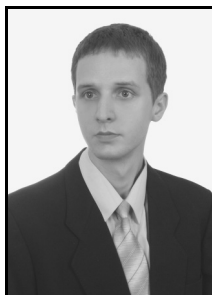


Jakub KOWALSKI

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA, WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI, INFORMATYKI I ELEKTRONIKI, KATEDRA METROLOGII
Al. Mickiewicza 30, Pawilon B-1, 30-059 Kraków

Koncepcja wielokanałowego systemu rejestracji danych**Mgr inż. Jakub KOWALSKI**

Ukończył kierunek Elektrotechnika w specjalności Automatyka i Metrologia na wydziale Elektrotechniki Automatyki Informatyki i Elektroniki na AGH w Krakowie. Obecnie jest doktorantem na katedrze Metrologii AGH. Specjalizuje się w budowie aparatury dedykowanej do pomiarów w energetyce oraz cyfrowym przetwarzaniem sygnałów.



e-mail: Kow.Jak@agh.edu.pl

Streszczenie

Artykuł jest propozycją rozwiązania problemu budowy wielokanałowego szybkiego systemu akwizycji danych. System zaprojektowano, jako jednostkę monitorującą, rejestrującą dane przez wiele godzin. Nowatorskie w tym podejściu jest zastosowanie 3 połączonych ze sobą systemów, FPGA, systemu czas rzeczywistego RT oraz komputer klasy PC. Połączenie to zapewniło dużą częstotliwość próbkowania, przy długim czasie monitorowania danych. Zbudowano system, który umożliwia 8 kanałowy 16 bitowy pomiar z częstotliwością próbkowania 200Ksps.

Słowa kluczowe: FPGA, PXI, pomiar 3 fazowy, akwizycja danych.

A concept of a multi-channel data recording system**Abstract**

The paper presents a device which is a solution to the problem of fast, long term, simultaneous measurements of energetic values. The system is designed for monitoring 3-phase voltage and current values of the tested load. It consists of three autonomous devices: FPGA, a real-time platform and a PC computer. This rare combination enables recording fast-distortion signals caused by switching or failure of a part of the power network. This is possible by using high speed acquisition in FPGA. The measured signals are stored on a hard disk with support of a real time operating system. To simplify the user control, all system commands, indicators and preview of the measured signal are sent by a TCP-IP protocol to the PC computer used to control all processes. The introduction is presented in Section 1. The requirements and limitations of the project are specified in Section 2. The hardware used in the project is described in Section 3 divided in Subsection 3.1 which describes the industrial platform PXI and Subsection 3.2 presenting the FPGA data acquisition card. The IDE which was used to develop the system is described in Section 4. Section 5 deals with the work of the system and connection between the devices. Subsection 5.1 is focused on the operating system on PXI, Subsection 5.2 presents the idea of two operating systems, Subsection 5.3 describes the application on the acquisition FPGA-card, Subsection 5.4 presents the idea of a multi thread application of PXI and Subsection 5.5 describes the control-application on PC. In Section 6 there is presented an example of the measured signals. Section 7 contains the conclusions.

Keywords: FPGA, PXI, 3 phase measurement, data acquisition.

1. Wstęp

W praktyce pomiarowej często konieczne jest użycie wielokanałowego systemu pomiarowego. Istnieją sytuacje, w których multipleksowany pomiar nie wystarcza i wymagane jest uzyskanie pomiarów dokładnie w tych samych chwilach czasowych. Jednym z takich przykładów, jest sterowanie bezszczotkowymi trójfazowymi silnikami, gdzie istnieje potrzeba wykonania dwóch pomiarów prądu dokładnie w tej samej chwili. Analiza mocowa trójfazowego odbiornika wymaga przynajmniej 6 jednoczesnych pomiarów po trzy na prąd i napięcia. Również w tym przypadku koniecznym wymaganiem rzutującym na dokładność analizy jest przeprowadzenie pomiaru w tej samej chwili.

W artykule przedstawiono koncepcję budowy wielokanałowego systemu, który umożliwi wykonanie takiego zadania. W opracowaniu przedstawiono metodykę projektowania systemu, oraz doboru poszczególnych elementów systemu.

2. Wymagania systemu

Projekt systemu zakładał budowę urządzenia do analizy mocy 3 fazowego odbiornika. Realizacja tego celu wymagała wprowadzenie kilku ograniczeń.

