

Laboratorium Komputerowe Wspomaganie Projektowania Układów Elektronicznych			
ćw. „Analiza zmiennoprądowa i parametryczna”			
Jarosław Gliwiński, Paweł Urbanek	Data wykonania: 04.04.08	Data oddania: 16.05.08	

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia było zapoznanie się z możliwościami analizy zmiennoprądowej i parametrycznej w programach SPICE i APLAC, w tym: wyznaczanie charakterystyk częstotliwościowych, symulacja układów filtrów aktywnych, układu półmostka Wiena.

2. Przebieg ćwiczenia

2.1 Program SPICE – Badanie charakterystyk częstotliwościowych filtru środkowoprzepustowego

a) Badanie charakterystyki amplitudowej i fazowej

Przed skonstruowaniem schematu ustalono wartości elementów na podstawie danych wejściowych podanych w instrukcji do ćwiczenia:

- częstotliwość środkowa $f_0 = 500\text{Hz}$
- dobroć filtru $Q = 5$
- wzmacnienie układu $k = 1$

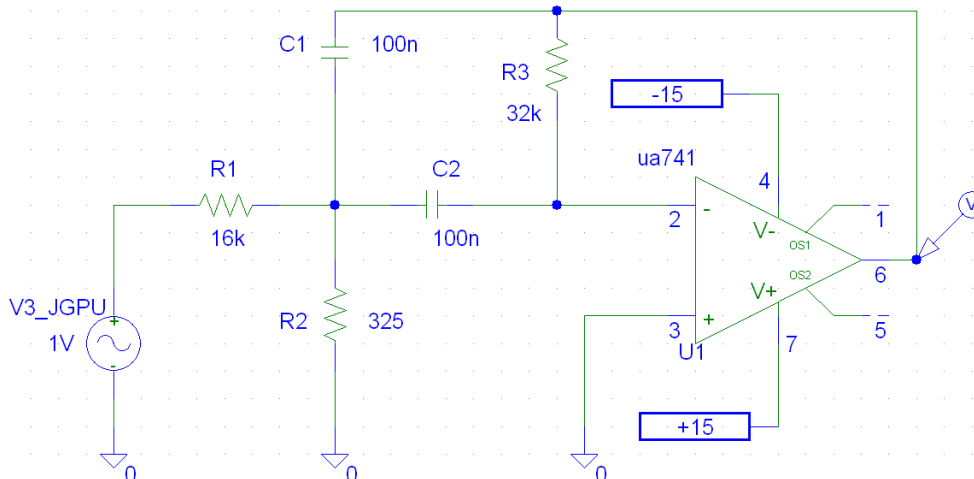
Wartości elementów pasywnych ustalano ze względu na pojemność, której zadana wartość wynosiła 100nF .

Biorąc pod uwagę ww. wytyczne wyznaczono wg wzorów podanych w instrukcji wartości rezystorów:

$$R_3 = \frac{Q}{\pi f_0 C} \quad R_2 = \frac{R_3}{2(2Q^2 - k)} \quad R_1 = \frac{R_3}{2k}$$

Otrzymując następujące wartości (w nawiasach podano użyte zaokrąglenia):

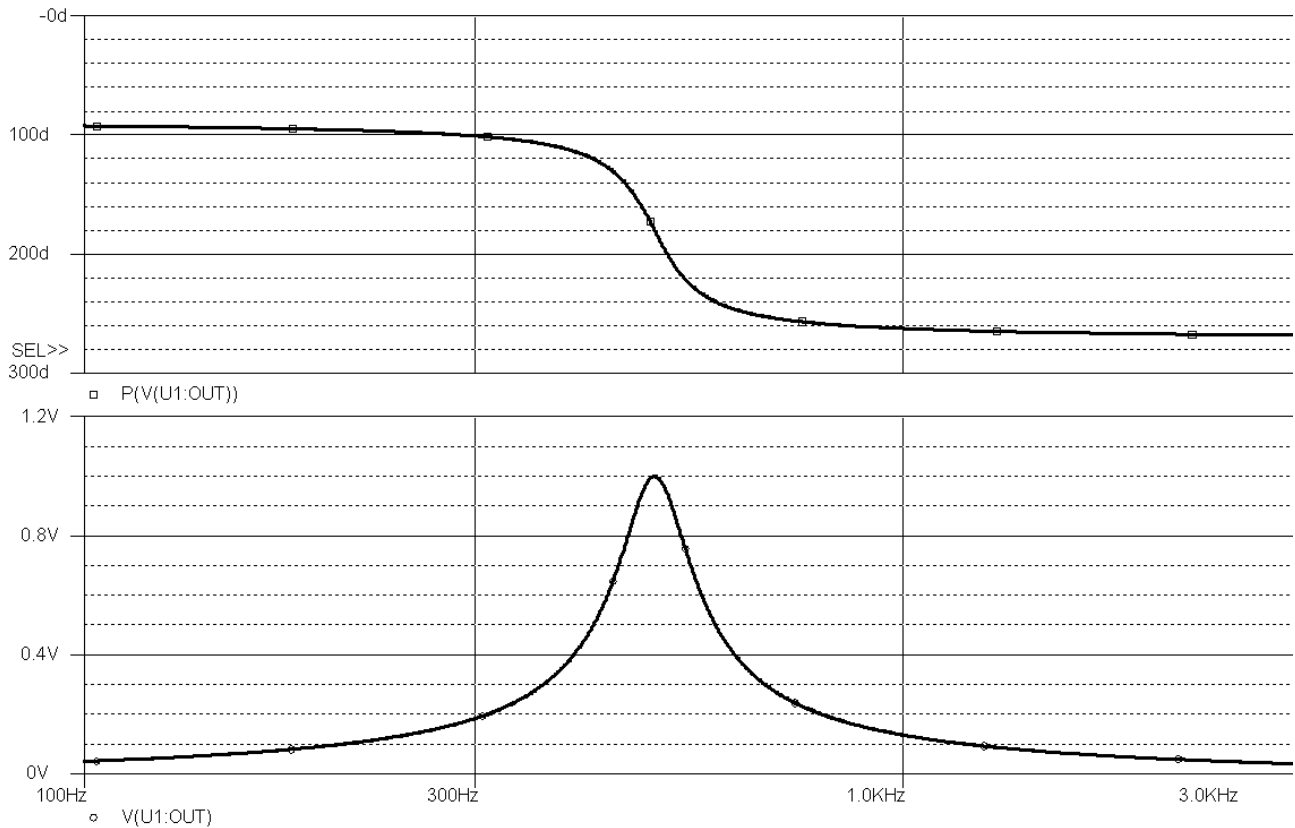
- $R_1 = 15916\Omega$ ($16\text{k}\Omega$)
- $R_2 = 324,8\Omega$ (325Ω)
- $R_3 = 31831\Omega$ ($32\text{k}\Omega$)



Schemat 1: Filtr środkowoprzepustowy o $f_0 = 500\text{Hz}$

W schemacie na poprzedniej stronie świadomie pominięto część zasilani, jak i później wstawiane wartości parametryczne elementów – {res} oraz {cap}.

