Ćwiczenie nr 5

Uniwersalny system pomiarowy do obsługi wieloparametrowego eksperymentu

Cel ćwiczenia: zapoznanie ze sposobem zestawienia systemu pomiarowego składającego się ze standardowej aparatury pomiarowej i sterowaniem jej za pomocą komputera jako przykład realizacji uniwersalnego systemu pomiarowego z interfejsem IEEE488 (GPIB, IEC-625) do analizy częstotliwościowej dwójników.

1. Wprowadzenie

Do badania układów dynamicznych najczęściej wykorzystuje się wyznaczanie charakterystyk częstotliwościowych przy wymuszeniu sygnałem harmonicznym (sinusoidalnym) o zmienianej częstotliwości w określonym zakresie. Stosowanie sygnału sinusoidalnego jest korzystne z kilku względów:

- każdy sygnał może być wyrażony jako suma sygnałów sinusoidalnych o różnych częstotliwościach (szereg Fouriera),
- odpowiedź stacjonarnego stabilnego układu liniowego przy wymuszeniu sinusoidalnym jest także sinusoidą o tej samej częstotliwości,
- przebiegi sinusoidalne łatwo wygenerować z określonymi parametrami.

2. Charakterystyka amplitudowa i fazowa

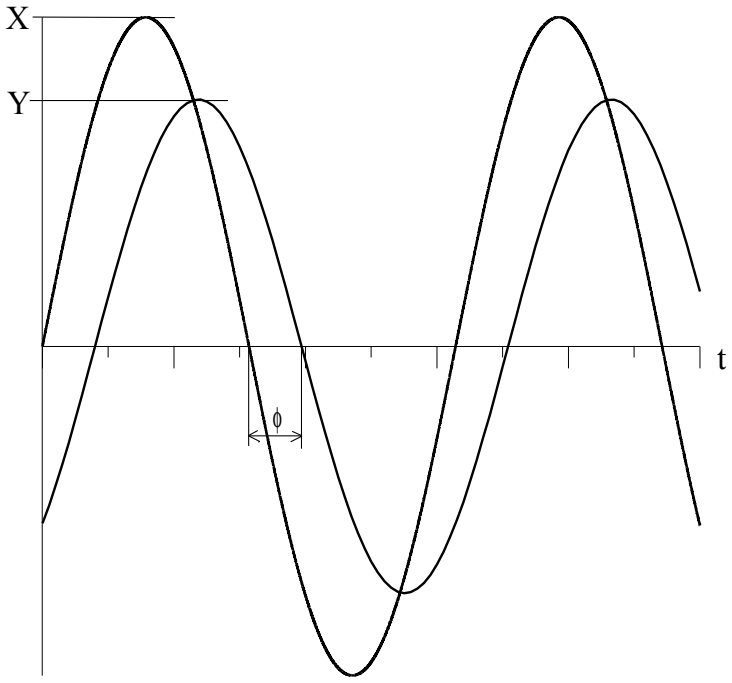
Podając na wejście badanego układu przebieg sinusoidalny zgodnie z zależnością:

$$x(t)=X\sin(\omega t) \tag{1}$$

to po ustaniu stanów przejściowych na wyjściu otrzymamy przebieg:

$$y(t)=Y\sin(\omega t+\varphi). \tag{2}$$

Na wykresie przedstawia się to następująco:



Rys.1. Przebieg na wejściu i wyjściu badanego obiektu

Zmiana amplitudy i fazy przebiegu wyjściowego zależy od charakterystyki obiektu oraz od pulsacji ω. Jeżeli zaobserwujemy zmianę amplitudy oraz fazy przebiegu wyjściowego dla szerokich zmian częstotliwości zadawanego przebiegu to otrzymamy charakterystyki częstotliwościowe układu.

Charakterystyka amplitudowa A(ω) określona jest jako stosunek amplitudy przebiegu wyjściowego do amplitudy przebiegu wejściowego w funkcji częstotliwości:

$$A(\omega) = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)} \tag{3}$$

Często zamiennie używa się nazwy wzmocnienie układu, przy czym jeżeli wartość ta jest mniejsza od jedności mówimy o tłumieniu. Jednostka zależy do sygnałów na wejściu i wyjściu - najczęściej jest to $\left[\frac{V}{V}\right]$.

