

**AKADEMIA MORSKA
KATEDRA Nawigacji Technicznej**

| ELEMETY ELEKTRONIKI – LABORATORIUM | | | |
|---|--|----------------|-------------|
| Kierunek | NAWIGACJA | | |
| Specjalność | Transport morski | Semestr | II |
| Ćw. 2 | Filtry analogowe – układy całkujące i różniczkujące | | |
| Wersja opracowania | | | Marzec 2005 |

Opracowanie:

mgr inż. Jacek Czerniawski

mgr inż. Marcin Czabański

1. WPROWADZENIE

1.1. Filtry

Filtracja sygnałów jest jednym z najistotniejszych zadań współczesnej elektroniki. Dzięki niej można wytłumić sygnały pochodzące od zakłóceń analizując w dalszych krokach jedynie sygnał pożądany. Obecnie szeroko stosowane filtry cyfrowe pozwalają na uzyskanie lepszych wyników filtracji, jednakże ze względu na ich ograniczenia (szybkość działania, wprowadzanie szumu kwantyzacji, dłuższy czas projektowania i implementacji) nie będą w stanie wyprzeć całkowicie filtrów analogowych.

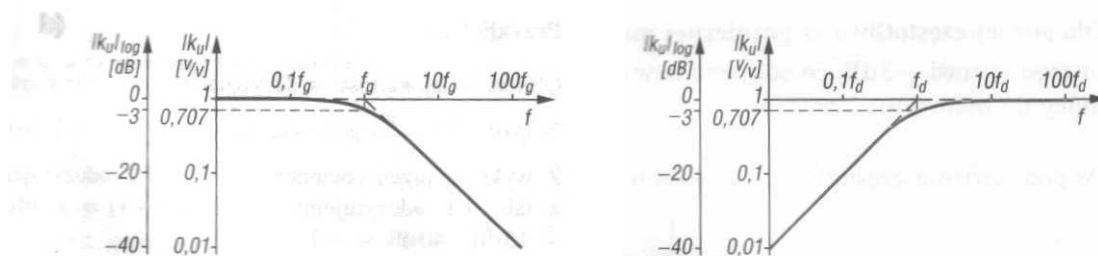
Najważniejsza analiza filtrów odbywa się w dziedzinie częstotliwości. Oznacza to, iż bada się je pod kątem odpowiedzi na sygnały o różnych częstotliwościach. W odniesieniu do tego definiuje się pojęcie pasmo przenoszenia. Jest to takie pasmo częstotliwości dla którego sygnały o częstotliwości zawartej w tym paśmie nie ulegają wytłumieniu lub są tłumione w sposób nieznaczny. Jednocześnie z pojęciem pasma przenoszenia określa się pasmo zaporowe, czyli pasmo częstotliwości w którym sygnały zostają wytłumione. Punktem rozdzielającym obydwie pasma jest częstotliwość graniczna f_g zdefiniowana jako częstotliwość, dla której amplituda sygnału wyjściowego jest równa 0,707 amplitudy sygnału wejściowego (wartość 0,707 odpowiada spadkowi mocy sygnału o połowę, co w mierze logarytmicznej wynosi -3dB). Zamianę skali liniowej na decybelową uzyskuje się za pomocą następującego wzoru:

$$y = 20 \log_{10}(x) \quad [\text{dB}] \quad (1.1)$$

Filtry można podzielić ze względu na ich pasmo przenoszenia. Do najbardziej popularnych należą:

- Filtr dolnoprzepustowy
- Filtr górnoprzepustowy

Każdy z wyżej wymienionych filtrów różni się charakterystyką amplitudową modułu transmitancji, czyli charakterystyką amplitudową przenoszenia filtru. Przykładowe charakterystyki zostały przedstawione na rysunku 1.