Biorąc pod uwagę częstotliwość środkową filtra ustalono zakres analizowanych częstotliwości na 100 – 3000Hz. Wykreślone wykresy amplitudy i fazy przedstawiały się następująco:



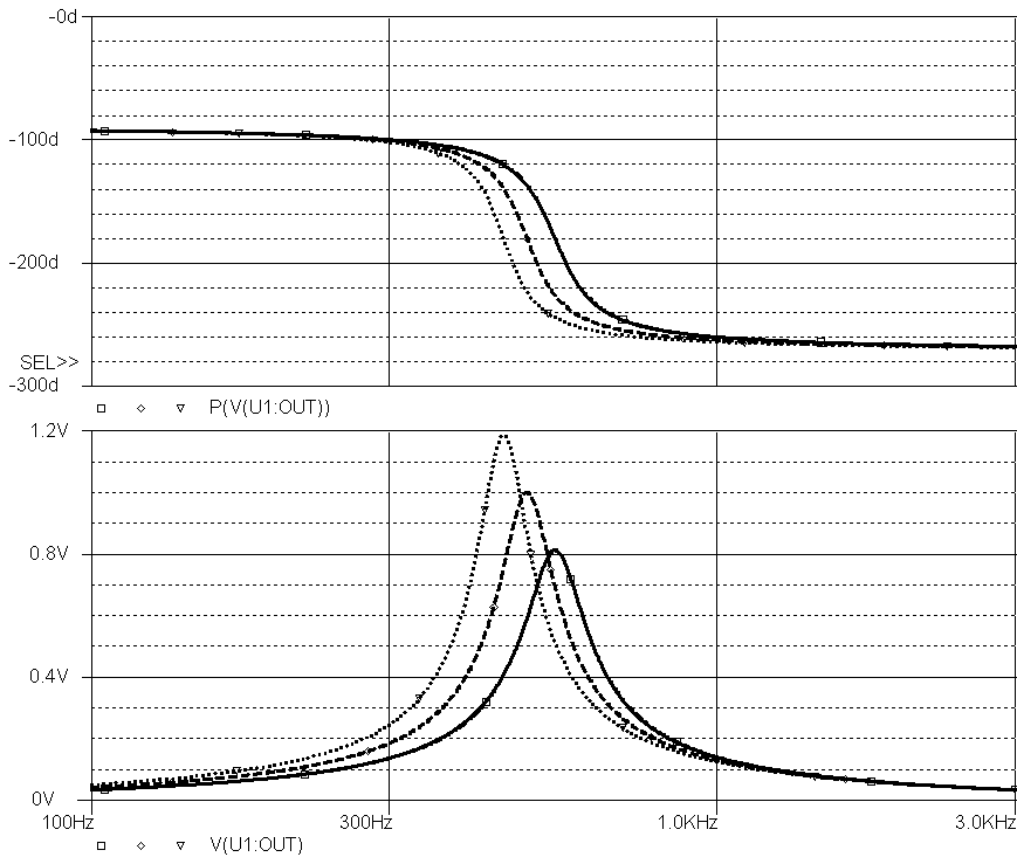
Rys. 1: Charakterystyki częstotliwościowe filtra środkowoprzepustowego na 500Hz

Do wykreślenia powyższych wykorzystano analizę zmiennoprądową – narzędzie *AC Sweep*.

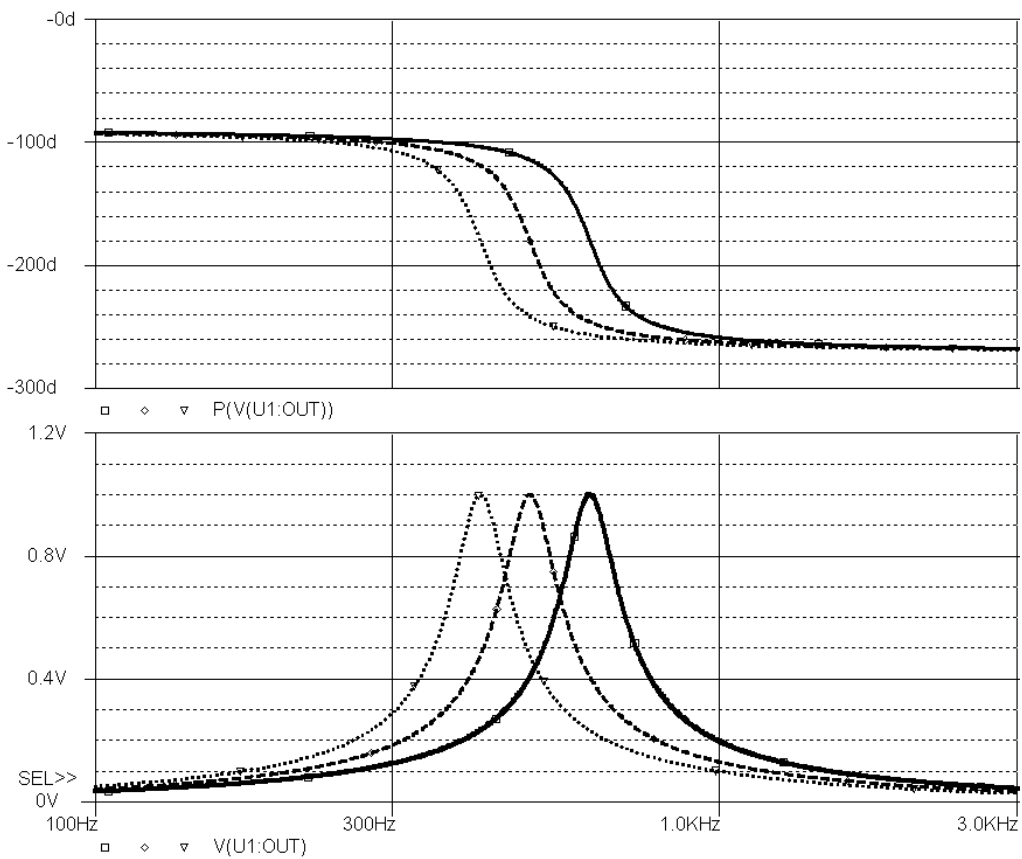
Odczytano przy pomocy oprogramowania *Probe* wartość f_0 , która okazała się wynosić 498Hz, co należy uznać za w pełni zgodne z założeniami projektowymi, biorąc pod uwagę przyjęte przybliżenia. Łatwo używając tej odczytanej wartości obliczyć dobroć Q , używając przekształconego wzoru na R_3 używanego w fazie projektowania. Wg wspomnianych obliczeń $Q = 5,006$, a więc wartość ściśle zgodną z zakładaną.

b) Badanie wpływu zmian wartości elementów na właściwości filtra

Następnym etapem była analiza parametryczna zmiennych globalnych. W tym celu uzmienniono w zakresie zbioru $\{0,8x; x; 1,2x\}$ (gdzie x – wartość elementu) rezystory oraz, w ramach oddzielnej symulacji, kondensatory znajdujące się w układzie. Badano pasmo przepustowe, dochodząc do następujących wniosków: wraz ze wzrostem wartości zarówno elementów rezystancyjnych jak i reaktancyjnych pasmo przepustowe ulegało przesunięciu w stronę niższych częstotliwości. Ponadto w przypadku oporników proporcjonalnie zmieniała się amplituda dla częstotliwości środkowej filtra. Podobnym przesunięciom ulegała charakterystyka fazowa. Wiąże się to z faktem, iż charakterystyka fazowa jest związana z częstotliwością środkową.



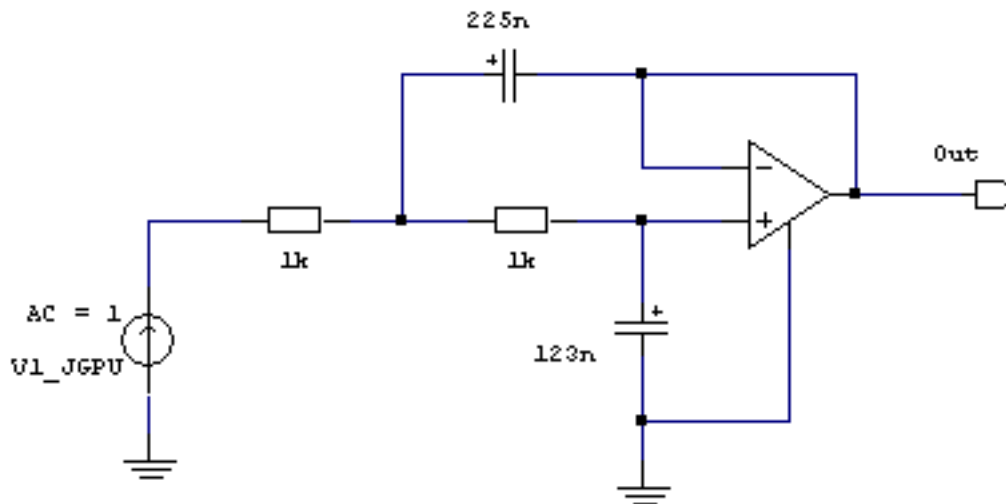
Rys. 2: Zmiana wartości rezystancji - na lewo, linią drobno przerywaną, wykres dla 1,2R



