

Przemysław OTOMAŃSKI*
Zbigniew KRAWIECKI*

WYKORZYSTANIE ŚRODOWISKA LABVIEW W BADANIACH CHARAKTERYSTYK FILTRU DOLNOPRZEPUSTOWEGO

W pracy zaprezentowano możliwości zastosowania zintegrowanego środowiska programowania LabVIEW do wyznaczania charakterystyki amplitudowej filtru dolnoprzepustowego. Przedstawiono podstawy teoretyczne działania tego typu filtrów oraz określono wybrane parametry tych podzespołów. Zaprezentowano proces tworzenia przykładowego filtru z wykorzystaniem oprogramowania FilterPro. Zaproponowano algorytm przetwarzania, który umożliwia wyznaczanie żądanej charakterystyki. Zaprojektowano i skonstruowano przykładowy filtr dolnoprzepustowy. Opracowano oprogramowanie, napisane w środowisku LabVIEW, umożliwiające akwizycję sygnałów pomiarowych. Przedstawiono przykładowe wyniki badań z wykorzystaniem zaprojektowanego filtru. Omówiono możliwości prezentacji i wizualizacji wyników pomiarów w postaci wygodnej i przyjaznej dla użytkownika.

SŁOWA KLUCZOWE: filtr dolnoprzepustowy, charakterystyka amplitudowa, przyrząd wirtualny

1. WPROWADZENIE

Filtr aktywny jest układem elektronicznym, którego zadaniem jest przepuszczenie sygnałów znajdujących się w pewnym zakresie częstotliwości, zwanym pasmem przenoszenia filtru, a tłumieniem sygnałów poza tym zakresem. Filtr aktywny, obok elementów biernych RC, zawiera jeden lub kilka wzmacniaczy operacyjnych, a jego właściwości są w większości zastosowań lepsze w porównaniu z filtrami pasywnymi. W zależności od pasma częstotliwości przepuszczanego przez układ definiuje się cztery główne typy filtrów:

- dolnoprzepustowe,
- górnoprzepustowe,
- pasmowo–przepustowe,
- pasmowo–zaporowe.

Zadaniem filtru dolnoprzepustowego jest wydzielenie i przeniesienie pewnego fragmentu częstotliwości z podanego sygnału, leżącego poniżej określonej

* Politechnika Poznańska.

wartości częstotliwości granicznej. Bardziej rozbudowany opis rozważanych zagadnień można znaleźć, między innymi, w pracy [1].

Na etapie projektowania danego filtra należy podać wartości szeregu parametrów. Obligatoryjne z nich to: wartości częstotliwości granicznej, która wyznacza pasmo przenoszenia, oraz tłumienie w paśmie zaporowym, które określa szybkość opadania charakterystyki amplitudowej, poprzez określenie jej nachylenia. Dla wygody, w praktycznej realizacji filtrów, dla określenia tłumienności filtra stosuje się miarę logarytmiczną wyrażoną w decybelach. Wówczas zależność na stromość opadania charakterystyki takiego filtra, wyrażona przez wartość tłumienia L w paśmie zaporowym, można opisać równaniem (1):

$$L = 20 \log \frac{U_2}{U_1} \quad (1)$$

gdzie: L – wartość tłumienia sygnału, U_1 – wartość skuteczna napięcia wejściowego, U_2 – wartość skuteczna napięcia wyjściowego.