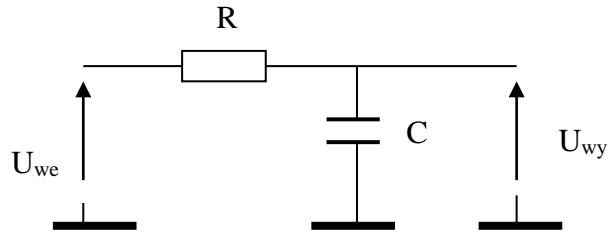


Rys. 1. Transmitancja amplitudowa filtru dolno- i górnoprzepustowego.

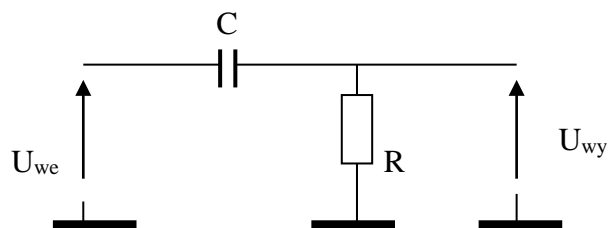
Należy pamiętać, iż oprócz modyfikacji amplitudy filtry dokonują również modyfikacji fazy sygnału wejściowego, i tak w przypadku sygnału o częstotliwości f_g przesuują ją o 45° .

1.2. Filtry RC

Do najprostszych filtrów należą filtry RC. Składają się one z dwóch elementów, pojemności i rezystancji. Przykład dolnoprzepustowego filtra RC jest przedstawiony na rysunku 2a, górnoprzepustowy filtr RC przedstawiony jest na rysunku 2b.



Rys. 2a. Dolnoprzepustowy filtr RC



Rys. 2b. Górnoprzepustowy filtr RC

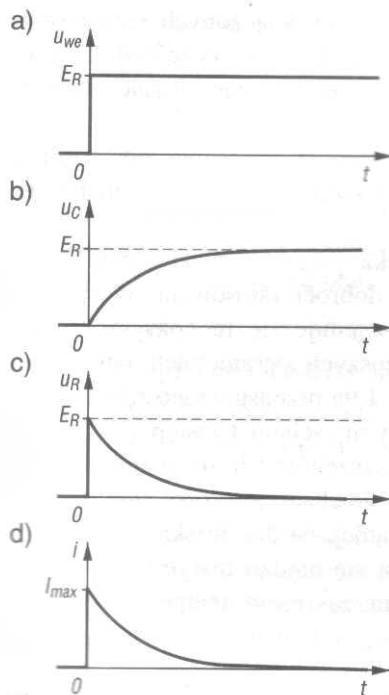
Częstotliwość graniczną dla filtrów RC oblicza się na podstawie wzoru:

$$f_g = \frac{1}{2\pi RC} \quad (1.2)$$

1.3. Stała czasowa układu RC

Projektując filtr należy również pamiętać o jego zachowaniu w funkcji czasu. Do tego celu na wejście układu należy podać impuls jednostkowy, który w czasie $t = 0$ zmienia napięcie wejściowe z wartości 0 na wartość E_R . W rzeczywistych warunkach należy pamiętać, aby badany układ znajdował się w stanie ustalonym, tj. nie płynął w nim żaden prąd i nie było ładunku na kondensatorze.

W przypadku filtra dolnoprzepustowego RC w chwili zmiany napięcia wejściowego w układzie nastąpi stan nieustalony. Napięcie na kondensatorze u_c (u_c jest równoważne w rozpatrywanym układzie z napięciem wyjściowym u_{wy}) pozostanie takie samo jak przed przełączeniem, natomiast cały skok napięcia zostanie odłożony na rezystorze. Spowoduje to nagły wzrost prądu wejściowego z wartości 0 do wartości $I_{max} = E_R/R$. Płynący prąd przez rezystor powoduje ładowanie kondensatora, natomiast przyrost napięcia na kondensatorze powoduje zmniejszenie napięcia na rezystorze, co z kolei powoduje wolniejsze narastanie wartości u_c , do wartości E_R . Zjawisko to jest przedstawione na rysunku 3.



