

BADANIE FITRÓW AKTYWNYCH PAKIETEM PROGRAMOWYM PSpICE

TEMATYKA ĆWICZENIA

Wstępne zapoznanie się z możliwościami pakietu PSpice. Charakterystyka częstotliwościowa, wpływ elementów układu na charakterystykę częstotliwościową, Filtry dolnoprzepustowe i górnoprzepustowe drugiego i trzeciego rzędu.

WYMAGANE WIADOMOŚCI

Podstawowe wiadomości o elementach półprzewodnikowych, wzmacniaczach operacyjnych oraz filtrach.

LITERATURA PODSTAWOWA

Jacek Izydorzyc PSpice komputerowa symulacja układów elektronicznych
<http://www.electronics-lab.com/downloads/schematic/013/>

LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA

http://neo.dmcs.p.lodz.pl/~spsym/html/PSPICE_opis.html

OBJAŚNIENIA

1. Wstęp

Wersję „Student” PSpice można ściągnąć z adresu

<http://www.electronics-lab.com/downloads/schematic/013/>

Sprawozdanie z tego ćwiczenia wykonywane jest na bieżąco. Jeżeli dla danej analizy w niniejszej instrukcji nie ma polecenia zmuszającego do wpisania do sprawozdania należy wynik analizy zademonstrować prowadzącemu zajęcia.

1. 1. Jednostki w programie PSpice

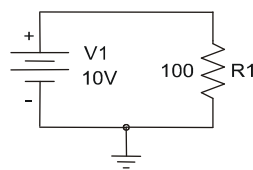
Wpisując wartości parametrów elementów lub analiz można korzystać z różnych jednostek. Symbole jednostek podstawowych nie muszą być wpisywane. Wartość, pozbawiona symbolu jednostki oznacza jednostkę podstawową. Na przykład zapis siły elektromotorycznej źródła napięciowego $UDC=1$ jest równoważny zapisowi $UDC=1V$. Znaki „g”, „k”, „m”, „u”, „n” oznaczają przedrostki: giga, kilo, mili, mikro, nano. Mogą to być zarówno duże jak i małe litery. Przedrostek mega zapisywany jest jako „meg” lub „MEG”. Na przykład parametr PER czyli okres przebiegu o wartości 1µs może być zapisany PER=1us lub PER=1u lub PER=0.000001 itd.

2. Najprostszy obwód: źródło - rezystor

Menu **Draw - Get New Part** lub klawisze Ctrl+G lub przycisk z podpowiedzią Get New Part otwierają ułożoną alfabetycznie listę elementów. Korzystanie z tej listy jest oczywiste.

Menu **Edit - Rotate** lub klawisze Ctrl+R umożliwiają obrót elementów - element musi być zaznaczony (kolor czerwony); zaznaczenie elementu lewym klawiszem myszy. Element jest obracany wokół zacisku nr 1.

Menu **Draw - Wire** lub klawisze Ctrl+W lub przycisk z podpowiedzią Draw Wire umożliwiają rysowanie połączeń.



Z listy elementów pobrać źródło napięcia stałego (VDC), rezystor (R) i symbol masy GND_EARTH. Rozmieścić te elementy tak, aby nie stykały się końcówkami. Połączyć elementy liniami przewodów.

Dwukrotne kliknięcie w symbol elementu otwiera okienko z parametrami elementu. Ustawić dla źródła wartość DC równą 10V, dla rezystora wartość Value równą 100 (domyślnie omów).

Użyć przycisków oznaczonych dużymi literami **V** i **I** - **pewnie bez efektu**. Przyciski te wyświetlają **na schemacie** wartości punktu pracy czyli składowych stałych napięć i prądów w poszczególnych węzłach. Do tego potrzebne jest wykonanie analizy (symulacji) układu.