2. ŚRODOWISKO PROGRAMOWANIA LABVIEW

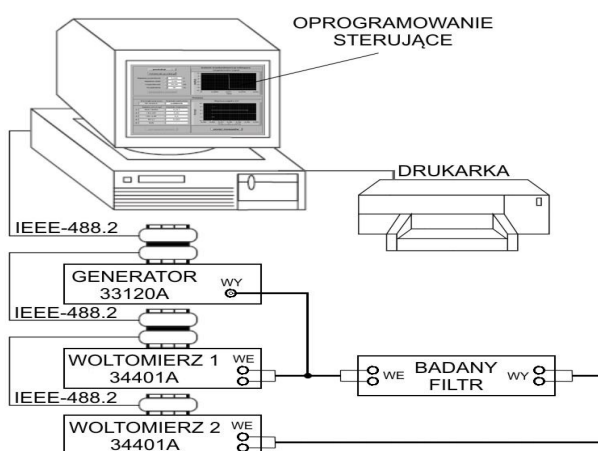
Środowisko programowania LabVIEW (ang. *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) jest graficznym językiem programowania wykorzystywanym do tworzenia aplikacji przeznaczonych do symulacji, gromadzenia informacji oraz kontroli przesyłu danych. W środowisku LabVIEW programista ma do dyspozycji dwa główne okna: panel i diagram. Panel stanowi aktywny interfejs z użytkownikiem i może zawierać elementy do wprowadzania (kontrolki) i wyprowadzania (wskaźniki) danych. Program w tym środowisku nie jest zapisywany w postaci poleceń tekstowych, lecz jest przedstawiony w postaci algorytmu za pomocą gotowych bloków, funkcji i innych obiektów. Diagram z kolei to schemat blokowy, w którym elementy łączone są liniami obrazującymi przepływ sygnału (danych). Programy utworzone w środowisku LabVIEW nazywane są przyrządami wirtualnymi VI (ang. *Virtual Instrument*) [2–6]. Przyrządy wirtualne stanowią nową generację przyrządów pomiarowych, gdzie realizacja sprzętowa pewnych funkcji zastąpiona jest odpowiednim oprogramowaniem wykonywanym przez komputer ogólnego przeznaczenia [7–8]. W odróżnieniu od standardowych języków programowania takich jak np. język C, gdzie instrukcje determinują wykonanie programu, w LabVIEW o wykonaniu programu decyduje przepływ danych [9].

3. STANOWISKO POMIAROWE

Projektując stanowisko pomiarowe do wyznaczania charakterystyki amplitudowej filtra dolnoprzepustowego przyjęto, że komunikacja między przyrządami i komputerem będzie zrealizowana z wykorzystaniem magistrali GPIB

(IEEE-488.2). Do tego celu użyto kontroler firmy National Instruments typu NI PCI-GPIB. Takie rozwiązanie w znacznym stopniu upraszcza konfigurację stanowiska, gdyż transmisja danych między kontrolerem a przyrządami pomiarowymi odbywa się na podstawie adresu identyfikującego, indywidualnego dla każdego przyrządu pomiarowego.

Badania przeprowadzono na zaprojektowanym i skonstruowanym stanowisku pomiarowym, przedstawionym na rys. 1.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego do wyznaczania charakterystyki amplitudowej filtru dolnoprzepustowego

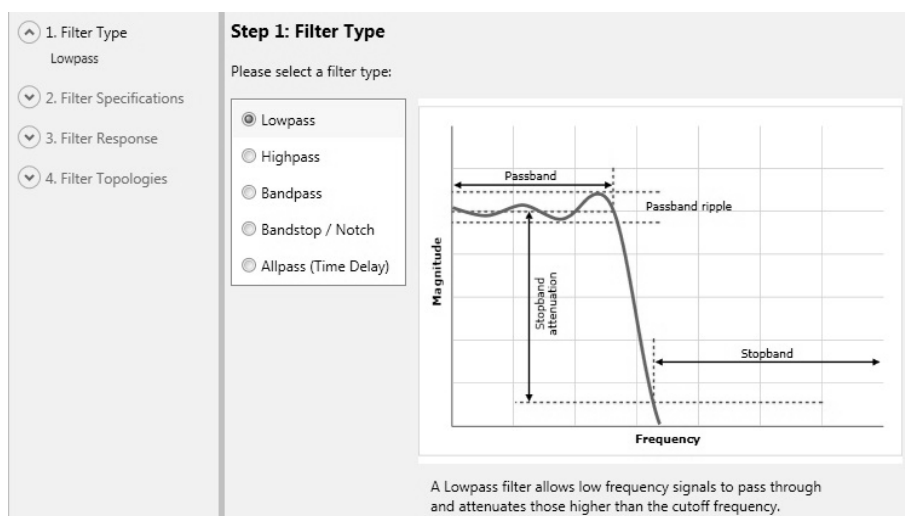
Stanowisko to składa się z generatora przebiegu firmy Agilent – typ 33120A [10], pełniącego funkcję źródła sygnału sinusoidalnego, woltomierzy 1 i 2 również firmy Agilent – typ 34401A [11], wskazujących wartości skuteczne napięć wejściowego i wyjściowego, badanego filtru, oraz komputera wraz z oprogramowaniem sterującym. Przyrządy wchodzące w skład stanowiska pomiarowego wyposażone są w interfejs komunikacyjny IEEE-488.2, co umożliwia ich zdalne sterowanie z poziomu komputera i opracowanej aplikacji, napisanej w środowisku LabVIEW w oparciu o rozkazy standardu SCPI.

