

4. Materiał nauczania

4.1. Symulacja komputerowa

4.1.1 Materiał nauczania

Program EElectronics Workbench 4.0 d jest profesjonalnym narzędziem pozwalającym w prosty sposób badać zachowanie się zbudowanego układu elektronicznego. Układy mogą być analogowe lub cyfrowe; do dyspozycji mamy także szereg mierników i wskaźników wizualnych. Nie jest to jedyny dostępny program tego typu. Oprócz niego spotkać można jeszcze inne aplikacje o podobnym przeznaczeniu. Przykładem może być PC SPICE, PCB czy też Digital Works. Swoją łatwością i intuicyjnością obsługi program EElectronics Workbench zdaje się jednak przewyższać wspomniane aplikacje, dlatego też warto przyrzeć mu się z większą uwagą.

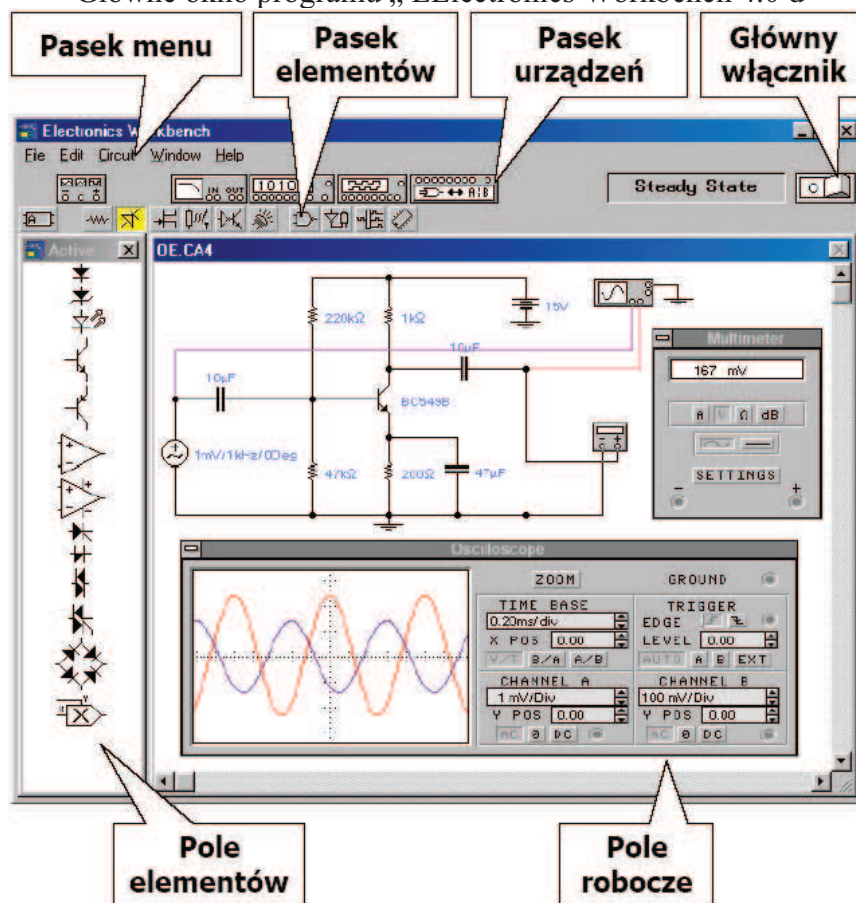
Aby móc korzystać z programu należy go najpierw zainstalować. Procedura ta dla systemu Windows ma przebieg standardowy. W pierwszej kolejności przechodzimy w używanym eksploratorze dysku do katalogu, gdzie znajduje się wersja instalacyjna programu, odszukujemy plik **Setup.exe** i uruchamiamy go. Program instalacyjny zapyta się o katalog docelowy, do którego mają zostać przekopiowane pliki programu Workbench (standardowo C:\WEWB4); później – po skopiowaniu plików zostaniemy poproszeni o wpisanie nazwy grupy, z której mają być dostępne skróty w menu **Start** do programu (standardowo **EElectronic Workbench 4.0**). Po zakończeniu instalacji możemy uruchomić program z menu **Start**.

Program najprościej odinstalować poprzez skrót o nazwie **Uninstall** znajdujący się w tej samej grupie menu **Start**, co skrót do samego programu.

Okno programu składa się zasadniczo z 5 części w skład, których wchodzi:

- pasek menu, zawierający w pięciu kategoriach tematycznych wszystkie opcje i funkcje programu,
- pasek urządzeń - znajdują się tu wskaźniki wizualne i generator przebiegów,
- pasek elementów - stąd mamy dostęp do konkretnych elementów elektronicznych i elektrycznych ujętych w 10 kategorii,
- pole z konkretnymi elementami elektronicznymi, do których mamy dostęp po wybraniu jednej z dziesięciu kategorii na pasku elementów.
- pole robocze, zajmujące największą część okna programu - to właśnie tutaj można budować konkretne układy elektroniczne.

Główne okno programu „EElectronics Workbench 4.0 d



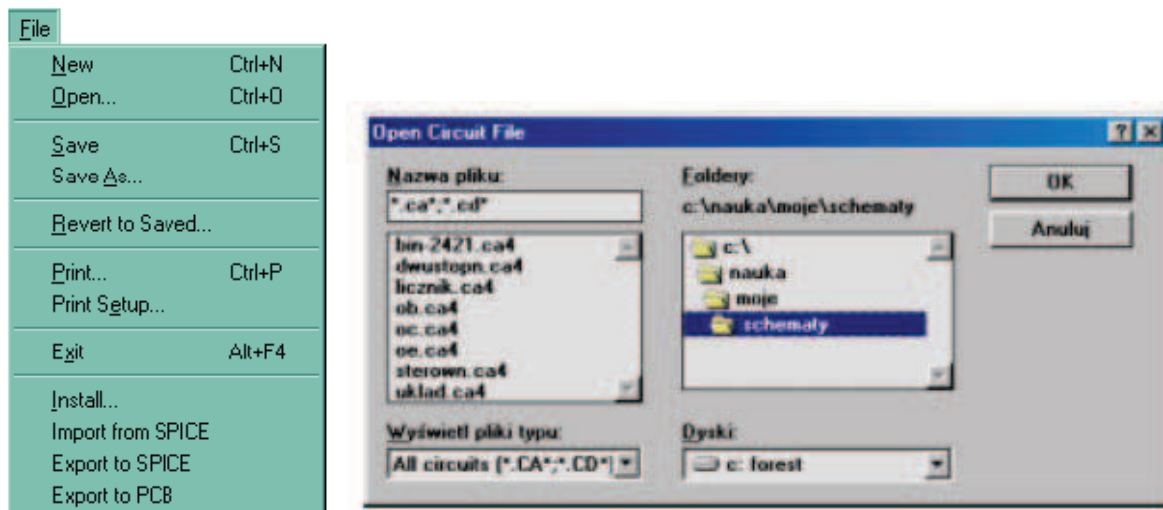
Rys. 1. Opis paska Menu [9]

1. Polecenie File

New – pozwala na stworzenie całkiem nowego szablonu pracy (nowe puste pole robocze). Jeżeli aktualnie pracowaliśmy nad jakimś układem i dotychczas nie był on zachowywany, to pojawi się stosowny komunikat ostrzegający o tym. Jest to pewnego rodzaju zabezpieczenie przed przypadkową utratą dotychczas wykonanej pracy,

Open – daje możliwość otwarcia i edycji już istniejącego dokumentu (układu). Po wybraniu tej opcji pojawia się okno pokazane poniżej. Podobnie jak przy poleceniu,

New - jeżeli nie zachowywaliśmy dotychczasowej pracy, to pojawi się odpowiedni komunikat,



Rys. 2. Otwarte okno File (z lewej), okno pojawiające się po wybraniu polecenia Open (z prawej) [9]

Save – wybierając to polecenie aktualizujemy aktualnie otwarty szablon. Za każdym razem, gdy wybieramy tą opcję program wyświetla pytanie czy na pewno chcemy zastąpić stary układ nowszą jego wersją,

Save as... – pozwala na zapisanie aktualnie otwartego układu na dysku pod nową nazwą (standardową jest **Untitled.ca4**). Okno pojawiające się po wybraniu tej opcji jest niemal identyczne jak to, które pojawia się po wybraniu opcji **Open**,

Revert to Saved... – daje możliwość przywrócenia ostatnio zapisanej wersji szablonu. Opcję tę stosujemy wtedy, gdy uznamy, że wprowadzone przez nas zmiany w jakimś otwartym układzie są złe. Jako zabezpieczenie przed przypadkową utratą dotychczasowej pracy program wyświetla przedstawiony obok komunikat informujący, że wszystkie dokonane zmiany będą utracone.

Print – po wybraniu tej opcji wyświetlane jest przedstawione obok okno, w którym możemy zdefiniować, które elementy pola roboczego chcemy wydrukować,

Print Setup – powoduje wyświetlenie zaawansowanych opcji drukowania. Wyświetlane okno nie jest już oknem programu, lecz oknem systemowym (Windows`owym).

Exit – pozwala na opuszczenie programu. Jeżeli nie zachowano ostatnio zmodyfikowanego układu, to wyświetlony zostanie stosowny komunikat,

Install... – daje możliwość doinstalowania wybranych komponentów programu i uaktualnień.

Import from SPICE – pozwala otworzyć szablon z układem wykonanym w konkurencyjnym programie PC SPICE,

Export to SPICE – powoduje zapisanie aktualnie otwartego dokumentu w formacie obsługiwanym przez program PC SPICE,

Export to PCB – powoduje zapisanie aktualnie otwartego dokumentu w formacie obsługiwanym przez program PCB.

2. Polecenie Edit

Cut – wycina zaznaczony fragment układu,

Copy – kopiuje zaznaczony fragment układu,

Paste – wkleja zaznaczony fragment układu,

Delete – usuwa zaznaczony fragment układu,

Select All – powoduje zaznaczenie całego układu,

Copybits – daje możliwość skopiowania zaznaczonego fragmentu układu i wklejenia go do innego dokumentu w postaci rysunku,

Show Clipboard – pokazuje zawartość schowka.

3. Polecenie Circuit

Activate – powoduje, iż w utworzonym obwodzie zaczyna płynąć wyimaginowany prąd,

Stop – polecenie odwrotne do **Activate**,

Pause – oznacza chwilowe wstrzymanie przepływu prądu,

Label – przypisuje zaznaczonemu elementowi dowolnie zdefiniowaną etykietę,

Value – pozwala zmienić wartość i (lub) parametry wybranego elementu,

Model – daje możliwość zmiany jakiegoś elementu na inny tego samego typu (na przykład tranzystor 2N2218 na 2N2222A). Dokładniejsze informacje o dostępnych w programie modelach elementów znajdują się w części poświęconej bibliotekom elementów,

Zoom – po zaznaczeniu wskaźnika wizualnego i wybraniu tej opcji otwiera okno tegoż wskaźnika (na przykład po zaznaczeniu oscyloskopu – okno przebiegów w tym oscyloskopie),

Rotate – pozwala obrócić element o kąt prosty,

Fault... – opcje dotyczące symulacji uszkodzenia się elementu,

Subcircuit... – zastępuje wybraną część obwodu „czarną skrzynką” z wyprowadzeniami wewnętrznego obwodu. Ukryty w „czarnej skrzynce” obwód można bezproblemowo modyfikować. Wystarczy dwukrotnie kliknąć na wybranej „czarnej skrzynce”,

Wire Color... – pozwala zmienić kolor przewodu (również po dwukrotnym jego kliknięciu). Opcja jest bardzo przydatna na przykład podczas analizowania jednocześnie dwóch podobnych przebiegów w oscyloskopie (równolegle z kolorami przewodów zmieniają się kolory przebiegów). Okno pojawiające po wybraniu tej opcji znajduje się obok,

Preferences... – wyświetla opcje wyświetlania. Pokazane obok menu umożliwi włączyć kolejno: wyświetlanie linii siatki, przeciąganie do nich, pokazywanie etykiet, modelu i wartości danego elementu,

Analysis Options – opcje analizera, możliwe jest ustawienie: typu analizy, założenia o liniowości analizowanych przebiegów, sposobu wyświetlania przebiegów przez oscyloskop, tolerancji analizera, wielkości tymczasowego pliku zawierającego obliczenia własne programu.

4. Polecenie Window

Arrange – powoduje przesunięcie wszystkich okien programu do standardowych położeń,

Circuit – przekłada pole robocze na pierwszy plan,

Description – umożliwia opisanie układu w specjalnym polu edycyjnym. Dalsze polecenia powodują uaktywnienie wybranej grupy elementów lewej strony okna programu (można to zrobić również korzystając z paska elementów),

Custom – w tej grupie znajdują się często używane i zdefiniowane przez użytkownika elementy. Standardowo okno to nie zawiera żadnych elementów. Aby jakiś dodać, na przykład rezystor, należy najpierw przejść do grupy elementów **Passive**, odszukać rezystor, przeciągnąć go na pole robocze, później uaktywnić grupę **Custom** i przeciągnąć rezystor z pola roboczego do tej grupy.

Poniżej znajdują się szczegółowe opisy dostępnych w programie elementów. W nawiasach za nazwą elementu wypisano te pojęcia wartości, które można zmieniać. Dokonać tego można klikając podwójnie na wybrany element i konfigurując znajdującą się tam wartość domyślną.

Passive – elementy bierne. Wśród nich znaleźć można: węzły, źródła napięć, rezystory, kondensatory, cewki itp.

Active – elementy aktywne np. diody, tranzystory, wzmacniacze operacyjne; wszystkie elementy z tej grupy posiadają zaawansowane parametry, które można zmieniać; okno właściwości otwiera podwójne kliknięcie na danym elemencie.

Field Effect Transistors – elementy FET- tranzystory unipolarne.

Control – w tej kategorii znajdują się różnego rodzaju przełączniki i przekaźniki.

Hybrid – elementy analogowo – cyfrowe np. przetworniki A/C i C/A, multiwibratory.

Indicators – różnego rodzaju wskaźniki i mierniki; przydatne przy analizowaniu układów.

Gates – elementy cyfrowe – bramki logiczne.

Combinational – układy kombinacyjne np. sumatory, multipleksery i demultipleksery

Sequential – układy sekwencyjne.

Opis narzędzi dostępnych z paska urządzeń:



Rys. 3. Wygląd paska urządzeń [9]

1. Multimeter

Za pomocą multimetru można mierzyć wartości prądu i napięcia stałego jak i zmiennego, opór elektryczny oraz decybele. Pod przyciskiem **SETTINGS** kryją się zaawansowane właściwości tego urządzenia. Po dwukrotnym kliknięciu symbolu miernika pojawi się okno widoczne z prawej strony. Własności tego urządzenia można dodatkowo zmieniać w kolejnym oknie, które kryje, jak już wspomniano, się pod przyciskiem **SETTINGS**.

Ustawić tu można: rezystancję amperomierza, rezystancję woltomierza, prąd omomierza i standard decybeli. Jak instruuje pomoc programu, nie należy ustawiać zbyt dużej rezystancji woltomierza w obwodach o małej rezystancji i bardzo małej rezystancji amperomierza w obwodach o dużej rezystancji gdyż może to spowodować pojawienie się komunikatu o błędzie. W oknie jednostek rezystancji prądu i napięcia dostrzec można literę **a** zamiast Ω . Błąd ten występuje we wszystkich oknach dialogowych, w których ustawia się wartość rezystancji. Na schemacie na szczęście widnieje jednak prawidłowy już symbol jednostki Ω .

2. Function Generator

Po dwukrotnym kliknięciu symbolu generatora pojawi się okno widoczne z prawej strony. Urządzenie to potrafi generować trzy rodzaje przebiegów: sinusoidalne, piłokształtne i prostokątne. Dodatkowo można ustawić:

Frequency – częstotliwość,

Duty cycle – współczynnik wypełnienia,

Amplitude – amplituda przebiegu,

Offset - przesunięcie fazowe.

Generator umożliwia zasilanie symetryczne.

3. Oscilloscope

Do oscyloskopu można podłączyć jednocześnie dwa tory sygnałów. Do parametrów, które można regulować należą:

Time base – podstawa czasu, którą można regulować w zakresie: 0,10 ns/podziałkę – 1 s/podziałkę,

X Pos – parametr umożliwia przesunięcie całego przebiegu w poziomie,

Y/T, B/A, A/B – Przełączniki umożliwiają wybranie trybu wyświetlania przebiegów.

Pierwszy z nich **Y/T** określa, że na osi **X** mamy czas a na **B** – wartość przebiegu w voltach na działkę.

Drugi – **B/A** umożliwia porównanie przebiegu **B** względem **A**. Oś **X** reprezentuje **A** (w voltach na działkę) a oś **Y** reprezentuje **B** (w takich samych jednostkach),

Trzeci – **A/B** odpowiada dokładnie drugiemu przełącznikowi z tym, że to przebieg **A** jest porównywany względem **B**.

CHANNEL A – określa liczbę voltów sygnału podawanego na kanał **A** przypadającą na działkę,

Y POS – parametr umożliwia dodanie do sygnału podawanego na kanał **A** składowej stałej (dodatniej lub ujemnej),

Parametr CHANNEL B ma takie samo znaczenie jak **CHANNEL A**, tyle że w odniesieniu do drugiego toru sygnału wejściowego.

W polach określających parametry sygnałów wejściowych znajdują się ponadto trzy przyciski – przełączniki, których znaczenie jest następujące:

AC – pokazuje tylko składową zmienną przebiegu wejściowego,

0 – pokazuje tylko składową stałą dołączoną do przebiegu parametrem **Y POS**,

DC – pokazuje cały przebieg wejściowy (składowa stała i zmienna).

4. Bode Ploter(Wobuloskop)

Ważną rzeczą jest odpowiednie podłączenie urządzenia do układu. Otóż zaciski oznaczone jako **IN** należy przyłączyć do wejścia układu, zaś te oznaczone jako **OUT** – do wyjścia. Po dwukrotnym kliknięciu na ikonie elementu ukaże się następujące okno:

Dostępny w programie wobuloskop umożliwia badanie wzmocnienia napięciowego i przesunięcia fazowego (przebiegu wyjściowego w stosunku do wejściowego) w zależności od częstotliwości.

Aby móc badać wzmocnienie należy kliknąć na przycisku **MAGNITUDE**, aby badać przesunięcie fazowe – **PHAZE**.

W obu przypadkach mamy możliwość konfiguracji osi pionowej (**VERTICAL**) oraz poziomej (**HORIZONTAL**).

Jeżeli aktualnie badamy wzmocnienie, to na osi pionowej ustawiamy maksymalną **F** i minimalną **I** wartość wzmocnienia, jaką chcemy obserwować. Jeżeli zaś badamy przesunięcie fazowe, to na osi pionowej ustawiamy maksymalną **F** i minimalną **I** wartość przesunięcia w stopniach, jaką chcemy obserwować. W obu przypadkach na osi poziomej ustawiamy krańcowe częstotliwości pracy wobuloskopu (maksymalną **F** i minimalną **D**). W obu przypadkach mamy też możliwość wybrania odpowiedniej skali (logarytmicznej lub liniowej). Wobuloskop ten zawiera przydatny pionowy suwak, którego współrzędne punktu przecięcia się z wykresem są wyświetlane w oknie położonym w prawym dolnym rogu urządzenia. Dwa przyciski ze strzałkami pozwalają na dokładne ustawienie położenia suwaka.

Podobnie jak w przypadku oscyloskopu otrzymane wyniki można zapisać do pliku tekstowego za pomocą przycisku **SAVE**.

