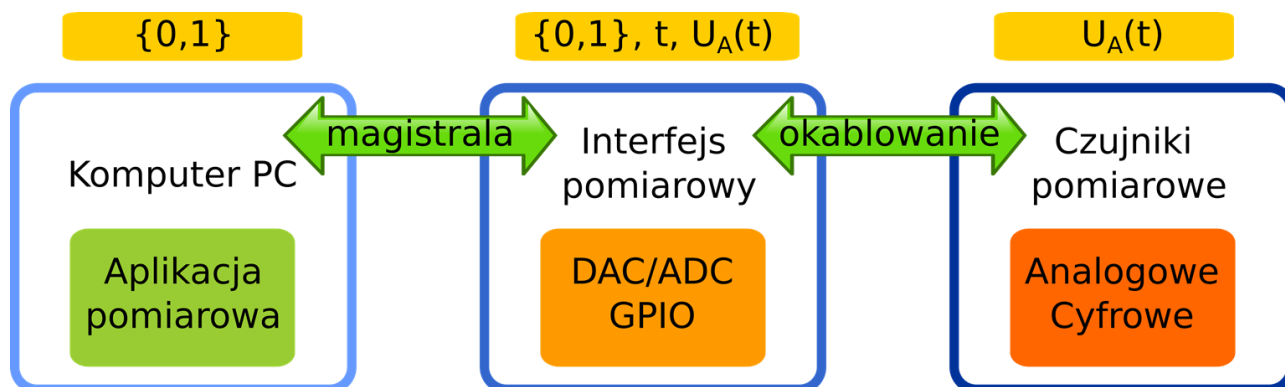


Podstawy pomiarów z wykorzystaniem systemów komputerowych (cyfrowych).

Wykorzystanie komputera w pomiarach nie jest rzeczą nową. Możliwość użycia go jako narzędzia do rejestracji danych, ich wizualizacji i przechowywania wydaje się być wręcz naturalna. Zrozumienie prezentowanego poniżej modelu pracy z tym „superprzyrządem” w pracowni fizycznej (przyrodniczej) ma pokazać mechanizmy wykorzystywane zarówno w projektowaniu pomiaru (układu pomiarowego) jak i analizie uzyskanych wyników.

Komputerowy system pomiarowy



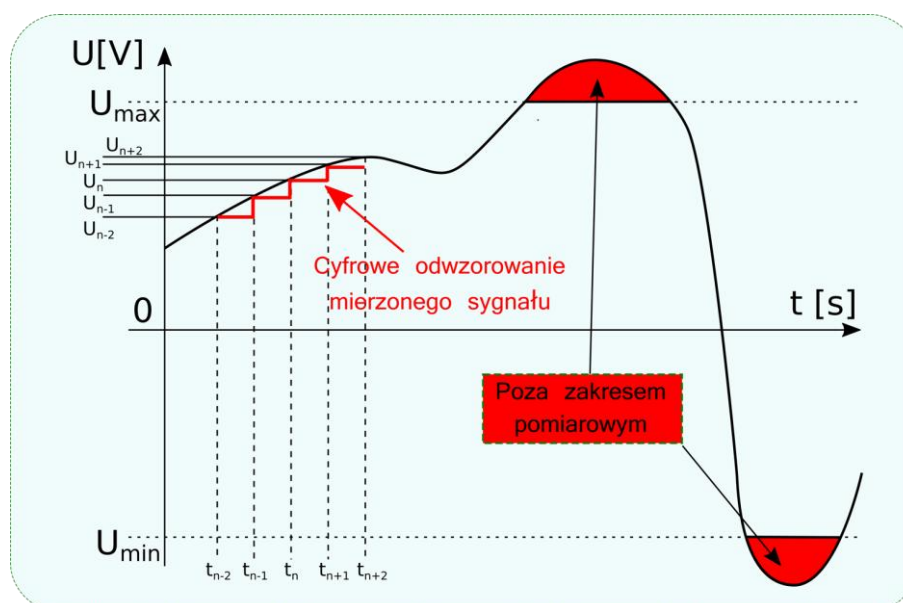
Należy wyróżnić trzy główne elementy komputerowego systemu pomiarowego:

- **Komputer PC** wyposażony w odpowiednią aplikację pomiarową. Zazwyczaj jest to komputer typu desktop lub laptop jednak coraz częściej zaczynają odgrywać rolę komputery jedno-płytkowe (np. Raspberry Pi). Niezależnie od komputera musi być on wyposażony w odpowiednią aplikację umożliwiającą wykonanie pomiaru poprzez sterowanie interfejsem pomiarowym, składowanie danych w plikach, ich wizualizację w postaci wykresów i w końcowej fazie ich analizę, np. opracowanie zebranych danych poprzez dopasowywanie zebranych zależnościami teoretycznym jak linia prosta, parabola itp. Oprogramowanie używane w czasie warsztatów to Coach 6, jednak może to być program pisany samodzielnie. W tym elemencie systemu pomiarowego postać informacji jest całkowicie binarna $\{0,1\}$.
- **Interfejs pomiarowy** - urządzenie połączone z komputerem magistralą komunikacyjną, dziś zazwyczaj portem USB jednak w systemach kart pomiarowych jest to magistrala PCI(x) spotykana na płytach głównych. Interfejs pomiarowy potrafi z jednej strony rozumieć cyfrową postać informacji ze strony komputera $\{0,1\}$, a z drugiej strony analogową postać sygnałów płynących z czujników pomiarowych $U(t)$. Zamiana postaci analogowej sygnału na postać cyfrową to rola przetwornika analogowo-cyfrowego ADC (*ang. Analog-to-Digital Converter*). Innym bardzo ważnym elementem budowy tych urządzeń to wzorce czasu które w sposób niezależny od komputera PC potrafią określić dokładnie czas „t” wykonania pomiaru. Urządzenia te (interfejsy) mają też możliwość sterowania napięciem z poziomu komputera poprzez przetworniki cyfrowo-analogowe DAC (*ang. Digital-to-Analog Converter*) oraz wykonywania sterowań/odczytów sygnałów dyskretnych (poziom niski, poziom wysoki) z wykorzystaniem układów ogólnego zastosowania wejścia/wyjścia GPIO (*ang. General Purpose Input/Output*). Na naszych warsztatach używany jest interfejs pomiarowy CoachLab II+.
- **Czujniki pomiarowe (sensory)**. Wyposażając system komputerowy w czujniki pomiarowe dajemy mu swego rodzaju zmysły (*ang. sense*) umożliwiające wychwytywanie sygnałów z otaczającego go świata. Urządzenia te zamieniają wielkości fizyczne takie jak zmiany

ciśnienia powietrza (słuch), natężenie światła (wzrok), siła (dotyk), temperatura, położenie, itp. na sygnał napięciowy $U(t)$. Czujniki podłączone są do interfejsu pomiarowego przewodami zapewniającymi zasilanie: 5V (V_{cc}) z masą (GND) oraz przesłanie sygnału mierzonego do wejścia przetwornika ADC (*ang. Input*). Część czujników posiada dodatkowe układy cyfrowe, zapewniające ich identyfikację przez interfejs pomiarowy dzięki czemu możliwe jest automatyczne przypisanie typu czujnika i kalibracji. Należy pamiętać o ograniczeniach czujników w postaci ich zakresu pomiarowego. Zazwyczaj po przekroczeniu dopuszczalnych zakresów przez wejściową wielkość fizyczną urządzenia te „zatykają się” wskazując ciągle maksymalną wartość lub w inny sposób fałszują mierzoną wielkość. Przekroczenie zakresów pomiarowych w przypadku niektórych czujników może być dla nich niszczące.

Przetwarzanie sygnału analogowego (Kwantyzacja)

Poznanie mechanizmu przetwarzania sygnału analogowego na postać cyfrową pozwala przede wszystkim zrozumieć jak określić dokładność odwzorowania mierzonego sygnału, jaki wpływ ma dyskretny charakter przetwarzania na rozdzielczość czasową oraz jakie ograniczenia płyną z wykorzystania cyfrowych systemów rejestrujących. Należy nadmienić że proces cyfryzacji/kwantyzacji nieodwracalnie gubi część informacji sygnału z czujnika $U(t)$.

