

Laboratorium

projektowania skupionych i rozproszonych systemów pomiarowych

Ćwiczenie

Akwizycja, generacja i przetwarzanie sygnałów

Instrukcje do ćwiczenia i dodatkowe materiały przygotowano i zmodernizowano przy wykorzystaniu środków otrzymanych w ramach Zadania 36 Programu Rozwojowego Politechniki Warszawskiej

1 Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest praktyczne wprowadzenie i zapoznanie studentów z możliwościami jednego z powszechnie wykorzystywanych elementów składowych, współczesnych komputerowych systemów pomiarowych jakim jest karta zbierania danych - DAQ (*ang. Data Acquisition*). Postawione w ramach ćwiczenia zadania mają na celu przekazanie studentom wiedzy niezbędnej do samodzielnego konfigurowania, programowania i obsługi systemów pomiarowych wykorzystujących karty DAQ.

Efekty realizacji ćwiczenia:

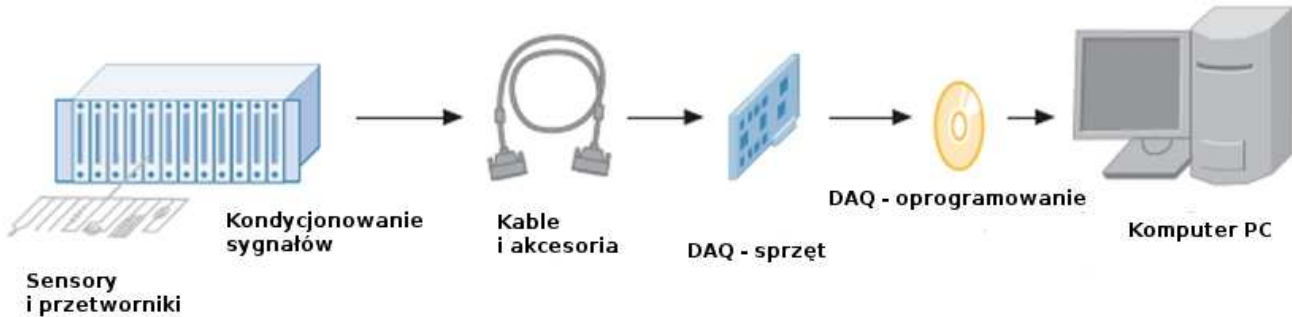
Znajomość budowy i zasady działania kart pomiarowych, umiejętność doboru i konfiguracji parametrów pracy karty pomiarowej w zależności od liczby i właściwości źródeł rejestrowanych sygnałów.

2 Podstawy praktyczne i teoretyczne

2.1 Charakterystyka systemów pomiarowych i kart DAQ

Typowy system pomiarowy (rys. 1), w tym także ten, w którym wykorzystuje się karty pomiarowe składa się z:

- sensorów i przetworników pomiarowych, których zadaniem jest przetworzenie wielkości mierzonej do postaci odpowiedniej (najczęściej jest to napięcie) dla układu pomiarowego,
- układów kondycjonowania sygnałów, które mogą pełnić następujące funkcje:
 - dostosowanie wartości napięć z przetworników pomiarowych do wartości wynikających z zakresów przetwarzania przetworników analogowo cyfrowych (A/C). Tę funkcję może także pełnić programowany wzmacniacz pomiarowy (PGIA - *ang. Programmable Gain Instrumentation Amplifier*) karty akwizycji danych, jednakże realizacja wzmocnienia w bezpośrednim sąsiedztwie przetworników pomiarowych czyni cały układ zdecydowanie bardziej odpornym na zakłócenia informacji pomiarowej,
 - izolacja galwaniczna obwodów wejściowych układu pomiarowego od pozostałych jego elementów. Stosowana wszędzie tam gdzie obiekt pomiarowy musi być odizolowany od układu pomiarowego ze względów bezpieczeństwa np: pomiary w energetyce i pomiary w medycynie,
 - filtracja pasmowa: górnoprzepustowa dla usunięcia nieistotnych dla pomiarów składowych stałej i wolnozmiennych, a także (a może przede wszystkim) filtracja dolnoprzepustowa, której podstawowym zadaniem jest eliminacja efektu aliasingu (ta funkcja może być realizowana przez niektóre karty DAQ),
 - „synchronizacja” rejestrowanych równoległe sygnałów pomiarowych - układy próbkująco-pamiętające,
- okablowania, które jest elementem naturalnym, ale i niezbędnym w układach pomiarowych. Okablowanie ekranowane i co równie istotne optymalne pod względem długości pozwala znacząco wyeliminować dodatkowe spadki napięć i zakłócenia o charakterze interferencyjnym,
- sprzętu do akwizycji danych. Zadanie to może być realizowane między innymi przez karty akwizycji danych - DAQ, które mogą być wyposażone w moduły do rejestracji sygnałów analogowych, a także układy do rejestrowania i generacji sygnałów cyfrowych co stanowi o ich potencjale w aspekcie szerokiego spektrum możliwych zastosowań.
- oprogramowania ze wsparciem dla systemów pomiarowych. Dedykowane oprogramowanie zawiera funkcje do akwizycji, przetwarzania, prezentacji i dystrybucji danych,
- komputera ogólnego przeznaczenia, który umożliwia zaprogramowanie, uruchomienie, sterowanie i kontrolę aplikacji pomiarowych. Może być on zastąpiony komputerem dedykowanym dla systemów pomiarowych lub wbudowanym.