5. Word Generator

Urządzenie to jest generatorem słów binarnych definiowanych przez użytkownika. Możliwe jest zdefiniowanie szesnastu słów, które będą się pojawiać na wyjściach generatora w kolejności od zera do piętnastu. Edycji słów dokonuje się w oknie znajdującym się po lewej stronie tak jak w zwykłym edytorze tekstu. Dla ułatwienia w dolnej części okna znajduje się aktualny stan wyjść oraz szesnastkowa liczba będąca odpowiednikiem tego słowa binarnego. Po podwójnym kliknięciu na ikonie generatora pojawi się okno zamieszczone poniżej. Urządzenie to posiada wiele dodatkowych opcji, których znaczenie jest następujące:

CLEAR – resetuje wszystkie wpisane słowa do wartości 0,

LOAD – opcja pozwala na załadowanie tablicy słów zapisanych wcześniej,

SAVE – pozwala na zapisanie aktualnej tablicy słów,

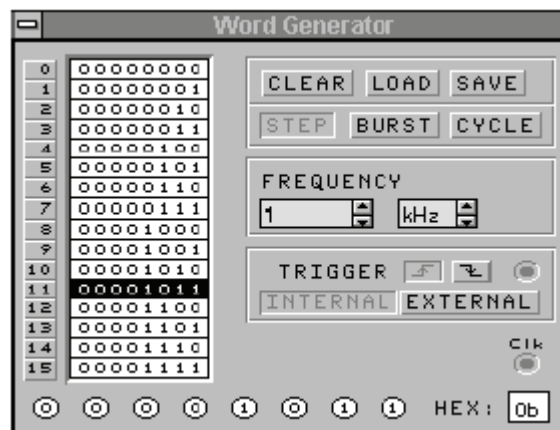
STEP – każde naciśnięcie tego przycisku powoduje podanie na wyjście kolejnego jednego słowa binarnego,

BURST – naciśnięcie tego przycisku powoduje wykonanie jednego cyklu oddawania na wyjście wszystkich zdefiniowanych słów po kolei począwszy od aktualnego podświetlenia,

CYCLE – naciśnięcie tego przycisku spowoduje, że generator będzie ciągle podawał na wejście zdefiniowane słowa po kolei,

FREQUENCY – parametr daje możliwość zdefiniowania częstotliwości zmian słów binarnych na wyjściu,

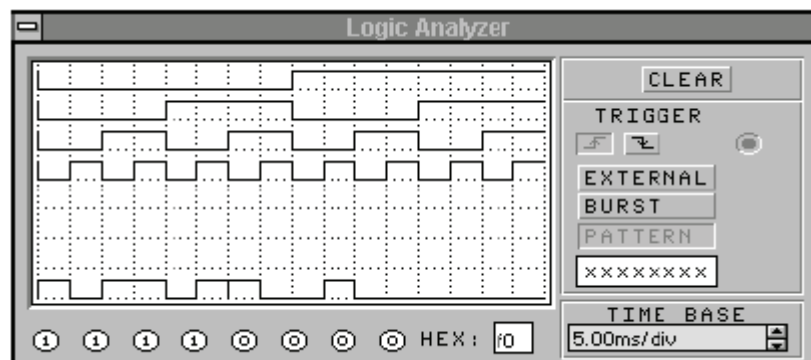
CLK – zegar taktujący wykorzystywany przy układach sekwencyjnych.



Rys. 4. Okno pojawiające się po podwójnym kliknięciu na ikonie generatora [9]

6. Logic Analyzer

Urządzenie służy do analizowania przebiegów cyfrowych (maksymalnie 8-bitowych słów). Wygląd okna po podwójnym kliknięciu na ikonie urządzenia przedstawia poniższy rysunek.



Rys. 5. Okno pojawiające się po podwójnym kliknięciu na ikonie Logic Analyzer [9]

Dla ułatwienia w dolnej części okna znajduje się aktualny stan wejść oraz szesnastkowa liczba będąca odpowiednikiem tego słowa binarnego.

CLEAR – przycisk służy do czyszczenia aktualnie znajdujących się w oknie przebiegów (reset okna).

TIME BASE – parametr ten to podstawa czasu.

7. Logic Converter (Analizator cyfrowy)

Urządzenie służy do tworzenia kilku transformacji funkcji układu. Można go użyć do konwersji:

- układu na tablicę prawdy lub diagram układu,
- tablicy prawdy na wyrażenie w algebrze Boolea,
- wyrażenia w algebrze Boolea na układ lub tablicę prawdy.

4.1.2 Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. W jakim celu stosuje się symulację komputerową?
2. Jaki program umożliwia symulację komputerową?
3. Jakiego typu elementy są w nim dostępne?
4. Jakie są dostępne narzędzia w programie?
5. Jak posługiwać się programem w celu utworzenia symulacji?

4.1.3 Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

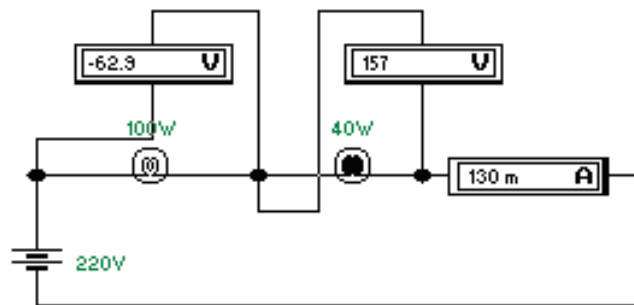
Obwód szeregowy prądu stałego

Dwie żarówki o różnych mocach znamionowych i jednakowych napięciach znamionowych równych 220 V połączono szeregowo na napięcie zasilające 220 V. Która z żarówek świeci jaśniej?

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) dokonać obliczeń korzystając z poznanych praw elektrotechniki.
- 2) połączyć obwód elektryczny wg schematu



Schemat układu pomiarowego do ćwiczenia nr 1

- 3) sprawdzić wskazania przyrządów pomiarowych i porównać z wynikami obliczeń,
- 4) zmienić parametry żarówek w taki sposób, aby jedna z nich uległa przepaleniu.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- stanowisko komputerowe z oprogramowaniem np. ElectronicWorkbench 4.0,
- drukarka komputerowa do wykonania wydruków charakterystyk oraz schematów,
- zeszyt przedmiotowy ucznia.

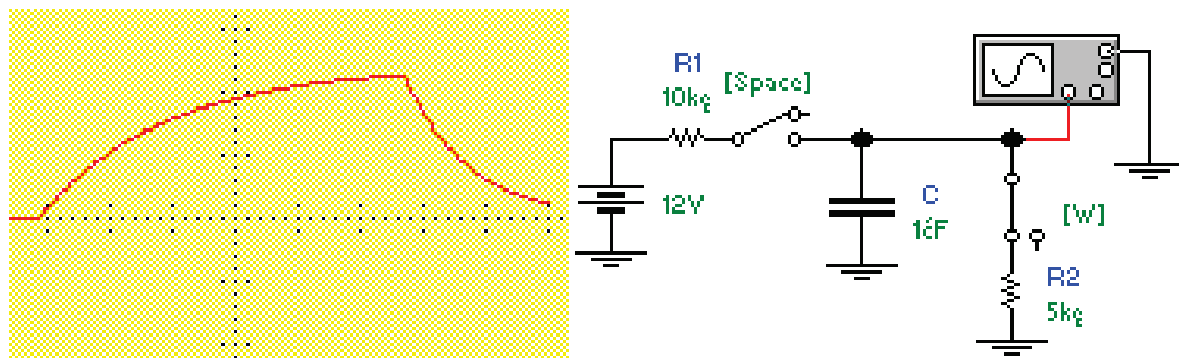
Ćwiczenie 2

Ładowanie i rozładowanie kondensatora

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) połączyć układ wg schematu:



Schemat układu pomiarowego do ćwiczenia nr 2

- 2) zaobserwować na oscyloskopie przebieg napięcia na kondensatorze podczas ładowania i rozładowania,
- 3) zmienić parametry R , C i obserwować przebiegi,
- 4) sformułować wnioski.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- stanowisko komputerowe z oprogramowaniem np. ElectronicWorkbench 4.0,
- drukarka komputerowa do wykonania wydruków charakterystyk oraz schematów,
- zeszyt przedmiotowy ucznia.

Ćwiczenie 3

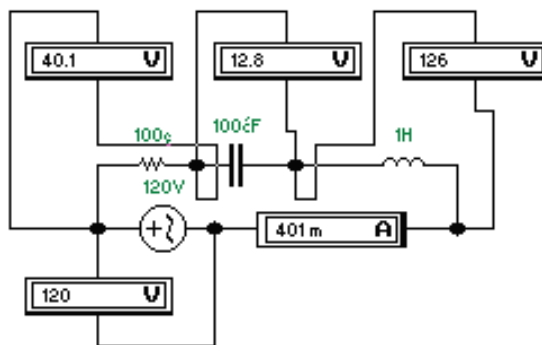
Obwód szeregowy R L C prądu przemiennego

Elementy R L C połączone szeregowo i włączono na napięcie zasilające U o częstotliwości f . Obliczyć: reaktancję cewki i kondensatora, impedancję obwodu, natężenie prądu, spadki napięć na poszczególnych elementach obwodu, moce czynną, bierną i pozorną, częstotliwość rezonansową.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) połączyć układ wg schematu:



Schemat układu pomiarowego do ćwiczenia nr 3

Wyposażenie stanowiska pracy:

- stanowisko komputerowe z oprogramowaniem np. ElectronicWorkbench 4.0,
- drukarka komputerowa do wykonania wydruków charakterystyk oraz schematów,
- zeszyt przedmiotowy ucznia.

Ćwiczenie 4

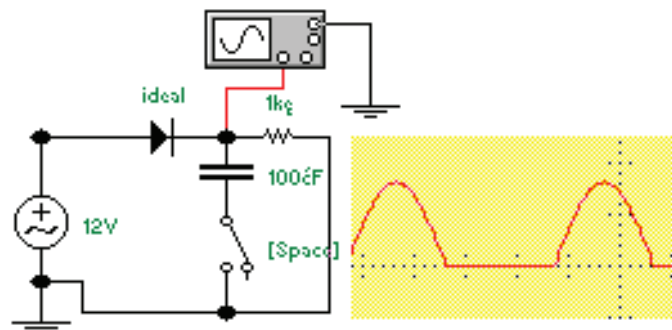
Dioda prostownicza

Diodę prostowniczą włącz do obwodu jak na schemacie poniżej. Znając zasadę działania diody wykreśl charakterystykę prądowo-napięciową, a następnie dokonaj symulacji wg podanych punktów.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) połączyć układ prostownika wg schematu



Schemat układu pomiarowego do ćwiczenia nr 4

- 2) obserwować przebieg napięcia wyprostowanego i zasilającego przy obciążeniu R,
- 3) obserwować przebieg napięcia wyprostowanego przy obciążeniu RC,
- 4) dokonać zmian pojemności kondensatora i powtórzyć obserwacje,
- 5) sformułować wnioski.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- stanowisko komputerowe z oprogramowaniem np. ElectronicWorkbench 4.0,
- drukarka komputerowa do wykonania wydruków charakterystyk oraz schematów,
- zeszyt przedmiotowy ucznia,
- katalog diod prostowniczych.

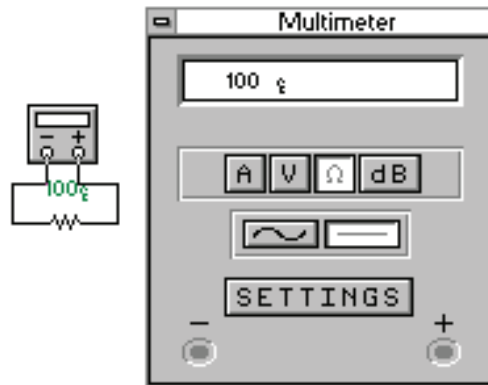
Ćwiczenie 5

Pomiary rezystancji

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) połączyć układ do pomiaru rezystancji metodą techniczną jak na schemacie,
- 2) sporządzić charakterystyki prądowo - napięciową elementu liniowego i nieliniowego, obliczyć rezystancję,
- 3) przekazać dane z pomiarów do arkusza kalkulacyjnego i wykonać graficzną interpretację wyników.



Schemat układu pomiarowego do ćwiczenia nr 5

Wyposażenie stanowiska pracy:

- stanowisko komputerowe z oprogramowaniem np. ElectronicWorkbench 4.0,
- drukarka komputerowa do wykonania wydruków charakterystyk oraz schematów,
- zeszyt przedmiotowy ucznia.

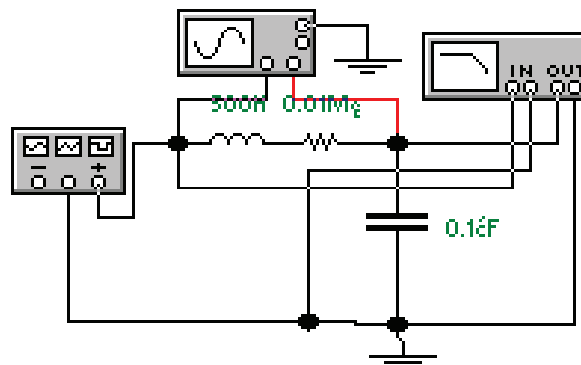
Ćwiczenie 6

Charakterystyki dynamiczne układów automatyki

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) połączyć obwody wg schematów,
- 2) zapoznać się z metodą doświadczalną wyznaczania charakterystyk dynamicznych,
- 3) określić własności badanego układu na podstawie wyznaczonych charakterystyk.



Schemat układu pomiarowego do ćwiczenia nr 6

Wyposażenie stanowiska pracy:

- stanowisko komputerowe z oprogramowaniem np. ElectronicWorkbench 4.0,
- drukarka komputerowa do wykonania wydruków charakterystyk oraz schematów,
- zeszyt przedmiotowy ucznia.

Ćwiczenie 7

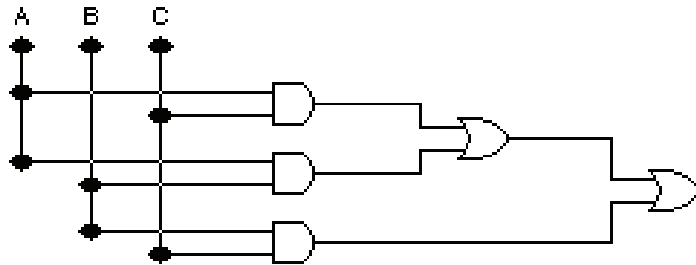
Cyfrowy układ sterowania

Temperatura obiektu jest kontrolowana w trzech punktach przez czujniki wysyłające sygnał logiczny równy 1, gdy temperatura przekracza wartość graniczną, a 0 gdy nie przekracza. Narysować cyfrowy układ sterowania, który załącza urządzenie chłodzące (logiczna 1), gdy temperatura graniczna jest przekroczona w conajmniej dwóch miejscach.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) wpisać do konwertera logicznego wartości zmiennych wejściowych i wyjściowych,
- 2) zaprojektować układu sterowania,



Schemat układu pomiarowego do ćwiczenia nr 7

- 3) sprawdzić działanie układu logicznego,
 - 4) napisać tablicę stanów dla każdej bramki.
- Wyposażenie stanowiska pracy:
- stanowisko komputerowe z oprogramowaniem np. ElectronicWorkbench 4.0,
 - drukarka komputerowa do wykonaniu wydruków charakterystyk oraz schematów,
 - zeszyt przedmiotowy ucznia,
 - katalog układów cyfrowych.

4.1.4 Sprawdzenie postępów

Czy potrafisz:

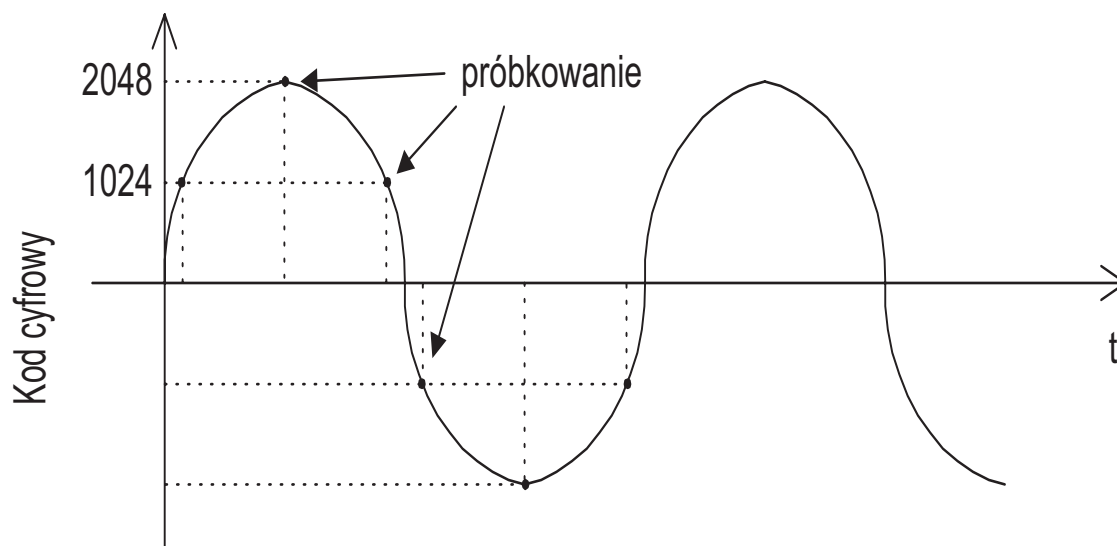
- | | Tak | Nie |
|---|--------------------------|--------------------------|
| 1) obsługiwać program symulacyjny? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2) podać podstawowe parametry badanych elementów? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3) zasymulować działanie układu elektronicznego? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4) sprawdzić działanie układu? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

4.2. Przetworniki A/C

4.2.1. Materiał nauczania

Przetworniki A/C zostały zbudowane jako układy elektroniczne mające za zadanie zmianę wartości wielkości analogowej (ciągłej) na wartość cyfrową - czyli zapisaną za pomocą odpowiedniego kodu cyfrowego - wielkości analogowej w określonych momentach czasu. Przetwarzanie ciągłego sygnału analogowego na sygnał cyfrowy polega na dyskretyzacji sygnału w czasie, czyli jego próbkowaniu, dyskretyzacji wartości sygnału, czyli kwantowaniu oraz na kodowaniu uzyskanego sygnału dyskretnego. Próbkowanie następuje przez kolejne pobieranie próbek wartości sygnału w pewnych odstępach czasu, w taki sposób, aby ciąg próbek umożliwiał jak najwierniejsze odtworzenie całego przebiegu funkcji. Kwantowanie przebiegu analogowego polega na przyporządkowaniu każdej próbce skończonej liczby poziomów amplitudy, odpowiadającym dyskretnym wartościom od zera do pełnego zakresu.

Na poniższym rysunku przedstawiono wykres odwzorowujący działanie takiego przetwornika:

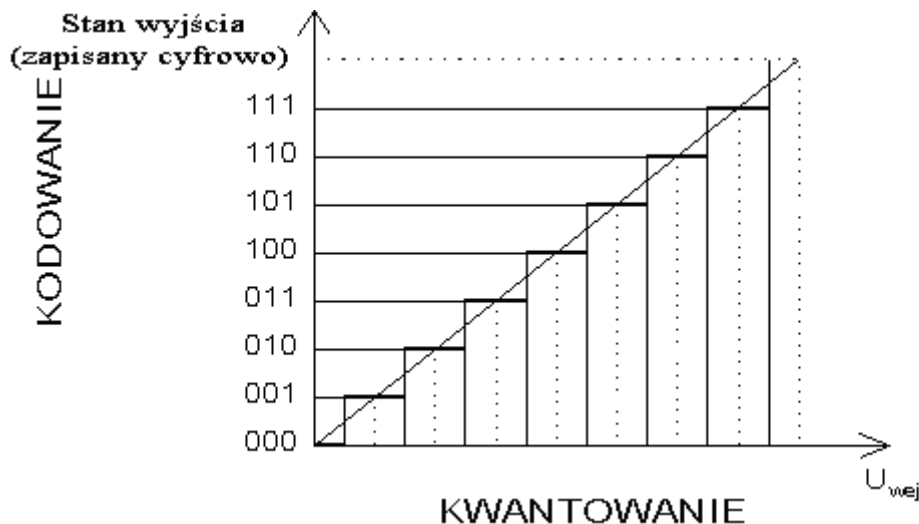


Rys. 6. Wykres przedstawiający działanie przetwornika A/C [14]

Analizując powyższy wykres można zaobserwować pewne prawidłowości:

- zmianę wartości wielkości analogowej w określonym momencie czasu na kod cyfrowy,
- dobranie takich momentów czasowych wykonania kolejnych konwersji (próbkowanie) aby zachować pełną informację o sygnale analogowym tzn. móc go w pełni odtworzyć z zapisanych kolejnych wartości w postaci cyfrowej (z próbek).