Rys. 3. Przebiegi czasowe: a) napięcia wejściowego $u_{we}(t)$, b) napięcia na kondensatorze $u_c(t)=u_{wy}(t)$, c) napięcia na rezystorze $u_R(t)$, d) prąd płynący w układzie $i(t)$

Wartość napięcia u_c w funkcji czasu może być obliczona na podstawie następującego wzoru:

$$u_c(t) = E_R \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (1.3)$$

gdzie $\tau = RC$, czyli stała czasowa układu.

Na podstawie powyższej zależności można stwierdzić, iż szybkość narastania napięcia wyjściowego na kondensatorze jest wprost proporcjonalna do wartości napięcia przełączanego E_R , a odwrotnie proporcjonalna do stałej czasowej układu $\tau = RC$. W praktyce przyjmuje się, że po przełączeniu układ znajduje się w stanie ustalonym po upływie $t = 5\tau$. Wtedy to wartość napięcia u_c różni się od wartości E_R o około 0,01%.

Należy przy tym pamiętać, że stała czasowa jest również ściśle związana z częstotliwością graniczną (1.1).

1.4. Układ różniczkujący i całkujący

Analizując układy RC w dziedzinie czasu, można zauważyć, że układ będący filtrem dolnoprzepustowym jest jednocześnie układem całkującym, a filtr górnoprzepustowy jest jednocześnie układem różniczkującym. Analizując przebiegi czasowe sygnału wejściowego (prostokątnego) i wyjściowego z układów powyższych układów można zaobserwować całkowanie, bądź różniczkowanie sygnału wejściowego.

1.5. Przedrostki do wielokrotności i podwielokrotności jednostek (układ SI)

| Przedrostek | Skrót | Mnożnik |
|-------------|-------|------------|
| piko | p | 10^{-12} |
| nano | n | 10^{-9} |

| | | |
|-------|-------|-----------|
| mikro | μ | 10^{-6} |
| mili | m | 10^{-3} |
| kilo | k | 10^3 |
| mega | M | 10^6 |
| giga | G | 10^9 |
| tera | T | 10^{12} |

2. ZAGADNIENIA KONTROLNE

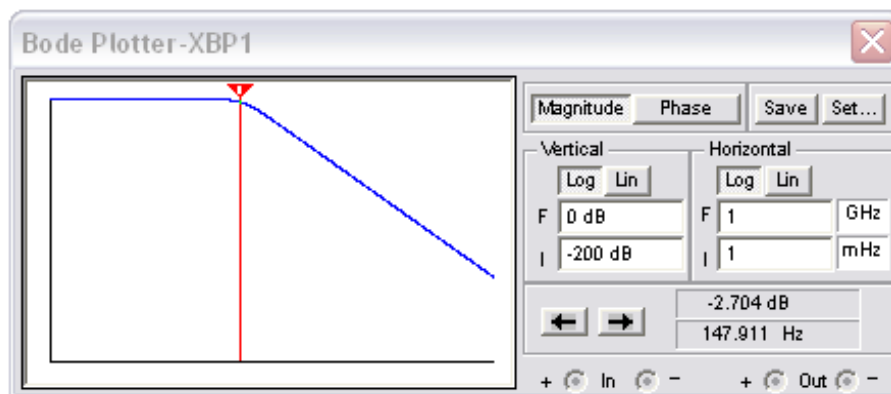
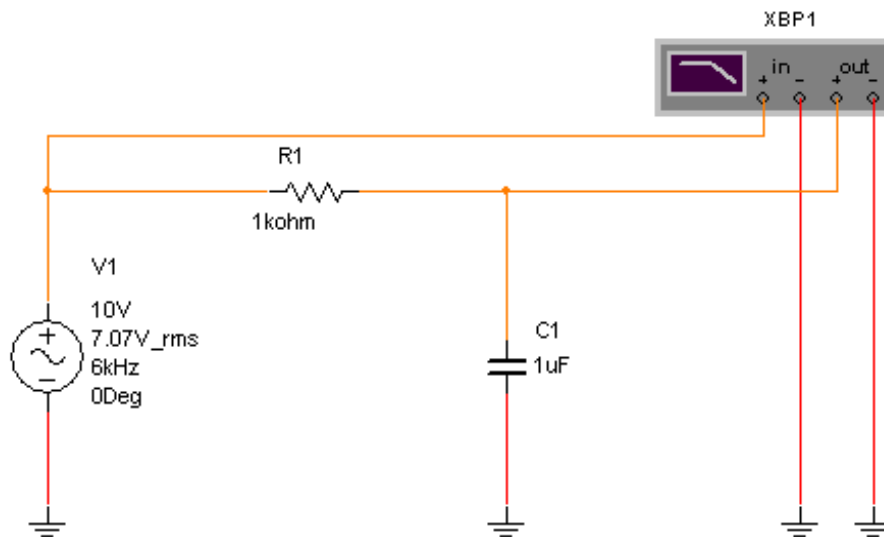
- 2.1. Elementy elektroniczne R i C, ich parametry i wielkości opisujące
- 2.2. Stała czasowa układu RC
- 2.3. Częstotliwość graniczna filtru
- 2.4. Filtr dolno i górno przepustowy – charakterystyki przenoszenia
- 2.5. Układ całkujący i różniczkujący – oczekiwane przebiegi wyjściowe układów

