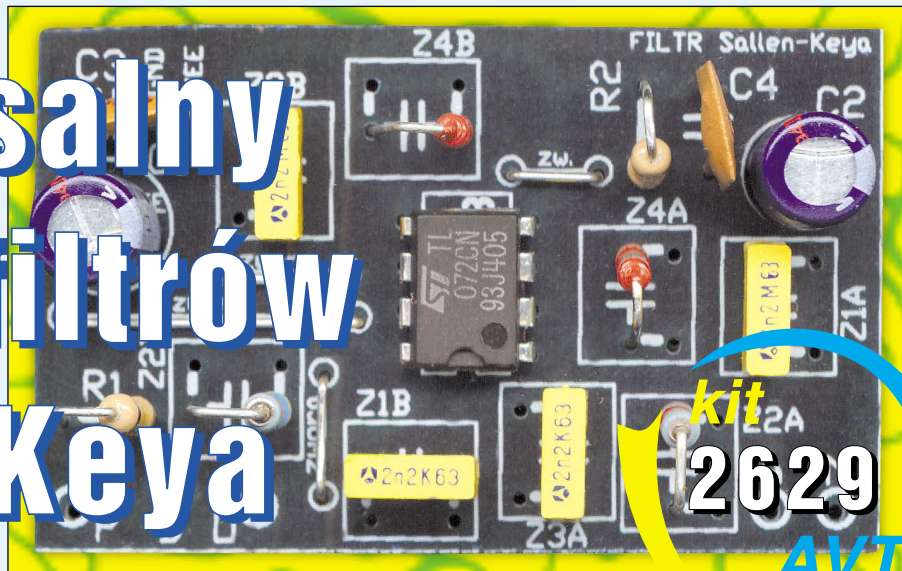




Uniwersalny moduł filtrów Sallen-Keya



Do czego to służy?

W artykule jest przedstawiony prosty moduł, umożliwiający realizację filtrów dolno- i górno-przepustowych o dużej stromości zbroczy na zakres częstotliwości akustycznych. Moduł zawiera dwa stopnie drugiego rzędu, a więc pozwala na realizację filtru czwartego rzędu, czyli o stromości zbroczy wynoszącej aż 80dB/dekadę (24dB/oktawę). Układ umożliwia budowę bardzo popularnych filtrów Sallen-Keya (ze źródłem napięciowym sterowanym napięciowo). Za miesiąc zaprezentowany zostanie drugi podobny moduł, pozwalający na realizację filtrów z wielokrotnym sprzężeniem zwrotnym (MFB).

Obszerniejsze wskazówki dotyczące projektowania podstawowych filtrów prezentowane są w kolejnych Listach od Piotra, począwszy od EdW 9/2001. W niniejszym artykule podane są wyjątkowo proste recepty, dzięki czemu nawet początkujący nie będą mieć żadnych problemów z wykonaniem filtru o potrzebnej częstotliwości granicznej. Wartości rezystorów podane są na rysunkach, a pojemność kondensatorów dla potrzebnej częstotliwości granicznej odczytuje się z tabeli albo oblicza z bardzo prostego wzoru.

Jak to działa?

Podstawowy schemat modułu pokazany jest na **rysunku 1**. Kondensatory C11...C14 i rezystory R11, R12 tworzą obwód zasilania, dzięki któremu moduł może być zasilany zarówno napięciem symetrycznym $\pm 4V$... $\pm 18V$, jak i pojedynczym 8...25V. W każdym przypadku masą sygnałową jest obwód połączony z punktem O.

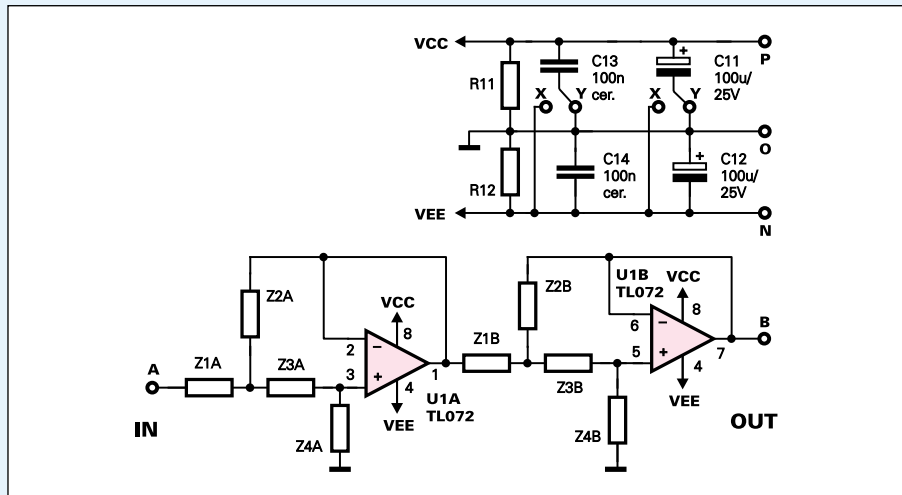
Dwa wzmacniacze operacyjne z kostki U1 pracują w dwóch stopniach filtru. Ponieważ moduł pozwala na realizację zarówno filtru dolno-przepustowego, jak i górno-przepustowego, elementy bierne filtru opisano na schemacie li-