Zamiana wartości wielkości analogowej na kod cyfrowy wymaga wykonania dwóch kolejnych operacji: skwantowania wartości analogowej, oraz przypisaniu każdemu poziomowi kwantowania odpowiedniego kodu cyfrowego. Proces ten obrazuje poniższy rysunek:



Rys. 7. Proces kwantowania [14]

Przy zwykłych pomiarach prądu i napięcia oraz w większości czujników elektroniki przemysłowej, elektryczne wartości mierzone występują jako wartości analogowe. Należy je, zatem przekształcić do takiej postaci, która nadawałaby się do dalszego cyfrowego przetwarzania i przedstawiania jako wartości liczbowych, najczęściej jest stosowany kod binarny.

Z punktu widzenia projektanta i użytkownika skomputeryzowanego systemu pomiarowego istotny jest wybór przetworników w taki sposób, aby ich parametry odpowiadały przewidywanej dla nich klasie zastosowań. Jedną z takich cech charakterystycznych przetwornika A/C jest rodzaj stosowanego kodu. Pozostałymi parametrami są: fizyczny charakter sygnału analogowego (uni- bądź bipolarny) i dopuszczalny zakres jego zmian na wejściu przetwornika.

Podział przetworników A/C ze względu na metodę przetwarzania:
bezpośrednie:

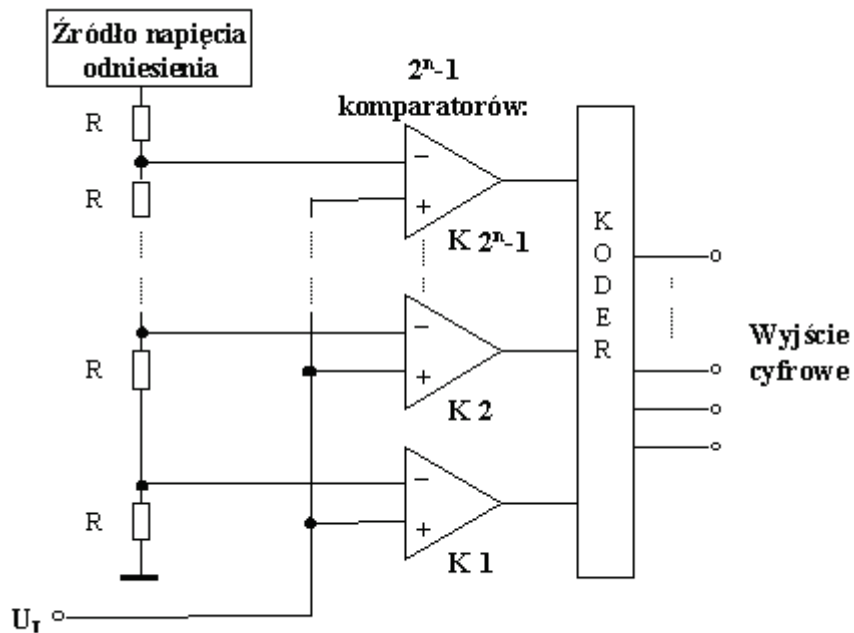
- przetworniki z bezpośrednim porównaniem,
- przetworniki kompensacyjne,

pośrednie:

- częstotliwościowe,
- czasowe (proste i z dwukrotnym całkowaniem),
- kompensacji wagowej.

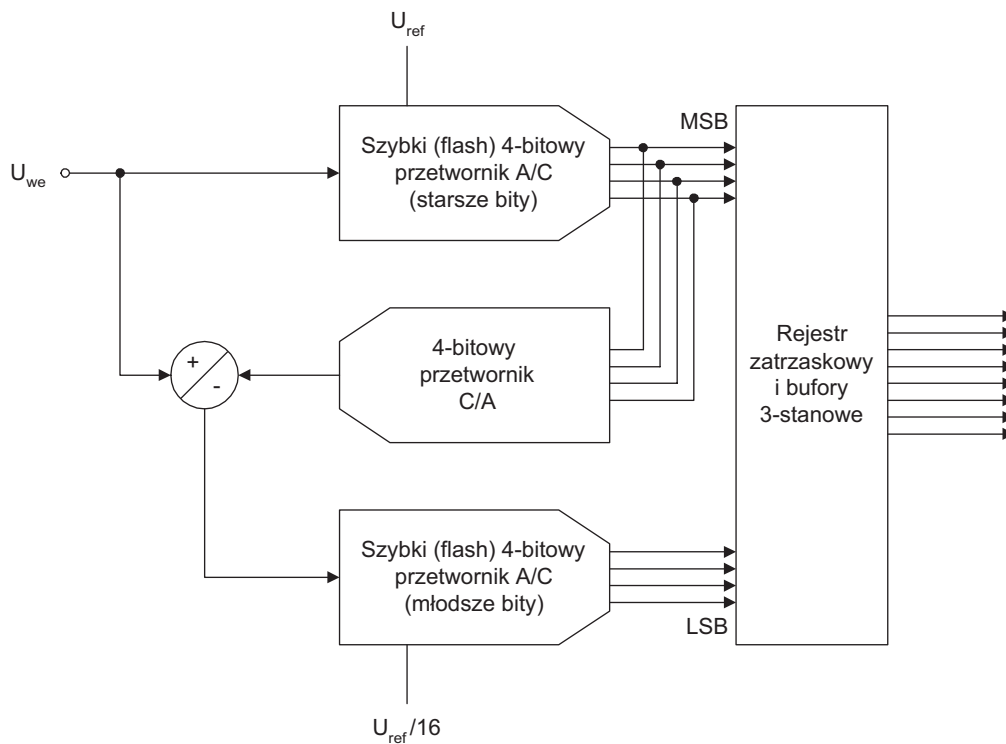
Rodzaje przetworników A/C:

1. Przetwornik A/C bezpośredniego porównania (FLASH)



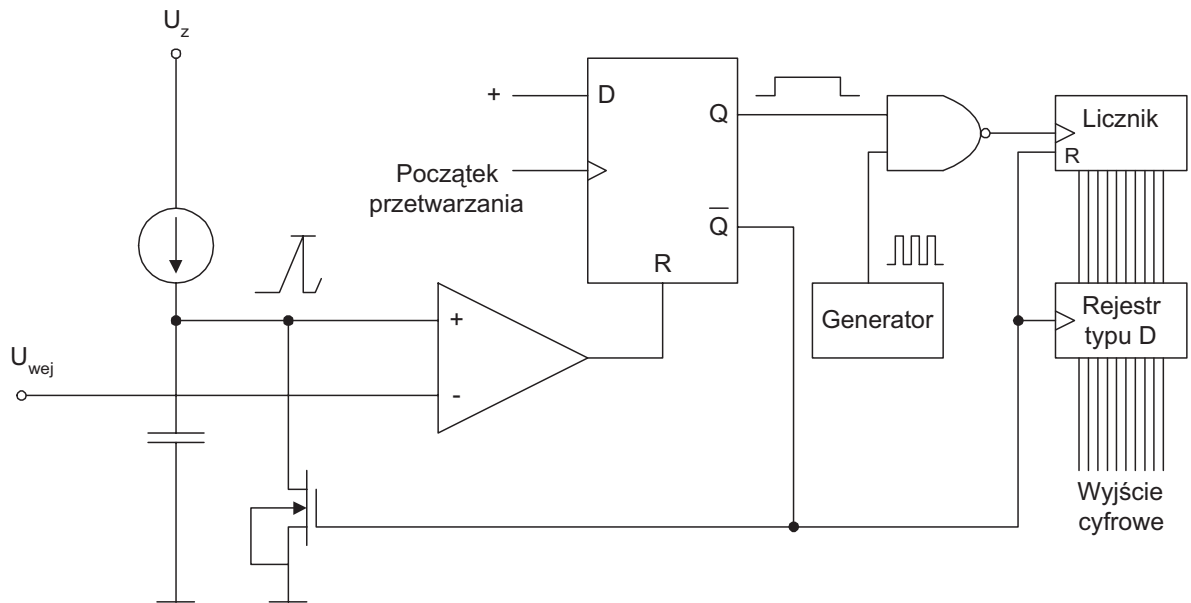
Rys. 8. Przetwornik typu flash [14]

2. Przetwornik typu „half-flash”



Rys. 9. Przetwornik typu „half-flash” [14]

3. Przetwornik wykorzystujący metodę jednokrotnego całkowania



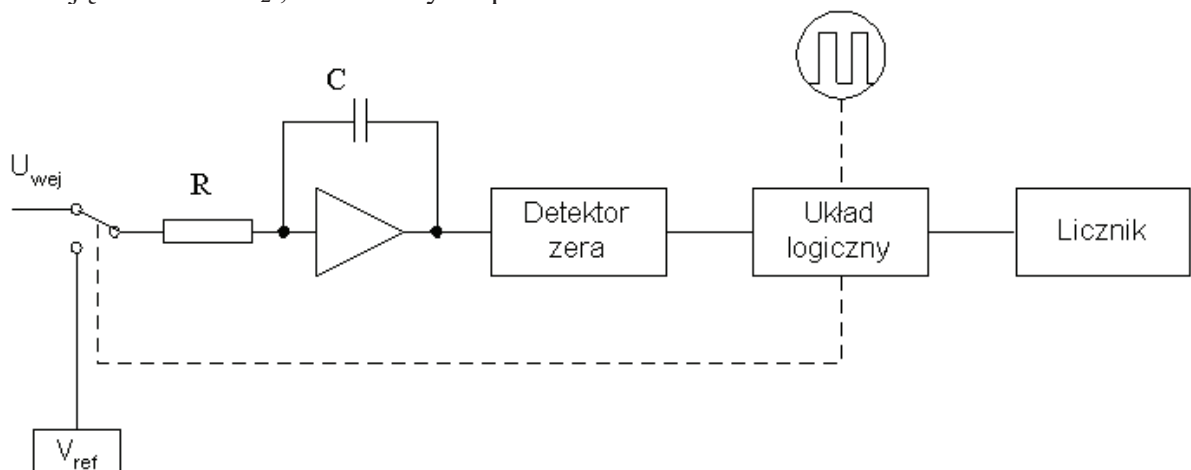
Rys. 10. Przetwornik jednokrotnego całkowania [14]

4. Przetwornik z podwójnym całkowaniem

Praca tego przetwornika trwa przez dwie fazy:

- 1) w fazie pierwszej o ustalonym czasie T_1 następuje ładowanie kondensatora C prądem proporcjonalnym do napięcia U_{wej} tak, iż napięcie na kondensatorze $U_C(T_1) = k U_{wej}$,
- 2) w drugiej fazie następuje rozładowanie kondensatora maksymalnym prądem proporcjonalnym do napięcia U_R na rezystorze R. Czas rozładowania T_2 kondensatora jest równy: $T_2 = T_1 (U_{wej} / U_R) = A U_{wej}$ i liniowo zależy od napięcia wejściowego.

Odliczanie czasu T_1 i T_2 odbywa się cyfrowo w liczniku, którego końcowa wartość, odpowiadająca czasowi T_2 , stanowi wynik przetwarzania.

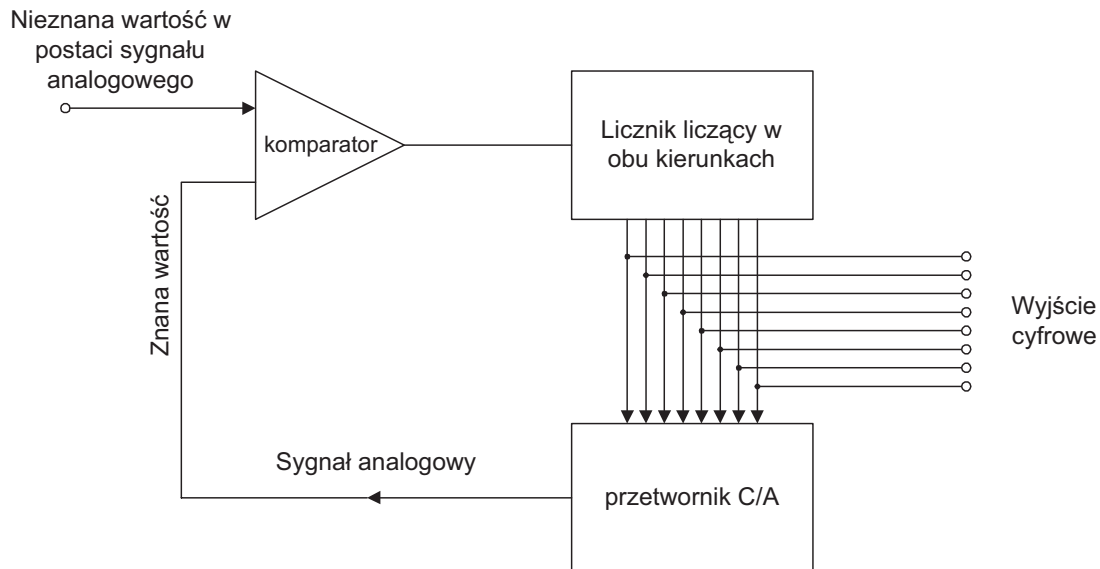


Rys. 11. Przetwornik z podwójnym całkowaniem [14]

5. Przetwornik kompensacyjny

Najliczniejszą grupę przetworników analogowo-cyfrowych stanowią przetworniki typu kompensacyjnego, w których sygnał przetwarzany równoważony jest napięciem

ze sterowanego cyfrowego źródła napięcia cyfrowego. Rolę wzorcowego źródła napięcia spełnia przetwornik C/A:



Rys. 12. Przetwornik kompensacyjny [14]

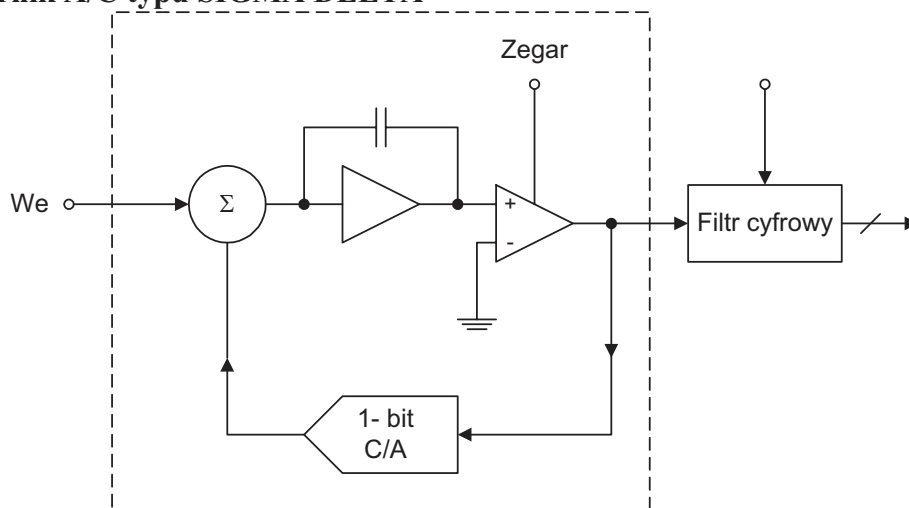
W grupie przetworników kompensacyjnych najliczniejsze zastosowania znalazły przetworniki:

- z sukcesywną aproksymacją,
- śledzące (nadążne).

Zasada pracy przetwornika z sukcesywną aproksymacją oparta jest na podziale dychotomicznym (podziale na dwie części) - w każdym kroku przetwarzania - przedziału napięcia, w którym zawiera się napięcie przetwarzane.

W przetwornikach śledzących układ logiczno-pamiętający jest licznikiem rewersyjnym, któremu kierunek zliczania impulsów zegarowych określa stan napięcia wyjścia komparatora.

6. Przetwornik A/C typu SIGMA DELTA



Rys. 13. Przetwornik A/C typu SIGMA DELTA [14]

Porównanie własności przetworników A/C wykorzystujących różne metody przetwarzania sygnału:

1) bezpośredniego porównania ("flash" i "half-flash"):

- zalety: najszybsza metoda przetwarzania A/C, b. mały czas apretury, tani,
 - wady: mała rozdzielczość, mała odporność na zakłócenia,
- 2) metoda kompensacji wagowej:
- zalety: dokładny, w miarę szybki,
 - wady: wolno odpowiada na duże skoki U_{wej} , nie odporny na zakłócenia,
- 3) metoda jednokrotnego całkowania:
- zalety: bardzo prosta budowa,
 - wady: nieduża dokładność,
- 4) metoda dwukrotnego całkowania:
- zalety: przetwarzanie wartości średniej sygnału wejściowego, duża dokładność, odporność na zakłócenia,
 - wady: wolny,
- 5) metoda delta-sigma:
- zalety: szybki, dokładny, łatwy w produkcji, tani, (optymalny, najczęściej produkowany).

Parametry charakterystyczne przetwornika

Rozdzielczość - oznacza długość słowa wyjściowego w bitach, wyraża najmniejszą wielkość sygnału wejściowego rozróżnialną przez przetwornik.

Błąd kwantyzacji – wynika z istoty procesu kwantowania. Zbiór dopuszczalnych wartości jest podzielony na N przedziałów q . Powoduje to niejednoznaczność pomiędzy N a napięciem mierzonym U_1 , gdyż pewnej liczbie N na wyjściu przetwornika odpowiada wiele rzeczywistych wartości U_1 z przedziału $U_1 \pm q/2$.

Zdolność rozdzielcza przetwornika (q) - czyli zakresy napięcia, które przetwornik będzie widział jako jedną wartość logiczną (wielkość podzakresu przetwornika).

Nominalny pełny zakres przetwarzania ($U_{FS\ nom} = q \cdot 2^n$) jest to maksymalny zakres przetwarzania przetwornika jeżeli zdolność rozdzielcza przetwornika q jest taka jak w katalogu (odpowiada maksymalnej wartości słowa wyjściowego).

Rzeczywisty zakres przetwarzania jest to wartość napięcia wejściowego, której odpowiada maksymalna wartość zakodowana na wyjściu przetwornika (przy założeniu, że najniższej wartości zakodowanej odpowiada punkt początkowy zakresu przetwarzania). Jeśli q oznacza skok kwantowania (zdolność rozdzielczą przetwornika) zakładając, że jest on stały w całym zakresie przetwarzania, a symbolem n – liczbę znaków w wyrazie kodowym, to dla przetwornika o idealnej (równomiernej) charakterystyce rzeczywisty zakres przetwarzania dany jest wzorem:

$$U_{\max} = q \cdot (2^n - 1)$$

Całkowity błąd przetwarzania określa się korzystając ze wzoru:

$$\Delta U = \max(U_{rz} - U_k)$$

gdzie U_{rz} oznacza rzeczywistą wartość napięcia wejściowego a U_k przypisaną jej wartość wynikającą z interpretacji zapisu cyfrowego, zaś funkcję maksimum oblicza się w całym rzeczywistym zakresie przetwarzania.

Częstotliwość przetwarzania f_{prz} określa się jako maksymalną liczbę przetworzeń napięcia wejściowego w wartości zakodowane w jednostce czasu.

Czas przetwarzania T_{prz} jest to czas upływający pomiędzy momentem podania na wejściu przetwornika sygnału inicjującego odczyt napięcia a momentem ustalenia się na wyjściu zakodowanej wartości napięcia (czas, w którym zachodzi pełny cykl przetwarzania).

Ze względu na to, że każdy akt przetworzenia napięcia w kod cyfrowy powoduje powstanie krótkotrwałego procesu przejściowego, zachodzi nierówność:

$$f_{\text{prz}} < \frac{1}{T_{\text{prz}}}$$

Praca przetwornika z częstotliwością porównywalną z f_{prz} wprowadza dodatkowe błędy przetwarzania, których przyczyną są właśnie procesy przejściowe

Szybkość bitowa określona przez liczbę bitów wyniku przetwarzania, uzyskanych w jednostce czasu.

Błąd skalowania (wzmocnienia). Wynika ze zmiany nachylenia charakterystyki przetwarzania $N=f(U_I)$ w stosunku do charakterystyki idealnej.