Pierwszym z postawionych wymagań jest częstotliwość próbkowania każdego z kanałów. Ustalono ją, jako niemniejszą niż 200Ksps. Umożliwia to analizę napięcia sieciowego do jego setnej harmonicznej. Ponieważ projektowany system jest systemem akwizycji danych, zachodziła konieczność zapisu wszystkich zmierzonych wartości do pliku.

Sam system nie ingeruje w dane poprzez wstępne ich uśrednianie czy filtrację. Jego funkcjonalność zamyka się w roli szybkiego rejestratora danych ze zdalnym sterowaniem. System powinien umożliwiać przeprowadzenie akwizycji przez przynajmniej przez kilka godzin, gromadząc przez ten czas wszystkie wyniki.

Pomiar każdego kanału odbywa się z rozdzielczością 16 bitów.

3. Zastosowane rozwiązania sprzętowe

Najtrudniejszym do spełnienia wymaganiem było gromadzenie bardzo dużej ilości danych przez system. Pomiar z próbkowaniem z prędkością 200Ksps z 8 kanałów wymusza zastosowanie dysku twardego, jako największego dostępnego na rynku nośnika danych. Ponieważ urządzenie miało pracować z dość dużą dokładnością, zrezygnowano z zastosowania klasycznego komputera PC na rzecz platformy bardziej przystosowanej do tego celu, zwłaszcza, że system zaprojektowany został do pracy w niekorzystnych warunkach środowiskowych (zakłócenia elektromagnetyczne). Wymaga to zastosowanie wytrzymałej i odpornej na zakłócenie konstrukcji oraz bardzo dobrego bloku zasilania.

3.1. Platforma PXI

Zaproponowane przez autora rozwiązanie oparte jest na urządzeniu PXI. Jest to dedykowany do pracy w trudnych warunkach środowiskowych komputer przemysłowy firmy National Instruments. Zaletą tego typu urządzenia jest zastosowanie w nim zmodyfikowanego protokołu PCI, który umożliwia podłączenia dużej gamy zestandaryzowanych kart pomiarowych. Protokół PXI (PCI eXtensions for Instrumentation) jest zoptymalizowany pod względem przesyłania danych z dużą odpornością na zakłócenia. Kasetka systemu PXI posiada przystosowany do dokładnych pomiarów blok zasilania i bardzo dobre ekranowanie.

W projekcie zastosowano kasetę NI PXI-1042Q. Do kasety dołączono moduł NI PXI8106 stanowiący kompletny komputer z dwurdzeniowym procesorem 2,16 GHz dyskiem twardym 60Gb oraz wyprowadzonymi standardowymi portami DVI, RS232C, usb Ethernet [1]. Moduł został przez producenta wyposażony w klasyczny system operacyjny Windows XP, tym samym cała kasetka PXI widziana jest z perspektywy użytkownika, jako komputer klasy PC.

3.2. Karta pomiarowa

Przy pracy z sygnałami próbkowanymi na poziomie 200Ksps konieczne jest zastosowanie szybkiej karty pomiarowej. W przypadku tego opracowania autor wybrał kartę FPGA PXI-7833R opartą o układ Virtex II z 3 milionami makroceli pracujący

z częstotliwością do 40 MHz. Wyposażona jest ona w 8, 16-bitowych przetworników analogowo-cyfrowych. Maksymalna częstotliwość próbkowania to 200 Ksps. Karta umożliwia przesył danych do jednostki zarządzającej za pomocą kanałów DMA z użyciem interfejsu PXI [2].

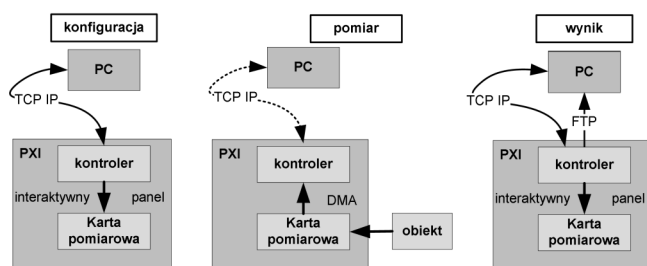
4. Środowisko programistyczne

Do budowy aplikacji zarządzającej systemem pomiarowym zastosowano środowisko LabView. Środowisko to jest oparte o graficzny język programowania, w którym struktura programu jest rysowana, a nie pisana. Znacząco przyspiesza to budowanie aplikacji, zwłaszcza w przypadku operowania na różnych urządzeniach korzystając z wielu protokołów. Środowisko jest zoptymalizowane pod względem szybkości budowania aplikacji operujących na sprzęcie elektronicznym i pomiarowym.