Rys. 3: Zmiana wartości pojemności - na lewo, linią drobno przerywaną, wykres dla 1,2C

2.2. Program APLAC – analiza zmiennoprądowa AC

a) Symulacja filtra dolnoprzepustowego

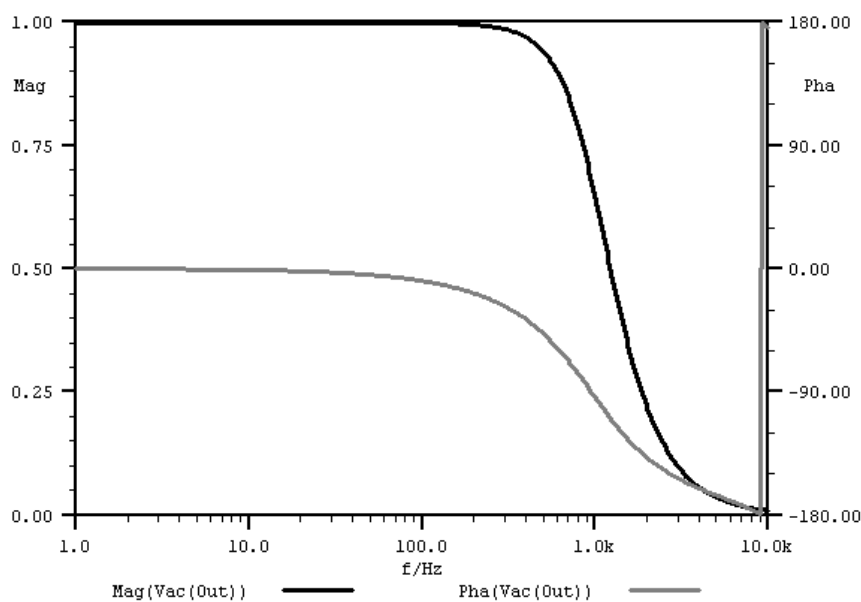


Schemat 2: Filtr dolnoprzepustowy w programie APLAC

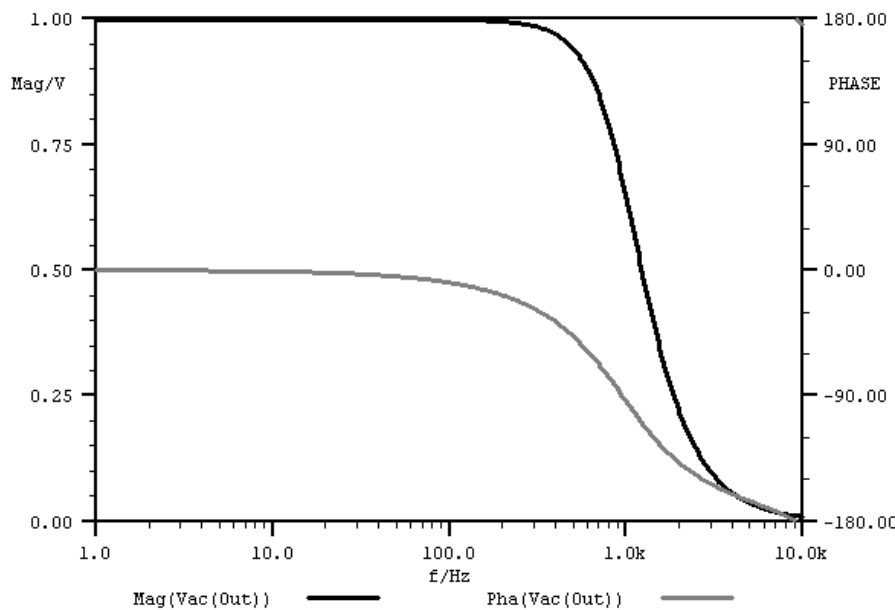
Filtr dolnoprzepustowy był podany w instrukcji gotowy do symulacji – stąd pominięcie fazy projektowania.

Podstawowym zadaniem było ponownie wyznaczenie charakterystyk częstotliwościowych układu, używając do tego 3 różnych metod:

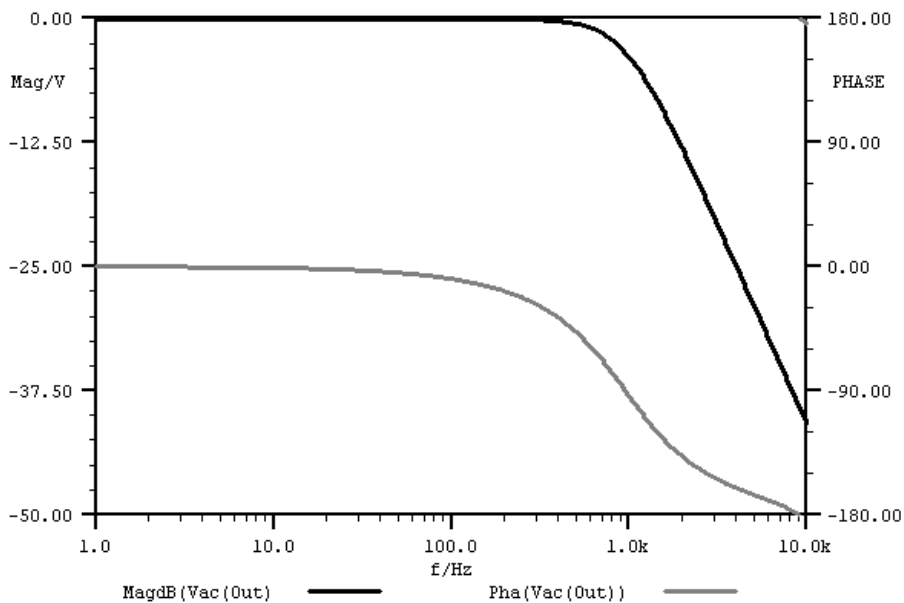
1. Funkcji matematycznych $\text{Mag}()$ oraz $\text{Pha}()$
2. Funkcji Show z parametrem MA (skala amplitudy liniowa)
3. Funkcji Show z parametrem DB (skala amplitudy logarytmiczna)



Rys. 4: Wyświetlanie z użyciem $\text{Mag}()$ oraz $\text{Pha}()$



Rys. 5: Wyświetlanie z użyciem Show z parametrem MA



Rys. 6: Wyświetlanie z użyciem Show z parametrem DB

Z ostatniego wykresu można odczytać, że spadek w dekadzie między 1k a 10k wynosi niecałe 40dB, co pozwala wyciągnąć wniosek o rzędzie filtru wynoszącym $40/20 = 2$.

Z kolei częstotliwość graniczna łatwiej można odczytać z dwóch wcześniejszych wykresów, odczytując współrzędną na osi poziomej odpowiadającą połowie amplitudy pasma przepustowego (połowa amplitudy – 3dB spadek). Przy pomocy kursorów udostępnianych przez przeglądarkę wykresów APLACa można odczytać $f_g \approx 1,2\text{kHz}$

Faza przy tej częstotliwości to ok. -110° .

