez każdego, kto zmierzył się z potrzebą szybkiego testowania układów scalonych.

3.1. Budowa układu scalonego DEDIX

Poniżej opisany zostanie sposób realizacji testów układu scalonego DEDIX [2]. Jest to specjalizowany układ scalony (ASIC) zaprojektowany i wykonany w technologii 0.35µm. Schemat blokowy układu widoczny jest na rys. 3. Jak widać na schemacie, układ posiada bloki przetwarzania sygnału analogowego jak również bloki cyfrowe. Komunikuje się on z komputerem PC poprzez dedykowany protokół komunikacyjny. Podczas etapu projektowania szczególną uwagę poświęcono poprawności działania toru przetwarzania analogowego, między innymi na minimalizację szumów układu oraz szybkość przetwarzania impulsów wejściowych.



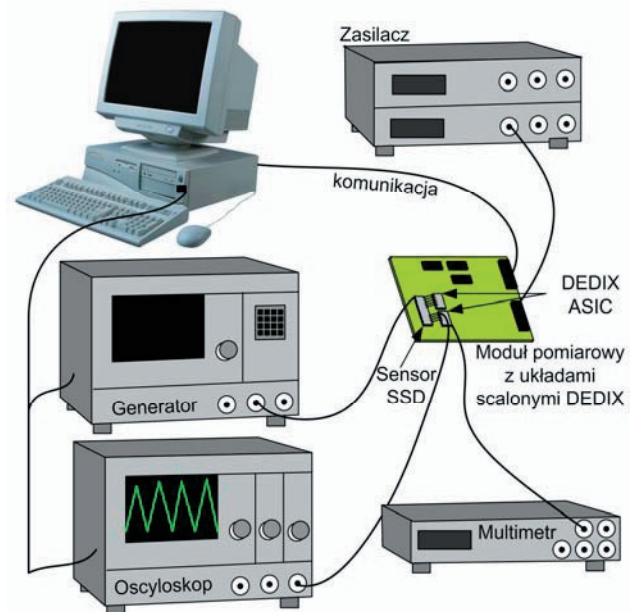
Rys. 3. Schemat blokowy układu DEDIX

Fig. 3 DEDIX chip block architecture

3.2. Testy układu scalonego DEDIX

Po otrzymaniu wyprodukowanego układu scalonego DEDIX należało przeprowadzić szereg pomiarów parametrów torów analogowych określających czy wyprodukowany ASIC spełnia założenia projektowe. W szczególności należało sprawdzić, czy układ poprawnie rejestruje sygnały wejściowe w zależności od wahań napięcia zasilania części analogowej [3, 4], części cyfrowej, prądu polaryzującego układ (ustawianego przy pomocy wewnętrznych przetworników cyfrowo-analogowych kontrolowanych poprzez komendy wysyłane do układu). Kolejną grupą testów jest sprawdzenie zachowania się układu w zależności od różnych wartości amplitud i szybkości zmian sygnału wejściowego przy różnych wartościach prądu polaryzującego i wartości rezystancji w sprzężeniu zwrotnym wzmacniacza. Łatwo wyobrazić sobie standardową procedurę testowania takiego układu, w której osoba wykonująca pomiar ustawia ręcznie wartości napięcia zasilania wartości amplitudy i częstotliwości sygnału wejściowego patrząc przy tym w ekran oscyloskopu ocenia czy oglądane przebiegi są poprawne czy nie. Chcąc określić ilość kroków pomiarowych należałoby założyć np. 10 różnych wartości napięcia wokół napięcia zasilania części analogowej, 10 wartości wokół zasilania części cyfrowej, oraz ok. 10 różnych wartości prądu polaryzującego (dla pierwszej części testów). Daje to 1000 kroków dla jednego układu. Podobną, lub nawet większą ilość kroków można by wypracować w przypadku testów szybkościowych układu. Tak duża ilość kroków powoduje,

że automatyzacja pomiarów staje się koniecznością. Należy tutaj dodać, że decyzję czy układ działa poprawnie czy nie w danym kroku pomiarowym należy podjąć na podstawie parametrów jego 64 kanałów [rys. 3]. Dla każdego kanału należy wyznaczyć wzmacnienie, poziom napięć stałych i szumy poprzez specyficzne analizowanie mierzonych danych. W systemie pomiarowym zawierającym 8 układów scalonych na jednej płycie PCB znajduje się 512 kanałów. Tak duża ilość parametrów do wyznaczenia wymusza zautomatyzowanie procedur pomiarowych. Schemat systemu pomiarowego zrealizowanego dla celów testowania układu scalonego DEDIX przedstawia rys. 4. Komunikacja z układem realizowana jest poprzez zamontowaną w komputerze szybką kartę cyfrowego wejścia/wyjścia (NI PCI 6534).