3 PRZEBIE ĆWICZENIA

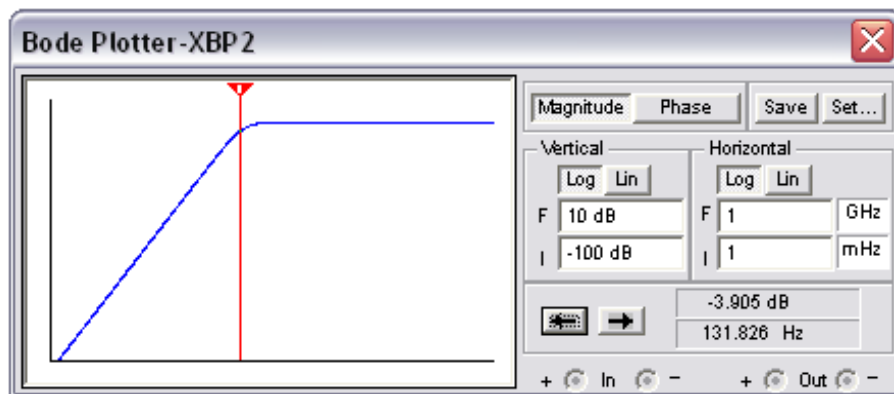
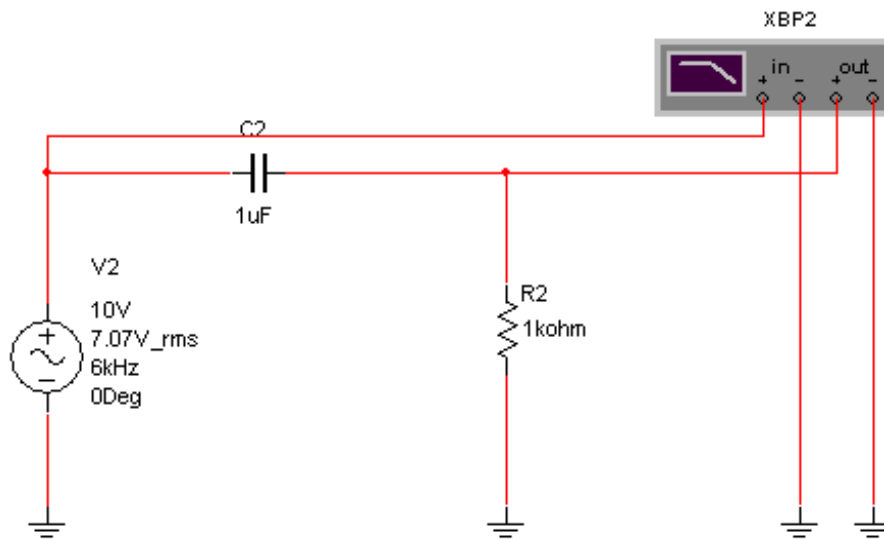
- 3.1 Wczytać do programu Mutlisim 2001 plik o nazwie *nawigacja2a.msm*.
- 3.2 Dobrać wartości elementów filtru dolnoprzepustowego o częstotliwości granicznej zadanej przez prowadzącego. Przy użyciu instrumentu pomiarowego *Bode Ploter* dokonać pomiaru transmitancji amplitudowej zaprojektowanego układu.
- 3.3 Dobrać wartości elementów filtru górnoprzepustowego o częstotliwości granicznej zadanej przez prowadzącego. Przy użyciu instrumentu pomiarowego *Bode Ploter* dokonać pomiaru transmitancji amplitudowej zaprojektowanego układu.
- 3.4 Zmodyfikować układ filtru dolnoprzepustowego wstawiając w miejsce pobudzenia *Function Generator* (pasek instrumentów), a na wyjściu podłączając oscyloskop. Zaobserwować przebiegi wyjściowe dla kilku wybranych częstotliwości pobudzenia (częstotliwości większej niż częstotliwość graniczna, mniejszej i równej). Do tego celu należy użyć pobudzenia falą sinusoidalną.
- 3.5 Zmodyfikować układ filtru górnoprzepustowego wstawiając w miejsce pobudzenia *Function Generator* (pasek instrumentów), a na wyjściu podłączając oscyloskop. Zaobserwować przebiegi wyjściowe dla kilku wybranych częstotliwości pobudzenia (częstotliwości większej niż częstotliwość graniczna, mniejszej i równej). Do tego celu należy użyć pobudzenia falą sinusoidalną.
- 3.6 Wczytać do programu Mutlisim 2001 plik o nazwie *nawigacja2b.msm* z gotowymi układami pomiarowymi.
- 3.7 Dla danego filtru dolnoprzepustowego o $f_g=20\text{kHz}$, będącego jednocześnie układem całkującym zaobserwować przebiegi wyjściowe w zależności od 3 różnych częstotliwości prostokątnego sygnału wejściowego (5kHz, 20kHz, 50kHz). Naszkicować wyniki.
- 3.8 Dla danego filtru górnoprzepustowego o $f_g=20\text{kHz}$, będącego jednocześnie układem różniczkującym zaobserwować przebiegi wyjściowe w zależności od 3 różnych częstotliwości prostokątnego sygnału wejściowego (5kHz, 20kHz, 50kHz). Naszkicować wyniki.