Treść programów użytych do generacji wyników uzyskanych na poprzedniej stronie:

```
"Analiza AC by Mag() & Pha() "  
LOOP 500 FREQ LOG 1 10k  
X "f" "Hz" 1 10k LOGX  
Y "Mag" "" 0 1 AUTOSCALEY  
Y2 "Pha" "" -180 180 AUTOSCALEY  
  
Show Y Mag(Vac(Out)) Y2 Pha(Vac(Out))
```

```
"Analiza AC by Show MA"  
LOOP 500 FREQ LOG 1 10k  
X "f" "Hz" 1 10k LOGX  
Y "Mag" "V" 0 1 AUTOSCALEY
```

```
Show MA Vac(Out)
```

```
"Analiza AC by Show DB"  
LOOP 500 FREQ LOG 1 10k  
X "f" "Hz" 1 10k LOGX  
Y "Mag" "V" 0 1 AUTOSCALEY
```

```
Show DB Vac(Out)
```

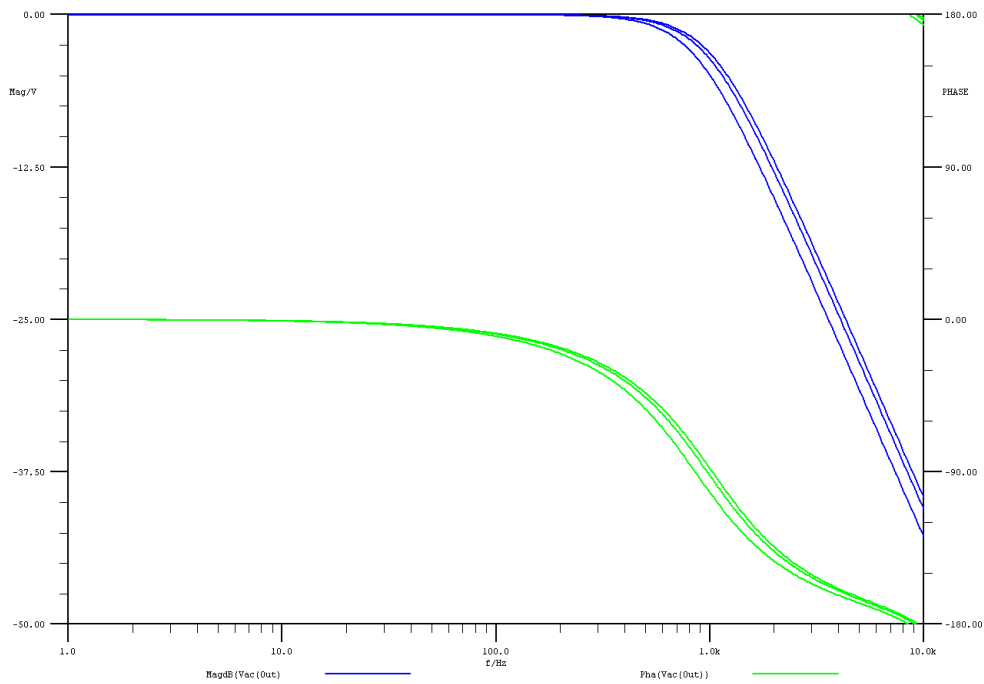
Dodatkowo należało sprawdzić zależność charakterystyk od temperatury. Konieczne było dodanie parametrów temperaturowych do elementów pasywnych występujących w układzie. Dodano liniowe współczynniki temperaturowe o typowych wartościach:

- dla kondensatorów: $TC1 = 700e-6$
- dla rezystorów: $TC1 = 20e-4$

Wzmacniacz operacyjny w środowisku APLAC jest domyślnie zdefiniowany jako element nieidealny. Niezależnie od tego wpływ zmian temperaturowych na wzmacniacz jest niewielki w porównaniu do elementów pasywnych.

Do testów użyto zadanego wektora temperatur $[0\ 20\ 70]^\circ\text{C}$.

Wynikiem podnoszenia temperatury było obniżanie się charakterystyki filtra poza płaską częścią pasma przepustowego oraz związane z tym przesunięcie się częstotliwości granicznej w kierunku niższych częstotliwości. Analogicznie obniżenie temperatury wywoływało efekty przeciwne.



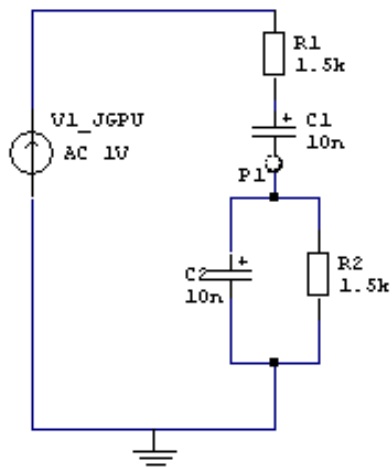
Rys. 7: Wyniki analizy temperaturowej. Krzywe w każdej wiązce od lewej: 70, 20, 0°C

Program użyty do analizy temperaturowej:

```
"Analiza AC by Show DB"
LOOP 3 TEMPC TABLE = wektor
LOOP 500 FREQ LOG 1 10k
X "f" "Hz" 1 10k LOGX
Y "Mag" "V" 0 1 AUTOSCALEY
```

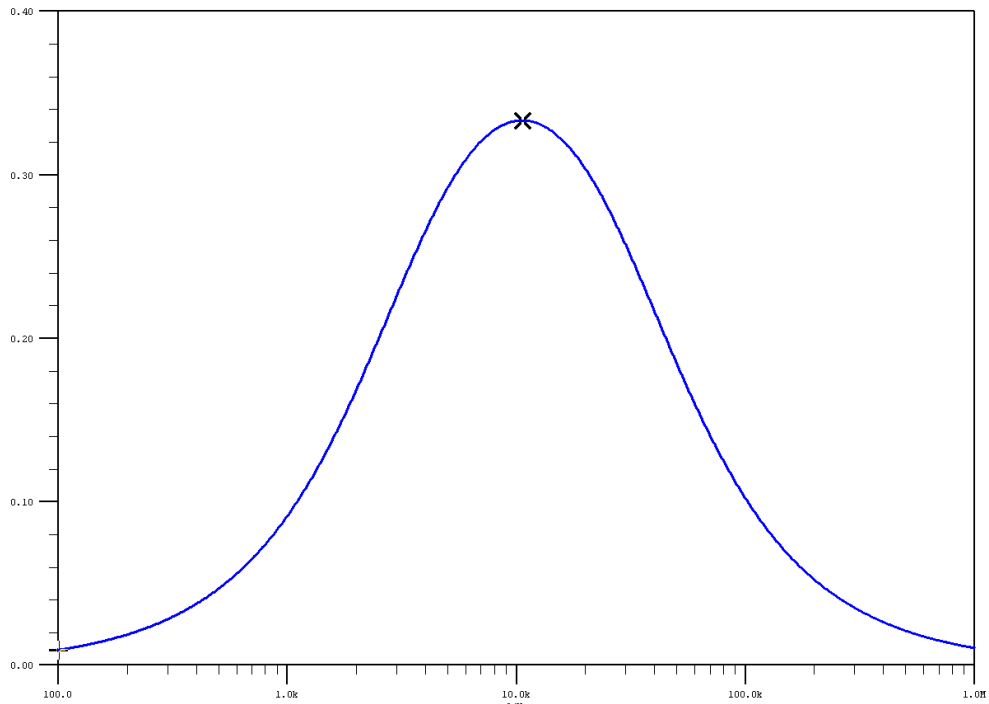
Show DB Vac (Out)