4. PROJEKTOWANIE FILTRU DOLNOPRZEPUSTOWEGO

Do projektowania wybranego filtru dolnoprzepustowego wykorzystano oprogramowanie FilterPro firmy Texas Instruments. Jest to narzędzie stworzone do projektowania i edytowania analogowych filtrów aktywnych. Program ten charakteryzuje się „przyjaznym” interfejsem oraz krokowym sposobem tworzenia projektów. W dalszej części pracy przedstawiono kolejne etapy projektowania filtru dolnoprzepustowego, który będzie wykorzystany przy realizacji praktycznej ta-

kiego podzespołu i w badaniach charakterystyki amplitudowej. Szczegółowy opis poszczególnych etapów projektowania filtrów można znaleźć w pracy [12].

W pierwszym etapie wybiera się typ filtru, w rozpatrywanym przypadku filtr dolnoprzepustowy. Na rysunku 2 przedstawiono stosowne okno programu FilterPro.



Rys. 2. Okno wyboru rodzaju filtru

W kolejnym kroku projektowania filtru należy podać wartości kilku podstawowych parametrów, przede wszystkim wzmacnienie w paśmie przenoszenia, częstotliwość graniczną oraz wartość tłumienia filtru w pasmie zaporowym lub rząd filtru. W rozpatrywanym przypadku zaproponowano następujące parametry:

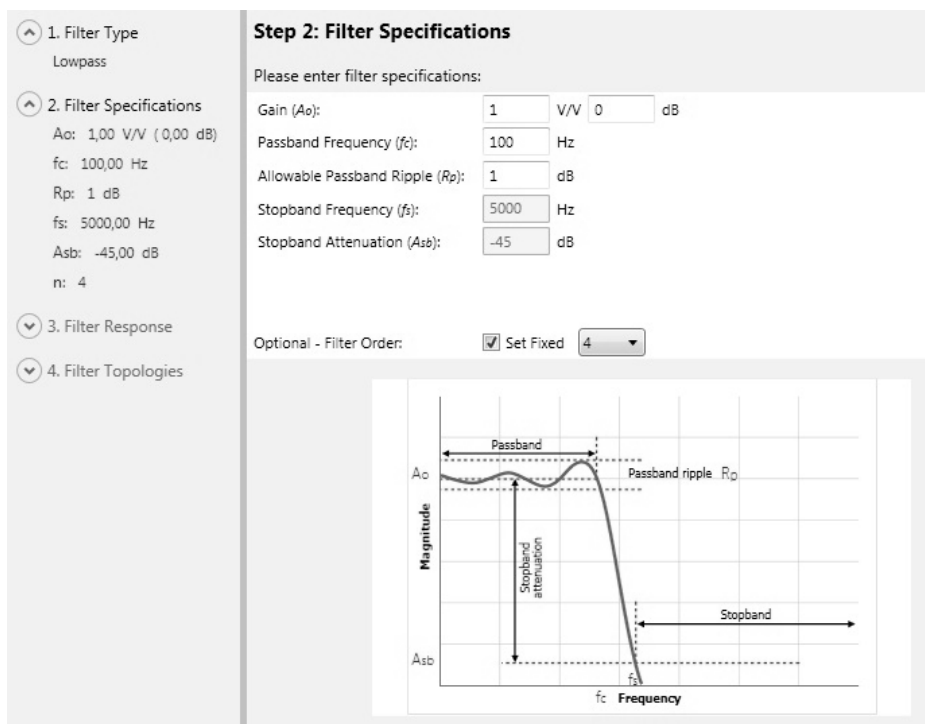
- częstotliwość graniczna filtru $f_c = 100$ Hz,
- wzmacnienie w paśmie przenoszenia $A_o = 0$ dB,
- rząd filtru: 4.

Na rysunku 3 zaprezentowano okno programu z wprowadzonymi wartościami parametrów filtru.