terę Z (oznaczającą impedancję). Montowane tu będą rezystory i kondensatory o wartościach podanych w tabeli i na **rysunkach 2 i 3**.

Uwaga! w przypadku filtru dolno-przepustowego pasmo obejmuje także częstotliwość 0Hz, czyli napięcia stałe. W wersji z pojedynczym zasilaniem masą modułu jest punkt O, a nie punkt N. W razie potrzeby, aby od-

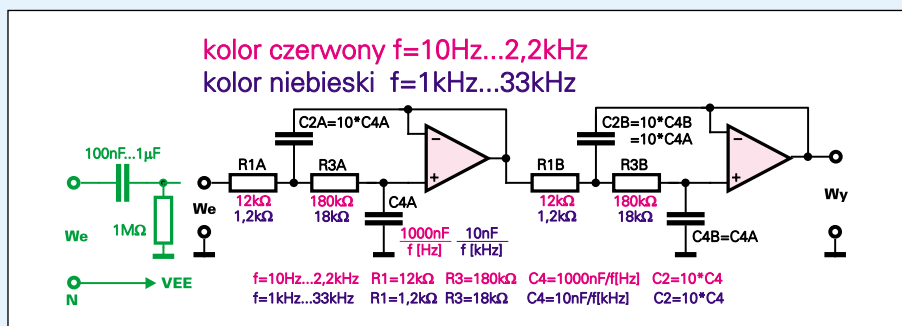
ciąć składową stałą i częstotliwości poniżej 1Hz trzeba dodać na wejściu dodatkowy obwód RC, zaznaczony na rysunku 2 kolorem zielonym.

Aby ułatwić dobór elementów przyjęto prostą zasadę, że częstotliwość graniczna filtru będzie ustalona przez dobór pojemności kondensatorów, natomiast rezystory będą



Rys. 1 Schemat ideowy modułu

Rys. 2 Filtr dolno-przepustowy

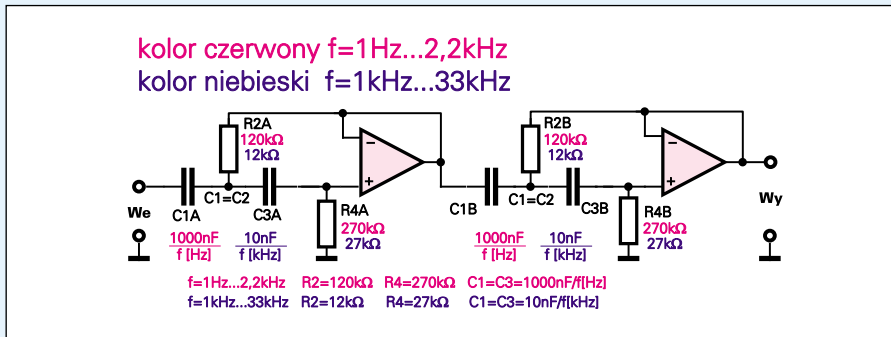


mieć ustaloną wartość, podaną na rysunkach i w wykazie elementów. W proponowanym układzie do realizacji filtrów na zakres częstotliwości akustycznych wykorzystywane będą kondensatory o pojemnościach z zakresu 330pF...1μF.

Układy zostały tak obliczone, że kluczowe pojemności (C4 w filtrze dolnoprzepustowym

ferroelektrycznych (o pojemności powyżej 1nF). Jedyne kondensatory o pojemnościach 330pF...1nF mogą być ceramiczne. Generalnie należy stosować rezystory metalizowane, w praktyce wystarczą typowe rezystory o tolerancji 5% (z paskiem złotym).