b) Analiza półmostka Wiena

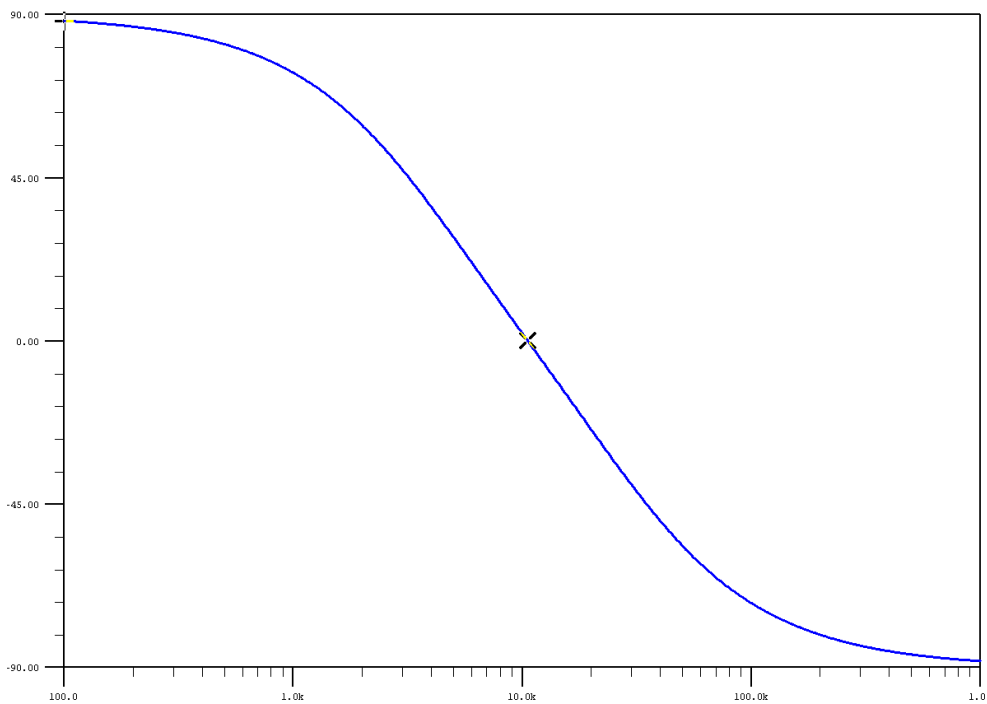


Schemat 3: Układ półmostka Wiena

Czynności wykonywane w tym przypadku były podobne do wcześniej już wykonanych. Najpierw przeprowadzono badanie charakterystyk częstotliwościowych.



Rys. 8: Półmostek Wiener - charakterystyka amplitudowa



Rys. 9: Półmostek Wiener - charakterystyka fazowa

Częstotliwość charakterystyczną i fazę układu wyznaczono za pomocą kursorów widocznych w odpowiednich miejscach wykresów na poprzedniej stronie i wyniosły one odpowiednio: 10,6kHz oraz 0°.

Programy użyte do uzyskania tychże wykresów:

```
"Półmostek Wiena - char. amplitudowa"
```

```
LOOP 1000 FREQ LOG 100 1000k
```

```
Show Y=Mag(Vac(P1))
```

```
-----
```

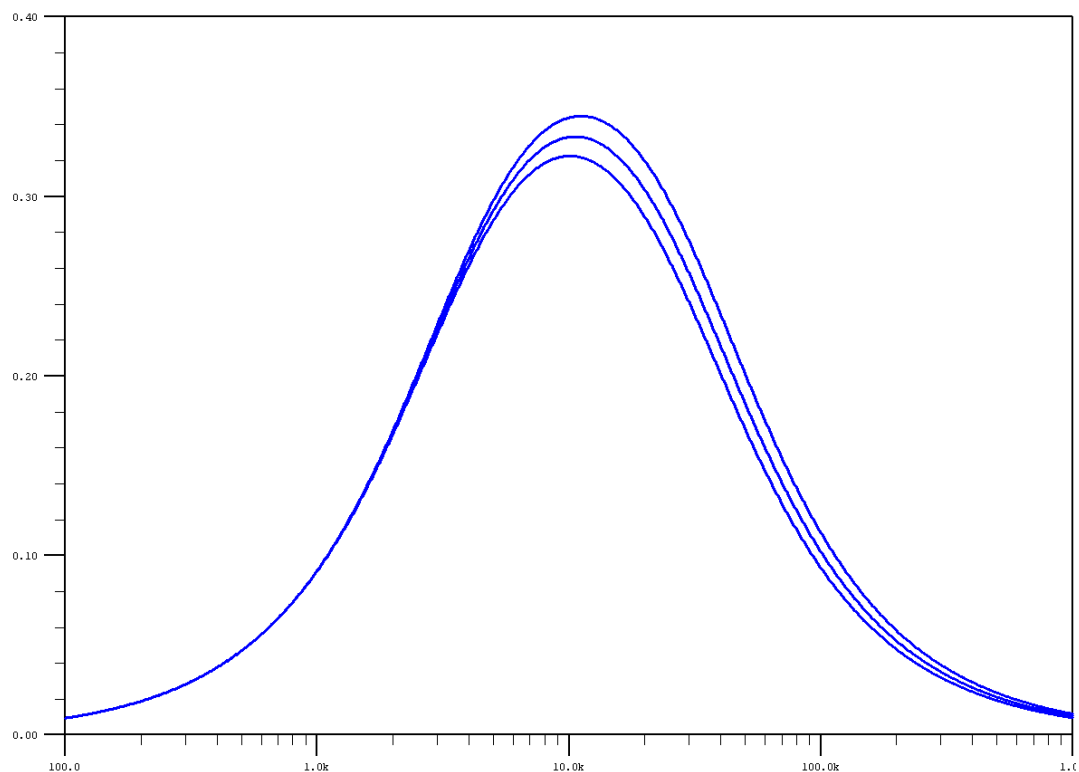
```
"Półmostek Wiena - char. fazowa"
```

```
LOOP 1000 FREQ LOG 100 1000k
```

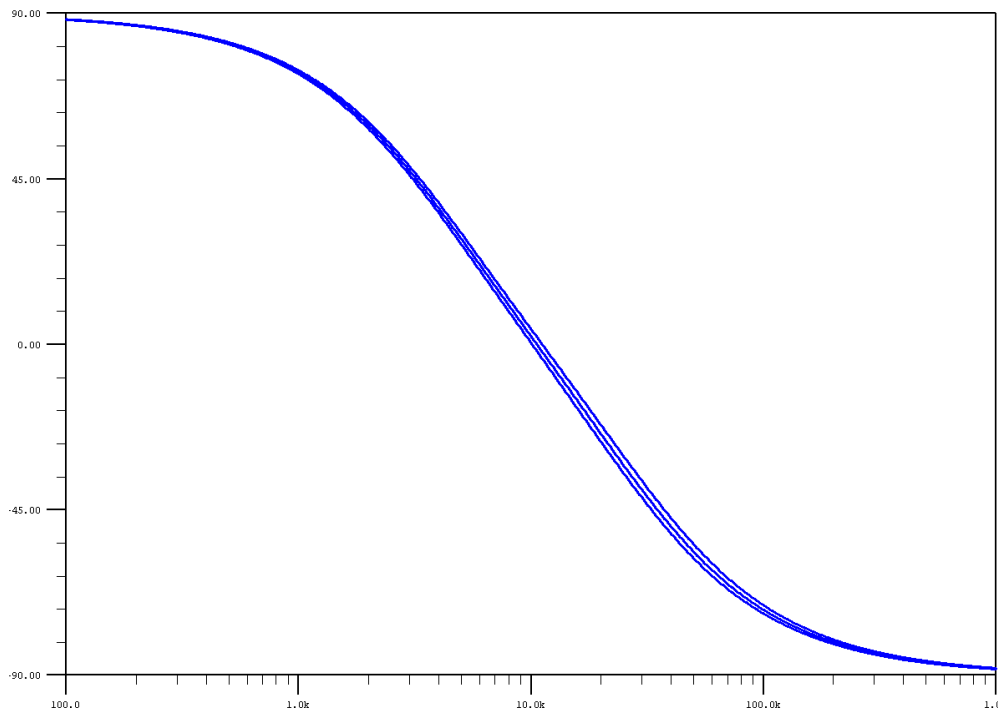
```
Show Y=Pha(Vac(P1))
```

Następnie przeprowadzono analogiczną do wykonywanej wcześniej w programie SPICE analizę parametryczną, tym razem modyfikując wartości: elementu R1 oraz C1 o $\pm 10\%$.