Charakterystyka fazowa φ(ω) jest to przesunięcie fazowe sygnały wyjściowego w stosunku do sygnału wejściowego w funkcji częstotliwości. Wyrażamy ją w radianach lub stopniach.
Przy zdejmowaniu charakterystyki częstotliwościowej staramy się utrzymywać stałą amplitudę przebiegu wejściowego.
Jeżeli znany jest model matematyczny liniowego układu dynamicznego w postaci transmitancji operatorowej $G(s)$ to możemy na postawie transmitancji określić charakterystyki częstotliwościowe układu. W tym celu określa się transmitancję widmową:

$$G(j\omega) = G(s)\big|_{s=j\omega} = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} \tag{4}$$

Transmitancję widmową jako wartość zespoloną możemy przedstawić (w układzie współrzędnych biegunowych) w postaci moduł-argument:

$$G(j\omega) = \left|G(j\omega)\right| \cdot e^{j\cdot \arg G(j\omega)} \tag{5}$$

Zależność modułu transmitancji widmowej G(jω) od pulsacji ω jest charakterystyką amplitudową układu natomiast zależność argumentu do częstotliwości jest charakterystyką fazową:

$$A(\omega) = \left|G(j\omega)\right| \tag{6}$$

$$\varphi(\omega) = \arg G(j\omega) \tag{7}$$

dlatego też G(jω) nazywa się też charakterystyką widmową układu.

W układzie współrzędnych prostokątnych charakterystykę widmową możemy zapisać w formie część rzeczywista - część urojona:

$$G(j\omega)=\mathrm{Re}[G(j\omega)]+j\mathrm{Im}[G(j\omega)]=P(\omega)+jQ(\omega) \tag{8}$$

W takim przypadku charakterystyki częstotliwościowe możemy określić z zależności:

$$A(\omega) = \sqrt{P^2(\omega) + Q^2(\omega)} \tag{9}$$

$$\varphi = \mathrm{arc\ tg}\frac{Q(\omega}{P(\omega)}) \tag{10}$$

3. Sposoby wykreślania charakterystyk częstotliwościowych

Rysując wykres parametryczny względem parametru ω na płaszczyźnie zespolonej otrzymamy wykres Nyquista. Jest to linia zakreślona na płaszczyźnie zespolonej przez koniec wektora $G(j\omega)$ przy zmianie ω od 0 do ∞ (tzw. hodograf) a jego punkty wynikają z zależności (8,9,10). Wykres taki zawiera informację o amplitudzie i przesunięciu fazowym dlatego też nazywany jest charakterystyką amplitudowo-fazową.

Znacznie częściej rysuje się na osobnych wykresach charakterystyki amplitudową i fazową w funkcji częstotliwości w skali logarytmicznej. Są to charakterystyki Bodego.
Logarytmiczną charakterystykę amplitudową określamy zależnością:

$$L_m(\omega) = 20\log_{10} A(\omega) = 20\log_{10}\left|G(j\omega)\right| \qquad (11)$$

jednostką jest decybel [dB] a na wykresie przedstawiana jest w zależności od częstotliwości przestawionej w skali logarytmicznej.
Logarytmiczna charakterystyka fazowa $\varphi(\omega)$ jest to zależność przesunięcia fazowego od częstotliwości przedstawionej w skali logarytmicznej.
Zaletą stosowania logarytmicznych charakterystyk jest możliwość składania przebiegów poprzez ich dodawanie a nie mnożenie. Druga zaleta to czytelne przedstawienie charakterystyki w szerokim zakresie zmian częstotliwości, w przypadku dążenia do górnej częstotliwości układu widać liniowe opadanie charakterystyki.