Błąd przesunięcia zera jest określany przez wartość napięcia wejściowego potrzebną do przejścia od zerowej wartości słowa wyjściowego do następnej większej

Błędy nieliniowości charakterystyki przetwarzania występuje wówczas, gdy środki schodków nie da się połączyć jedną linią, gdyż są one według niej przesunięte w różne strony, co bardziej odpowiadało by krzywej, w wyniku czego następuje pominięcie w początku skali kilku wartości binarnych np. 4 (100b) i 12 (1100b).

Zastosowanie przetworników A/C:

- woltomierze z przetwarzaniem bezpośrednim napięcie - czas;
- woltomierze integracyjne, w tym z pojedynczym i z podwójnym całkowaniem;
- woltomierze z przetwornikiem kompensacyjnym.

4.2.2 Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

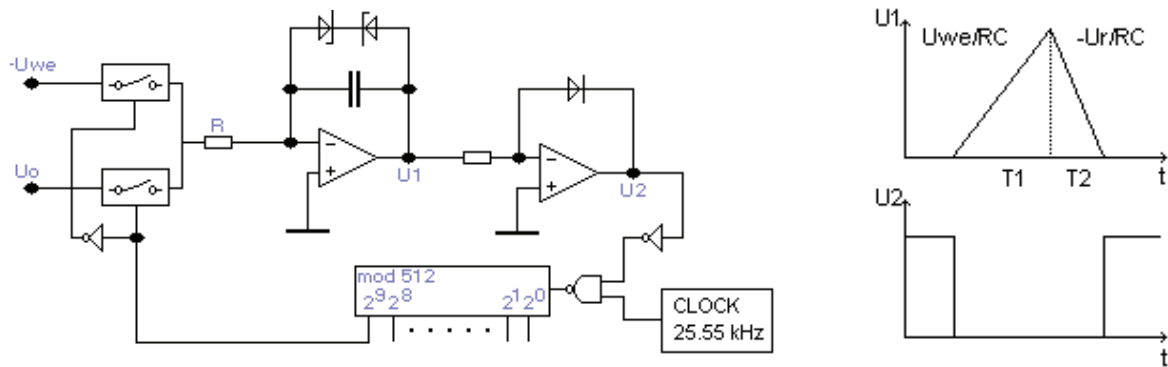
1. Gdzie znalazły zastosowanie przetworniki A/C?
2. Czy potrafisz wymienić podstawowe parametry przetwornika A/C?
3. Na czym polega proces próbkowania sygnału?
4. Jakie są metody przetwarzania sygnału, stosowane w przetwornikach A/C?
5. Jaki charakter może mieć sygnał analogowy przetwarzany w przetworniku?
6. Czy znasz zasadę działania przetwornika A/C o podwójnym całkowaniu?
7. Czy znasz zasadę działania kompensacyjnych przetworników A/C?

4.2.3 Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Zaprojektuj i zbadaj przetwornik A/C o podwójnym całkowaniu.

Na schemacie przedstawiony jest przetwornik A/C z podwójnym całkowaniem. Podczas pierwszego całkowania ładuje się kondensator przez czas określony poprzez licznik mod 512 (w tym przypadku jest to 0,01 sek.). Gdy na dziewiątym bicie pojawi się 1 wtedy na układ zostaje podane napięcie odniesienia U_0 ; licznik liczy teraz od stanu 1000000000 tak długo aż napięcie na kondensatorze nie spadnie do zera – wtedy stan młodszych ośmiu bitów będzie odpowiadał $-U_{we}$ (-napięciu wejściowemu). Obecnie jest to układ najczęściej stosowany ze względu na niską cenę oraz na klasę dokładności. Do jego wad należy zaliczyć małą prędkość pomiaru.



Schemat układu pomiarowego do ćwiczenia nr 1 [13]

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

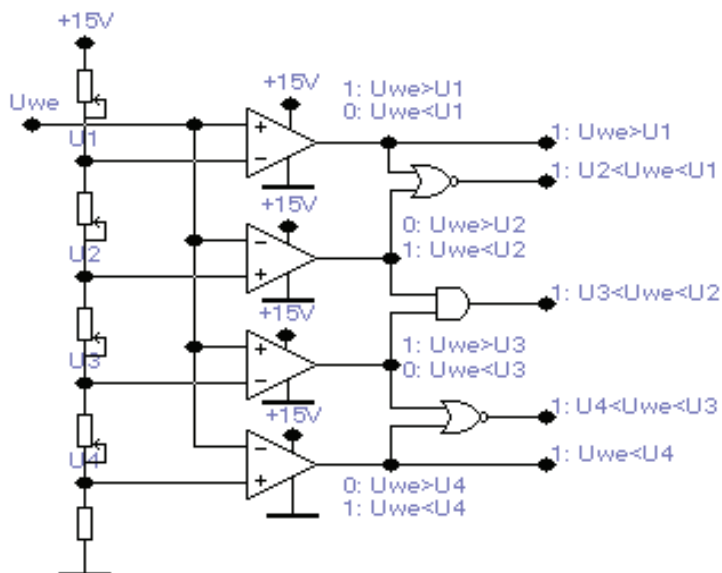
- 1) połączyć obwodu wg schematu,
- 2) zdjąć przebiegi czasowe napięć U_1 i U_2 ,
- 3) określić własności badanego układu na podstawie wyznaczonych przebiegów.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- stanowisko komputerowe z oprogramowaniem,
- drukarka komputerowa do wykonaniu wydruków charakterystyk oraz schematów,
- zeszyt przedmiotowy ucznia,
- katalogi elementów elektronicznych,
- katalog układów cyfrowych.

Ćwiczenie 2

Zbadaj komparator wielowyjściowy



Schemat układu pomiarowego do ćwiczenia nr 2

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) połączyć obwód wg schematu,
- 2) zdjąć charakterystyki napięć wyjściowych w funkcji napięcia wejściowego,
- 3) określić własności badanego układu na podstawie wyznaczonych charakterystyk.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- stanowisko komputerowe z odpowiednim oprogramowaniem,
- drukarka komputerowa do wykonaniu wydruków charakterystyk oraz schematów,
- zeszyt przedmiotowy ucznia,
- katalogi elementów elektronicznych,
- katalog układów cyfrowych.

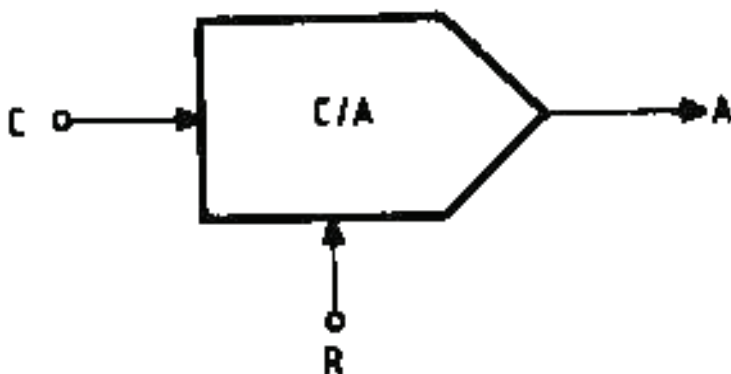
4.2.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:	Tak	Nie
1) określić jaki proces następuje po skwantowaniu próbki sygnału wejściowego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) określić, z jakich faz składa się pełny cykl pracy analogowego układu próbkująco-pamiętającego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) podać, co to jest czas konwersji?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) omówić zasadę działania przetwornika A/C?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) uzasadnić, której metody należy użyć, aby otrzymać najdokładniejsze przetwarzanie sygnałów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) omówić zasadę działania przetwornika A/C o podwójnym całkowaniu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) posługiwać się katalogiem układów scalonych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.3. Przetworniki C/A

4.3.1 Materiał nauczania

Przetwornik cyfrowo-analogowy jest układem dekodującym słowo cyfrowe C i przetwarzającym je w analogowy sygnał wyjściowy A, najczęściej napięciowy lub prądowy. Na poniższym rysunku przedstawiono zasadę przetwarzania:



Rys. 14. Zasada przetwarzania C/A [14]

Funkcja przetwarzania ma postać iloczynu:

$$A = C R$$

gdzie R jest sygnałem odniesienia. Rysunek powyżej ilustruje realizację tej funkcji. Słowo cyfrowe C jest liczbą binarną, n-bitową.

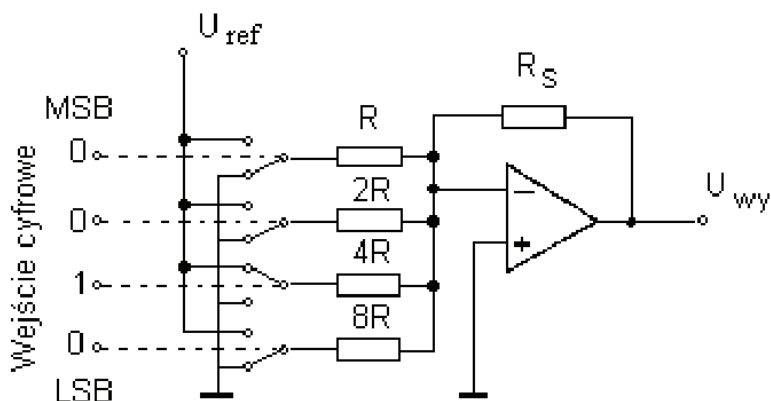
W przetwornikach bipolarnych używa się kodów:

- przesuniętego binarnego (PB),
- uzupełnień do dwóch (U2),
- uzupełnień do jedności (U1),
- znak - moduł (ZM) (rzadko).

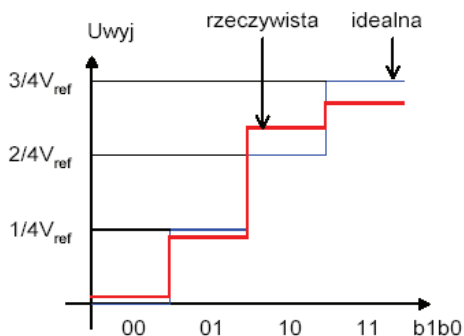
Parametry przetworników C/A:

- **rozdzielczość** – oznacza długość słowa wejściowego w bitach, wyraża najmniejszą wielkość sygnału wejściowego rozróżnialną przez przetwornik,
- **maksymalna wartość wyjściowego sygnału analogowego** $\frac{2^n - 1}{2^n} U_{FS}$, gdzie n- liczba bitów przetwornika, U_{FS} – zakres przetwornika
- **dokładność bezwzględna** – określa, jaka jest największa różnica pomiędzy rzeczywistą wartością wyjściowego sygnału przetwornika, a wartością jaka powinna wystąpić na wyjściu po podaniu na wejście określonego słowa kodowego,
- **dokładność względna** – mierzona jest jako największe względne odchylenie sygnału wyjściowego przetwornika od wartości jaka powinna wystąpić na wyjściu po podaniu na wejście określonego słowa kodowego: $E = \frac{U_0 - U_N}{U_{FS}}$, gdzie U_0 – sygnał wyjściowy przetwornika dla określonego słowa kodowego na wejściu, U_N – oczekiwana wartość sygnału wyjściowego, U_{FS} – zakres przetwornika
- **czas ustalania** – określa, po jakim czasie sygnał wyjściowy osiągnie wartość nominalną z dokładnością do połowy kroku kwantowania,

Przetwornik cyfrowo-analogowy (ang. Digital-to-Analog Converter) jest to układ przetwarzający dyskretny sygnał cyfrowy na równoważny mu sygnał analogowy. Przetwornik ma n wejść i jedno wyjście. Liczba wejść zależy od liczby bitów słowa podawanego na wejście przetwornika (np. dla słowa trzybitowego – trzy wejścia a_1, a_2, a_3). Natomiast na jego wyjściu pojawia się informacja analogowa (np. w postaci napięcia). Napięcie na wyjściu przetwornika jest proporcjonalne do napięcia odniesienia oraz do liczby zapisanej w kodzie dwójkowym.



Rys. 15. Przetwornik cyfrowo-analogowy, gdzie: U_{ref} – napięcie odniesienia, U_{wy} – analogowy sygnał wyjściowy, R, R_S – oporniki, MSB – najbardziej znaczący bit słowa kodowego, LSB – najmniej znaczący bit słowa kodowego [12]



Rys. 16. Charakterystyki przetworników C/A [12]

Najprostszą konstrukcją przetwornika C/A jest układ wzmacniacza sumującego zbudowanego z użyciem wzmacniacza operacyjnego.

Napięcie wyjściowe układu jest równe, co do modułu, spadkowi napięcia na rezystorze łączącym wyjście układu z wejściem odwracającym wzmacniacza operacyjnego. Wartość napięcia wyjściowego zależy od wartości prądu płynącego przez ten rezystor, regulowanej położeniem przełączników (kluczy). Pozycja dolna przełącznika odpowiada wartości **0** danego bitu wejściowego, natomiast pozycja górna odpowiada wartości **1**. Jeżeli przełącznik jest ustawiony w pozycji górnej, to prąd płynący w tej gałęzi dodaje się do prądu płynącego przez rezystor w pętli sprzężenia, powodując zwiększenie spadku napięcia na nim, a tym samym zwiększenie, (co do modułu) wartości napięcia wyjściowego.

Wadą tego typu przetworników jest konieczność stosowania rezystorów o znacznie różniących się wartościach.

Podstawowe człony przetworników:

- źródła napięcia odniesienia - stabilność napięcia odniesienia decyduje o dokładności i stabilności przetwarzania. Są to źródła zawierające diody Zenera lub tranzystory o temperaturowej kompensacji napięcia baza-emiter,
- klucze analogowe - ich liczba zależy od rozdzielczości przetwornika, tzn. od liczby bitów słowa przetwarzanego (przetworniki C/A) lub od liczby bitów słowa wyjściowego (przetworniki A/C). Od parametrów przełączników (rezystancja w stanie włączenia i wyłączenia, czas włączenia) zależy szybkość i dokładność działania układu. Istnieje wiele rozwiązań przełączników,
- wzmacniacze operacyjne - w przetwornikach są one stosowane jako stopnie separujące, wzmacniające, człony dodające i odejmujące, integratory, konwertery prąd-napięcie,
- komparatory (w przetwornikach A/C) - decydują one o szybkości i dokładności przetwarzania. Graniczną liczbę poziomów porównania w danym zakresie napięć wejściowych determinuje zakres wzmocnienia komparatora (ΔU),
- układy cyfrowe (bramki logiczne, przerzutniki, liczniki, rejestry, pamięci),
- układy próbkująco- pamiętające (głównie w przetwornikach A/C) - ich zadaniem jest pamiętanie wartości chwilowej napięcia wejściowego przez czas potrzebny do pomiaru tego napięcia w przetworniku A/C.

4.3.2 Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Na czym polega zasada działania przetwornika C/A?
2. Jakie są parametry przetwornika C/A?
3. Na bazie jakiego układu elektronicznego można zbudować najprostszy przetwornik C/A?
4. Jakie kody stosuje się w przetwornikach C/A bipolarnych?
5. Jaka jest podstawowa wada przetworników C/A?
6. Jakie są podstawowe człony przetworników?

4.3.3 Ćwiczenia

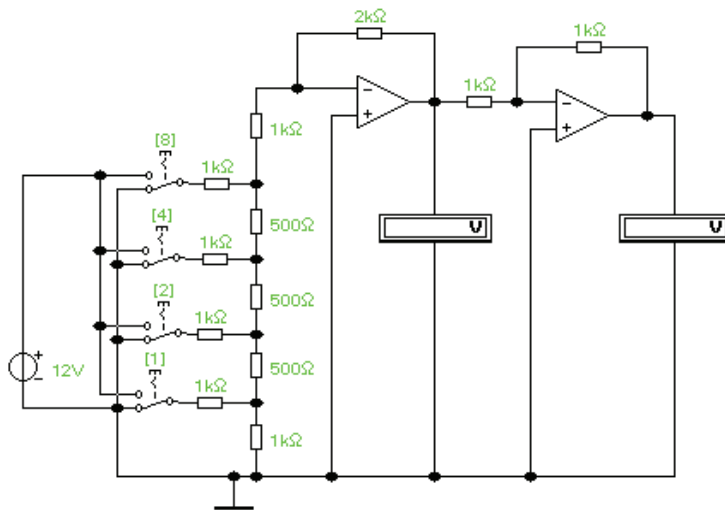
Ćwiczenie 1

Zbadaj przetwornik C/A z drabinkową siecią rezystorów.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) połączyć obwód wg schematu,
- 2) zdjąć charakterystyki,
- 3) określić własności badanego układu na podstawie wyznaczonych charakterystyk.



[13]

Schemat układu pomiarowego do ćwiczenia nr 1

Wyposażenie stanowiska pracy:

- stanowisko komputerowe z odpowiednim oprogramowaniem,
- drukarka komputerowa do wykonania wydruków charakterystyk oraz schematów,
- zeszyt przedmiotowy ucznia,
- katalogi elementów elektronicznych,
- katalog układów scalonych.

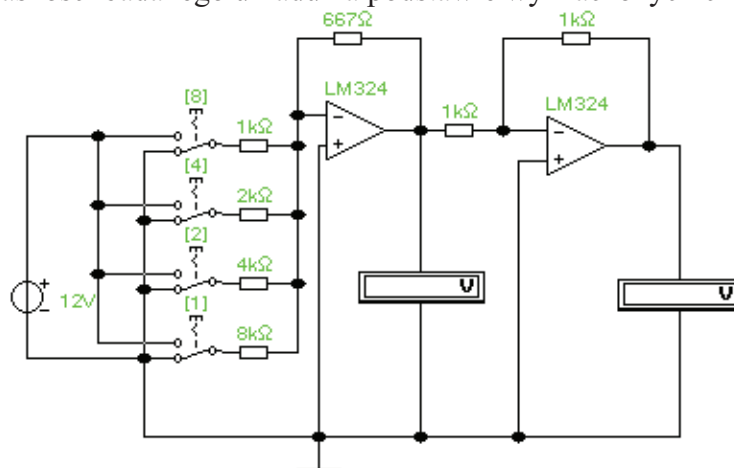
Ćwiczenie 2

Zbadaj przetwornik C/A z siecią rezystorów wagowych.

Sposób wykonania ćwiczenia.

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) połączyć obwodu wg schematu,
- 2) zdjęć charakterystyki,
- 3) określić własności badanego układu na podstawie wyznaczonych charakterystyk.



[13]

Schemat układu pomiarowego do ćwiczenia nr 2

Wyposażenie stanowiska pracy:

- stanowisko komputerowe z odpowiednim oprogramowaniem,
- drukarka komputerowa do wykonania wydruków charakterystyk oraz schematów,
- zeszyt przedmiotowy ucznia,

- katalogi elementów elektronicznych,
- katalog układów scalonych.

4.3.4 Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) omówić zasadę działania przetwornika C/A?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) określić, gdzie znalazły zastosowanie przetworniki C/A?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) wymienić podstawowe człony przetwornika?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) wymienić parametry przetwornika C/A?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) określić, jakie słowa dekoduje przetwornik C/A?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) wyjaśnić, od czego zależy liczba kluczy analogowych w przetworniku C/A?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) wyjaśnić, o czym decyduje źródło napięcia odniesienia?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.4. Systemy pomiarowe

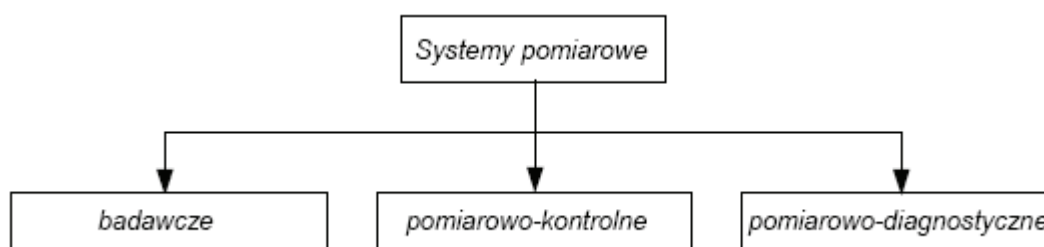
4.4.1 Materiał nauczania

Definicja i klasyfikacja systemów pomiarowych

System pomiarowy jest definiowany jako zbiór jednostek funkcjonalnych tworzących całość organizacyjną, objętych wspólnym sterowaniem przeznaczonych do realizacji określonego celu. Sterowanie systemu pomiarowego jest realizowane przez nadrzędną jednostkę funkcjonalną nazywaną kontrolerem, działającą wg zaprogramowanego algorytmu. Cechą charakterystyczną systemów pomiarowych jest algorytmizacja procesów pomiarowych oraz współdziałanie sprzętu i oprogramowania.