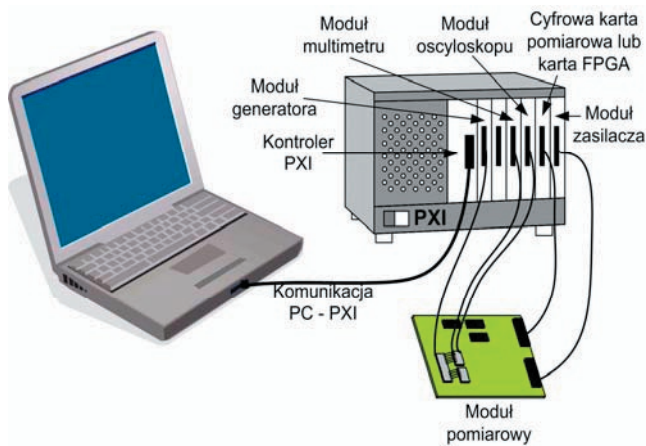
Rys. 4. Zrealizowany układ do testowania układu scalonego DEDIX

Fig. 4. Measuring system for testing the DEDIX integrated circuit testing

Takie rozwiązanie pozwala na szybką implementację protokołu komunikacji i pracę z częstotliwością do 20MHz. Do komputera zostały również podłączone poprzez interfejs GPIB: miernik HP4145B pozwalający na pomiar poziomu napięć stałych, oscyloskop TEKTRONIX TDS784, który rejestrował pracę torów analogowych wybranych kanałów. Sygnały wejściowe wysyłane były przez generator SONY-TEKTRONIX AWG 2021 również podłączony do komputera. Dzięki temu możliwe było zastosowanie dowolnych sygnałów pobudzających badany układ. Taka konfiguracja mimo znacznego przyspieszenia procedur pomiarowych posiada szereg wad, z których główne to:

- brak sterowanego źródła zasilania,
- wolna komunikacja z multimetrem i oscyloskopem nie pozwalająca na szybkie przesłanie i zapisywanie danych,
- ograniczenia na szybkość i ilość danych przesyłanych do generatora AWG.

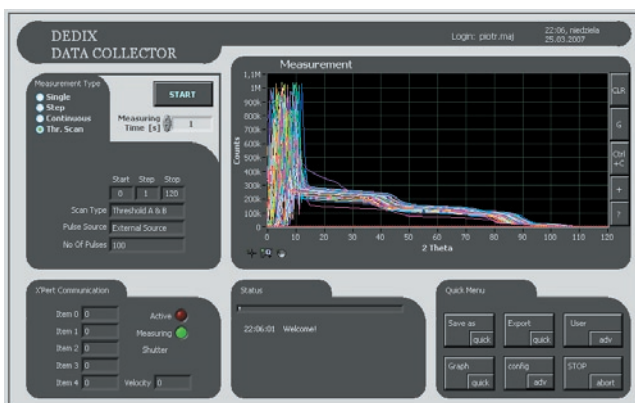
Wyżej wymienione ograniczenia można jednak ominąć poprzez zastosowanie konfiguracji pokazanej na rys. 5. Wszystkie elementy zbudowanego systemu takie jak: oscyloskop, multimetr, generator, zasilacz są dostępne jako przyrządy modułowe do komputerów standardowych jak również komputerów PXI. Umieszczenie w jednej obudowie pięciu specjalizowanych urządzeń pozwala robić dowolne testy układów bez ograniczeń ze strony urządzeń pomiarowych. Ponadto możliwe jest także napisanie aplikacji testującej układy, że będzie ona niezależna od używanego sprzętu, tzn. będzie można dowolną kartę wymienić na szybszą lub dokładniejszą.



Rys. 5. Układ pomiarowy zaproponowany do testów układu DEDIX
Fig. 5. Measuring system proposed for testing DEDIX ASIC

3.3. Aplikacja pomiarowa

Aplikacja umożliwiająca testowanie układu DEDIX została napisana w środowisku LabVIEW. Językiem programowania jest język graficzny „G”, w którym kod programu nie jest pisany jak w językach tradycyjnych (c++, pascal) lecz rysowany na diagramie blokowym. Odpowiednia, modułowa architektura stworzonego oprogramowania [5] pozwala na wykonywanie w sposób zautomatyzowany dużej ilości pomiarów. Użytkownik ma możliwość zaprogramowania dowolnej sekwencji pomiarowej składającej się z pojedynczych kroków. W każdym kroku można ustalać dowolne parametry układu scalonego jak i urządzeń do niego podłączonych. Szczególną zaletą aplikacji pomiarowej jest możliwość analizy otrzymywanych wyników, które w przypadku omawianej aplikacji (obrazowanie promieniowania X) nie są standardowymi sygnałami (układ DEDIX współpracuje z paskowym detektorem krzemowym, konwertującym fotony promieniowania X na impulsy prądowe). Widoczny na rys. 6 panel główny aplikacji pokazuje zmierzone przez 128 kanałów (2 układy DEDIX podłączone do 128 pasków detektora krzemowego) widmo całkowite promieniowania X emitowanego przez testowe źródło promieniotwórcze (ilość zliczeń w funkcji ustawionego progu dyskryminacji).



