

Precyzyjny filtr aktywny drugiego rzędu do subwoofera

W publikacji opisano prostą metodę obliczania precyzyjnego filtra aktywnego drugiego rzędu do subwoofera o regulowanej skokowo częstotliwości podziału. Układ ten może znaleźć zastosowanie w konstrukcji profesjonalnych subwooferów przeznaczonych do użytku w studiach nagraniowych lub w zastosowaniach estradowych. Główną zaletę tego filtra stanowi możliwość zachowania stałego współczynnika dobroci w całym zakresie regulacji częstotliwości podziału.

Wprowadzenie

Na stronie internetowej firmy Analog Devices można znaleźć ciekawe narzędzie wspomagające komputerowo projektowanie filtrów aktywnych opartych o wzmacniacze operacyjne. Aplikacja ta nosi nazwę Analog Filter Wizard: <https://tools.analog.com/en/filterwizard/>.

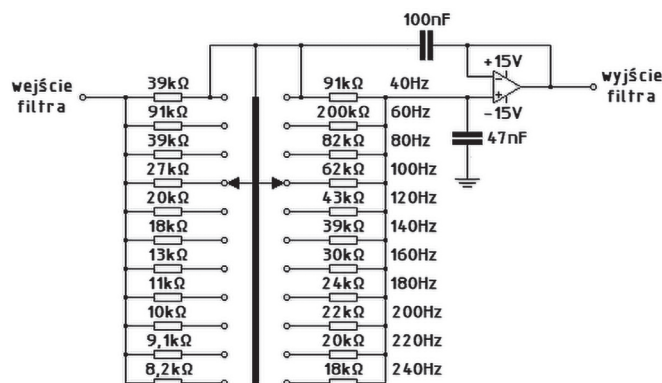
Narzędzie to umożliwia projektowanie aktywnych filtrów dolnoprzepustowych, pasmowoprzepustowych oraz górnoprzepustowych w konfiguracji Sallen Key oraz z wielokrotnym sprzężeniem zwrotnym. Przy pomocy tej aplikacji możemy projektować filtry o różnych częstotliwościach podziału, różnym nachyleniu i różnych współczynnikach dobroci. Narzędzie pozwala nam wykreślać charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowe i fazowo-częstotliwościowe filtra. Umożliwia także wykreślenie charakterystyki opóźnienia grupowego filtra w funkcji częstotliwości oraz odpowiedzi filtra na skok jednostkowy. Aplikacja ta dobiera wartości elementów w sposób automatyczny przy uwzględnieniu wybranego szeregu wartości oraz tolerancji zastosowanych elementów RC. Narzędzie to pomoże nam zaprojektować precyzyjny filtr aktywny drugiego rzędu do subwoofera.

Projektowanie precyzyjnego filtra aktywnego drugiego rzędu do subwoofera

Częstotliwość podziału oddzielająca pasmo przepustowe od zaporowego będzie regulowana skokowo w zakresie od 40 Hz do 240 Hz z krokiem co 20 Hz. Będzie to filtr drugiego rzędu o nachyleniu 12 dB/

okt. wykonany w konfiguracji Sallen Key. Aplikacja Analog Filter Wizard podpowiada nam, że najniższy poziom szumów zapewni nam zastosowanie w układzie kondensatorów foliowych o pojemnościach 100 nF oraz 47 nF. Przełączaniu będą podlegać jedynie dwa oporniki wchodzące w skład filtra. Schemat układu wraz z wartościami zastosowanych elementów elektronicznych przedstawiono na **rysunku 1**.

Na początek należy wyznaczyć wartości rezystancji oporników w zależności od jednej z jedenastu częstotliwości podziału. Wartości te ujęto w **tabeli 1**.



Rysunek 1. Schemat precyzyjnego filtra aktywnego drugiego rzędu do subwoofera

Tabela 1. Wartości rezystancji oporników filtra wyznaczone przez aplikację Analog Filter Wizard w oparciu o szereg wartości E24 i tolerancję jedynoprocentową

Częstotliwość [Hz]	Rezystancja pierwszego opornika filtra [kΩ]	Rezystancja drugiego opornika filtra [kΩ]
40	39,0	91,0
60	27,0	62,0
80	20,0	43,0
100	16,0	36,0
120	13,0	30,0
140	12,0	27,0
160	10,0	22,0
180	9,1	20,0
200	8,2	18,0
220	7,5	16,0
240	6,8	15,0

Tabela 2. Obliczone wartości rezystancji dodatkowych oporników R_2 dla połączeń równoległych

Częstotliwość [Hz]	Dodatkowy opornik R_2 dla pierwszego opornika filtra [kΩ]	Dodatkowy opornik R_2 dla drugiego opornika filtra [kΩ]
40	---	---
60	87,8	194,6
80	41,1	81,5
100	27,1	59,6
120	19,5	44,8
140	17,3	38,4
160	13,4	29,0
180	11,9	25,6
200	10,4	22,4
220	9,3	19,4
240	8,2	18,0