W zależności od przeznaczenia rozróżnia się trzy klasy systemów pomiarowych:

- badawcze,
- pomiarowo-kontrolne,
- pomiarowo-diagnostyczne.



Rys. 17. Klasyfikacja systemów pomiarowych [10]

Systemy badawcze są stosowane w pomiarach naukowych do weryfikacji hipotez naukowych. Wykorzystuje się je w wielu dziedzinach nauki, jak: elektrotechnika, fizyka, chemia, mechanika, biologia, medycyna.

Systemy pomiarowo-kontrolne używane są w przemyśle do automatyzacji procesów technologicznych. W systemach takich wykorzystuje się duże ilości czujników rozmieszczonych na całym kontrolowanym obiekcie i przetworników formujących sygnały wykorzystywane dalej przez regulatory sterujące procesem technologicznym.

Systemy pomiarowo-diagnostyczne służą do detekcji i lokalizacji uszkodzeń. Celem diagnozowania jest nie tylko stwierdzenie stanu obiektu, ale również wskazanie uszkodzonego elementu.

Konfiguracje systemów pomiarowych

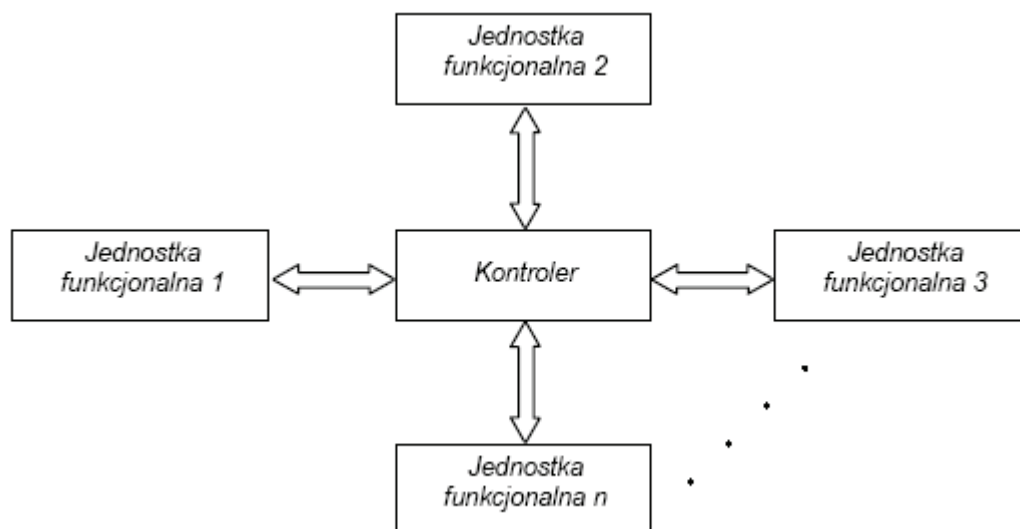
Konfiguracja systemu pomiarowego jest to sposób połączeń jednostek funkcjonalnych w systemie pomiarowym. Konfiguracja określa układ dróg przepływu informacji w systemie. Obecnie stosuje się trzy podstawowe konfiguracje w systemach pomiarowych:

- kaskadowa,
- gwiazdowa,
- magistralowa.

Konfiguracja kaskadowa (sekwencyjna) stosowana jest tylko w prostych systemach pomiarowych. Dlatego nie będzie dalej omawiana bardziej szczegółowo.

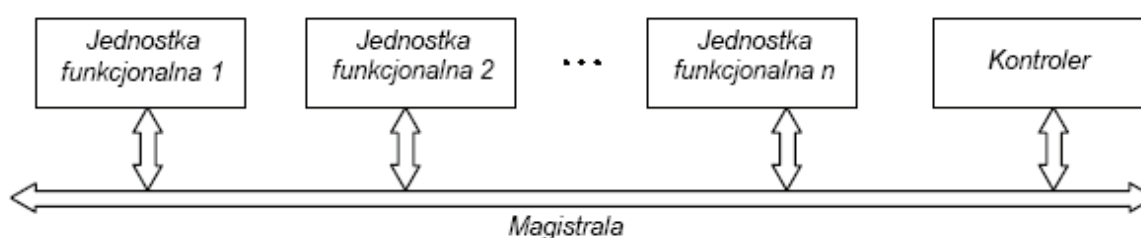
W konfiguracji gwiazdowej centralna pozycja jest zarezerwowana dla kontrolera systemu. Pośredniczy on w przekazywaniu każdej informacji między pozostałymi jednostkami funkcjonalnymi. Przesyłanie informacji jest możliwe tylko między kontrolerem a jednostką funkcjonalną. Oznacza to, że jednostka funkcjonalna nie może przesłać informacji

do innej jednostki bezpośrednio, lecz tylko za pośrednictwem kontrolera. Konfiguracja gwiazdowa jest stosowana w prostych systemach pomiarowych o niewielkiej i ustalonej liczbie jednostek funkcjonalnych. Rozbudowa takiego systemu jest bardzo utrudniona.



Rys. 18. Konfiguracja gwiazdowa systemu pomiarowego [10]

W konfiguracji magistralowej wszystkie współpracujące w systemie urządzenia są dołączone równolegle do magistrali cyfrowej. Sama magistrala jest zespołem linii, po których przekazywane są wszystkie informacje przesyłane pomiędzy dowolnymi urządzeniami, które pracują w systemie. W konfiguracji tej żadne z urządzeń systemu nie ma wyróżnionej pozycji. Kontrolerem systemu może być każde z urządzeń dołączonych do magistrali i mające zdolność sterowania systemem. W systemie tym może pracować kilka kontrolerów przekazujących sobie funkcje sterowania systemem, przy czym w danej chwili aktywny może być tylko jeden z nich.



Rys. 19. Konfiguracja magistralowa systemu pomiarowego [10]

W systemie o konfiguracji magistralowej zachodzi konieczność udzielania zezwoleń poszczególnym urządzeniom na nadawanie informacji, jak i powiadamianie systemu o konieczności przyjęcia nadawanej informacji. Czynności te nazywa się odpowiednio: adresowaniem do nadawania i adresowaniem do odbioru. W systemie w danej chwili aktywnych może być kilka odbiorców, ale tylko jeden nadawca.

Konieczność adresowania powoduje, że rozmieszczenie inteligencji w systemie o tej konfiguracji jest bardziej równomierne niż w systemie konfiguracji gwiazdowej. Podnosi to koszt systemu, ale znacznie zwiększa jego elastyczność. Konfiguracja magistralowa zapewnia największą funkcjonalną elastyczność strukturalną systemu, umożliwia jego rozbudowę podczas eksploatacji przez zmianę liczby jednostek funkcjonalnych.

W praktyce najczęściej stosuje się systemy pomiarowe o konfiguracji magistralowej, w których przesyłanie informacji odbywa się za pośrednictwem wieloprzewodowej magistrali.

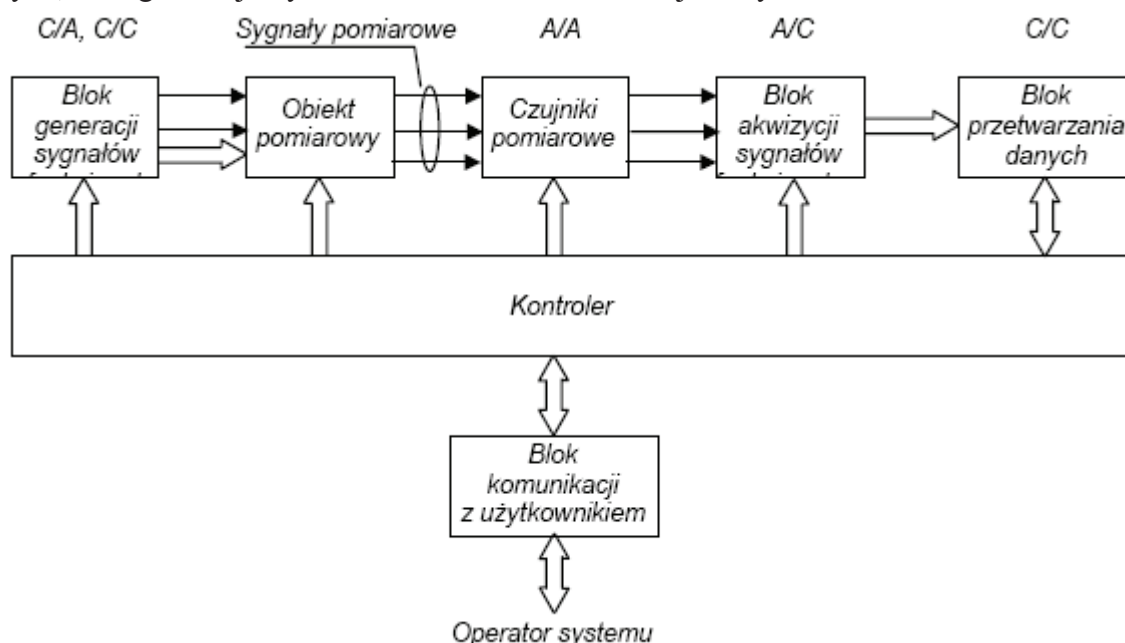
W systemie pomiarowym są realizowane pewne powtarzalne funkcje. Najważniejsze z nich to:

- generowanie sygnałów wejściowych dla badanego obiektu,
- rejestrowanie wyników pomiarów,
- przetwarzanie tych wyników pomiarów,
- przekazywanie przetworzonych danych pomiarowych do dalszych ogniw systemu,
- sterowanie wewnętrzne (programowe) procesem pomiarowym,
- komunikacja z otoczeniem.

Wszystkie te funkcje muszą wystąpić jednocześnie w konkretnym systemie.

Struktury systemów pomiarowych

Strukturę typowego systemu pomiarowego przedstawia poniższy rysunek. W jego skład wchodzi: kontroler, czujniki pomiarowe, blok akwizycji sygnałów, blok przetwarzania danych, blok generacji wymuszeń oraz blok komunikacji z użytkownikiem.



Rys. 20. Struktura systemu pomiarowego [10]

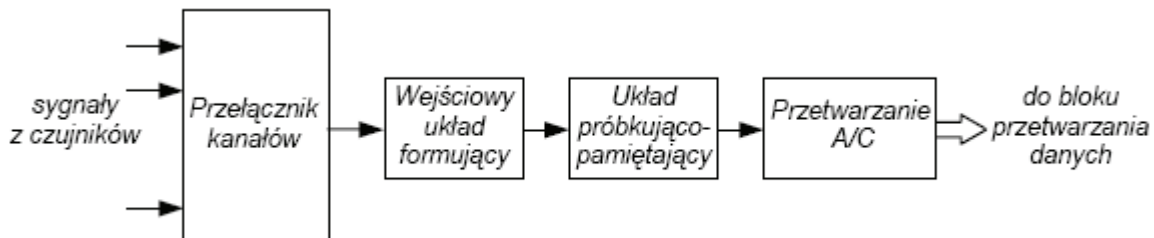
Kontroler systemu jest odpowiedzialny za czasowo-przestrzenną koordynację działań systemu, a więc wybór punktów pomiarowych, ustalanie warunków pomiaru, określenie momentu rozpoczęcia pomiaru oraz organizację przepływu informacji. Wykonuje on czynności sterujące w systemie pomiarowym zgodnie z programem zawartym w pamięci. Rozróżniamy kontrolery realizujące wyłącznie stały algorytm pomiarowy (sterowniki układowe) oraz kontrolery realizujące różne algorytmy, przez zmianę programów wpisanych do pamięci kontrolera. Funkcję kontrolera spełniają systemy mikroprocesorowe, które oprócz czynności sterujących przetwarzają dane.

Blok komunikacji z użytkownikiem przeznaczony jest do wprowadzania i odbierania informacji z systemu przez użytkownika. W systemach bez komputera, wprowadzanie informacji może odbywać się np. za pomocą przełączników, natomiast w systemach komputerowych za pomocą klawiatury, stacji dyskiety, myszki, pióra świetlnego.

Wyprowadzanie informacji odbywa się za pomocą rejestratorów cyfrowych bądź analogowych, monitorów ekranowych, drukarek oraz z użyciem zapisu pamięci dyskowej.

Czujniki pomiarowe przekształcają wielkości nieelektryczne, lub trudno mierzalne wielkości elektryczne, na łatwo mierzalne wielkości elektryczne, takie jak napięcie stałe, częstotliwość czy przedział czasu. Postęp technologiczny doprowadził do sytuacji, gdzie mamy do czynienia z tzw. czujnikami inteligentnymi, które są zintegrowane z układem przetwarzania i standaryzacji sygnału. Największą zaletą tych czujników jest to, że potrafią eliminować wpływ zakłóceń.

Blok akwizycji pośredniczy między czujnikami pomiarowymi a blokiem przetwarzania danych. Jego zadaniem jest zbieranie sygnałów pomiarowych i przekształcanie ich na postać cyfrową. W bloku tym jest wykonywana wstępna normalizacja sygnału analogowego. Na wejściu bloku znajduje się przełącznik kanałów umożliwiający wybór sygnału z poszczególnych czujników według określonego programu. Układ formujący służy do normalizacji sygnału wejściowego, zakresu i szybkości zmian sygnału, charakterystyki kanału pomiarowego. W układzie próbkująco-pamiętającym dokonywane jest pobranie próbek wartości sygnału w dyskretnych momentach i zapamiętywanie tych wartości w czasie przetwarzania przetwornika A/C. Przetwornik A/C przekształca sygnał analogowy na kod cyfrowy.



Rys. 21. Konfiguracja bloku akwizycji [10]

Blok akwizycji należy do najważniejszych bloków funkcjonalnych systemu pomiarowego. Praktyczne realizacje tego bloku są uzależnione od przeznaczenia systemu. I tak blok akwizycji może tworzyć woltomierz cyfrowy z zewnętrznym przełącznikiem kanałów, dołączony do magistrali systemu lub dwa typy woltomierzy: woltomierz próbkujący (do pomiarów szybkich, ale mniej dokładny) i woltomierz integracyjny (do pomiarów dokładnych, ale wolniejszych).

Blok przetwarzania danych jest odpowiedzialny za cyfrową obróbkę sygnałów pomiarowych zgodnie z przyjętym algorytmem. Jeżeli kontrolerem w systemie pomiarowym jest komputer, to na ogół, oprócz sterowania systemem, pełni on jednocześnie funkcję bloku przetwarzania danych. W przypadku systemów wymagających przetwarzania w czasie rzeczywistym przyspieszenie obliczeń zapewniają wydzielone bloki funkcjonalne z procesorami sygnałowymi, realizujące złożone i pracochłonne algorytmy przetwarzania danych.

Blok generacji sygnałów wykorzystywany jest do wytwarzania sygnałów wymuszających, do generacji sygnałów wzorcowych oraz do wytwarzania sygnałów sterujących elementami wykonawczymi obiektu pomiarowego. Blok ten wymaga jednak jednego lub kilku przetworników C/A w celu wytworzenia sygnałów analogowych.

Oprogramowanie w systemach pomiarowych

Działaniem każdego automatycznego systemu pomiarowego zawierającego kontroler steruje program, umożliwiający realizację przez system odpowiedniego algorytmu. Tego typu program lub zestaw programów nosi nazwę oprogramowanie. Rozróżnia się dwa rodzaje oprogramowania:

- podstawowe – umożliwia działanie komputera niezależnie od tego, czy jest on stosowany jako kontroler w systemie pomiarowym,
- użytkowe – steruje przebiegiem konkretnego procesu pomiarowego, współpracuje z systemem operacyjnym.

O funkcjonalności systemu pomiarowego decyduje zarówno oprogramowanie podstawowe, jak i użytkowe.

Oprogramowanie podstawowe wybiera projektant systemu pomiarowego.

W przypadku oprogramowania użytkowego, projektant ma do wyboru większy wachlarz możliwości, gdyż oprogramowanie to jest tworzone „na miarę” tzn. tak, aby zapewnić prawidłową pracę poszczególnych bloków konkretnego systemu pomiarowego. Tradycyjnie stosuje się kodowanie algorytmu działania systemu w jednym z języków programowania, np. Basic, Pascal, C, C++, lub języku typu assembler jak: HP Basic firmy Hewlett Packard, Lab Windows firmy National Instruments.

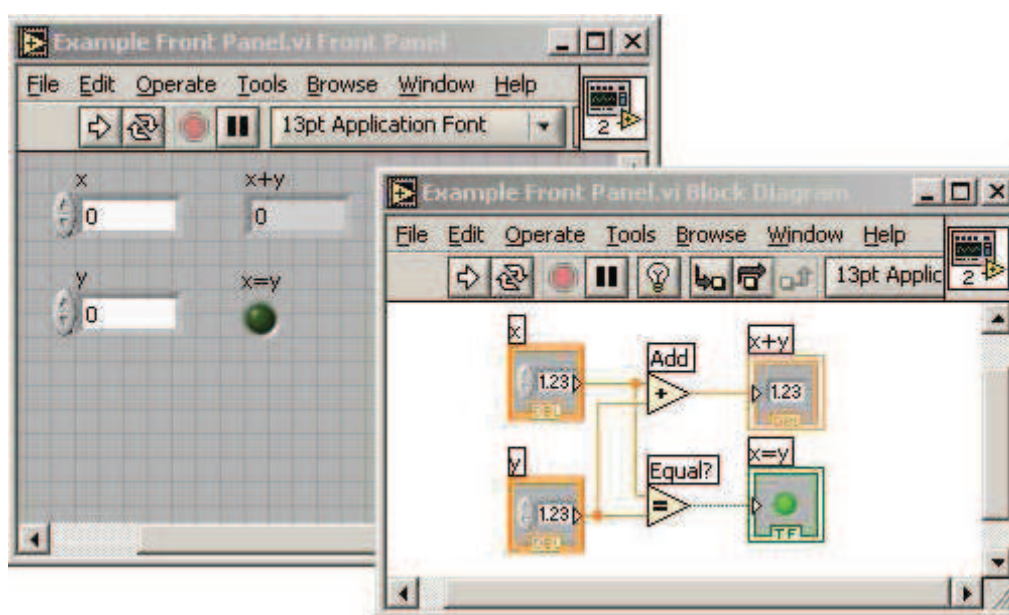
Przy programowaniu obsługi przetworników przyrządów pomiarowych stosowanych w systemie pomiarowym, korzysta się z bibliotek drajwerów dołączonych przez producenta konkretnego przetwornika lub przyrządu. Są to gotowe zestawy procedur zapewniających obsługę programową wszystkich funkcji przyrządów.

Przy korzystaniu z wymienionych pakietów zintegrowanych, do programowania algorytmów przetwarzania wyników pomiarów i ich obrazowania, możliwe jest wykorzystanie dołączonych bibliotek funkcji matematycznych i procedur graficznych.

Opis środowiska LabVIEW

LabVIEW jest graficznym językiem programowania. Programy pisane w środowisku LabVIEW nazywane są instrumentami wirtualnymi (Virtual Instruments, w skrócie VI's), ponieważ ich wygląd i działanie imituje fizyczne instrumenty, takie jak oscyloskopy czy multimetry.

W odróżnieniu od tekstowych języków programowania, w których kolejne linie kodu określają wykonywanie programu, w LabVIEW wykonywanie aplikacji determinowane jest przez przepływ danych na diagramie (dataflow programming).