4. GPIB i SCPI

GPIB (General Purpose Interface Bus) jest jednym z ważniejszych interfejsów stosowanych do łączenia przyrządów pomiarowych z komputerem. Standard ten został zaproponowany w 1974 roku przez firmę Hewlett-Packard i był jednym z pierwszych ujednoliconych standardów komunikacyjnych między urządzeniami wejścia/wyjścia. Został zatwierdzony jako standard IEEE-488 (w Europie oznaczany jako IEC-625). Początkowo standard ten opisywał jednie elektryczne właściwości transmisji (8 linii danych, 8 linii kontrolnych, złącze 24 stykowe) oraz protokół transmisyjny. Dużą wadą był brak zdefiniowania danych przesyłanych a więc komend, sposobu zakończenia linii polecenia (np. CR i LF albo EOI). Była to duża wada, gdyż uniemożliwiała wymianę sprzętu na inny tego samego typu ale innego producenta bez konieczności poważnej modyfikacji oprogramowania.
W 1985 roku firma Tektronix zaproponowała standardowy zestaw komend dla magistrali GPIB, który został zaakceptowany w 1987 roku jako standard IEEE-488.2 a dotychczasowa norma została przemianowana jako IEEE-488.1 i określała sposób transmisji w warstwie fizycznej. Dzięki takiemu rozwiązaniu pewne komendy stały się uniwersalne dla wielu urządzeń (np. identyfikacja *IDN?, zerowania *CLS) ale wiele komend dalej było swobodnie interpretowanych przez różnych producentów co w dalszym ciągu uniemożliwiało podmianę tego samego typu sprzętu na taki sam ale innego producenta.
Kolejnym krokiem było zdefiniowanie standardu komend do przyrządów pomiarowych określanego jako SCPI. Zdefiniowana została forma wysyłania komend nastaw do przyrządów oraz forma uzyskiwania od nich odpowiedzi. Większość komend są to skróty słów angielskich wraz z dodatkowymi argumentami.
Każde z urządzeń GPIB ma swój adres fizyczny w zakresie od 0 do 30. Adresy 0 i 21 są najczęściej używane przez kartę interfejsu PC-GPIB, adres 31 jest specjalnym adresem tzw. Unlisten/Untalk i dotyczy wszystkich urządzeń na magistrali. Ze względu na to, że wiele urządzeń używa podwójnych adresów maksymalna liczba urządzeń wynosi 14. W praktyce

nie stanowi to ograniczenia, gdyż można zastosować drugi kontroler GPIB lub też użyć ekspandera. Urządzenia mogą być połączone w gwiazdę (czyli wszystkie urządzenia łączone są od kontrolera), w kaskadę (każde następne urządzenie podłączane jest do poprzedniego) lub też można stosować połączenie mieszane. Fabryczne kable GPIB mają złącza przelotowe umożliwiające różne typy połączeń. Ograniczeniem jest maksymalna długość kabla pomiędzy dwoma urządzeniami 4 metry a między pierwszym urządzeniem a kontrolerem 2 metry. Maksymalna długość kabla nie może przekraczać 20 metrów. Ograniczenia te można ominąć stosując tzw. ekspandery. Interfejs GPIB do komputera PC może być wykonany w postaci karty rozszerzeń (PCI lub ISA), modułu USB-GPIB, modułu Serial-GPIB, modułu Paralell-GPIB a w przypadku stosowania komputerów przenośnych także jako moduł rozszerzeń PCMCIA-GPIB lub ExpressCard-GPIB. Dostępne są także moduły LAN-GPIB umożliwiające sterowanie urządzeń poprzez sieć Internet.
Zestaw urządzeń z interfejsem GPIB jest bardzo szeroki - mogą to być multimetry, oscyloskopy cyfrowe, generatory a także multipleksery. Warto wspomnieć tu o urządzeniach, które mogą tylko przyjmować polecenia (tzw. Listener) np. multiplekser oraz przyjmować i wysyłać polecenia (Listener/Talker) np. multimetr.
Aby nie trzeba było zagłębiać się w fizyczny sposób transmisji w środowiskach programistycznych (np. LabView) są gotowe procedury obsługujące interfejs GPIB. W najprostszym przypadku obsługa polega na wysłaniu pod określony adres na magistrali odpowiedniego zestawu komend programujących dane urządzenie i ewentualnie odczytanie danych wysłanych przez urządzenie z tego adresu. W przypadku starszych urządzeń trzeba jeszcze podać rozkaz wyzwalający (Trigger) aby urządzenie zastosowało się do wysłanych komend.

4.1. Programowanie generatora

Podstawową komendą programującą standardowy przebieg jest **APPly** (małe litery w poleceniach mogą być pominięte). Po tym poleceniu należy podać typ przebiegu (np. sinusoidalny), częstotliwość, amplitudę oraz składową stałą zgodnie ze składnią:

APPly: SINusioid [<częstotliwość> [,<amplituda> [,<składowa stała>]]]

Dla przebiegu sinusoidalnego częstotliwość może być zadawana w przedziale od 1μHz do 20MHz. Nie zawsze musimy podawać amplitudę, czasem wygodniej jest zadawać wartośc szczyt-szczyt co zaznaczamy jako VPP po podanej wartości, podobnie możemy zadawać wartość skuteczną VRMS. Polecenia w nawiasach kwadratowych mogą być opuszczone jeżeli nie ma potrzeby zadawania tych parametrów. Po poleceniu APPly przebieg jest od razu ustawiany i włączane jest wyjście generatora.
Wszystkie polecenia programujące można znaleźć w instrukcji dostępnej na stanowisku i w wersji elektronicznej na stronie z materiałami pomocniczymi do ćwiczeń.