Ry

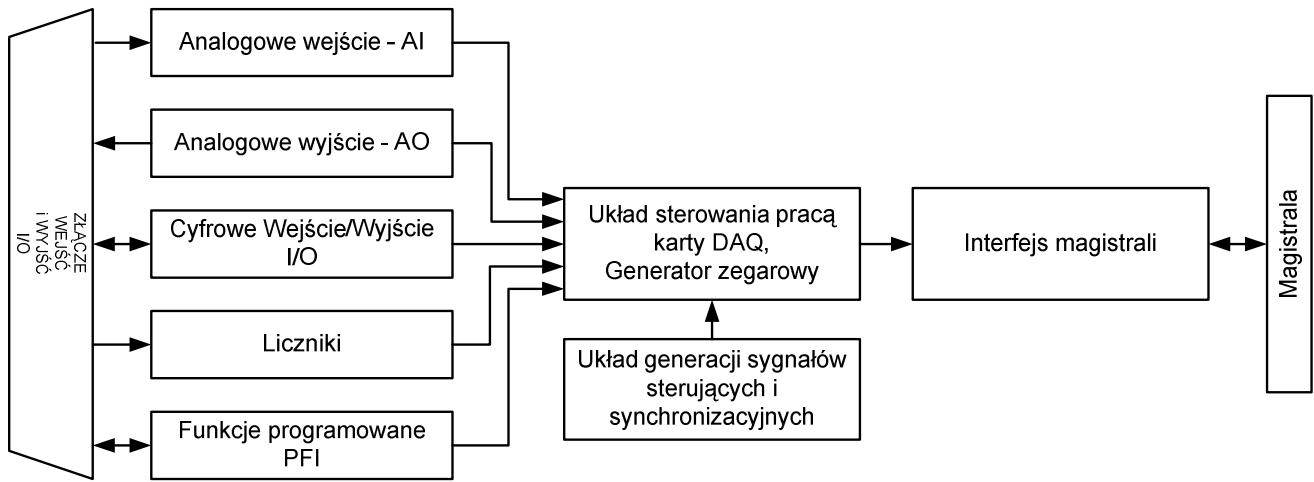
Rysunek 1. Poglądowy schemat typowego systemu do akwizycji danych [14].

Powszechnie stosowanym w systemach pomiarowych elementem jest karta akwizycji danych (DAQ). Na rys. 2 przedstawiono ogólny schemat typowej karty zbierania danych z wyszczególnionymi blokami funkcjonalnymi. Dostępne na rynku modele kart mogą różnić się wyposażeniem i złożonością poszczególnych bloków.