Rys. 22. Przykład programu w środowisku LabVIEW [7]

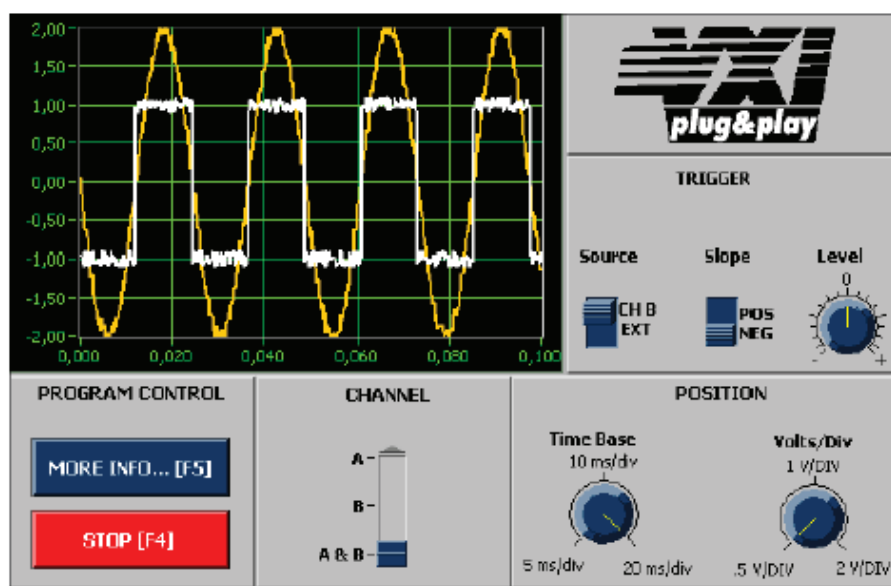
Panel frontowy i diagram blokowy

Program pisany w środowisku LabVIEW zawiera dwa okna: Front Panel – pełniący rolę interfejsu użytkownika i Block Diagram – zawierający graficzny kod programu. Każdy z nich wyświetla przypisany mu obrazek (ikonę), który jest graficzną reprezentacją programu. Panel frontowy jest budowany przy pomocy kontroltek (controls) i wskaźników (indicators), które są odpowiednio wejściowym i wyjściowym terminalem programu. Kontrolki to na przykład pokręta, przyciski, numeryczne terminale. Wskaźnikami są: wykresy, diody LED i inne wyświetlacze.



Rys. 23. Przykłady kontroltek używanych w środowisku LabVIEW [7]

Kontrolki reprezentują wejście instrumentu wirtualnego i przekazują dane do diagramu blokowego programu. Indykatory symulują wyjście instrumentu i wyświetlają dane wyliczone lub wygenerowane przez kod programu.



Rys. 24. Przykład instrumentu wirtualnego [7]

Diagram blokowy składa się z terminali, funkcji, struktur i przewodów. Terminale są wejściowym i wyjściowym portem wymieniającym informację pomiędzy panelem frontowym a diagramem blokowym. Reprezentują one typ danej kontrolki lub wskaźnika. Można zmodyfikować terminale tak, aby widoczne były na diagramie jako ikony typu danych lub jako ikony kontroltek widocznych na panelu frontowym (ustawienie domyślne).



Terminal kontrolki – pokręta widziany jako obrazek typu danych (DBL – cztero bajtowa liczba zmiennie preczykowa)



Terminal tej samej kontrolki z ikoną i z zaznaczonym niżej typem danych. Terminal widziany jako ikona kontrolki jest większy, ale przez to bardziej czytelny

Funkcje to programy, które jako wynik zwracają jedną lub więcej wartości. W LabVIEW możemy je podzielić na dwa rodzaje: pierwotne i tzw. subVI. Funkcji pierwotnych nie można edytować, nie posiadają one panelu ani diagramu, traktuje się je jako „czarne skrzynki” wykonujące pewne obliczenia i zwracające wynik. Programy złożone z funkcji pierwotnych to subVI. Można zobaczyć ich zawartość i edytować je. Do tej grupy zalicza się programy tworzone przez użytkownika.

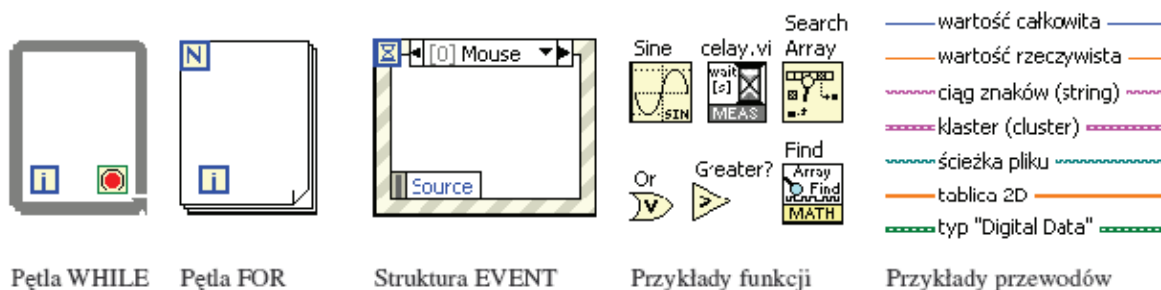
Struktury

Struktury są graficzną reprezentacją pętli, i funkcji podejmujących wielowariantowe decyzje. Podobnie jak inne elementy panelu struktury posiadają terminale łączące je z funkcjami, strukturami etc., zawierają one wewnętrzny diagram zwany dalej subdiagramem. Do struktur zalicza się:

- pętla FOR – wykonuje swój subdiagram określoną ilość razy,
- pętla WHILE – wykonuje swój subdiagram aż do napotkania warunku stopu,
- struktura CASE – zawiera wiele subdiagramów, dla każdego przypadku inny diagram wykonywany pod zadany warunkiem
- struktura SEQUENCE – zawiera jeden lub więcej subdiagramów, które wykonuje się po kolei,
- struktura EVENT – struktura zdarzeń zawierająca jeden lub więcej subdiagramów wykonujących się w zależności od interakcji użytkownika z programem.

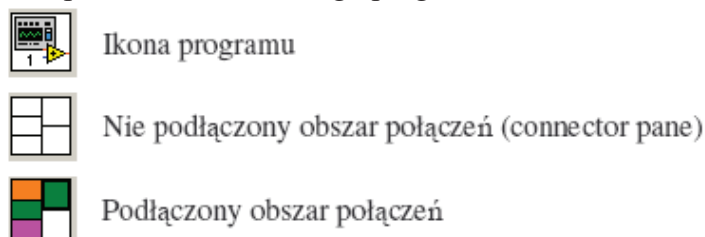
Tworzenie kodu programów

Przepływ danych w diagramie jest reprezentowany przez przewody (wire). Każdy przewód ma pojedyncze źródło danej, ale może być doprowadzony do wielu funkcji lub wskaźników. Przewody mają różne kolory, style i grubości w zależności od typu przesyłanej danej (rys. 25).



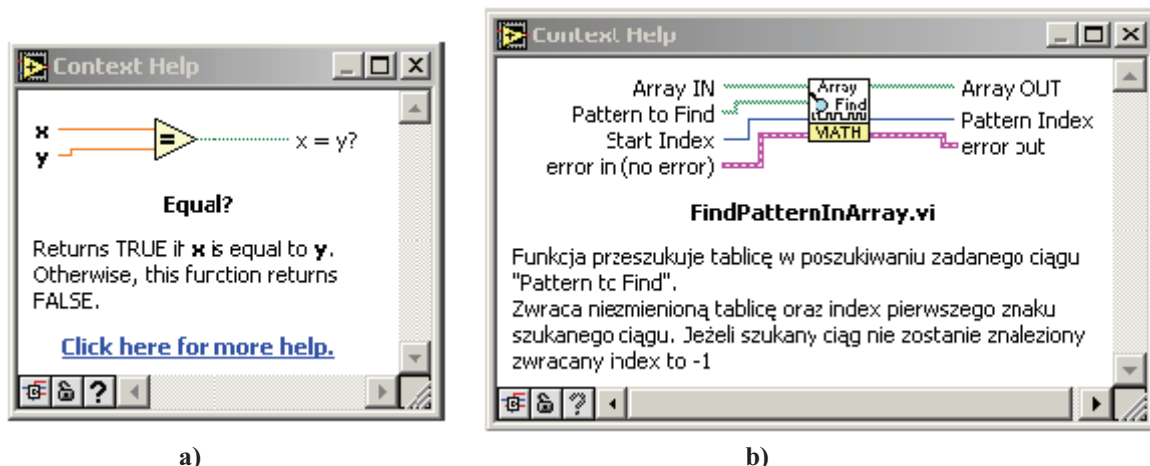
Rys. 25. Przykłady struktur, funkcji i przewodów używanych w środowisku LabVIEW [7]

Zbudowany program może być użyty jako podprogram (subVI) pod warunkiem zbudowania dla niego obszaru połączeń. Jest to grupa terminali odnoszących się do kontrolki i indykatorów użytych w programie (podobnie jak lista parametrów wywołania funkcji w językach tekstowych). Po użyciu VI'a jako subVI'a można podłączyć dane wejściowe i wyjściowe do obszaru połączeń zbudowanego programu.



Rys. 26. Ikony obszarów podłączonych i niepodłączonych do programu [7]

Pojedyncze VI'e można zapisywać jako pliki lub grupować zapisując grupę programów w bibliotece. Można definiować zachowanie i wygląd każdego programu. Okno pomocy kontekstowej (Context Help) pokazane poniżej wyświetla opis wskazanej kursorem funkcji. Opis może być dodany do własnego VI'a.



Rys. 27. Po najechaniu myszą na ikonę funkcji „Equal?” wyświetlany jest jej opis (a), opis dodany do własnego programu jest wyświetlany w oknie pomocy po najechaniu myszą na ikonę VI'a (b) [7]

Funkcje w LabVIEW

Pisanie programu wiąże się z używaniem różnych funkcji, które w tradycyjnych językach tekstowych są po prostu wpisywane (np. +, =, *mean()*). Aby w LabVIEW użyć określonej funkcji należy ją znaleźć na palecie funkcji i umieścić na diagramie. Paleta funkcji (Function Palette) jest zbiorem wszystkich dostępnych funkcji środowiska LabVIEW. Jako pierwsze na palecie umieszczone zostały opisane wcześniej struktury. Kolejne funkcje to:

- funkcje numeryczne do arytmetycznych, trygonometrycznych, logarytmicznych, zespolonych operacji matematycznych na liczbach jak *równie_* do konwersji ich typów,
- funkcje logiczne pozwalające na obliczanie wartości jednej zmiennej, lub tablicy wartości logicznych takich jak: zmiana wartości na przeciwną, operacje na „bramkach” logicznych, konwersja wartości logicznych do numerycznych i odwrotnie,
- funkcje operujące na ciągach znaków (String), pozwalają one na łączenie, dzielenie, przeszukiwanie, zamienianie ciągów znaków, zamienianie ich wartości numerycznych i odwrotnie,
- funkcje operujące na tablicach (Array), pozwalają między innymi na utworzenie tablicy, sprawdzenie jej wymiaru, dzielenie, dodawanie, usuwanie elementów tablicy,
- funkcje operujące na zbiorach (Cluster), czyli obiektach odpowiadających strukturom języka C, lub rekordom Pascala, pozwalają na wkładanie i wyciąganie pojedynczych elementów ze zbioru, konwersję zbiorów na tablicy i odwrotnie,
- funkcje porównujące służące do porównywania wartości numerycznych, logicznych, ciągów znaków, tablic i zbiorów,
- funkcje obsługi czasu i funkcje dialogowe stosowane do określania prędkości wykonywania struktur, pobierania wartości czasu z zegara systemowego, tworzenie okien dialogowych,
- funkcje do operacji plikowych, służące między innymi do zapisywania i odczytywania z pliku, otwieranie, zamykanie, zapisanie, odczytanie, stworzenie, usunięcie pliku lub katalogu,
- funkcje do komunikacji pozwalające na wymianę danych pomiędzy aplikacjami (niekoniecznie napisanymi w LabView) przez TCP/IP, UDP, IrDA, DS, Bt i inne,

- funkcje do obsługi urządzeń pozwalających na komunikację z urządzeniami przy użyciu architektury Virtual Instrument Software Architecture (VISA),
- funkcje do obsługi urządzeń pomiarowych firmy National Instruments.

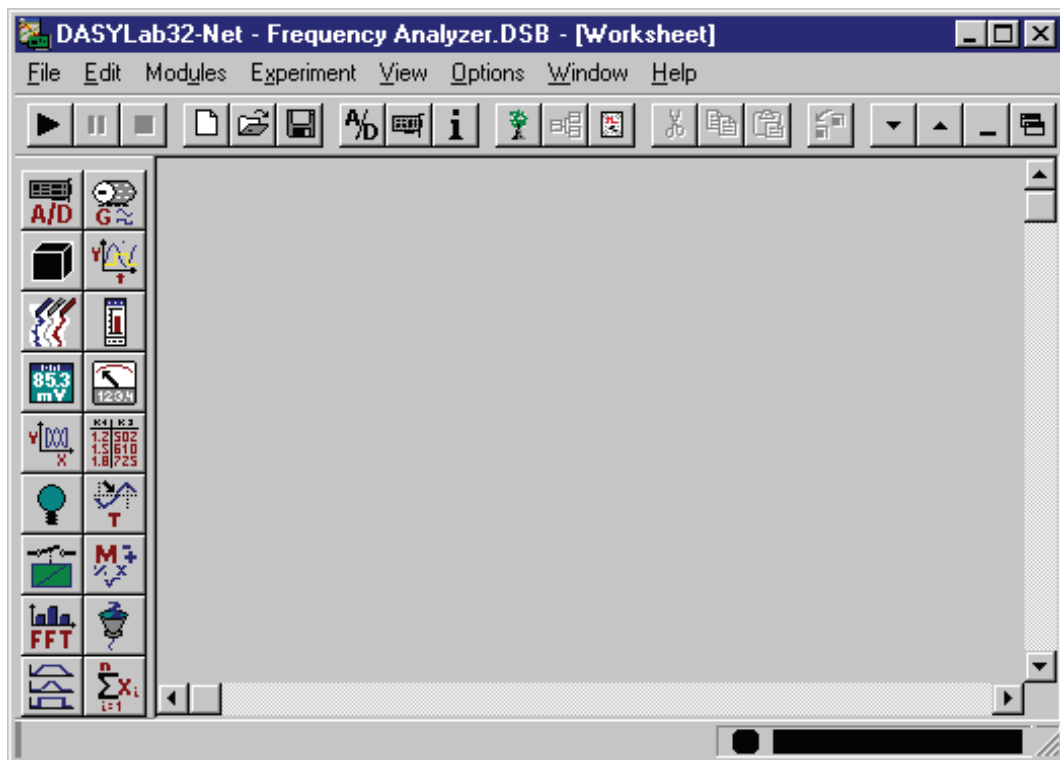
Wymienione wyżej funkcje można podzielić na dwie kategorie: funkcje do obróbki danych, oraz funkcje komunikujące się ze sprzętem i pozwalające na zbieranie danych lub ich wysyłanie na zewnątrz komputera.

Definicje typów

Zmienne w środowisku LabVIEW reprezentowane są jako kontrolki, którym można przypisać specyficzne właściwości, takie jak np.: typ danych, wartości maksymalne i minimalne, wielkość, kolor i wiele innych. Ustawioną raz kontrolkę użytkownik może zapisać w pliku z rozszerzeniem „.crt”, co pozwoli używać jej z ustawionymi wcześniej własnościami. Aby zapisać wybraną kontrolkę należy ją zaznaczyć, a następnie w menu „Edit” wybrać opcję „Customize Control”. Pojawi się okno edycji kontrolki, gdzie można ustawić jej własności. Dodatkowo w oknie edycji użytkownik ma możliwość ustawienia jednego z trzech sposobów zachowania się zmiennej: jako zwykła kontrolka, jako definicja typu (typedef) lub jako ścisła definicja typu (strict typedef).

Zachowanie zmiennej jak zwykłej kontrolki pozwala wywołać ją z pliku z ustawionymi parametrami, które później można dowolnie zmieniać w programie. Zmienna zapisana jako definicja typu lub jako ścisła definicja typu pozwala używać tą samą kontrolkę w wielu miejscach, zawsze zachowując te same parametry i wartości domyślne w każdym miejscu programu. Zmiana typu kontrolki zmieni ją w każdym innym miejscu. Różnica pomiędzy wymienionymi trybami zapisu dotyczy tych własności kontrolki, które nie mają wpływu na jej typ lub wartość – czyli rozmiar, kolor. Zapisując zmienną jako definicję typu użytkownik ma możliwość zmienić w programie jej rozmiar, kolor. Nie może jednak zmienić typu ani struktury.

Innym programem narzędziowym przeznaczonym do budowania programowych aplikacji kontrolno-pomiarowych jest DASYlab (**D**ata **A**cquisition **S**ystem **L**aboratory). W pakiecie zaimplementowano graficzny język programowania, który uwalnia projektanta aplikacji od uciążliwego programowania tradycyjnymi technikami, np. w Basic'u, w języku C, C++, Delphi i podobnych. Projektant "rysuje" algorytm naboru, przetwarzania oraz obrazowania danych pomiarowych w postaci schematu blokowego zawierającego połączone ze sobą "błoczki" przedstawiające poszczególne funkcje (np. odczyt 128 próbek z 8 kanałów pomiarowych, skalowanie, uśrednianie, wykres amplitudy w funkcji czasu). Dzięki temu język graficzny w DASYlab pozwala projektantowi skupić się na samym algorytmie, a nie na żmudnym kodowaniu i uruchamianiu poszczególnych sekwencji instrukcji tekstowych.



Rys. 28. Okno dialogowe programu DASYLab [11]

DASYlab oferowany jest w kilku odmianach różniących się między sobą liczbą modułów funkcjonalnych:

DASYlab Lite:

- nie zawiera modułu analizy sygnałów,
- zubożona liczba funkcji matematycznych,
- zubożona liczba funkcji sterujących kartami DAQ,
- brak obsługi interfejsu GPIB,
- ograniczona liczba bloków (do 32), jedna warstwa.

DASYlab Basic:

- zawiera podstawowe moduły,
- zubożona liczba funkcji do analizy sygnałów,
- obsługa GPIB i RS232,
- obsługa wszystkich kart DAQ prod. MCC albo UEI,
- brak ograniczeń liczby bloków, jedna warstwa.

DASYlab Full:

- funkcje jak w wersji Basic, zwiększona liczba funkcji z zakresu analizy sygnałów,
- sekwenser (przeprowadzanie serii testów),
- 200 warstw.

DASYlab Pro.

4.4.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Czy potrafisz wymienić funkcje, które muszą wystąpić jednocześnie w systemie pomiarowym?
2. Jakim rodzajem języka programowania jest program LabView?
3. Jaka rolę w programie LabView pełni Front Panel, a jaką Block Diagram?
4. Jakie ułatwienie daje nam stosowanie graficznego języka programowania?
5. Jakie funkcje realizuje system pomiarowy?
6. Czy potrafisz podzielić systemy pomiarowe ze względu na ich zastosowanie?

4.4.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie nr 1

Korzystając z dostępnych programów narzędziowych, napisz program do pomiaru napięcia stałego.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) uruchomić środowisko Lab View (lub inne dostępne),
- 2) napisać program,
- 3) uruchomić program i sprawdzić jego działanie.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- stanowisko komputerowe z odpowiednim oprogramowaniem,
- drukarka komputerowa do wykonaniu wydruków charakterystyk, schematów oraz listingu programów,
- zeszyt przedmiotowy ucznia,
- katalogi elementów elektronicznych,
- katalog układów scalonych.

4.4.4. Sprawdzian postępów

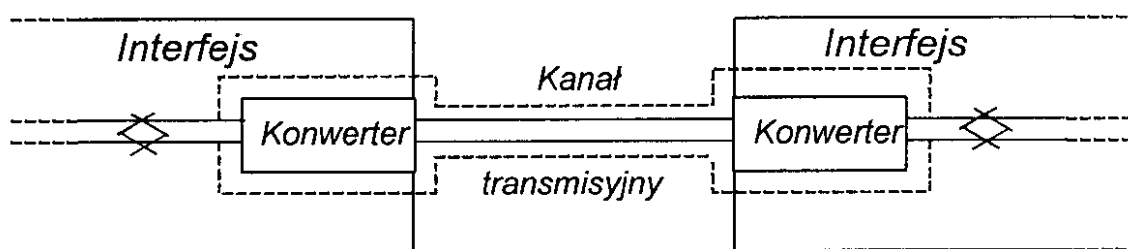
Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) wyjaśnić, do czego służy program narzędziowy?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) omówić systemy pomiarowe ze względu na ich zastosowanie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) określić, jakim językiem programowania jest program LabView?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) wymienić funkcje, które muszą wystąpić jednocześnie w systemie pomiarowym?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) wyjaśnić, jaką rolę w programie LabView pełni Front Panel, a jaką Block Diagram?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) wymienić, jakie funkcje realizuje system pomiarowy?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) wyjaśnić, jakie są korzyści z korzystania z programów graficznych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) napisać prosty program z wykorzystaniem Lab View?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.5. Interfejsy i karty pomiarowe

4.5.1. Materiał nauczania

Interfejs to zespół środków zapewniających dopasowanie mechaniczne, elektryczne i informacyjne oraz ustalających funkcjonalne relacje pomiędzy fizycznie odrębnymi częściami systemu, zgromadzonymi w celu wymiany informacji między nimi. Podstawowymi elementami interfejsu są: kable, złącza, nadajniki linii, odbiorniki linii, linie sygnałowe, funkcje interfejsowe z opisem logicznym, zależności czasowe oraz sterowanie. Wymiana danych odbywa się przez kanał transmisyjny (rys.29), którym może być np. przewód, światłowód, fale radiowe.