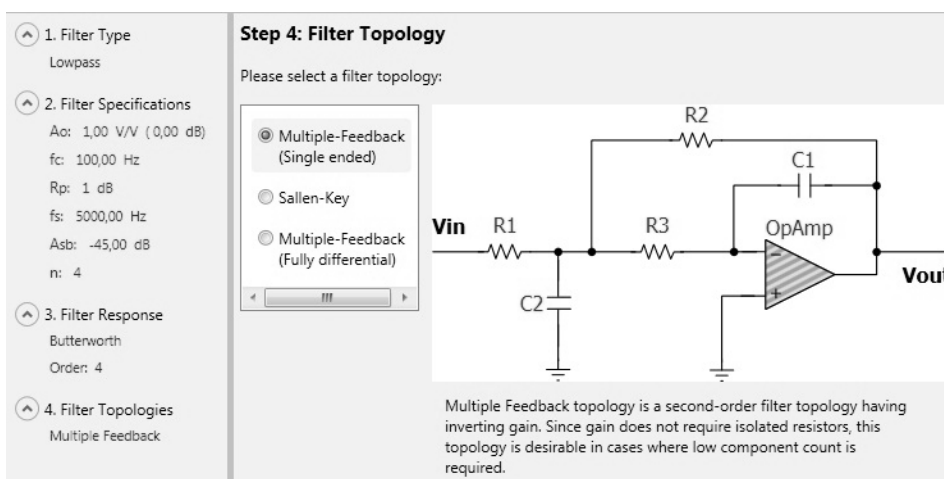
W następnym etapie projektowania filtru wybierana jest topologia połączeń elementów wchodzących w skład filtru. Do wyboru są trzy opcje:

- Multiple Feedback (Single ended) – wielokrotne sprzężenie zwrotne,
- Sallen Key,
- Multiple Feedback (Fully differential).

Rysunek 4 przedstawia okno programu FilterPro do wyboru topologii projektowanego filtru dolnoprzepustowego. Ten ostatni etap kończy proces doboru parametrów żadanego filtru. W wyniku przeprowadzonych obliczeń, dla zadanych parametrów, zaproponowano filtr Butterworth'a czwartego rzędu.

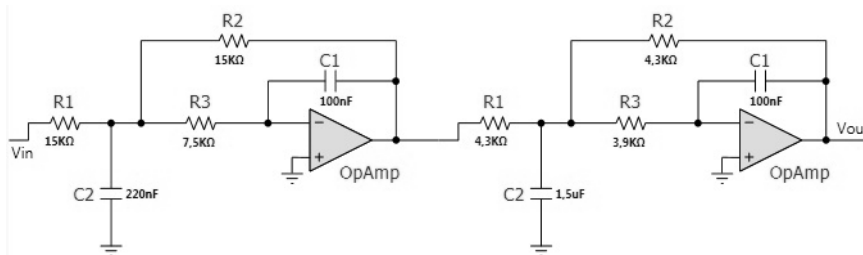


Rys. 3. Okno zawierające specyfikacje wybranego filtru



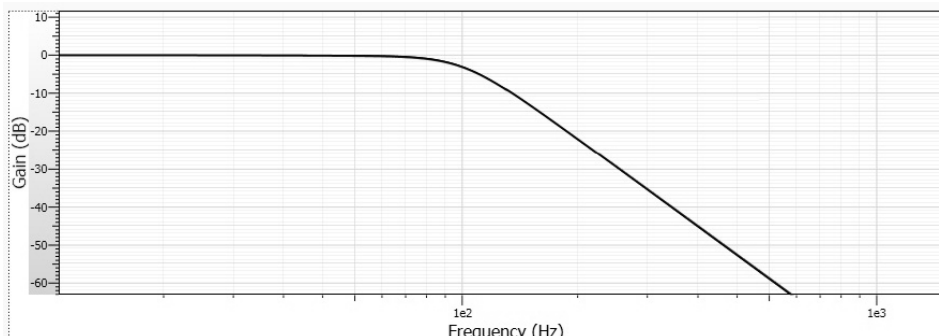
Rys. 4. Okno zawierające specyfikacje wybranego filtru

Na rysunku 5 przedstawiono schemat ideowy zaprojektowanego aktywnego filtra dolnoprzepustowego Butterworth'a 4 rzędu wraz z wartościami elementów dyskretnych – rezystorów i kondensatorów. Podane wartości rezystorów wybrano z szeregu E24 o tolerancji 5% a kondensatorów z szeregu E12 o tolerancji 10%. Zastosowano wzmacniacze operacyjne firmy Texas Instruments typu OP07CP.



Rys. 5. Schemat ideowy filtra dolnoprzepustowego Butterworth'a 4 rzędu

Na rysunku 6 przedstawiono wyznaczoną w programie charakterystykę amplitudową zaprojektowanego filtra dolnoprzepustowego dla zadanych parametrów wejściowych.