Rys. 6. Interfejs użytkownika aplikacji pomiarowej
Fig. 6. User Interface for DEDIX testing software

W celu otrzymania informacji o szumach układu, jego wzmocnienia i rozrzucie napięć stałych, należy każdy z tych przebiegów poddać operacji różniczkowania a następnie dopasować funkcję Gaussa do pików pochodzących od poszczególnych składowych energii padającego promieniowania. Przykładowo stosując do testów źródło Pu238 wraz z wzbudzaną plutonem linią Cu, dostajemy w widmie 4 piki odpowiadające kolejno energiom: 8,04keV, 13,6keV, 17,2keV, 20,1keV. Łatwo

jest przeliczyć, że pojedynczy pomiar wymaga dopasowania 512 funkcji i dla każdego z nich wyznaczenia 2 parametrów: środek piku oraz odchylenie standardowe. Podczas pomiarów szybkościowych jednego układu należało zmierzyć 54 widma całkowite, co powoduje konieczność wykonania procedury dopasowania funkcji ponad 27000 razy. Aplikacja pozwala na automatyczne wykonywanie tej procedury i po odpowiednim przetworzeniu otrzymanych parametrów zapisanie danych w plikach tekstowych. W szczególności, po 8 godzinach pomiarów mających na celu zmierzenie parametrów układu w zależności od częstości padania impulsów promieniowania X na paski detektora, otrzymano ponad 120MB danych pomiarowych, które zostały zapisane na dysku twardym. Następnie uruchomiono procedurę automatycznego generowania raportu, czyli analizę danych, zapis wyniku analizy do pliku, tworzenie i odpowiednie podpisywanie 54 wykresów, które następnie zostały umieszczone w tabelach w pliku programu Microsoft Word. Ręczne wykonanie całej procedury zajmuje około 3 dni. Procedura automatyczna jest wykonywana ok. 1 – 2 min. i zależy głównie od dokładności dopasowania funkcji Gaussa (ilości iteracji) oraz ilości wykresów, które należy umieścić w dokumencie.

4. Wnioski

Zastosowanie wirtualnych urządzeń pomiarowych, czyli tak naprawdę programu komputerowego wykorzystującego dedykowane, modułowe urządzenia wejścia/wyjścia wpinane w magistralę płyty głównej komputera, pozwala znacząco skrócić czas poświęcony na testowanie układów scalonych. Umieszczenie całego systemu pomiarowego w jednym komputerze PXI pozwala na zbudowanie kompleksowego, przenośnego stanowiska testowego o możliwościach nie odbiegających od stanowiska zbudowanego w oparciu o tradycyjne przyrządy, a przy tym, niezwykle łatwego w konfiguracji i znacząco przyspieszającego procedury pomiarowe. Jedyną istotną wadą proponowanego rozwiązania jest konieczność dobrej znajomości przynajmniej jednego środowiska programistycznego pozwalającego na budowanie aplikacji wykorzystujących modułowe przyrządy pomiarowe i tworzenie funkcjonalnych interfejsów użytkownika.

5. Podziękowania

Autor pragnie serdecznie podziękować dr hab. inż. Pawłowi Grybosowi za umożliwienie wykonywania pomiarów układu scalonego oraz firmie National Instruments za udostępnienie informacji dotyczących swoich produktów.

6. Literatura

- [1] WWW.NI.COM
- [2] Gryboś P. Idzik M. Maj P. Świątek K.: Design, Functionality and Testability of a Multichannel ASIC for Digital X-Ray Imaging. Proceedings of International Conference Mixed Design of Integrated Circuits and Systems, Gdynia 22-24 czerwiec 2006, strony 269-274.
- [3] Gryboś P. Idzik M. Maj P. Świątek K.: Integrated charge sensitive amplifier with pole-zero cancellation circuits for high rates. Proceedings of 2006 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, Kos, Greece, May 2006, strony 1997-2000.
- [4] Gryboś P. Idzik M. Maj P. Świątek K.: Low power discriminators with input offsets correction for fast multichannel recording ASIC. Proceedings of International Conference Mixed Design of Integrated Circuits and Systems, Gdynia 22-24 czerwiec 2006, strony 316-320.
- [5] Maj P.: Testing of Application Specific Integrated Circuits in LabVIEW environment. XVIII IEEE-SPIE Symposium on Photonics, Electronics, Web Engineering, Electronics for Astronomy and High Energy Physics Experiments – Wilga 29 maj – 4 czerwiec 2006, nr 63470H1-5.