Tabela 3. Wartości rezystancji dodatkowych oporników R_2 dla połączeń równoległych dobrane z szeregu wartości E24

Częstotliwość [Hz]	Dodatkowy opornik R_2 dla pierwszego opornika filtra [kΩ]	Dodatkowy opornik R_2 dla drugiego opornika filtra [kΩ]
40	---	---
60	91,0	200,0
80	39,0	82,0
100	27,0	62,0
120	20,0	43,0
140	18,0	39,0
160	13,0	30,0
180	11,0	24,0
200	10,0	22,0
220	9,1	20,0
240	8,2	18,0

Z uwagi na to, że jedenastopozycyjny dwusekcyjny przełącznik obrotowy będzie dołączał każdorazowo równolegle do każdego z oporników zakresu 40 Hz dodatkowy opornik, musimy wyznaczyć rezystancje tych dodatkowych oporników. Posłużymy się do tego celu formułą pozwalającą wyznaczyć rezystancję wypadkową dwóch oporników w połączeniu równoległym:

$$R_W = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Rezystancja wypadkowa jest znana, za rezystancję R_1 przyjmujemy każdorazowo rezystancję jednego z oporników zakresu 40 Hz. Potrzebujemy zatem wyznaczyć formułę pozwalającą obliczyć rezystancję dodatkowego opornika R_2 , który zostanie dołączony równolegle:

$$R_W = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad \left| \cdot (R_1 + R_2) \right.$$

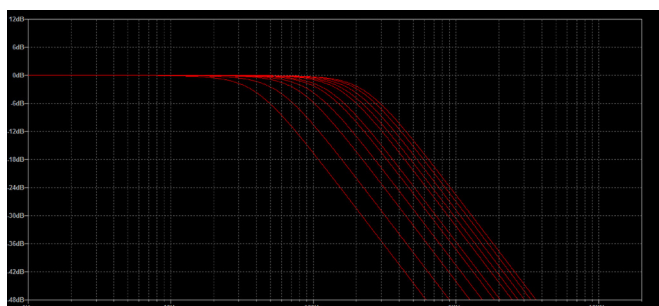
$$R_W \cdot (R_1 + R_2) = R_1 \cdot R_2$$

$$R_W \cdot R_1 + R_W \cdot R_2 = R_1 \cdot R_2$$

$$R_W \cdot R_2 - R_1 \cdot R_2 = -R_W \cdot R_1$$

$$R_2 \cdot (R_W - R_1) = -R_W \cdot R_1 \quad | : (R_W - R_1)$$

$$R_2 = \frac{-R_W \cdot R_1}{R_W - R_1}$$



Rysunek 2. Zestaw charakterystyk amplitudowo-częstotliwościowych precyzyjnego filtra aktywnego drugiego rzędu do subwoofera o regulowanej skokowo częstotliwości podziału

Tabela 4. Wartości rezystancji wypadkowych R_W uzyskane po dołączeniu równolegle oporników R_2 dobranych z szeregu wartości E24

Częstotliwość [Hz]	Dodatkowy opornik R_2 dla pierwszego opornika filtra [kΩ]	Dodatkowy opornik R_2 dla drugiego opornika filtra [kΩ]
40	---	---
60	27,3	62,5
80	19,5	43,1
100	16,0	36,9
120	13,2	29,2
140	12,3	27,3
160	9,8	22,6
180	8,6	19,0
200	8,0	17,7
220	7,4	16,4
240	6,8	15,0

Teraz dla obliczonych wartości rezystancji dobieramy wartości, które występują w szeregu wartości E24 (tabela 3).

Na koniec sprawdzamy jakie wartości rezystancji wypadkowych R_W uzyskamy po dołączeniu oporników R_2 dobranych z szeregu wartości E24. Możemy porównać je z wartościami rezystancji oporników filtra zamieszczonymi w tabeli 1.

Jeśli w handlu nie uda się znaleźć jedenastopozycyjnego dwusekcyjnego przełącznika obrotowego, można go zastąpić przełącznikiem obrotowym dwusekcyjnym o mniejszej liczbie pozycji, ograniczając w ten sposób zakres regulacji częstotliwości podziału. Podczas obliczania parametrów filtra przyjęto krok co 20 Hz. Nic nie stoi jednak na przeszkodzie aby na podstawie informacji zawartych w tym artykule przeliczyć układ dla innych częstotliwości podziału wedle uznania. Autor pozostawia w tym względzie czytelnikom całkowitą dowolność.

Książka o układach elektronicznych do subwooferów aktywnych

Zapraszam do zapoznania się z moją najnowszą książką pt. „Wprowadzenie do projektowania układów elektronicznych subwooferów aktywnych. Poradnik praktyczny”. ■

mgr inż. Tomasz Łysek



Rysunek 3. Okładka książki pt. „Wprowadzenie do projektowania układów elektronicznych subwooferów aktywnych. Poradnik praktyczny”