Rys. 6. Charakterystyka amplitudowa zaprojektowanego filtra

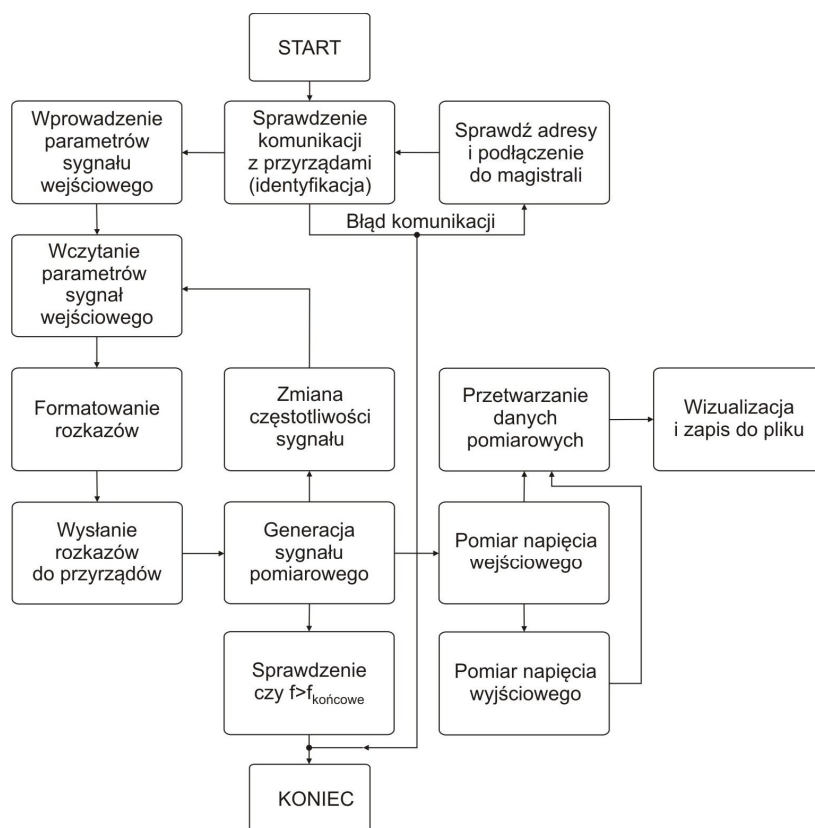
5. WIRTUALNY PRZYRZĄD POMIAROWY DO WYZNACZANIA CHARAKTERYSTYKI AMPLITUDOWEJ FILTRU DOLNOPRZEPUSTOWEGO

Jak już wspomniano LabVIEW jest środowiskiem programowania typu graficznego. Działanie aplikacji jest determinowane przepływem informacji pomiędzy poszczególnymi komponentami skonstruowanego diagramu.

Opracowany program, w postaci przyrządu wirtualnego, umożliwi realizację procesu wyznaczania charakterystyki amplitudowej zrealizowanego filtra

dolnoprzepustowego i wizualizację zarejestrowanych wyników pomiarów. Dodatkowo, możliwe jest wydrukowanie otrzymanych wyników i wyznaczonej charakterystyki amplitudowej filtru.

Na rysunku 7 zaprezentowano schemat blokowy opracowanej aplikacji. Po uruchomieniu programu przeprowadzany jest test magistrali GPIB w celu sprawdzenia komunikacji z przyrządami pomiarowymi: generatorem przebiegu sinusoidalnego oraz woltomierzami mierzącymi wartości skuteczne napięć wejściowego i wyjściowego. W przypadku otrzymania negatywnego wyniku testu, na ekranie zostanie wyświetlona informacja o błędach w komunikacji i wówczas wymagane jest podjęcie dodatkowych czynności w celu ustalenia przyczyny tych problemów np.: sprawdzenie połączeń, adresów przyrządów, zainstalowanych sterowników. Problem braku poprawnej komunikacji musi zostać rozwiązany, gdyż jest to warunkiem koniecznym przesyłania instrukcji programujących do przyrządów, automatyzacji pomiaru i w efekcie końcowym wyznaczenia charakterystyki amplitudowej badanego filtru.