Wśród funkcjonalnych bloków karty akwizycji danych -DAQ wyróżnić należy:

- blok wejść analogowych (AI - *ang. analog input*), którego przeznaczeniem jest rejestracja i przetwarzanie A/C sygnałów o charakterze ciągłym, stałym i zmiennym w czasie,
- blok wyjść analogowych (AO - *ang. analog output*), który może być wykorzystywany jako generator wartości stałych i przebiegów zmiennych okresowych i nieokresowych. W połączeniu z blokiem AI, blok ten może stanowić podstawę układów pomiarowo-sterująco-kontrolnych do monitorowania, testowania czy też doboru parametrów pracy obiektów pomiarowych,
- blok wejść i wyjść cyfrowych (DIO *ang. Digital Input / Output*), który może zostać wykorzystany zarówno do generacji jak i rejestracji sygnałów cyfrowych (statycznych i dynamicznych). Blok ten może również stanowić uzupełnienie dla złożonych układów pomiarowych wykorzystujących blok AI oraz blok AO, realizując sterowanie i odczyt danych z elementów dyskretnych układu pomiarowego,
- blok liczników/czasomierzy ogólnego przeznaczenia, wykorzystywany w układach pomiarowych, do wyznaczania takich wielkości jak np. częstotliwość, okres ale również np. położenie (enkodery kwadraturowe)
- blok linii ogólnego przeznaczenia o programowanych funkcjach (PFI, *ang. Programmable Function Interface*). Linie te mogą zostać wykorzystane do rejestracji/generacji danych cyfrowych o statycznym charakterze, rejestracji/generacji sygnałów synchronizujących dla bloków AI, AO, oraz DIO, a także jako linie sygnałów pomocniczych w układach liczników/czasomierzy.

Prawidłowe funkcjonowanie karty akwizycji danych obejmujące współpracę wymienionych bloków funkcjonalnych, zapewnia układ sterowania pracą karty DAQ z układem generacji sygnałów sterujących i synchronizacyjnych. Blok ten realizuje zadania związane ze sterowaniem i kontrolą działania poszczególnych bloków funkcjonalnych oraz zajmuje się przesyłaniem danych (z wykorzystaniem stosownych bloków funkcjonalnych) do i z układu pomiarowego. Do prawidłowego funkcjonowania karty DAQ wymagany jest jeszcze interfejs, który pozwoli na komunikację z nadrzędnym urządzeniem sterującym - komputerem. Rolę tego bloku może pełnić interfejs magistrali ISA (obecnie stosowany jedynie w starszych generacjach komputerów), PCI, PCI-ex, PXI, PXI-ex czy USB.



Rysunek 2. Schemat ogólny uniwersalnej karty akwizycji danych [14]

2.2 Opis podstawowych właściwości poszczególnych bloków funkcjonalnych kart DAQ

2.2.1 Blok wejść analogowych

Podstawowe parametry wejść analogowych to: liczba kanałów, częstotliwość próbkowania, rozdzielczość i dopuszczalne poziomy sygnałów wejściowych. Liczba kanałów jest inna dla trybu pracy karty dla konfiguracji wejść różnicowych i niesymetrycznych (ze względu na specyfikę konfiguracji wejść dla trybu różnicowego jest dwa razy mniej wejść niż w przypadku trybu niesymetrycznego). Wejścia w trybie niesymetrycznym są wszystkie połączone wspólną masą. Ten tryb pracy jest dedykowany dla sygnałów o wysokich poziomach (powyżej 1V), gdy odległość od sensora do karty przekracza 3 m i wszystkie sensory są podłączone do wspólnej masy. Jeżeli sygnały nie spełniają tych kryteriów, należy użyć różnicowego trybu pracy karty. Każde z wejść różnicowych jest niezależne od pozostałych pod względem masy (potencjału odniesienia). W tym trybie, dzięki własnościom wzmacniacza wejściowego karty zbierania danych (współczynnik tłumienia zakłóceń współbieżnych, ang. *Common Mode Rejection Ratio* - *CMRR*) zakłócenia interferencyjne powstałe w przewodach łączących sensor z kartą zbierania danych ulegają znacznej redukcji.