Przed wykonaniem symulacji należy sprawdzić ustawienia analizy. Menu **Analysis - Setup** lub przycisk z podpowiedzią Setup Analysis otwierają okno ustawień analizy. Powinna być zaznaczona analiza **Bias Point Detail** czyli obliczanie szczegółów punktu pracy. Pozostałe rodzaje analizy wyłączyć.

Menu Draw - Get New Part, klawisze Ctrl+G, ikona Get New Part: lista elementów.

Menu Edit - Rotate, klawisze Ctrl+R: obrót elementów.

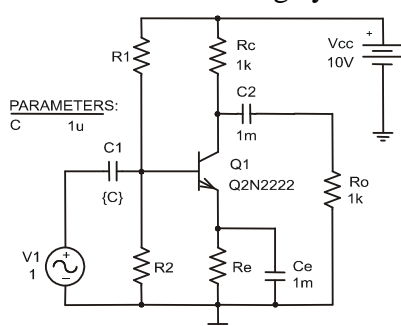
Menu Draw - Wire, klawisze Ctrl+W, ikona Draw Wire: rysowanie połączeń.

Uruchomić symulację (analizę) poprzez menu **Analysis - Simulate** lub klawisz F11 lub przycisk z podpowiedzią Simulate. Pytanie o zapis schematu oczywiście potwierdzić. Otwiera się okno, w którym są rysowane charakterystyki i przebiegi. **Na razie nie w tym oknie nie ma. Wrócić do schematu.** Wielokrotnie użyć przycisków prezentacji punktu pracy (V i I). Zmienić wartość napięcia źródła. Zwrócić uwagę na to, że wartości napięć i prądów prezentowane na schemacie nie zmieniły się. Wartości te pobierane są z pliku wyjściowego analizy i aktualizowane przy kolejnej symulacji.

3. Wzmacniacz RC z tranzystorem bipolarnym

3. 1. Punkt pracy

Zbudować układ wg rysunku bez kondensatora C1, źródła V1 i elementu z tekstem



PARAM. Te elementy dołączymy później. Przyjąć potencjał emitera równy 1V, potencjał kolektora równy 5V. Dobrać tak sumę $R1+R2$, aby prąd tego dzielnika przy odłączonej bazie tranzystora (czyli wartość $V_{cc}/(R1+R2)$) był około 10 razy większy od oszacowanego prądu bazy, przy czym przyjmując współczynnik β równy 100. Po obliczeniu wartości R_e tak manipulować wartościami rezystorów $R1$ i $R2$ (zachowując mniej więcej stałą wartość sumy ich

rezystancji), aby uzyskać wartość potencjału kolektora między 5V i 6V. Wykonywać w tym celu analizę **Bias Point Detail** z wyświetlonymi wartościami napięć (i ewentualnie prądów) składowej stałej (Setup Analysis, Simulate).

3. 2. Wzmocnienie i dolna częstotliwość graniczna

Dołączyć kondensator C1 i jako wartość (Value) wpisać w nawiasach klamrowych C (znak C nie jest obowiązkowy, można tu użyć innego symbolu). Wartość tak zadeklarowanej pojemności może być użyta jako zmienny parametr.

Dołączyć źródło V1 jako element VAC i wpisać wartość $ACMAG=1$ (moduł napięcia) i $ACPHASE=0$ (faza).

Sterowanie napięciem o wartości 1V jest zabiegiem czysto formalnym, dla celów obliczeniowych, pozwalającym uzyskać wartości napięcia wyjściowego równe bezpośrednio wzmocnieniu (transmitancji) układu. Oczywiście charakterystyki częstotliwościowe zostaną obliczone z liniowego schematu zastępczego tranzystora dla składowej zmiennej. Proszę się nie sugerować obliczeniowymi wartościami napięcia wyjściowego rzędu kilkadziesiąt czy kilkaset woltów. Rzeczywiste napięcie wyjściowe wzmacniacza jest ograniczone przez napięcie zasilające.