Rys. 7. Schemat blokowy opracowanej aplikacji

W następnym kroku zadawane są parametry początkowe sygnału wejściowego: wartość amplitudy przebiegu sinusoidalnego z generatora, częstotliwość początkowa, krok zmiany częstotliwości oraz wartość końcowa częstotliwości. Po rozpoczęciu pomiarów wartości wstępnie ustalonych parametrów są wyświetlane na panelu przyrządu wirtualnego. Przed rozpoczęciem wyznaczania charakterystyki, generator sygnału zostaje ustawiony w stan wysokiej impedancji wyjściowej.

Opracowana aplikacja pracuje w pętli pomiarowej „while”. Dane wejściowe wprowadzane są do pętli i poddawane przetwarzaniu. Po dokonaniu pomiarów przez woltomierze, wyniki są zapisywane do pliku w lokalizacji wcześniej zadeklarowanej przez użytkownika. Za pomocą rejestru przesuwnego tworzone są zbiory danych uzupełniane na bieżąco o nową wartość skuteczną napięcia wejściowego i napięcia wyjściowego z filtra oraz częstotliwość sygnału. Na podstawie tworzonych tablic wykreślana jest charakterystyka amplitudowa badanego filtra dolnoprzepustowego.

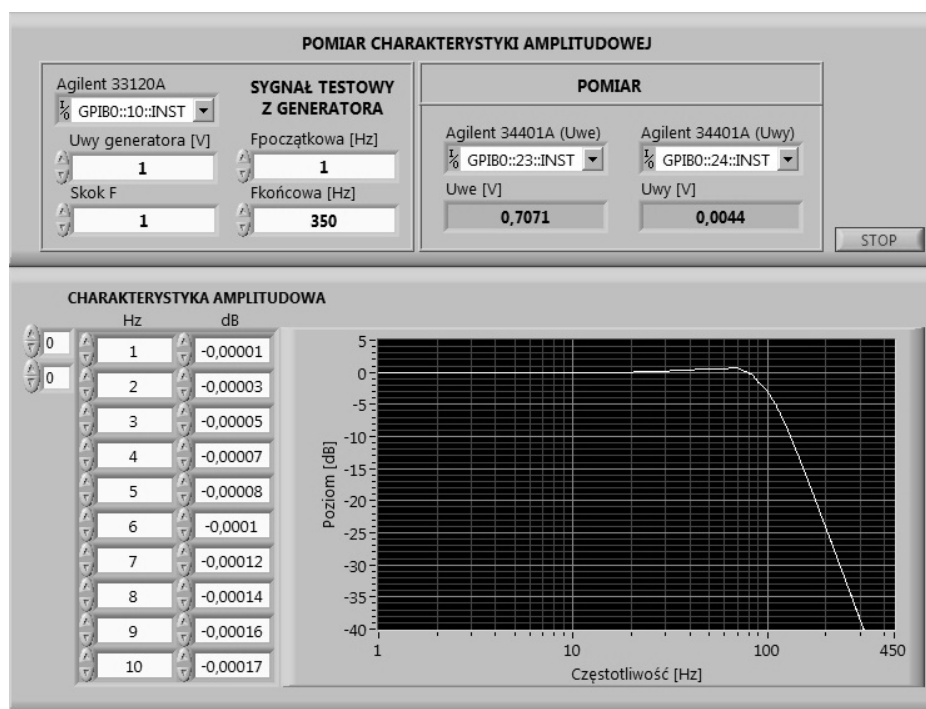
Program kończy działanie w przypadku osiągnięcia końcowej wartości częstotliwości, w przypadku wystąpienia błędu pracy urządzenia lub po przyknięciu przycisku „Stop”.

6. WYZNACZANIE CHARAKTERYSTYKI AMPLITUDOWEJ FILTRU DOLNOPRZEPUSTOWEGO

Opracowana aplikacja, w postaci przyrządu wirtualnego, przeznaczona jest do wyznaczania charakterystyki amplitudowej filtra dolnoprzepustowego. Jak już wspomniano, po uruchomieniu aplikacji należy wprowadzić parametry początkowe sygnału wejściowego: wartość napięcia (amplituda sygnału wyjściowego z generatora), częstotliwość początkową, krok zmiany częstotliwości oraz wartość końcową częstotliwości. Na rysunku 8 zaprezentowano panel opracowanego przyrządu wirtualnego przeznaczonego do wyznaczania charakterystyki amplitudowej filtra dolnoprzepustowego.