Częstotliwość próbkowania determinuje maksymalną wartość częstotliwości sygnału który może być poprawnie przekształcony do postaci dyskretnej - cyfrowej. Im większa częstotliwość próbkowania (przetwornika A/C), tym dokładniejsze odwzorowanie w dziedzinie dyskretnej sygnału analogowego. Aby sygnał przetworzony do postaci dyskretnej zachował własności częstotliwościowe postaci pierwotnej, analogowej, z twierdzenia Shannona-Kotelnikowa (twierdzenie to występuje pod licznymi odmianami nazwy, jak na przykład: Whittaker-Nyquist-Kotelnikov-Shannon lub po prostu twierdzenie o próbkowaniu) wynika, że częstotliwość próbkowania musi być przynajmniej dwa razy większa od maksymalnej częstotliwości w widmie sygnału przetwarzanego.

$$f_{max} > \frac{f_{pr}}{2} \quad (1)$$

gdzie:

f_{max} - maksymalna częstotliwość w widmie sygnału przetwarzanego

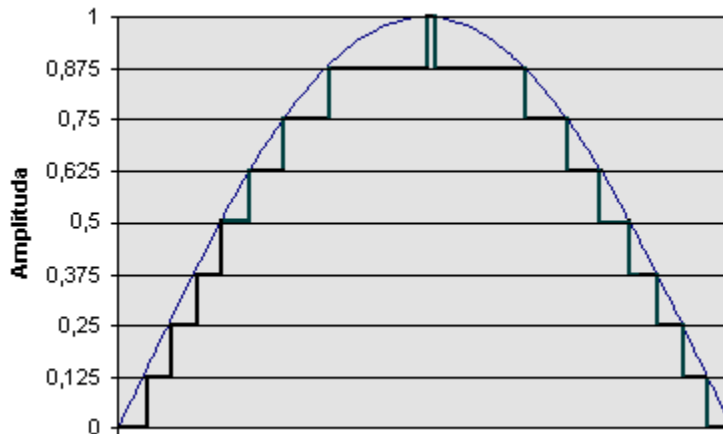
f_{pr} - częstotliwość próbkowania sygnału

Stosując technikę multipleksowania można przy pomocy jednego przetwornika A/C przetwarzać kilka sygnałów jednocześnie. Ponieważ jeden przetwornik obsługuje wiele kanałów, efektywna częstotliwość próbkowania dla kanału zależy od liczby kanałów. Np. gdy częstotliwość próbkowania karty wynosi 1MHz i podłączono do niej 8 sygnałów to teoretyczna, graniczna częstotliwość próbkowania wynosi:

$$f_{max} = \frac{1MHz}{8} = 125 \text{ kHz na kanał} \quad (2)$$

W praktyce dostępna wartość częstotliwości próbkowania jest nieco mniejsza, gdyż uwzględniane są zjawiska przejściowe występujące we wzmacniaczach pomiarowych przy przełączaniu wejść. Zwiększenie liczby kanałów jest możliwe również za pomocą zewnętrznych multiplekserów, dzięki którym liczba dostępnych kanałów może przekroczyć 1000. Należy się jednak liczyć ze znacznym spadkiem efektywnej częstotliwości próbkowania na każdy kanał.

Rozdzielczość karty jest to liczba bitów przetwornika A/C. Im większa rozdzielczość, tym więcej poziomów przyjmuje postać dyskretna sygnału przetwarzanego oraz maleje minimalny poziom napięcia wykrywanego przez kartę czyli przedział kwantyzacji. Na rysunku 3 przedstawiono przykładową reprezentację sinusoidy przy pomocy trzy-bitowego przetwornika A/C.



Rysunek 3. Kwantowanie sygnału analogowego

Obecnie w najpopularniejszych kartach zbierania danych rozdzielczość wynosi 16 (a czasami 12) bitów. Dopuszczalne wartości sygnałów wejściowych to maksymalny poziom napięcia, który karta może przetworzyć. Aby w pełni wykorzystać parametry przetwornika, należy wzmocnić sygnał pomiarowy do poziomu porównywalnego z zakresem przetwarzania karty (tj. wielokrotnie większych od minimalnego napięcia wykrywanego przez kartę, czyli od przedziału kwantyzacji)

Dopuszczalne wartości sygnałów wejściowych, rozdzielczość i wzmacnienie określają minimalną zmianę napięcia wykrywaną przez kartę. Ta wartość jest reprezentowana przez 1 bit (LSB) sygnału cyfrowego. Np. dla karty z 16-bitowym przetwornikiem A/C, dopuszczalne napięcia wejściowe to:

-10 ÷ 10 V, dostępne wzmacnienia: 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, przy czym w najnowszych rozwiązaniach wzmacnienie jest dobierane automatycznie przez oprogramowanie karty, na podstawie zadeklarowanego przedziału napięć podawanych na wejścia karty (niezależnie dla każdego kanału). Przedział kwantyzacji karty pomiarowej oblicza się ze wzoru:

$$f_{max} = \frac{10\text{ V} - (-10\text{ V})}{2^{16}} = 305\ \mu\text{V} \quad (3)$$

Ze względu na specyfikę kalibracji współczesnych kart DAQ powyższa wartość jest nieco (5 %) większa. Inne parametry wejść analogowych to: liniowość przetwornika A/C, dokładność wzmacniacza wejściowego (lub wzmacniaczy). Istotne także jest to, czy jest możliwość niezależnej regulacji wzmacnienia dla każdego kanału wejściowego. Własność powyższa jest powszechnie spotykana we współczesnych kartach pomiarowych.

2.2.2 Blok wyjść analogowych

Wyjścia analogowe są wykorzystywane do generacji sygnałów pobudzających lub sterujących różnorodnymi elementami systemu pomiarowego lub obiektami badanymi. Specyfikacja przetworników C/A decyduje o jakości sygnału analogowego, który jest generowany w danej karcie. Podstawowe parametry wyjść analogowych to: liczba wyjść, czas ustalania się sygnału wyjściowego, szybkość zmian sygnału wyjściowego oraz rozdzielczość.

Liczba wyjść jest z reguły równa liczbie przetworników C/A umieszczonych na karcie akwizycji danych. Czas ustalania się sygnału wyjściowego to czas niezbędny do osiągnięcia przez sygnał wyjściowy, po zmianie, wartości ustalonej. Czas ustalania się sygnału wyjściowego jest zwykle podawany dla zmiany sygnału napięciowego odpowiadającej pełnej skali przetwornika A/C. Jak wynika z tych właściwości przetwornik z krótkim czasem ustalania się sygnału wyjściowego i szybkimi zmianami sygnału wyjściowego może generować sygnały o wysokiej częstotliwości, ponieważ jest potrzebny bardzo krótki czas, aby zmienić wartość napięcia wyjściowego na nową wartość.

Rozdzielczość wyjściowa jest to liczba bitów w kodzie cyfrowym, za pomocą którego generowany jest wyjściowy sygnał analogowy (jest to liczba bitów wyjściowego przetwornika C/A). Im większa liczba bitów tym mniejsza wartość odwzorowywanych zmian napięcia wyjściowego, a tym samym sygnał generowany ma mniej zniekształceń harmonicznnych.

2.2.3 Blok wejść i wyjść cyfrowych

Wejścia i wyjścia cyfrowe w systemach zbierania danych są zwykle używane do kontroli procesów, generacji sygnałów wzorcowych do testowania przyrządów i komunikacji z urządzeniami peryferyjnymi. W każdym przypadku dla wejść i wyjść cyfrowych ważne są parametry: liczba linii cyfrowych oraz częstotliwość, z którą możemy przesyłać sygnały cyfrowe.

Wymagana szybkość przesyłu danych przez linie zależy od budowy systemu (np. w systemach kontrolujących włączanie i wyłączenie grzejników, świateł lub silników nie jest wymagana duża szybkość przepływu danych ponieważ urządzenia te mają długie stałe czasowe).

Potrzebna w systemie liczba wejść i wyjść cyfrowych zależy od liczby przyrządów i urządzeń, którymi chcemy sterować.

Przy budowie systemu należy zwrócić uwagę aby sygnał prądowy potrzebny do włączenia lub wyłączenia urządzenia był mniejszy niż maksymalny dopuszczalny prąd na linii cyfrowej. Pomocne przy rozwiązaniu tego problemu są układy kondycjonowania sygnałów, które przetwarzają sygnał z karty (rzędu kilku woltów i kilku miliamperów) na sygnał potrzebny do wysterowania maszyn (np. sygnał rzędu 100V i 2A).