Rys. 29. Kanał interfejsu pomiędzy dwiema jednostkami [2]

Funkcje interfejsu

Funkcja **konwersji** polega na dostosowaniu typu danych w jednostce do typu danych stosowanego w kanale transmisyjnym (poziomy logiczne, kody, formaty wszystkich informacji).

Funkcja **synchronizacji** (ang. handshake) zapewnia synchronizację transmisji danych, uwzględnia ewentualne nieregularne lub przypadkowe opóźnienia w kanale transmisyjnym.

Funkcja **przerwania** pozwala na zatrzymanie normalnej komunikacji, aby umożliwić przesłanie specjalnych komunikatów, dotyczących zarządzania interfejsem.

Funkcja **buforowania** jest konieczna, gdy interfejs nie jest w stanie odbierać danych w sposób ciągły lub, gdy kanał transmisyjny nie jest zawsze zdolny do transmisji danych w momentach, w których oczekuje tego odbiorca danych.

Funkcja **zarządzania interfejsem** zapewnia właściwe funkcjonowanie złożonych systemów interfejsu (inicjacja interfejsu, obsługa przerw, zabezpieczenia przed przeciążeniem).

Funkcja **korekcji błędów** pozwala na korekcję błędów w danych, spowodowanych przez kanał transmisyjny.

Geneza standardu interfejsu:

Wiele firm na świecie specjalizuje się w produkcji aparatury pomiarowej i urządzeń komputerowych wyposażonych w interfejsy pomiarowe. Oferując bogatą gamę urządzeń wyposażonych w jednolity system interfejsu, firmy podejmują próby standaryzacji interfejsów. Niektóre z tych propozycji uzyskują akceptację szerokiej grupy znaczących w świecie producentów sprzętu pomiarowo – kontrolnego i są stosowane przez coraz szersze grono dostawców aparatury. Po akceptacji międzynarodowych organizacji normalizacyjnych (np. IEC, IEEE) uzyskują one rangę standardów światowych. Na podstawie zaleceń międzynarodowych przez organizacje narodowe tworzone są normy krajowe.

Do zalet stosowania standardowych interfejsów można zaliczyć przede wszystkim możliwość szybkiego zestawienia systemu pomiarowego z bloków produkowanych przez różne firmy oraz obniżenie kosztów realizacji systemu.

Klasyfikacja interfejsów ze względu na rodzaj sygnału w kanale transmisyjnym

Interfejsami typu „off-line” określamy taki sposób wymiany informacji, gdy elementy systemu nie są połączone bezpośrednim kanałem informacyjnym, dane umieszczono na nośniku stałym i przenoszone są między elementami systemu przez operatora lub użytkownika. Interfejsy analogowe wykorzystują transmisję poprzez sygnały analogowe, w których użyteczna informacja zawarta jest w amplitudzie (napięcia, prądu) lub w czasie (np. czas trwania impulsu czy częstotliwość sygnału). Interfejsy cyfrowe wykorzystują cyfrową postać informacji. Wyróżnić można trzy rodzaje interfejsów cyfrowych:

szeregowe – transmitują dane kodowane bit po bicie, wymagają tylko dwóch przewodów do sprzęgnięcia urządzeń w system, przeważnie służą do sprzęgania urządzeń w systemach rozproszonych ;

równoległe – transmitują bity słowa równoległe, konieczność zwielokrotnienia linii sygnałowych (oddzielna linia na każdy bit słowa danych, linie synchronizacyjne i adresowe), stosowane w systemach modułowych, gdzie odległości są małe;

szeregowo – równoległe – pojedyncze znaki przesyłane są znak po znaku, a bity danego znaku równoległe.

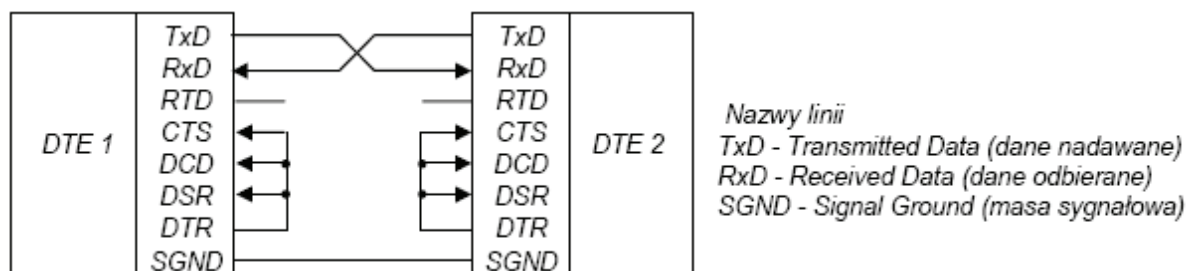
Interfejs szeregowy RS-232

Standard RS-232 powstał w 1962 r. jako interfejs do współpracy terminali z modemem w dużych systemach komputerowych. Obecnie stosowany jest w prostych systemach pomiarowych, składających się z kontrolera i jednego bloku funkcyjnego lub, gdy istnieje konieczność przesyłania danych na większe odległości. Wykorzystuje on tanie kable o bardzo małej liczbie przewodów (2-3). Systemy oparte na standardzie szeregowym RS-232 charakteryzuje mała prędkość przesyłania danych, wymiana informacji możliwa jest w danej chwili jedynie między dwoma urządzeniami. Stosowane jest złącze 25-stykowe lub 9-stykowe. Magistrala interfejsu składa się z linii danych, linii sterujących, linii synchronizacji oraz linii masy. Zgodnie z zaleceniami normy RS-232C dopuszcza się stosowanie dowolnego podzbioru zdefiniowanych w normie linii.

Tryby przesyłania danych w standardzie RS-232

- simpleks – transmisja jednokierunkowa między dwoma urządzeniami,
- półdupleks – transmisja dwukierunkowa niejednoczesna po jednej linii transmisyjnej,
- duplex – transmisja dwukierunkowa jednoczesna.

Przykład najprostszego połączenia przyrządu pomiarowego z komputerem z użyciem interfejsu RS-232 przedstawiony jest na poniższym rysunku. Wykorzystane w nim są tylko 3 linie spośród ogólnej liczby 21 linii interfejsu.

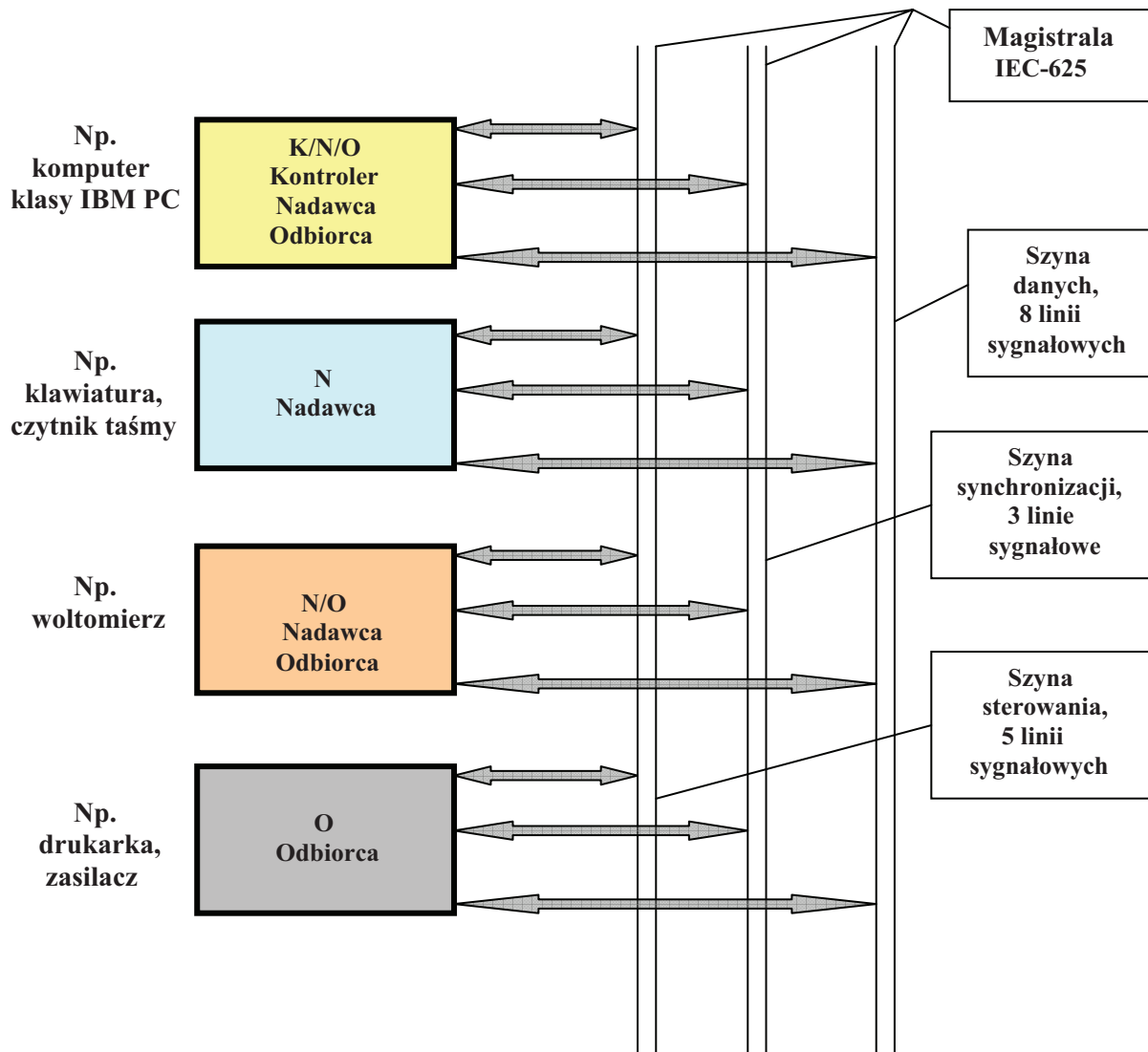


Rys. 30. Przykład połączenia przyrządu pomiarowego z komputerem przy użyciu interfejsu RS-232 [10]

Standard IEC-625

IEC – 625 to najpopularniejszy standard umożliwiający sprzężenie aparatury kontrolno – pomiarowej i informatycznej w jeden system pomiarowy. Rozwijany jest od roku 1975. Jego inne nazwy to: IEEE-488, GPIB.

Interfejs IEC – 625 (rys. 31) charakteryzuje się konfiguracją magistralową, tzn. wszystkie urządzenia dołączone są równolegle do wspólnej magistrali. Magistralą przesyłane są komunikaty interfejsowe (adresy i rozkazy) oraz komunikaty urządzeń (dane). Magistrala składa się z 16 linii sygnałowych (8 linii danych, 3 linie synchronizacji, 5 linii sterowania) oraz 9 linii masy.



Rys. 31. Struktura systemu w standardzie IEC-625 [2]

Organizacja systemu IEC-625

Każde urządzenie przyłączone poprzez interfejs IEC-625 ma możliwość pracy jako urządzenie zdalnie sterowane przez komputer lub jako samodzielny, autonomiczny przyrząd pomiarowy sterowany ręcznie z płyty czołowej. Maksymalna liczba urządzeń bezpośrednio dołączonych do magistrali wynosi 15. W systemie IEC-625 urządzenia klasyfikuje się jako:

- nadajnik – transmituje dane do innych urządzeń przez magistralę,
- odbiornik – przyjmuje dane wysyłane przez nadawcę,

– kontroler – zarządza systemem interfejsu.

Każde z urządzeń posiada swój indywidualny adres od 0 do 30. Kontroler uaktywnia (poprzez podanie adresu) właściwości nadawcze i odbiorcze urządzeń. Sposób ustawienia adresów zależy od producenta urządzenia (sprzętowe lub programowe). Transmisja komunikatów i danych między urządzeniami odbywa się sekwencyjnie bajtami w sposób asynchroniczny poprzez dwukierunkową szynę danych. Szybkość transmisji dostosowana jest do możliwości odbioru przez najwolniejsze z urządzeń (maksymalnie 1 MB / sekundę).

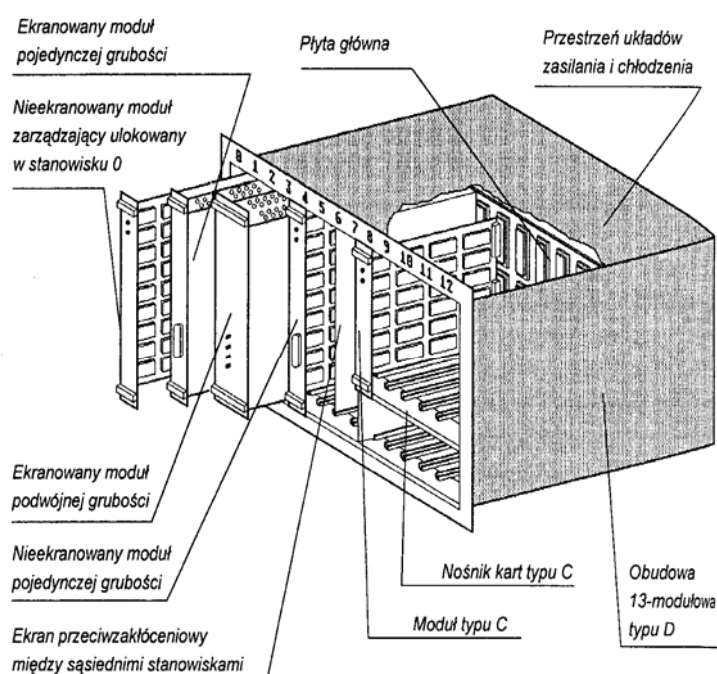
Kabel interfejsowy składa się, z co najmniej 24 przewodów umieszczonych w zewnętrznym ekranie i zakończony obustronnie złączem 25-stykowym. Maksymalna całkowita długość kabla w systemie wynosi 20 m, zaś długość połączenia między urządzeniami – 4 m (wskazane 2 m).

Standard VXI

Standard VXI jest rozwijany od roku 1987 i stanowi najbardziej zaawansowany technologicznie sposób sprzęgania aparatury kontrolno – pomiarowej. Przeznaczony jest do sterowania i obsługi zautomatyzowanych, modułowych systemów pomiarowych.

Podstawowym elementem systemu w standardzie VXI jest obudowa (kaseta), która stanowi element zespalaający mechanicznie i elektrycznie poszczególne moduły w jeden system (podsystem). W obudowie tej można zamontować moduły funkcjonalne o czterech rozmiarach, zgodnych ze znormalizowanymi wymiarami eurokart (maksymalnie 13 modułów w jednej obudowie). Magistrala główna składa się z ośmiu typów szyn. Interfejs VXI pozwala na szybkie, asynchroniczne przekazywanie danych pomiędzy modułami w postaci słów 8-, 16- i 32-bitowych po szynach transmisji danych. Maksymalna prędkość wynosi 40 MB / sekundę.

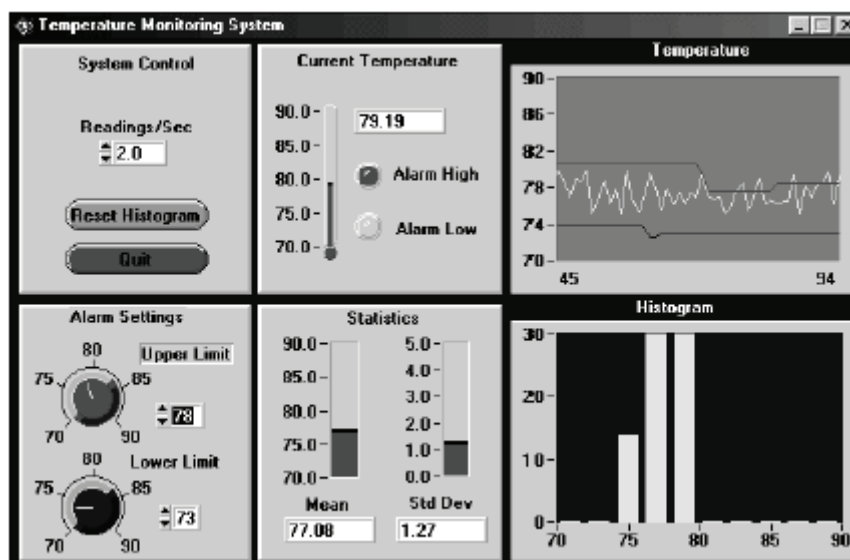
Istnieją dwa sposoby sterowania systemem: z użyciem komputera zewnętrznego, połączonego z obudową VXI poprzez moduł IEC-625/VXI lub z wykorzystaniem modułowej wersji komputera, zainstalowanej bezpośrednio w obudowie VXI.



Rys. 32. Struktura interfejsu VXI (obudowa wraz z umieszczonymi w niej modułami funkcjonalnymi) [2]

Karty pomiarowe

Coraz częściej do wykonywania pomiarów są stosowane tzw. przyrządy wirtualne. Wirtualne przyrządy pomiarowe składają się z komputera ogólnego przeznaczenia i dołączonych do niego sprzętowych bloków funkcjonalnych. Funkcje i możliwości takich przyrządów określone są zarówno przez sprzęt, jak i oprogramowanie, a ich obsługa odbywa się za pomocą ekranu komputerowego, klawiatury i myszy z wykorzystaniem graficznego interfejsu użytkownika. Jako komputer najczęściej wykorzystywany jest komputer typu PC. W roli sprzętowych bloków funkcjonalnych używane są zewnętrzne przyrządy pomiarowe wyposażone w interfejs GPIB, pakiety akwizycji danych zrealizowane w postaci karty wkładanej do komputera czy też moduły wyposażone w interfejs VXI. Przyrząd wirtualny może być budowany zarówno przez producenta firmowego jak i samodzielnie przez użytkownika. W obu przypadkach kluczową częścią przyrządu jest oprogramowanie, które integruje komputer i bloki pomiarowe, tworząc z nich przyrząd. Na oprogramowanie przyrządu wirtualnego składa się panel graficzny przyrządu oraz sterownik części sprzętowej. Panel graficzny na ekranie komputera odwzorowuje płyt czołową przyrządu wirtualnego. Panel ten zawiera zbiór symboli graficznych, służących do obsługi przyrządu takich jak przełączniki, pokręta, wskaźniki analogowe i cyfrowe, pola znakowe lub numeryczne, pola wykresów i inne. Przykład panelu wirtualnego przyrządu pokazany jest na rys.34.



Rys. 34. Przykładowy panel wirtualnego przyrządu [10]

Sterownik części sprzętowej stanowi zbiór funkcji wykorzystywanych przy komunikacji z przyrządem takich jak programowanie nastaw, wyzwalanie pomiaru, odbiór wyników, wyświetlanie wyników. Cechą wirtualnego przyrządu pomiarowego jest funkcjonalna elastyczność i rekonfigurowalność. Umożliwia to stworzenie na bazie danego sprzętowego bloku funkcjonalnego szerokiego zbioru przyrządów wirtualnych realizujących różnorodne funkcje i redukcję kosztów przyrządów oraz skrócenie czasu ich opracowania i dalszych modyfikacji.