4. OPRACOWANIE

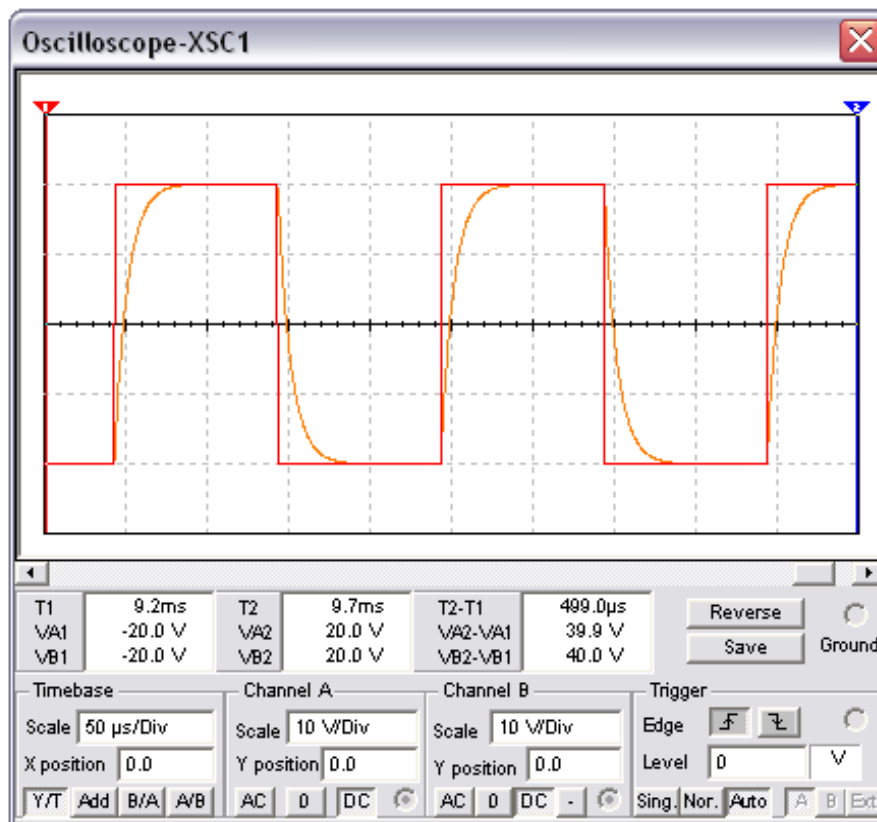
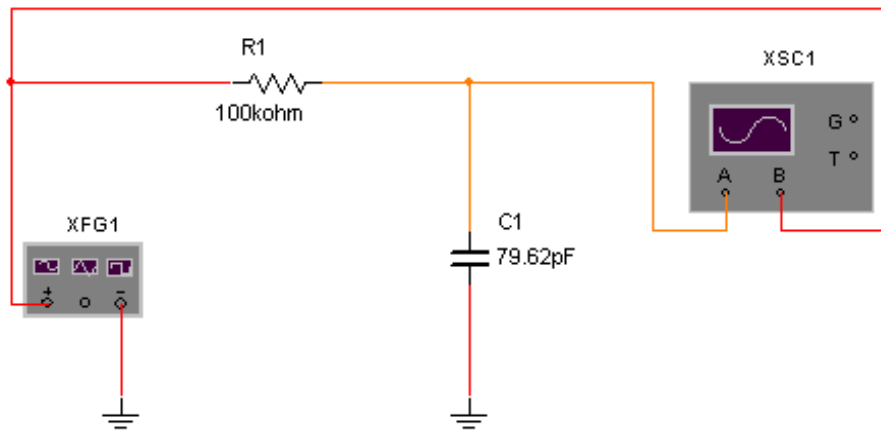
- 4.1 Naszkicować zaprojektowane układy wraz z wartościami ich elementów.
- 4.2 Naszkicować zaobserwowane przebiegi z punktów 3.7 i 3.8.
- 4.3 Narysować wykres transmitancji amplitudowej obu filtrów w funkcji częstotliwości (w odniesieniu do częstotliwości f_g) w skali decybelowej.
- 4.4 Przeprowadzić dyskusję otrzymanych wyników z punktu 3.7 – układ całkujący.
- 4.5 Przeprowadzić dyskusję otrzymanych wyników z punktu 3.8 – układ różniczkujący.
- 4.6 Zamieścić swoje uwagi i wnioski, uwzględniając zastosowanie układów RC w radarach jako układów całkujących i różniczkujących.
- 4.7 Przeprowadzić dyskusję na temat przeprowadzonego ćwiczenia.