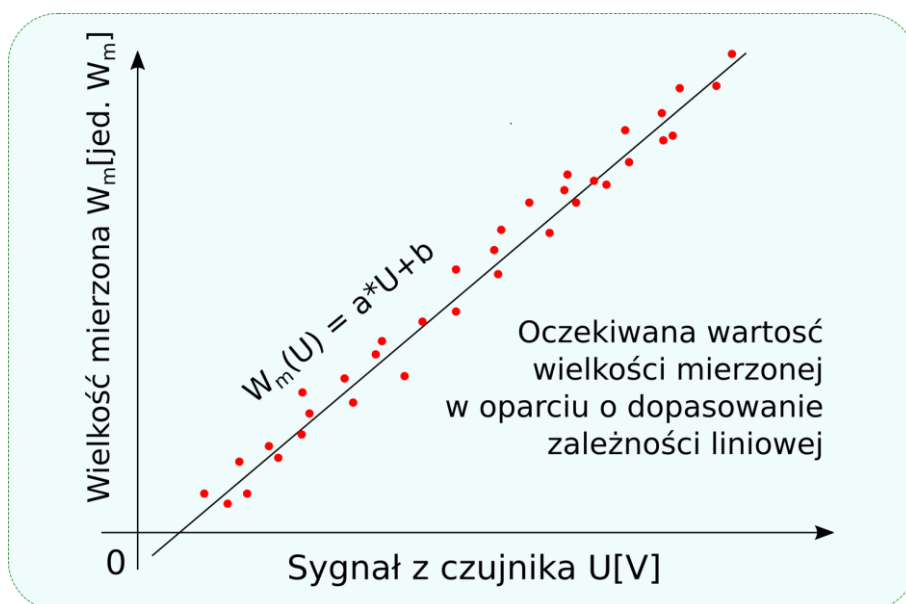


- **Częstotliwość próbkowania** (przetwarzania). Wykonanie każdego rozkazu procesora trwa określoną liczbę taktów (cykli) zegara taktującego jego pracę. Podobnie jest z interfejsami pomiarowymi. Wynika stąd że potrzebny jest skończony czas na dokonanie pojedynczej konwersji sygnału analogowego na postać cyfrową. O ile czas (okres) między dwoma pomiarami jest równy T , to częściej spotykamy się z pojęciem częstotliwości próbkowania $f_s = 1/T$ [Hz] (*ang. sampling rate lub sampling frequency*). Odpowiednie dobranie tego parametru pozwala nam na uchwycenie dynamiki zmian obserwowanego zjawiska. Zbyt mała jego wartość pociąga za sobą słabe odwzorowanie lub wręcz błędy. Zbyt duża – nadmiarową ilość danych. Używane interfejsy CoachLab są wyposażone w przetworniki ADC z maksymalną częstotliwością próbkowania 50KHz. Tym samym daje to możliwość rozdzielczości czasowej rzędu setnych części milisekundy (10^{-5} s).
- **Głębokość przetwarzania** (*ang. bit depth*). Jest to wielkość powiązana z wykonaniem przetwornika i oznacza w ilu bitach zapisany jest wynik konwersji ADC, i analogicznie ile bitów potrzeba by opisać analogowy stan wyjściowy przetwornika DAC. Przyjmując, że N

jest liczbą bitów przetwornika, to może on w stanie zakres wejściowy (U_{min}, U_{max}) podzielić na 2^N stanów (poziomów kwantowania). W taki sposób możemy określić czułość/krok kwantowania lub inaczej rozdzielczość/dokładność napięciową jako $Q = (U_{max} - U_{min})/2^N$. Dla przykładu w używanym na warsztatach interfejsie CoachLabII mamy zakres pomiarowy +/-10V i 12-sto bitowy przetwornik (4096 stanów) co daje $Q = 20/4096 \approx 0.005[V]$. Wartość ta odzwierciedla dokładność pomiaru napięcia bez uwzględnienia szumu/dokładności czujnika.

- **Przesterowanie wejścia pomiarowego.** Sytuacja w której sygnał płynący z czujnika pomiarowego przekracza zakres wejściowy przetwornika ADC. Urządzenie działa wtedy gubiąc informację o właściwym charakterze mierzonych wielkości. Sytuacja taka jest zbliżona do sytuacji przekroczenia zakresu pomiarowego czujnika.

Kalibracja czujnika



Pojęcie kalibracji pozwala zrozumieć jak, w świetle rejestracji sygnału elektrycznego pochodzącego z czujników (elektrycznych), użytkownik oprogramowania pomiarowego odczytuje wielkości mierzone W_m w jednostkach właściwych dla danej wielkości, np. siłę w niutonach. Tak więc przyjmując, że między wielkością mierzoną a sygnałem z czujnika U jest zależność, np. w postaci funkcji liniowej, wykonuje się serie pomiarów napięcia U dla znanych wartości wielkości mierzonej, a następnie odnajduje parametry założonej funkcji (dla funkcji liniowej: a - współczynnik kierunkowy, b - przesunięcia punktu „0”). Samodzielnie wykonane czujniki można więc skalibrować w obecności znanych wzorców danej wielkości i używać na przykład siłomierza jako wagi. Należy jednak zawsze mieć na uwadze że tak pojęta kalibracja jest możliwa dzięki obliczeniom w odpowiedniej aplikacji pracującej w komputerze PC (rzadziej w interfejsie pomiarowym). Oryginalne czujniki pomiarowe używane z zestawem CoachLab po ich automatycznym wykryciu lub wybraniu z gotowych wcześniej zdefiniowanych pozycji mają przypisaną wcześniej kalibrację.