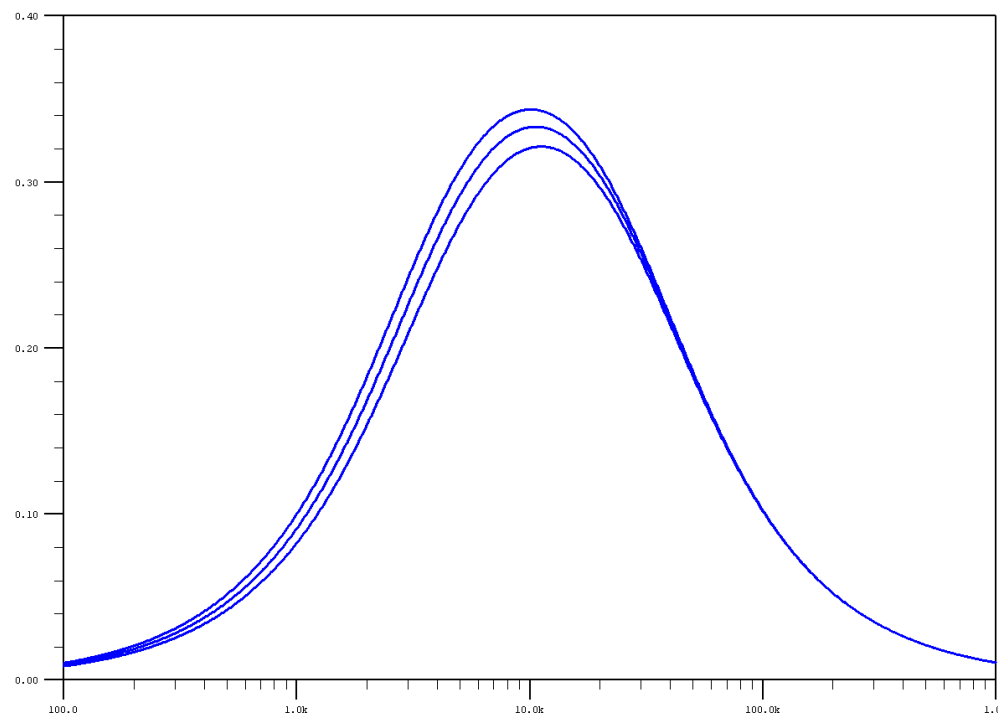
Uzyskano następujące rozrzuty charakterystyk:



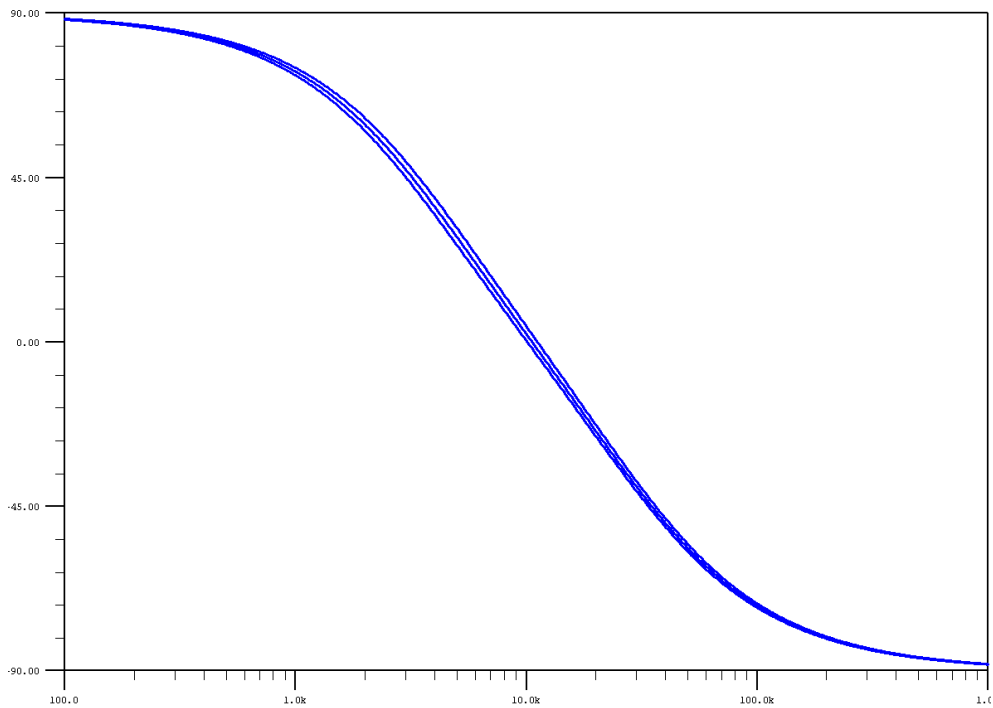
Rys. 10: Rezystor R_1 modyfikowany o $\pm 10\%$ - char. amplitudowa



Rys. 11: Rezystor R_1 modyfikowany o $\pm 10\%$ - char. fazowa



Rys. 12: Kondensator C_1 modyfikowany o $\pm 10\%$ - char. amplitudowa



Rys. 13: Kondensator C_1 modyfikowany o $\pm 10\%$ - char. fazowa

Programy analizy parametrycznej rezystora (kondensatora są analogiczne):

```
"Półmostek Wiena - char. amplitudowa"
LOOP 3 VAR R_var TABLE = wektor_R
LOOP 1000 FREQ LOG 100 1000k
```

```
Show Y=Mag(Vac(P1))
```

```
"Półmostek Wiena - char. fazowa"
LOOP 3 VAR R_var TABLE = wektor_R
LOOP 1000 FREQ LOG 100 1000k
```

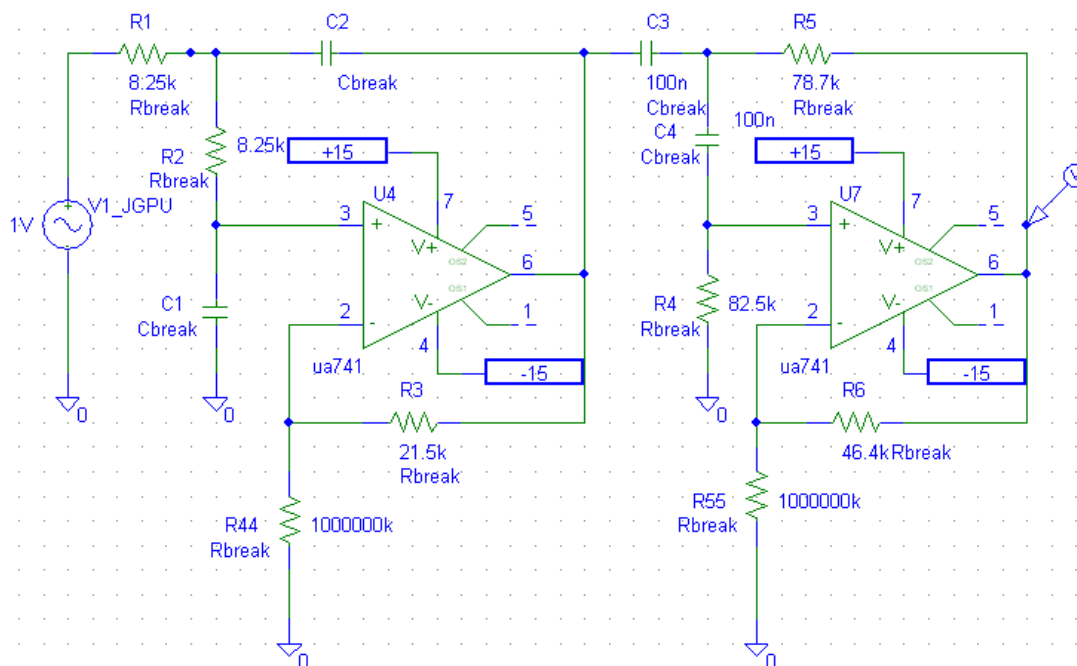
```
Show Y=Pha(Vac(P1))
```

3. Zadanie dodatkowe

Filtr pasmowy na zakres częstotliwości akustycznych zdefiniowano jako złożenie filtru górnoprzepustowego o częstotliwości granicznej 20Hz oraz dolnoprzepustowego o częstotliwości granicznej 20kHz w jeden filtr. Wartości te nie podlegały dalszej dyskusji, jako że celem ćwiczenia nie jest konstrukcja idealnego filtru akustycznego, a jego analiza.