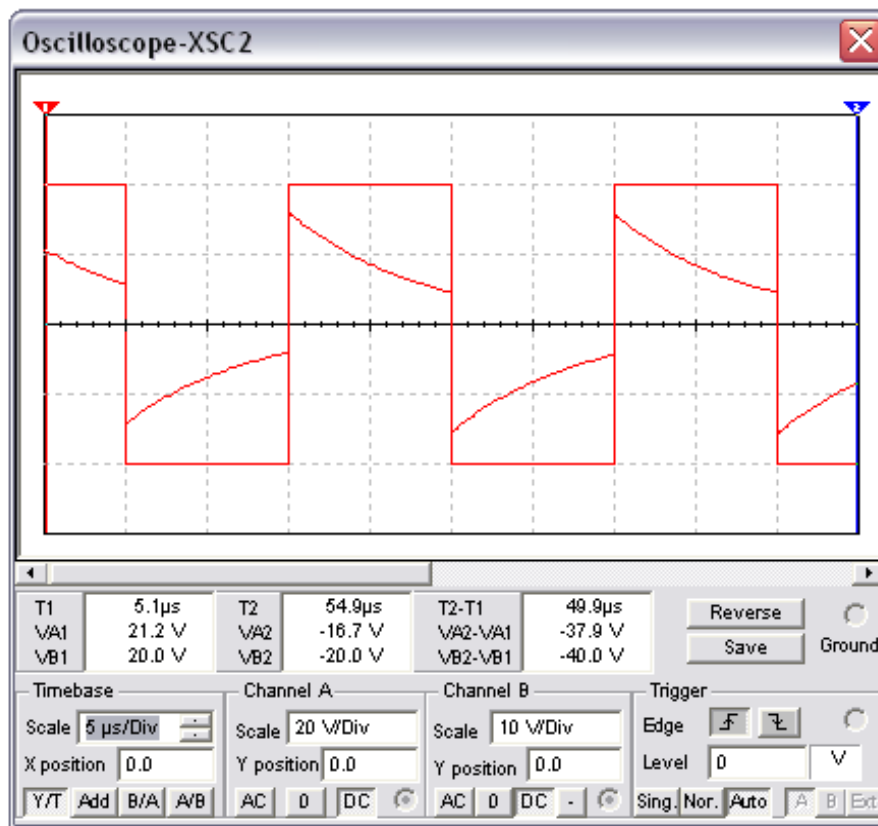
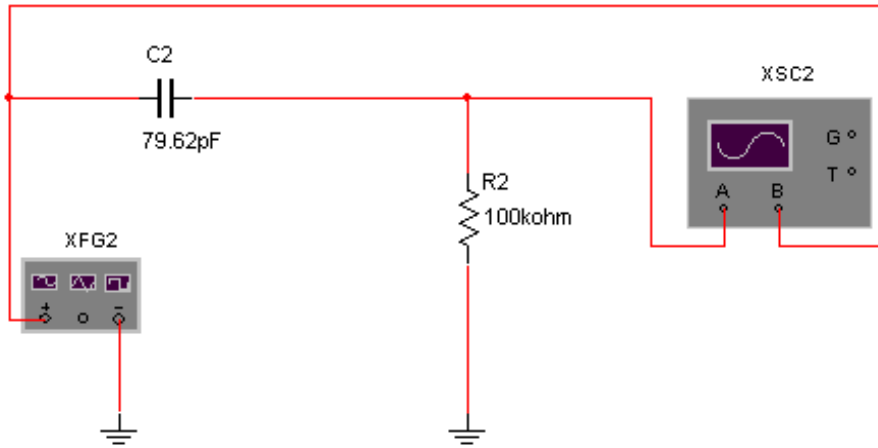
Schemat pozwalający zaobserwować transmitancję filtra dolnoprzepustowego (plik *nawigacja2a.msm*).



Schemat pozwalający zaobserwować transmitancję filtra górnoprzepustowego (plik *nawigacja2a.msm*).



Układ całkujący (plik *nawigacja2b.msm*).



Układ różniczkujący (plik *nawigacja2b.msm*).