W przypadku przedstawionego projektu, zaletą oprogramowania LabView jest dostępność wbudowanych bibliotek obsługujących magistralę PXI, karty pomiarowe, oraz karty FPGA oraz szybkiej konfiguracji komunikacji pomiędzy nimi. Przy budowie aplikacji zarówno na system Windows, system czasu rzeczywistego jak i FPGA programista korzysta z podobnej struktury programowej.[3]

5. Idea systemu

Schemat blokowy całego systemu można podzielić na trzy logiczne części. Pierwsza to aplikacja działająca na karcie FPGA, druga to aplikacja działająca pod kontrolą systemem czasu rzeczywistego na kasecie PXI. Trzecią częścią jest aplikacja na komputerze klienckim zadająca parametry akwizycji i odbierająca dane. Połączenie funkcjonalne tych części podczas pracy urządzenia przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Fazy pracy systemu
Fig. 1. Phases of the system work

Idea całości systemu opiera się na odpowiednim przesłaniu danych z karty pomiarowej do komputera PC, uwzględniając to, że żadne dane nie mogą zostać w tej sekwencji utracone.

5.1. Zastosowany system operacyjny

Kaseta PXI, aby mogła przysłać dane, musi działać zarządzana przez system operacyjny. Zastosowany przez producenta system Windows, nie ma możliwości bezpośredniego dostępu do danych z kanału DMA karty pomiarowej. Jedynym sposobem, jest transmisja za pomocą przerwania. W przypadku aplikacji korzystającej z transmisji ciąglej zastosowanie przerwania nie jest najefektywniejszą pod względem obciążenia systemu operacyjnego metodą. Korzystniej jest zastosować kanał DMA. Idea pracy kanału DMA oraz uzasadnienie jego użycia przedstawione jest w rozdz. 5.3. Wykorzystanie tej metody wymusza zastosowanie systemu operacyjnego z lepszymi, tj. bardziej zdefiniowanymi zależnościami czasowymi. Takim systemem może być system czasu rzeczywistego. W projekcie jest to system operacyjny LabView RT oparty o system operacyjny czasu rzeczywistego PharLab. Korzyścią z zastosowania tego konkretnego systemu, jest ujednoczenie metod budowania wszystkich pracujących w urządzeniu aplikacji,

oraz wykorzystanie gotowych, wbudowanych w system bibliotek obsługujących sprzętowo zastosowaną kartę pomiarową oraz kasety PXI.

5.2. Praca dwóch systemów operacyjnych

System Windows umożliwia w przeciwieństwie do systemów RT bardzo łatwe przesyłanie danych do dalszej analizy np. poprzez nagranie ich na płytę DVD, przesłanie za pomocą pendriva spakowanie, podzielenie i archiwizację. Ponadto jest powszechnie znany i przez to nie wymaga od użytkownika końcowego znajomości specyficznego systemu typu RT.

Łącząc zalety obu tych podejść autor proponuje uruchomić dwa systemy operacyjne w jednej kasecie PXI. Dysk systemowy podzielony jest na dwie partycje, z których jedna została przydzielona dla systemu RT, na drugiej partycji zainstalowany jest system Windows. Przy takim wykorzystaniu dysku koniecznym jest uruchomienie programu zarządzającego rozruchem – bootloadera. Uruchamiając albo restartując kasety, użytkownik może zdecydować, czy uruchomić system pomiarowy, czy system Windows i korzystając z jego zalet swobodnie manipulować plikami pomiarowymi.

5.3. Praca karty pomiarowej

Zastosowanie systemu operacyjnego czasu rzeczywistego umożliwia zaimplementowanie i obsłużenie mechanizmu DMA wykorzystującego pełne możliwości karty pomiarowej. Aplikacja pracująca na karcie pomiarowej służy do jednoczesnego odczytania danych ze wszystkich 8 przetworników analogowo-cyfrowych. Dane te są następnie łączone w ramkę i zapisywane w buforze, który jest programowo wydzielonym obszarem w karcie FPGA złożonym z makrocel pracujących, jako pamięć. Z bufora dane są odbierane przez system czasu rzeczywistego. Instrukcja włączenia karty, oraz polecenia inicjujące jej pracę przekazywane są za pomocą wbudowanego mechanizmu interaktywnego panelu czołowego (Interactive Front Panel). Z założenia, służy on tylko do przesyłania małej ilości danych, nieuzależnionych czasowo.