Filtry składowe zaprojektowano za pomocą interaktywnego narzędzie dostępnego na stronie internetowej firmy Analog Devices.

Wyniki symulacji w programie SPICE



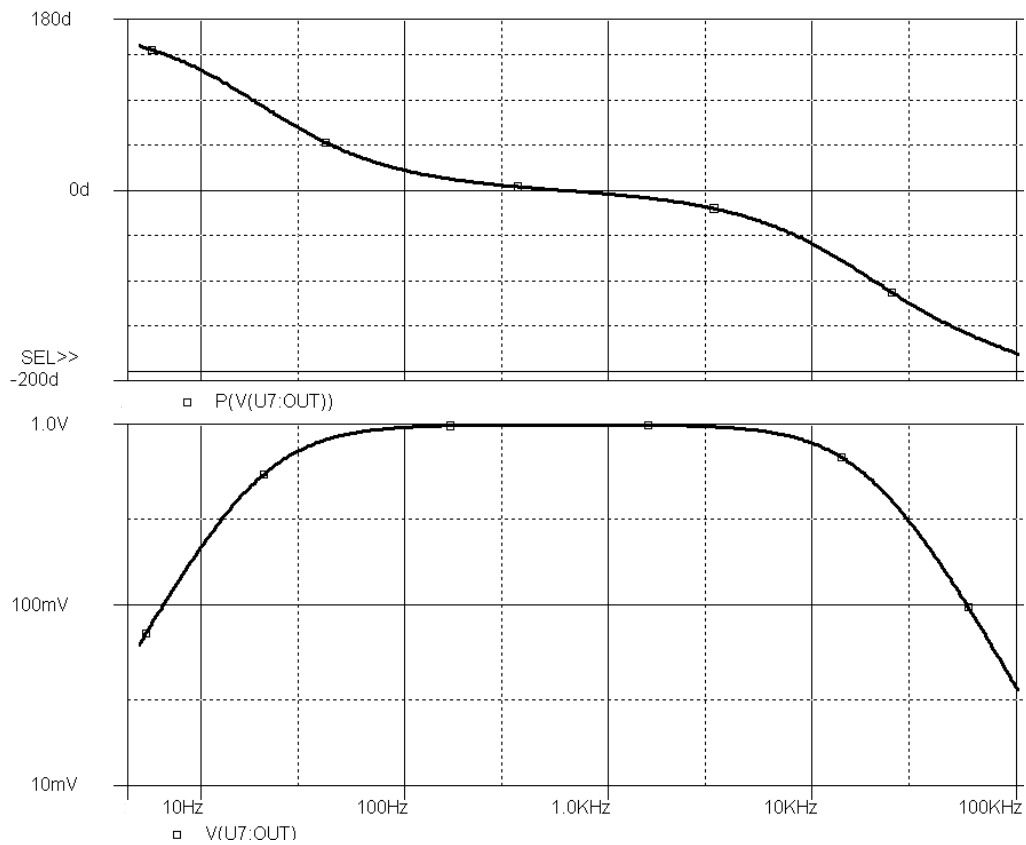
Schemat 4: Filtr akustyczny w programie SPICE

Ciekawostką są prowadzące z wejść odwracających do masy rezystory – układ był uznawany przy próbach symulacji za błędny dopóki wejścia te nie zostały choćby w ten sposób podłączone do masy. A w związku z tym, że projekt jasno zakładał rozwarcie w tym miejscu, podjęto decyzję o określonym, acz działającym rozwiązaniu problemu – choć być może w ramach mechanizmów programu SPICE istnieje metoda pozwalająca zrobić to w bardziej elegancki sposób.

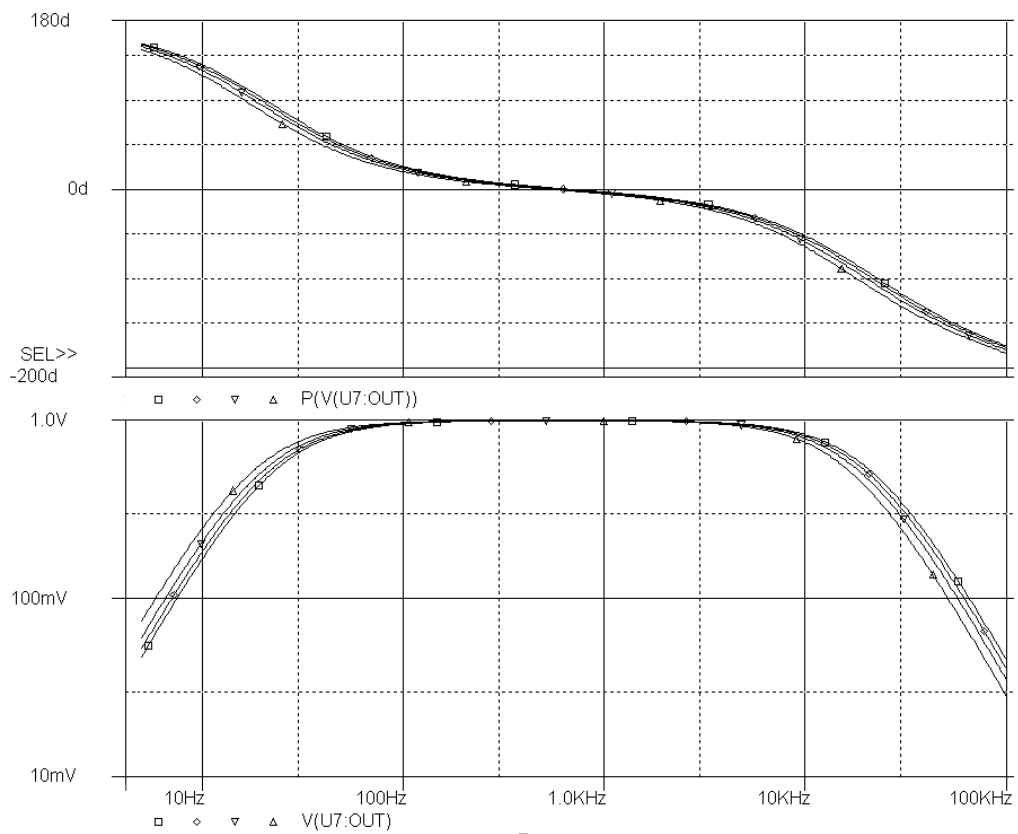
W układzie są też widoczne elementy Rbreak zamiast R. Tu wyjaśnienie jest dużo prostsze. Standardowy rezystor w SPICE, czyli właśnie R, nie używa modelu. Używa go natomiast element Rbreak. Modyfikacja modelu była konieczna, by dodać współczynnik temperaturowy rezystora. Analogiczne rozwiązanie zastosowano oczywiście także w przypadku kondensatorów.

Edycję modeli elementów Rbreak oraz Cbreak przeprowadzono w programie Pspice Model Editor, dopisując odpowiednio parametry $TC1=0.002$ oraz $TC1=0.0007$ odpowiadające tym samym wartościom używanym wcześniej w APLACU.

Ponownie wzrost temperatury odpowiadał przesunięciu charakterystyk „w lewo” na osi częstotliwości – tak więc obydwie granice pasma uległy obniżeniu.