Oporność wejściowa (impedancja) wersji „czerwonej” jest bardzo duża, rzędu dziesią-



Rys. 3 Filtr górnoprzepustowy

wym i C1, C3 w filtrze górnoprzepustowym) mają mieć wartości podane w tabelach. Kondensator C2 w filtrze dolnoprzepustowym ma mieć wartość dziesięciokrotnie większą, niż podana w tabeli. Jeśli ktoś chciałby uzyskać pośrednie wartości częstotliwości, pomiędzy podanymi w tabeli, może połączyć dwa kondensatory równolegle. Nie warto przy tym dążyć do dużej precyzji, ponieważ po pierwsze nie jest to wcale potrzebne (odchyłka o kilka procent nie ma znaczenia w realnych układach), a ponadto przy 5-procentowych rezystorach i 5- lub 10-procentowych kondensatorach uzyskanie idealnej precyzji jest wręcz niemożliwe.

Filtr o potrzebnej charakterystyce można zrealizować na co najmniej dwa sposoby. Można zastosować albo wartości zaznaczone kolorem niebieskim albo czerwonym. Jak pokazuje **Tabela 1**, dla całego zakresu akustycznego można śmiało wykorzystać wartości zaznaczone kolorem niebieskim. Takie „niebieskie” wartości należy stosować, jeśli filtr ma mieć częstotliwość graniczną większą niż 2kHz. Jeśli jednak częstotliwość graniczna ma być mniejsza niż 2kHz, warto zastosować wartości zaznaczone na rysunku, w wykazie i w **Tabeli 2** kolorem czerwonym. Wtedy rezystory mają większe nominały i oporność wejściowa filtru jest jeszcze większa.

Aby filtr miał dobre parametry, konieczne należy w nim zastosować kondensatory foliowe. W żadnym wypadku nie należy wykorzystywać kondensatorów ceramicznych

tek kiloomów i nie trzeba się martwić, że filtr obciążą poprzedni stopień. W przypadku wersji „niebieskiej” impedancja wejściowa filtru dolnoprzepustowego nie jest zbyt duża (rzędu pojedynczych kiloomów) i poprzedni stopień musi mieć niewielką oporność wyjściową. W razie wątpliwości, na wejściu takiego filtru można zastosować wtórnik na wzmacniaczu operacyjnym lub tranzystor w układzie wspólnego kolektora.

Oczywiście jeden z filtrów modułu może być filtrem dolnoprzepustowym, a drugi górnoprzepustowym, co pozwoli zrealizować filtr pasmowoprzepustowy. W takich przypadkach nie należy wykorzystywać recept podanych w artykule, tylko przeprowadzić obliczenia poszczególnych filtrów wykorzystując wzory ze wspomnianych *Listów od Piotra*.

Montaż i uruchomienie

Filtr Sallen-Keya z rysunków 2, 3 można zmontować na płytce drukowanej, pokazanej na **rysunku 4**. Montaż nie powinien nikomu sprawić kłopotów. Warto zacząć od wlutowania elementów najmniejszych, a konkretnie od zaznaczonych na płytce zwór. Przy zasilaniu napięciem symetrycznym można nie montować R11, R12, a „dolne nóżki” kondensatorów C11, C13 trzeba wlutować do otworów oznaczonych Y. Przy zasilaniu napięciem pojedynczym R11, R12 są niezbędne, a „dolne nóżki” C11, C13 trzeba wlutować do otworów oznaczonych X.

Ciąg dalszy na stronie 67.

Wykaz elementów

R11, R12100kΩ (10kΩ...220kΩ)
C11, C12100μF/25V

Filtr dolnoprzepustowy

Dla częstotliwości 10Hz ... 2,2kHz

R1A, R1B12kΩ
R3A, R3B180kΩ
C4A, C4Bwedług tabeli 2
C2A, C2B10°C4

Dla częstotliwości 1kHz ... 33kHz

R1A, R1B1,2kΩ
R3A, R3B18kΩ
C4A, C4Bwedług tabeli 1
C2A, C2B10°C4

Filtr górnoprzepustowy

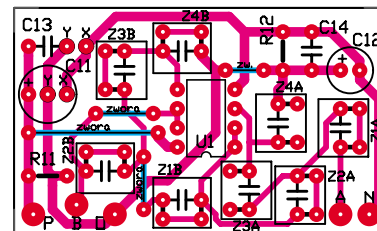
Dla częstotliwości 1Hz ... 2,2kHz

R2A, R2B120kΩ
R4A, R4B270kΩ
C1A, C3A, C1B, C3Bwedług tabeli 2

Dla częstotliwości 1kHz ... 33kHz

R2A, R2B12kΩ
R4A, R4B27kΩ
C1A, C3A, C1B, C3Bwedług tabeli 1

Płytkę dostępną jest w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2629/A