Kanały DMA w tym zastosowaniu spełnia dwojaką rolę. Pierwsza z nich jest możliwość jednoczesnego dostępu do pamięci zarówno przetwornika analogowo cyfrowego jak i systemu czasu rzeczywistego. Zastosowanie to umożliwia przesył danych poprzez wolniejszą w stosunku do prędkości przetwornika transmisję do systemu RT. Dla przykładu, stosując bufor o rozmiarze 1000 dane przez system RT mogą być odbierane około 1000 razy wolniej niż częstotliwość próbkowania przetwornika. W przypadku zastosowania transmisji na przerwaniach, gdy aplikacja jest w stanie obsługi przerwania wysyłającego, nadejście nowych danych jest ignorowane i dane są utracone. Użycie DMA eliminuje ten problem.

5.4. Praca aplikacji na PXI

Program pracujący na systemie RT jest 4 wątkowy, umożliwia to jawne określenie zależności czasowych pomiędzy logicznymi częściami programu. W przypadku, gdy jeden z wątków nie pracuje z pełnym obciążeniem, czas procesora jest przydzielany odpowiednio pozostałym. Oprócz tego, projektant systemu ma możliwość jawnego podzielenia pracy na rdzenie procesora. Pierwszy z wątków odpowiada za odbieranie danych z karty pomiarowej. Jest on sprzęgnięty z buforem DMA przedstawionym w rozdz. 5.3. Wątek ten rozkodowuje wszystkie odebrane ramki, oraz buduje z nich tablicę przesyłaną do innych wątków. Jest to najbardziej czasokrytyczny wątek i wymagał szczególnego podejścia optymalizacyjnego. Im szybciej pracuje tym mniejszy może być bufor na karcie FPGA.

Kolejny, to wątek obsługi zapisu danych na dysk. Możliwy jest zapis plików w dwóch formatach. W zależności od ustawień konfiguracyjnych wątek może być obciążony (praca z dwoma

rodzajami plików na raz), lub też pracować jałowo (gdy dane są jedynie podglądane a nie zapisywane).

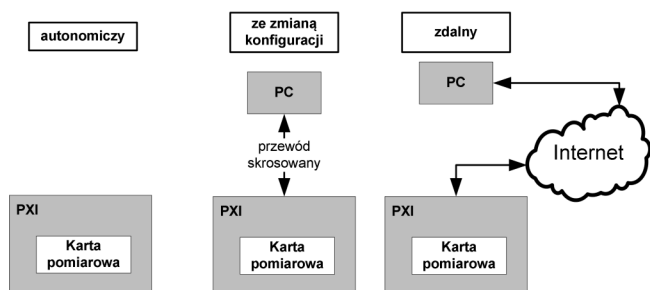
Pozostałe wątki to: oparty o maszynę stanów wątek obsługi systemu zarządzający pracą wszystkich wątków, oraz wątek sieciowy odpowiadający za komunikację z komputerem sterującym przesyłając polecenia i umożliwiając wizualizację procesu na zdalnym komputerze klienckim PC.

5.5. Sterowanie pracą systemu

Z uwagi na pracę systemu w warunkach przemysłowych, system może rozpocząć pracę bez żadnej konfiguracji. Od razu po włączeniu zasilania, program na platformie PXI rozpoczyna akwizycję danych na wbudowany dysk twardy, stosując zapisane wcześniej ustawienia.

Parametry konfiguracyjne, oraz sterowanie pracą PXI odbywają się za pomocą dowolnego komputera z zainstalowaną aplikacją kliencką. Aplikacja ta, komunikuje się z PXI za pomocą protokołu TCP-IP. Po zadaniu parametrów konfiguracyjnych i zapisaniu ich, komputer może zostać odłączony a aplikacja na PXI dalej przeprowadzać pomiar. Zaprojektowany przez autora dedykowany do tego rozwiązania system przesyłu danych jest odporny na błędną transmisję, oraz na fizyczne zerwanie komunikacji w środku transmisji. Jest to zaletą w warunkach przemysłowych.

Dane, które są przesyłane, są kompatybilne z protokołami sieciowymi. System może zostać podłączony do globalnej sieci internetowej. Tym samym konfiguracja oraz przesyłanie danych od użytkownika zarządzającego pracą systemu może odbywać się z dowolnego miejsca. Obsługa samej kasety PXI będącej na miejscu, w takim przypadku, sprowadza się tylko do zapewnienia jej zasilania 230V i podłączenia do globalnej sieci Internet. Kasetka jest identyfikowana w niej za pomocą adresu IP. Połączenie systemu z komputerem PC zarządzającym transmisją może być trójfazowe rys. 2.