W górnej części panelu podane są wartości nastaw początkowych, natomiast w części dolnej wyniki pomiarów uzyskiwane w kolejnych krokach wyznaczania charakterystyki amplitudowej łącznie z wykreśloną charakterystyką.

Badania eksperymentalne zakończono dla częstotliwości 350 Hz, ponieważ dla tej wartości tłumienie jest rzędu -45 dB, a wartość skuteczna napięcia osiąga poziom ok. 4 mV. Dalsze zwiększanie częstotliwości jest związane z koniecznością pomiaru na tyle małych wartości napięć, które mogą być porównywalne z napięciami pasożytniczymi.



Rys. 8. Panel przyrządu wirtualnego do wyznaczania charakterystyki amplitudowej zaprojektowanego filtru dolnoprzepustowego

7. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono zagadnienia związane z badaniami filtrów dolnoprzepustowych. Zaprezentowano stanowisko pomiarowe przeznaczone do wyznaczania charakterystyki amplitudowej takich filtrów, które wykorzystuje magistralę GPIB do komunikacji pomiędzy przyrządami pomiarowymi oraz komputerem. Wykorzystując oprogramowanie FilterPro zaprezentowano sposób projektowania wybranego rodzaju filtru, dobór wartości elementów dyskretnych oraz wyznaczenie charakterystyki amplitudowej.

Zaprezentowano schemat blokowy opracowanej w środowisku LabVIEW aplikacji. Wykorzystując to środowisko programowania opracowano przyrząd wirtualny umożliwiający realizację wybranego filtru dolnoprzepustowego oraz wizualizację zarejestrowanych wyników pomiarów uzyskanych dla konkretnej realizacji filtru. Dzięki dołączonej drukarce możliwy jest wydruk otrzymanych wyników pomiarów i wyznaczonej charakterystyki amplitudowej.

Porównanie charakterystyk uzyskanych na podstawie symulacji w programie FilterPro oraz charakterystyki wyznaczonej w trakcie badań z wykorzystaniem opracowanego przyrządu wirtualnego wskazują na dobrą zbieżność.

Wykorzystanie środowiska LabVIEW pozwala na prezentację i wizualizację uzyskanych wyników pomiarów w postaci przyjaznej dla użytkownika.

LITERATURA

- [1] Zieliński T.P., Od teorii do cyfrowego przetwarzania sygnałów, Wydawnictwo AGH, 2002.
- [2] National Instruments Corporation: LabVIEW User Manual, 1999.
- [3] Travis J., Kring J., LabVIEW for everyone, New York Prentice Hall, 2006.
- [4] LabVIEW – Measurement Manual National Instrument Corporation, 2000.
- [5] Nawrocki W., Komputerowe systemy pomiarowe, WKŁ, Warszawa 2007
- [6] Rak R., Wirtualny przyrząd pomiarowy, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003
- [7] Otomański P., Szlachta A., The evaluation of expanded uncertainty of measurement results in direct measurements using the LabVIEW environment, Measurement Science Review 8, pp. 147–150, 2008.
- [8] Krawiecki Z., Odon A., Zastosowanie środowiska LabVIEW do realizacji wybranych zagadnień dydaktycznych z metrologii, Proceedings of XIII Conference Computer Applications In Electrical Engineering, Poznań 2008, p.369 – 370.
- [9] Sokoloff L., Applications in LabVIEW, New Jersey Prentice Hall, 2004.
- [10] Agilent 33120A, User's Guide, 2002
- [11] Agilent 34401A, 6½ Digit Multimeter, User's Guide, 2012
- [12] FilterPro User's Guide, Texas Instruments, 2011.

THE APPLICATION OF THE LABVIEW ENVIRONMENT FOR TESTING CHARACTERISTICS OF A LOW-PASS FILTER

Possible application of the integrated LabVIEW environment to evaluation of the attenuation diagram of low-pass filter is presented in the paper. The paper shows the measurement results, which were obtained on a designed measuring position, presented in Fig. 1, consisting of the source of a signal of voltage, the voltmeters indicating the true values of input and output voltages and a computer with control software. The process of formation of selected low-pass filter by using application software FilterPro was presented in the paper. By using the LabVIEW environment – as it is illustrated with an example of the developed application – we can support or add variety to the teaching of students in the field of metrology and measurement theory. The authors consider how the measurement results could be presented and visualised in a convenient and user-friendly form. The topics discussed in the paper were analysed with the use of selected LabVIEW applications.

(Received: 24. 02. 2016, revised: 3. 03. 2016)