Rys. 4 Schemat montażowy

Rys. 5



Tabela 1

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-------------------|------|------|------|------|-----|------|------|------|
| f[Hz] | 10 | 15 | 21 | 30 | 45 | 67 | 100 | 150 | 210 | 300 | 450 | 670 | 1k | 1,5k | 2,1k | 3,0k | 4,5k | 6,7k | 10k | 15k | 21k | 30k |
| C[nF] | 1u | 680 | 470 | 330 | 220 | 150 | 100 | 68 | 47 | 33 | 22 | 15 | 10 | 6,8 | 4,7 | 3,3 | 2,2 | 1,5 | 1 | 0,68 | 0,47 | 0,33 |
| | wartości nie zalecane – raczej zastosuj wartości „czerwone” | | | | | | | | | | | | | wartości zalecane | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| f[Hz] | 1 | 1,5 | 2,1 | 3 | 4,5 | 6,7 | 10 | 15 | 21 | 30 | 45 | 67 | 100 | 150 | 210 | 300 | 450 | 670 | 1000 | 1500 | 2100 | 3000 |
| C[nF] | 1u | 680 | 470 | 330 | 220 | 150 | 100 | 68 | 47 | 33 | 22 | 15 | 10 | 6,8 | 4,7 | 3,3 | 2,2 | 1,5 | 1 | 0,68 | 0,47 | 0,33 |

Tabela 2

Ciąg dalszy ze strony 57

Na płytce przewidziano dla rezystorów i kondensatorów filtru uniwersalne „elementy”, pozwalające wlotować te części na kilka sposobów, pokazanych na **rysunku 5**. Możliwość wlotowania dwóch rezystorów w szereg albo dwóch kondensatorów równolegle będzie pomocna przy realizacji filtrów według wskazówek z Listów od Piotra. Aby uniknąć pomyłki, warto narysować sobie „prywatny” schemat montażowy, pokazujący rozmieszczenie rezystorów i kondensatorów na podstawie jednego ze schematów ideowych (rysunki 2, 3). Na wkładce w środku numeru można znaleźć odpowiednie rysunki, które posłużą za matrycę do stworzenia takiego „prywatnego” schematu montażowego.

Warto zauważyć, że płytka została zaprojektowana w ten sposób, by wszystkie punkty dla zewnętrznych połączeń znajdowały się przy jednej krawędzi. Umożliwi to wlotowanie modułu filtru w jakąkolwiek większą płytkę.

Przykłady

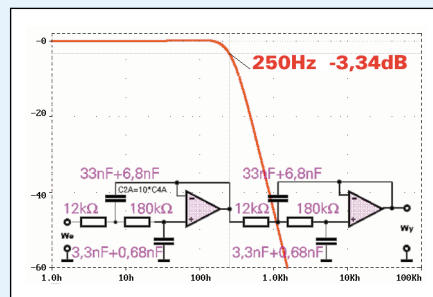
1. Potrzebny jest filtr dolnoprzepustowy o częstotliwości granicznej 250Hz.

Korzystamy z rysunku 2 i decydujemy się na elementy „czerwone”. Z tabeli 2 wynika, że najbliższa „standardowa” wartość częstotliwości wynosi 210Hz przy pojemności 4,7nF. Chcemy uzyskać możliwie dobrą dokładność, więc zastosujemy pojemność pośrednią między 4,7nF a 3,3nF przez połączenie równoległe pojemności 3,3nF i 680pF. **Rysunek 6** pokazuje schemat i charakterystykę.

2. Potrzebny jest filtr górnoprzepustowy o częstotliwości granicznej 4kHz.

Korzystamy z rysunku 3 i z konieczności decydujemy się na elementy „niebieskie”. Z tabeli 1 wynika, że najbliższa „standardowa” wartość częstotliwości wynosi 4,5kHz przy pojemności 2,2nF. Tym razem różnica 500Hz nie gra roli, więc zastosujemy pojemność 2,2nF. **Rysunek 7** pokazuje schemat i charakterystykę, a fotografia wstępna - model.

Piotr Górecki



Rys. 6

Rys. 7