Rys. 2. Tryby pracy systemu
Fig. 2. System operation mode

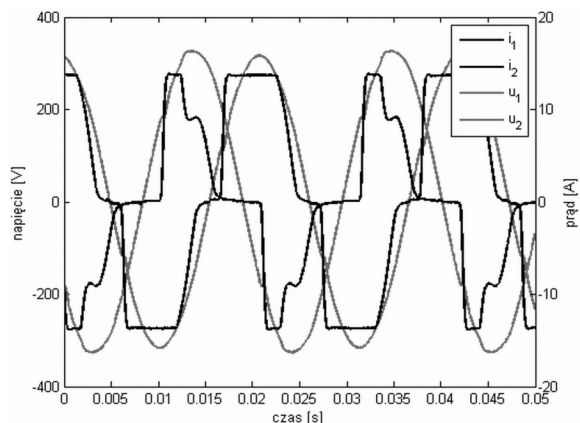
Pierwsza z możliwości jest praca w pełni autonomiczna. Parametry pomiaru i tryb pracy PXI są ustalane przed pomiarem, zapisane są one w pamięci. Następnie kasetka instalowana jest w miejscu docelowym. Wykonywany jest pomiar, nadpisując najstarsze dane albo do wyczerpania miejsca na dysku urządzenia. Następnie urządzenie jest demontowane i po przez komputer PC dane zostają przesłane do analizy.

Drugą możliwością jest podłączenie komputera klienckiego bezpośrednio z systemem PXI. Parametry pracy, początki i końce konwersji, oraz zarządzanie pracą może się odbywać w sposób ciągły, lub też komputer może być okresowo odłączony. W tym przypadku na docelowym miejscu pomiaru konieczny jest również uruchomiony i podłączony komputer PC.

Trzecią możliwość jest sterowanie systemem po przez sieć Internet. W takim przypadku, na miejscu pomiaru znajduje się tylko kasetka podłączona do sieci Internet. Sterowanie pomiarem może odbywać się niezależnie od odległości od komputera zarządzającego. Dane zostają przesłane do PC po przez serwer FTP.

6. Przykładowe zarejestrowane przebiegi

Realizację przykładowego pomiaru za pomocą systemu przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Przykładowe przebiegi zarejestrowane przez system
Fig. 3. Sample waveforms recorded by the system

Przebiegi przedstawiają prąd i napięcie zarejestrowane w dwóch z trzech faz zasilających badane obciążenie. Pomiar odbył się na wejściu 3 fazowego programowalnego aktywnego obciążeniu Chroma 63804. Zasilanie stanowił trójfazowy programowalny generator Chroma 61512. Eksperyment pomiarowy został przeprowadzony przy niesymetrycznym napięciu zasilania i niesymetrycznym obciążeniu o różnym charakterze na każdej z faz. Uzyskano przebiegi, które aby mogły być prawidłowo analizowane, wymagały od urzędowania rejestrującego dane szybkiej akwizycji. Przebiegi porównane z pomiarem pochodzącym z aktywnego obciążenia okazały się prawidłowe.

7. Podsumowanie

Zbudowano system pomiarowy będący połączeniem trzech urządzeń: FPGA, system czasu rzeczywistego i PC, które rzadko bywają łączone w jeden system. Zrealizowany eksperyment potwierdził możliwość połączenia wielokanałowego szybkiego pomiaru zrealizowanego za pomocą FPGA z przechowywaniem dużej ilości zarejestrowanych danych liczonych w gigabajtach. Autor uważa, że wykorzystanie przedstawionej koncepcji budowy systemu, może przyspieszyć i ułatwić pracę nad projektowanymi systemami diagnostyki i akwizycji danych. Opisane połączenie urządzeń, uwydatnia ich zalety, redukując ograniczenia sprzętowe każdego z nich. Zarówno sprzęt jak i oprogramowanie zostało dostosowane do warunków przemysłowych, dzięki temu prototyp systemu może przeprowadzać pomiary od razu w docelowym miejscu, z docelową funkcjonalnością. System można łatwo rozszerzyć o analizę oraz obróbkę danych, odpowiednio do konkretnego zastosowania.

8. Literatura

- [1] NI PXI-8106 User Manual. NI, styczeń 2007.
- [2] Multifunction RIO NI R Series Multifunction RIO User Manual. NI, czerwiec 2009.
- [3] Chrusciel M.: LabVIEW w praktyce. BTC, Legionowo 2008.