Ponieważ urządzenia peryferyjne przeważnie transferują dane jedno-bajtowe, linie cyfrowe w kartach zbierania danych są uporządkowane w ośmio-liniowe grupy (porty). Niektóre karty mają dodatkowe linie do synchronizacji komunikacji z urządzeniami peryferyjnymi.

2.2.4 Blok liczników/czasomierzy ogólnego przeznaczenia

Linie liczników/czasomierzy są użyteczne w różnych typach systemów akwizycji danych zliczających częstość występowania zdarzeń cyfrowych, mierzących częstotliwość, okres, czasy trwania impulsów i generujących sygnały prostokątne i impulsowe.

Podstawowymi parametrami specyfikującymi układy licznikowe są: rozdzielczość i częstotliwość zegara. Rozdzielczość jest określona przez długość wewnętrznych rejestrów zliczających i wyrażana w bitach (np. licznik 8 lub 16-bitowy). Częstotliwość zegara określa jak szybko może się zwiększyć lub zmniejszyć najmłodszy bit licznika. Im większa częstotliwość zegara, tym wyższe częstotliwości sygnałów może wykrywać układ i generować na wyjściu sygnały prostokątne o wyższej częstotliwości.

3 Harmonogram ćwiczenia

1. konfiguracja karty zbierania danych w komputerowym systemie pomiarowym,
2. akwizycja danych w trybach jedno i wielokanałowym z wyzwaniem automatycznym i ręcznym, akwizycja jednokrotna i ciągła,
3. praca w konfiguracji różnicowej i niesymetrycznej wzmacniacza wejściowego karty DAQ,
4. demonstracja zjawiska „ziarnistości” wartości dostępnych częstotliwości próbkowania,
5. demonstracja konsekwencji rejestracji sygnałów przy źle dobranym wzmocnieniu karty (zbyt małe i zbyt duże) i w warunkach niespełnionego twierdzenia o próbkowaniu,
6. demonstracja konsekwencji wykorzystania karty wielokanałowej z pojedynczym przetwornikiem (pojęcia: częstotliwość konwersji: convert rate, częstotliwość próbkowania: sampling rate, tryb „round-robin”, moduły próbkująco-pamiętające: sample&hold),
7. wykorzystanie karty DAQ jako generatora sygnałów,
8. wykorzystanie portów cyfrowych karty DAQ (rejestracja i generacja przebiegów cyfrowych)
9. ocena jakościowa zbieranych i generowanych sygnałów.

4 Literatura

- [1] “*Measurement Studio User Manual*”, National Instruments Corporation,
- [2] “*LabWindows/CVI User Manual*”, National Instruments Corporation,
- [3] “*LabVIEW User Manual*”, National Instruments Corporation,
- [4] “*Traditional NI-DAQ (Legacy) User Manual*”, National Instruments Corporation,
- [5] “*Data Acquisition NI-DAQmx Help*”, National Instruments Corporation,
- [6] Nawrocki W., „*Rozproszone systemy pomiarowe*”, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Wydanie I, Warszawa 2006,
- [7] Rak R.J., „*Wirtualny przyrząd pomiarowy - realne narzędzie współczesnej metrologii*”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003,
- [8] Świstulski D., „*Komputerowa technika pomiarowa. Oprogramowanie wirtualnych przyrządów pomiarowych w LabVIEW*”, Agenda wydawnicza Pomiar Automatyka Kontrola, Warszawa 2005,
- [9] Winiecki W., „*Organizacja komputerowych systemów pomiarowych*”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1997,
- [10] Winiecki W., Stanik S., Nowak J., „*Graficzne, zintegrowane środowiska programowe do projektowania komputerowych systemów pomiarowo-kontrolnych*”, Wydawnictwo MIKOM Warszawa 2001,
- [11] Lyons R.G., „*Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów*”, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Wydanie II rozszerzone, Warszawa 2010,
- [12] Stabrowski M., „*Miernictwo elektryczne. Cyfrowa technika pomiarowa*”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999,
- [13] Zieliński T. P., „*Cyfrowe przetwarzanie sygnałów - Od teorii do zastosowań*”, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Wydanie I, Warszawa 2005,
- [14] “*DAQ M Series User Manual*”, National Instruments Corporation,