4.2. Programowanie oscyloskopu

Oscyloskop cyfrowy umożliwia określenie wielu parametrów sygnału (np. wartości szczytowej, częstotliwości) i przesłania ich do komputera. Parametry te możemy uzyskiwać za pomocą polecenia MEASUREMENT. Aby uzyskać interesującą nas wartość musimy wykonać po kolei:

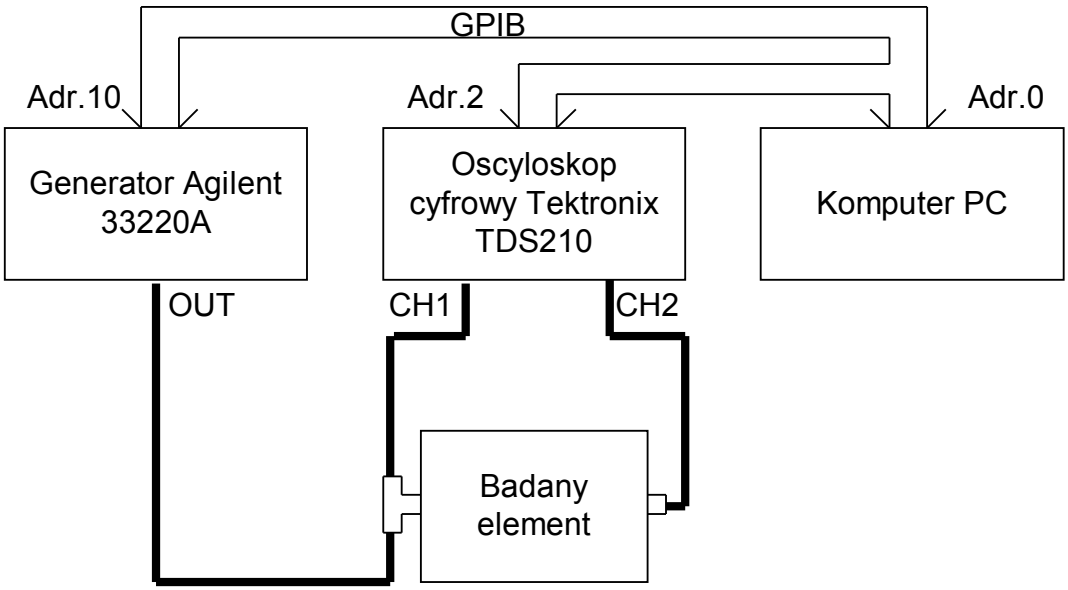
1. Wybrać kanał z którego mają być wykonane pomiary np. MEASUREMENT:MEAS1:SOURCE CH1 - wybiera kanał pierwszy.

2. Wybrać jaka wartość ma być zmierzona np. MEASUREMENT:MEAS1:TYPE PK2PK oznacza, że chcemy zmierzyć wartość szczyt-szczyt.
3. Wysłać żądanie wyniku MEASUREMENT:MEAS1:VALUE? co da w odpowiedzi wynik pomiaru poprzedzony komunikatem MEASUREMENT:.