Rys. 14: Charakterystyki częstotliwościowe filtra akustycznego



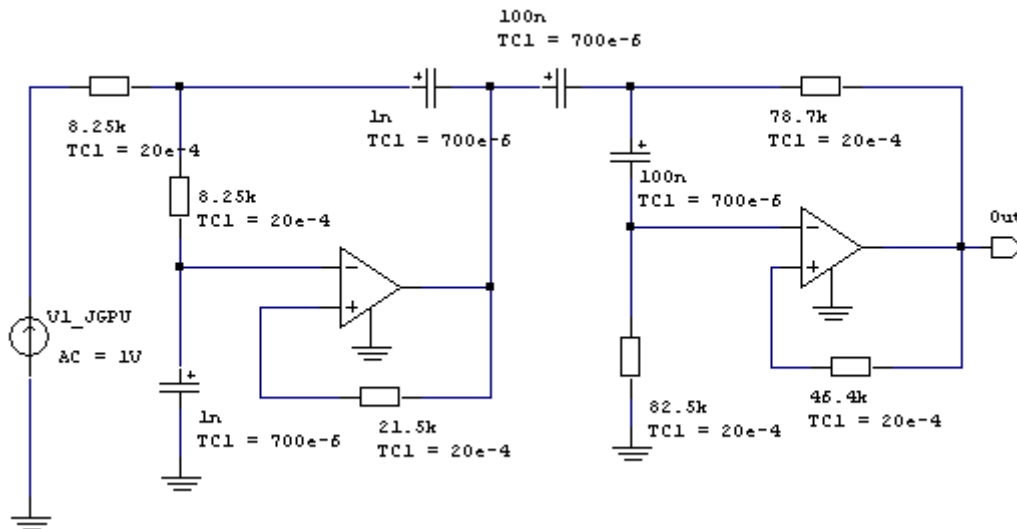
Rys. 15: Charakterystyki częstotliwościowe filtra akustycznego w zależności od temperatury

Wyniki symulacji w programie APLAC

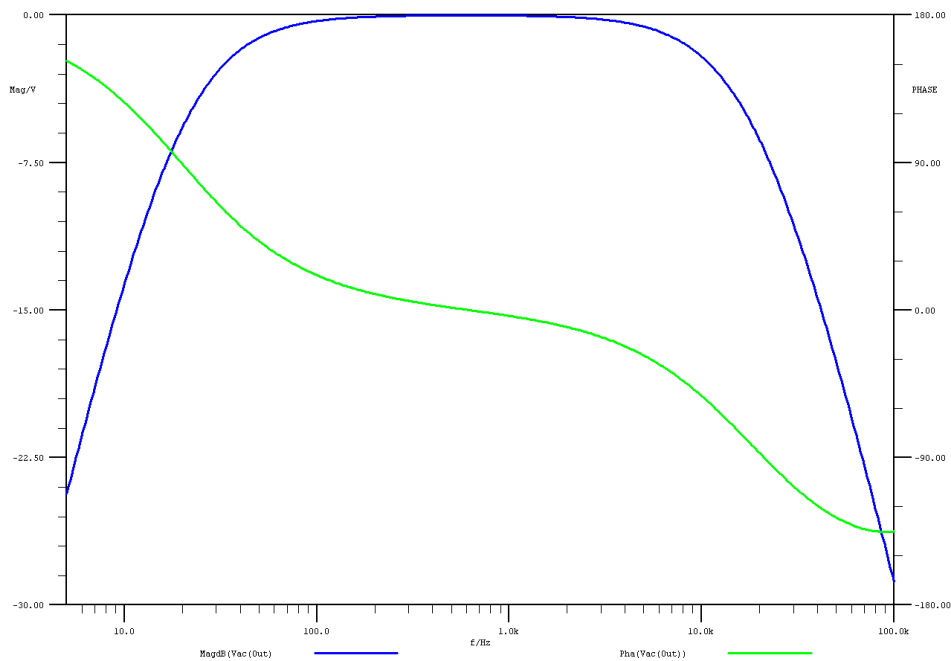
Jeśli chodzi o wygodę realizacji analizy temperaturowej, APLAC zdecydowanie góruje na SPICE'em. Po pierwsze i najważniejsze, nie były konieczne kuriozalne gigaomowe rezystory. Po wtóre, dodanie parametrów temperaturowych do modelu elementu odbywa się bezpośrednio w programie APLAC w dalece bardziej intuicyjny sposób.

Ustawiono współczynniki temperaturowe na wcześniej stosowanym poziomie.

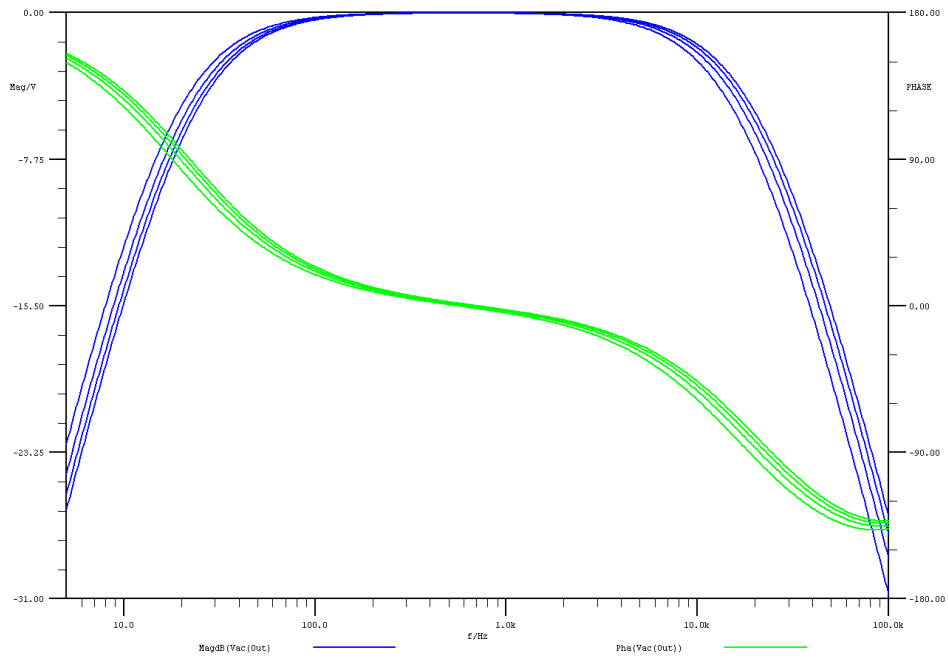
Same wyniki symulacji są identyczne i nie przynoszą nowych merytorycznych wniosków.



Schemat 5: Filtr akustyczny w programie APLAC



Rys. 16: Charakterystyki częstotliwościowe filtra akustycznego



Rys. 17: Charakterystyki częstotliwościowe filtra akustycznego w zależności od temperatury

Program użyty do analizy temperaturowej:

```
"Analiza filtra pasmowego"
LOOP 4 TEMPC TABLE = wektor_T
LOOP 500 FREQ LOG 5 100k
X "f" "Hz" 5 100k LOGX
Y "Mag" "V" 0 1 AUTOSCALEY
```

Show DB Vac (Out)

4. Pytania sprawdzające

Jaka jest różnica pomiędzy wpisem DC=1V i AC=1V w parametrach źródła napięciowego?

Źródło *Volt* dostępne w programie APLAC jest źródłem uniwersalnym. Wpis AC definiuje źródło jako źródło napięcia zmiennego, natomiast DC – stałego.

Ile jednocześnie parametrów można zmieniać podczas symulacji w programie SPICE (w wersji edukacyjnej)? Jakiego typu mogą to być parametry?

Analiza parametryczna umożliwia użycie wg jednego z następujących parametrów: napięcia źródła, prądu źródła, temperatury, parametru modelu bądź globalnej zmiennej parametrycznej.

Jakie informacje zawierają pliki *.n oraz *.i w programie APLAC?

Do plików *.n zapisywany jest schemat układu, zaś na podstawie pliku układu i kodu programu tworzony jest plik *.i, który jest właściwym plikiem wejściowym do programu symulacyjnego.

Jak przeprowadzić analizę parametryczną w programie APLAC?

Należy zdefiniować zmienną, przypisać jej nazwę w miejsce wartości, którą chcemy parametryzować, a następnie przypisać kolejno w pętli wartości zdefiniowanego wcześniej wektora w procesie właściwej parametryzacji (np. polecenie LOOP 3 VAR R_var TABLE = wektor_R, użyte na laboratorium)

Jaka jest różnica pomiędzy parametrem modelu a parametrem globalnym?

Parametr modelu jest zmienną, której zmiana wywoła zmianę wszystkich elementów korzystających z tego modelu, natomiast parametr globalny to zmienna o bardziej uniwersalnym przeznaczeniu, którą można przypisać np. jako wartość jednego lub kilku elementów.