Komputer wraz z kartą pomiarową (lub kilkoma kartami pomiarowymi) umożliwia realizację w pełni zautomatyzowanych stanowisk pomiarowych.

Karta pomiarowa ma określoną liczbę wejść analogowych niesymetrycznych lub symetrycznych, określone zakresy napięć wejściowych, określoną liczbę wejść cyfrowych, multiplekser, układ próbkująco-pamiętający, przetworniki A/C i C/A o określonej liczbie bitów, wzmacniacze pomiarowe, konwertery, filtry, dzielniki napięcia, tłumiki i inne. Wraz z kartą dostarczana jest instrukcja dotycząca jej zainstalowania i oprogramowania.

W zależności od rodzaju karty pomiarowej odpowiednio oprogramowanej, komputer może spełniać funkcję amperomierza, woltomierza, rolę oscyloskopu lub wielkości nieelektrycznych.

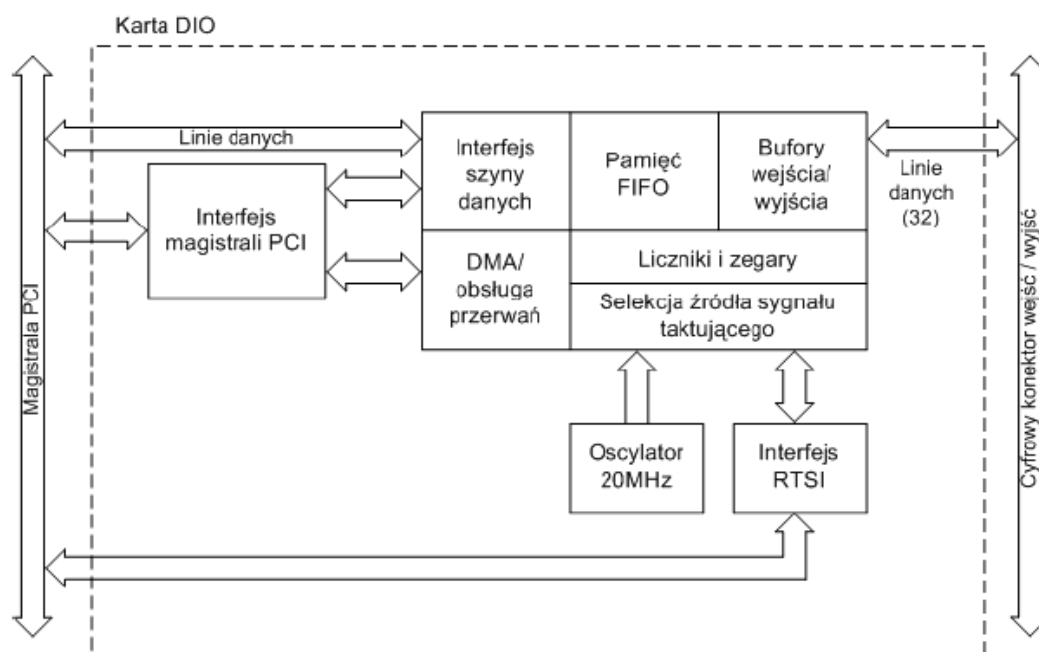
Opracowano specjalne programy (np. LabWindows, LabView itp.), które umożliwiają uzyskanie dowolnych obrazów elementów regulacji oraz uzyskanie obrazu konkretnych przebiegów na ekranie monitora.

Jest wielu producentów kart pomiarowych, np. firma National Instruments, Advantech. Poniżej przedstawiona jest karta pomiarowa firmy Advantech PCL-839+ i PCL-839.



Rys. 35. Karta pomiarowa firmy Advantech PCL-839+ i PCL-839 [8]

Innym typem karty pomiarowej jest karta NI PCI 6533 (DIO-32HS) firmy National Instruments jest próbkującą kartą cyfrowego wejścia-wyjścia. Może ona próbkować wejście/wyjście (zwane dalej DIO – Digital Input Output) z częstotliwością do 20MHz. 32 linie DIO są podzielone na cztery 8 – bitowe porty. Próbkując DIO możemy wymienione porty podzielić na dwie 8 lub 16 – bitowe grupy, lub jedną 32 – bitową grupę. Każda grupa może wykonywać operacje wejścia lub wyjścia używając tego samego zegara taktującego.



Rys. 36. Schemat blokowy karty pomiarowej NI 6533 PCI DIO 32HS [1]

Karta akwizycji danych montowana jest do magistrali PCI komputera klasy PC. Wszelkie dane pomiędzy kartą a komputerem przesyłane są dzięki zamontowanym w karcie interfejsom pozwalającym odbierać, wysyłać dane, obsługiwać przerwania oraz bezpośredni dostęp do pamięci (DMA – Direct Access Memory). Pamięć FIFO (First Input First Output) to komórki pamięci, do których dostęp jest szybszy niż do danych zapisywanych na dyskach twardech. Kolejują one bity, które w danym momencie nie mogą być przesłane do magistrali PCI lub wystawione na pin karty. Bufory wejścia/wyjścia to komórki przechowujące pojedyncze wysyłane i odbierane dane.

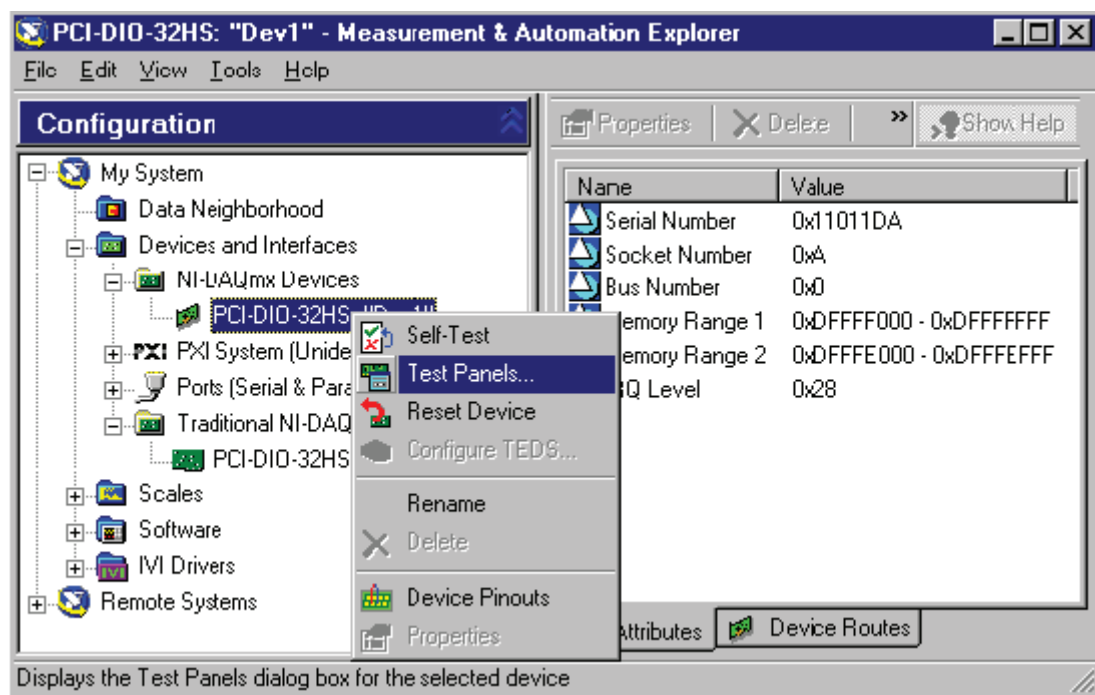
Karta posiada wewnętrzny oscylator 20MHz, do którego synchronizowane są operacje wejścia/wyjścia. Dzięki niemu można osiągać okres próbkowania do 50ns. Zamiast wewnętrznego zegara karty można również wybrać zegar zewnętrzny, który będzie reprezentowany przez linie RTSI (Real-Time System Integration) przychodzące z magistrali PCI. Występujący w nazwie karty człon 32HS należy interpretować w taki sposób, że karta posiada 32 linie szybkiego wejścia/wyjścia (HS – High Speed).

Instalacja karty pomiarowej NI PCI 6533 (DIO-32HS) firmy National Instruments.

Podczas instalacji sterowników NI-DAQ instalowany jest program Measurement & Automation Explorer (MAX). Służy on między innymi do:

- konfiguracji sprzętu firmy National Instruments,
- testowania zamontowanego sprzętu,
- kalibracji sprzętu,
- konfiguracji oprogramowania NI,
- tworzenia kanałów (channels) i wątków (tasks).

Po zamontowaniu nowego urządzenia należy uruchomić MAX'a, który wykryje wszystkie urządzenia i zainstalowane oprogramowanie National Instruments. Będą one dostępne w odpowiednich zakładkach menu (karty pomiarowe w „Devices and Interfaces”, oprogramowanie w „Software”).

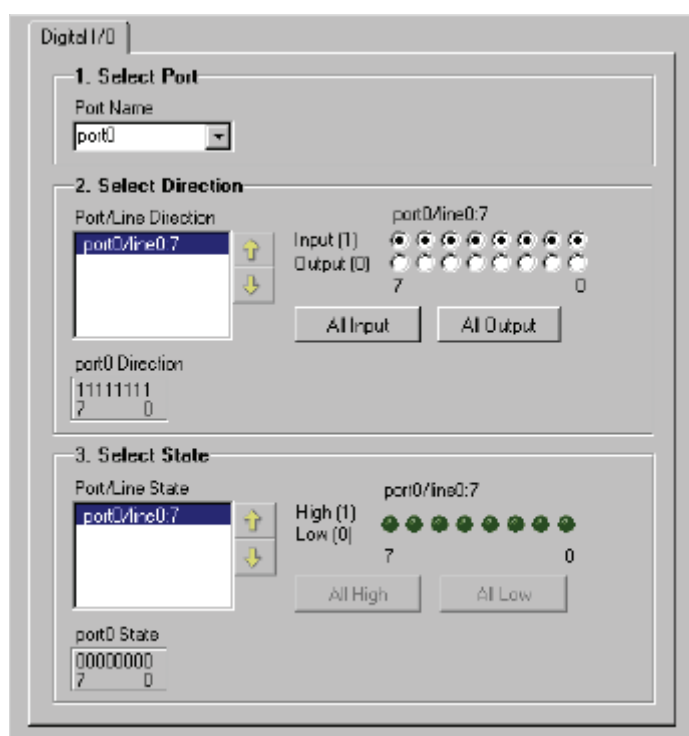


Rys. 37. Okno programu MAX z zaznaczoną kartą DIO oraz menu spod prawego klawisza myszy [1]

Możliwe do wykonania funkcje dla karty PCI-6533 przy użyciu sterowników DAQmx to:

- self – test, – czyli auto-sprawdzenie karty,
- test panels – wywołanie panelu testowego pozwalającego na szybkie wystawienie żadanego stanu na wyjście i odczytanie stanu dowolnego wejścia (rys. 38),
- reset device – przy braku komunikacji z urządzeniem (np. uruchomienie karty przy użyciu starszych sterowników) należy je w pierwszej kolejności zresetować,
- rename – zmiana nazwy, pod którą jest widziane urządzenie w oknie MAX'a,
- device pinouts – wykaz nazw kolejnych wejść/wyjść karty.

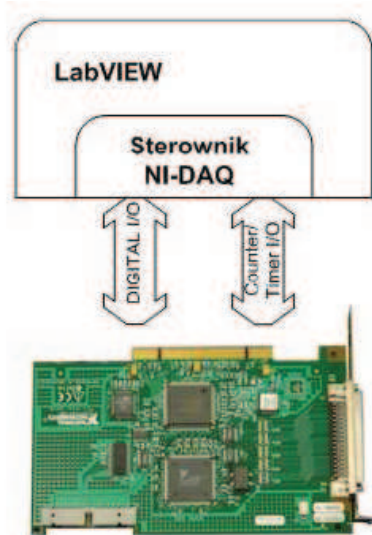
Podobne funkcje znajdują się w obsłudze karty przy pomocy sterownika Traditional NI-DAQ. Jednak obsługa karty przy użyciu starszych sterowników może w szczególności spowodować fakt, iż nie będzie ona mogła być obsługiwana przez sterownik nowszy. Powodem tego może być niepoprawne zamknięcie lub wyrejestrowanie urządzenia. Należy wówczas zresetować urządzenie.



Rys. 38. Okno panelu testowego cyfrowej karty pomiarowej [1]

Konfigurując kartę pomiarową na określone zadania, należy odwoływać się do jej fizycznych wejść/wyjść. Można odwołać się do nich bezpośrednio lub pośrednio przez stworzenie tak zwanego kanału wirtualnego, odwołującego się do kanału fizycznego karty. Kanał fizyczny jest terminalem lub pinem, który może mierzyć lub generować określone sygnały (analogowe lub cyfrowe). Każdy kanał fizyczny urządzenia widziany, przez DAQmx posiada niepowtarzalną nazwę.

LabVIEW zawiera szereg funkcji pozwalających na konfigurację, wysyłanie i odbieranie danych z karty akwizycji danych – DAQ. Karta pomiarowa umieszczona w komputerze zbiera przychodzące do jej wejścia dane, które są następnie przekształcane przez oprogramowanie na postać wygodną dla użytkownika. Program ma możliwość kontrolowania urządzenia do akwizycji danych dzięki sterownikowi karty. Jest to specjalny zestaw instrukcji dla danego urządzenia (karty), poprzez który można się z nim komunikować.



Rys. 39. LabVIEW komunikuje się z kartą pomiarową poprzez sterownik (driver) tej karty [1]

4.5.2. Pytania sprawdzające

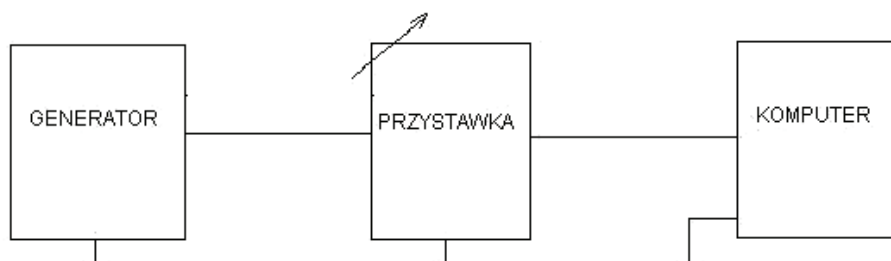
Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie jest zadanie programu MAX firmy National Instruments?
2. Jakie zalety wiążą się z wykorzystywaniem przyrządów wirtualnych?
3. Czy potrafisz wymienić trzy funkcje interfejsu?
4. Czy potrafisz wymienić rodzaje interfejsów cyfrowych?
5. Jak nazywamy transmisję dwukierunkową jednoczesną?
6. Czy potrafisz dokonać podziału interfejsów ze względu na rodzaj sygnału w kanale transmisyjnym?
7. W jakim celu stosuje się karty pomiarowe?

4.5.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie nr 1

Mając do dyspozycji kartę pomiarową, dokonaj jej instalacji oraz wykonaj podstawowe pomiary napięcia i prądu.



Schemat pomiarowy do ćwiczenia nr 13 - Układ pomiarowy do pomiarów z wykorzystaniem karty muzycznej

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) przygotować stanowisko pracy do wykonania ćwiczenia,
- 2) przygotować wykaz przyrządów i sprzętu pomiarowego,
- 3) podłączyć przystawkę pomiarową z komputerem za pomocą wejścia „Line-In”,
- 4) podłączyć napięcie zasilania przystawki,
- 5) podłączyć wyjście generatora do wejścia przystawki i ustawić na generatorze przebieg sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz,
- 6) uruchomić oprogramowanie dostępne w komputerze,
- 7) zapoznać się z funkcjami poszczególnych klawiszy i suwaków występujących w oknie dialogowym programu,
- 8) dokonać regulacji poziomu sygnału za pomocą programu lub za pomocą przystawki jeśli sygnał mimo maksymalnych ustawień w programie nadal jest przesterowany,
- 9) dokonać regulacji przebiegu w poziomie tak aby był dobrze widoczny,
- 10) wykonać pomiary dla trzech częstotliwości próbkowania 11,025kHz, 22,050kHz, 44,1kHz,
- 11) zaobserwować dokładność obserwowanego przebiegu,
- 12) odczytać z obserwowanego przebiegu częstotliwość i amplitudę,
- 13) porównać w/w wartości z nastawami w generatorze (uwzględnić ewentualny podział napięcia w przystawce),
- 14) zwiększyć częstotliwość generatora do 10kHz i powtórzyć powyższe pomiary,
- 15) zmienić w programie tryb pracy na analizę widma,
- 16) zmieniać kształty, amplitudę i częstotliwość wyjściową z generatora,
- 17) zaobserwować rozkład widma dla różnych kształtów przebiegów oraz zmiany amplitudy i częstotliwości poszczególnych składowych przy zmianach amplitudy i częstotliwości przebiegu badanego,
- 18) porównać otrzymane wyniki i sformułować wnioski,
- 19) zaprezentować wyniki z wykonanego ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- stanowisko komputerowe z zainstalowanym oprogramowaniem np. „Winscope”,
- przystawka pomiarowa rozszerzająca zakres pomiarowy i buforująca wejście komputera,
- generator funkcyjny,
- kable połączeniowe,
- literatura z rozdziału 6.

Ćwiczenie 2

Wyznaczenie charakterystyk elementów elektronicznych za pomocą charakterografu.



Schemat blokowy układu pomiarowego do ćwiczenia nr 2

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z instrukcją obsługi charakterografu,
- 2) przygotować wykaz sprzętu pomiarowego,
- 3) przygotować stanowisko pracy do wykonania ćwiczenia,
- 4) zmontować układ zgodnie z rysunkiem i instrukcją obsługi charakterografu,
- 5) ustalić zakres, częstość wykonywanych pomiarów i skalę osi dla badanego elementu,
- 6) włożyć badany element do odpowiedniego gniazda w przystawce,
- 7) uruchomić oprogramowanie dostępne w komputerze,
- 8) zapoznać się z funkcjami poszczególnych klawiszy i suwaków występujących w oknie dialogowym programu,
- 9) wykonać pomiary zgodnie z zaplanowanym zakresem i częstością,
- 10) zapisać pomiary na dysku i wydrukować,
- 11) wyznaczyć charakterystykę na podstawie pomiarów, zapisać na dysku i wydrukować,
- 12) wykonać powyższe operacje dla pozostałych elementów,
- 13) odczytać z wykresów charakterystyczne parametry badanych elementów,
- 14) zaprezentować wyniki z wykonanego ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- stanowisko komputerowe z zainstalowaną kartą charakterografu,
- przystawka do przyłączenia odpowiednich elementów elektronicznych,
- drukarka komputerowa,
- zestaw elementów elektronicznych oraz płytki uniwersalna,
- literatura z rozdziału 6.

4.5.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) wymienić podstawowe zalety przyrządów wirtualnych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) dokonać podziału interfejsów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) korzystając z Internetu, wyszukać oprogramowanie dla konkretnego typu karty pomiarowej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) wymienić funkcje interfejsów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) Wykonać, krok po kroku, instalację karty pomiarowej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) znaleźć przyczynę błędnego działania karty pomiarowej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) dobrać odpowiedni typ interfejsu do przesłania konkretnych danych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

6. LITERATURA

1. Dokumentacja karty pomiarowej NI PCI 6533 (DIO - 32HS)
2. Jakubowska M.: Interfejsy pomiarowe – notatki z wykładu. Wydawnictwo AGH, Kraków 2002
3. Marusak A., J.: Urządzenia elektroniczne cz.3. WSiP, Warszawa 2000
4. Mielczarek W.: Szeregowe interfejsy cyfrowe. Helion, Gliwice 1993
5. Parchański J.: Miernictwo elektryczne i elektroniczne. WSiP, Warszawa 1998
6. Pióro B., Pióro M.: Podstawy elektroniki cz.2. WSiP, Warszawa 1997
7. Tłaczała W.: Środowisko LabVIEW w eksperymencie wspomaganym komputerowo. WNT, Warszawa 2002
8. www.advantech.com.pl
9. www.elektroda.pl
10. www.eti.pg.gda.pl
11. www.janbit.com.pl
12. www.pwsz.legnica.edu.pl
13. www.republika.pl
14. www.nt.if.pwr.wroc.pl