W przypadku wyznaczania charakterystyk lepiej jest za pomocą oscyloskopu dokonać próbkowania sygnału w obu kanałach i wyniki przesłać do komputera a dopiero za pomocą komputera określić interesujące nas wielkości: wzmocnienie oraz przesunięcie fazowe.
Aby przesłać przebieg do komputera należy wykonać następujące czynności:
1. Użyć polecenia DATa:SOURCE do wyboru przebiegu (np. kanał CH<x>, operacja matematyczna MATH, REF<x>).
2. Użyć polecenia DATa:ENCdg do określenia sposobu kodowania (ASCIi, binarny w kolejności od najmłodszego do najstarszego bitu lub odwrotnie, wartości od 0 do 255 lub od -128 do +127).
3. Użyć polecenia DATa:WIDth do określenia rozdzielczości przesyłanych danych (1 - 8bitów, 2-16 bitów; należy pamiętać, że rozdzielczość przetworników oscyloskopu to 8 bitów a 16 bitów jest uzyskiwane na zasadzie przeliczeń).
4. Użyć polecenia DATa:STARt i DATa:STOP do określenia początku i końca przedziału przesyłanych próbek (od 1 do 2500).
5. Użyć polecenia WFMPRe? do przesłania informacji o nastawach oscyloskopu (wzmocnienie, podstawa czasu) - są niezbędne gdy chcemy obliczyć z próbek wartości w jednostkach rzeczywistych.
6. Użyć polecenia CURVE? do przesłania danych.

Ze względu na dużą liczbę przesyłanych danych należy ustawić odpowiednią liczbę odbieranych znaków i uwzględnić czas potrzebny na ich przesłanie (w przypadku GPIB ma to mniejsze znaczenie ze względu na większą szybkość transmisji niż przez port szeregowy).
Opis pozostałych poleceń można znaleźć w instrukcji dostępnej na stanowisku oraz w wersji elektronicznej na stronie z materiałami dodatkowymi do ćwiczeń.

5. Opis stanowiska pomiarowego



Rys.2. Uproszczony schemat blokowy stanowiska pomiarowego

Na stanowisku pomiarowym znajdują się generator arbitralny Agilent 33220A, oscyloskop cyfrowy Tektronix TDS210 połączone z komputerem klasy PC za pomocą interfejsu GPIB. Z generatora sygnał podawany jest na wejście badanego elementu oraz na wejście kanału pierwszego oscyloskopu, z wyjścia badanego elementu sygnał podawany jest na wejście kanału drugiego oscyloskopu.
Generator arbitralny Agilent 33220A ma możliwość generacji 10 standardowych typów przebiegów o częstotliwości do 20MHz z niezależnie ustawianą amplitudą, częstotliwością i składową stałą. Ma także możliwość generacji przebiegu z zaprogramowanych indywidualnie próbek. Wyposażony jest w interfejs GPIB oraz USB, programowany jest za pomocą komend SCPI.
Oscyloskop cyfrowy Tektronix TDS210 jest dwukanałowym oscyloskopem cyfrowym o częstotliwości granicznej 60MHz umożliwiający rejestrację do 2500 punktów pomiarowych na kanał. Ma możliwość obliczania podstawowych parametrów sygnału (częstotliwość, okres, wartość skuteczna, wartość szczyt-szczyt) a po dołączeniu opcjonalnego bloku matematycznego także analizy harmonicznych za pomocą szybkiej transformaty Fouriera. Wyposażony jest w interfejsy GPIB, RS232C oraz Centronics, programowany jest za pomocą komend SCPI.

6. Przebieg ćwiczenia

6.1. Uruchamianie stanowiska pomiarowego.

- włączyć komputer i uruchomić środowisko LabView
- włączyć oscyloskop cyfrowy, odczekać aż przejdzie diagnozę
- włączyć generator

Wyłączanie stanowiska realizujemy w kolejności odwrotnej.

6.2. Testowanie komunikacji GPIB

- z przykładów dostępnych w środowisku LabView uruchomić komunikację PC-GPIB. Wybrać adres generatora 10, włączyć możliwość pisania (Write) oraz odczytu (Read) z magistrali GPIB. Wysłać polecenie identyfikacji przyrządu *IDN? i sprawdzić czy przyrząd odpowiada poprawnie. Czynność powtórzyć dla oscyloskopu znajdującego się pod adresem 2.
- Korzystając z polecenia APPLY ustawić częstotliwość 100Hz, amplitudę 2V bez składowej stałej na generatorze. Skonfigurować odpowiednio kanał pierwszy oscyloskopu do odczytania wartości międzyszczytowej przebiegu z oscyloskopu i odczytać tą wartość.
- Uruchomić aplikację **charakterystyki** i zobaczyć jak jest zbudowana. Uzupełnić podprogram wyznaczania wzmocnienia **wzmocnienie-czysty** obliczający wzmocnienie zgodnie z zależnością (11)
- Po uzupełnieniu uruchomić program i zdjąć charakterystyki w zakresie do 1kHz.
- Przedyskutować otrzymane wyniki pomiarowe.