Umieścić na rysunku element PARAM i wpisać (podwójny klik) $NAME1=C$, $VALUE1=1u$. W ten sposób określiliśmy nominalną wartość kondensatora C1 równą 1uF. Pozostałe kondensatory mają dużą wartość (1mF) tak, aby ich wpływ na charakterystykę był poza granicami naszego zainteresowania.

Umieścić na rysunku wskaźnik napięcia wyjściowego (punkt wspólny C2 i R_o). Z menu **Markers - Mark Advanced...** pobrać wskaźnik vdb (wartość napięcia - wzmocniona w decybelach) i umieścić go obok poprzedniego.

W oknie ustawień analizy (Setup Analysis) wybrać analizę zmiennoprądową (częstotliwościową) (AC Sweep). Ustawić dekadową zmianę częstotliwości, częstotliwość początkową 10 (herców), częstotliwość końcową 100k (100 kiloherców).

Uruchomić analizę. Zmierzyć i zapisać wzmocnienie układu w zakresie dużych częstotliwości (około 100kHz) w wartościach bezwymiarowych i w decybelach. Zapisać również wzór na wzmocnienie w decybelach. Manipulując kursorami zmierzyć dolną częstotliwość graniczną wzmacniacza (spadek wzmocnienia o 3db).

Przypominamy, że wyświetlaną tabelkę kursorów można kojarzyć z odpowiednią charakterystyką poprzez klikanie lewym i (lub) prawym klawiszem myszy w znaczniki koloru charakterystyk znajdujące się pod wykresem z lewej strony. Kursor opisany w górnym wierszu tabelki (lewy klawisz myszy) można przesuwać klawiszami strzałkowymi.

3. 3. Zależność charakterystyki od stałej czasowej związanej z C1

W oknie ustawień analizy pozostawić analizę zmiennoprądową i dodać analizę parametryczną. Jako typ parametru wybrać parametr globalny, wpisać nazwę parametru: C (zmiana pojemności C1), typ zmian wybrać liniowy, wartość początkową 1u, wartość końcową 10u, krok zmian 9u. Uruchomić analizę, zmierzyć dolną częstotliwość wzmacniacza dla obydwu wartości pojemności C1.

Wyłączyć analizę parametryczną. Zmniejszyć dziesięciokrotnie wartości rezystancji R1 i R2. Nie zmienia to zasadniczo punktu pracy. Uruchomić analizę, zmierzyć dolną częstotliwość graniczną, wytłumaczyć otrzymany wynik.

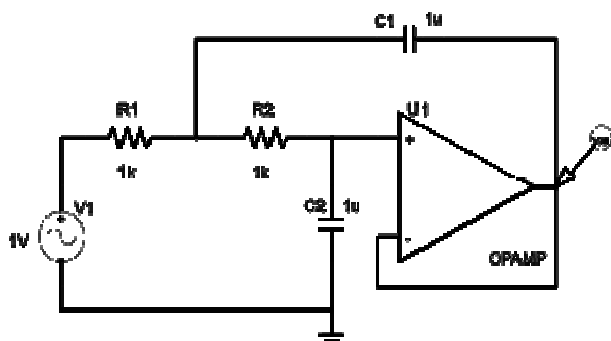
Dobrać tak parametry analizy, aby można było zmierzyć górną częstotliwość graniczną. Uruchomić analizę parametryczną ze zmianą wartości C1. Zapisać górną częstotliwość graniczną, od czego zależy ta wartość, jak zależy od wartości C1.

3. 4. Zależność charakterystyki od stałej czasowej związanej z Ce

Dla kondensatora C1 wpisać wartość pojemności (Value) 1m, a dla kondensatora Ce wpisać wartość pojemności {C}. Pozostawiając wpisane wcześniej wartości zmian parametru C otrzymamy charakterystyki dla wartości Ce równych 1 μ F i 10 μ F. W celu zmniejszenia liczby krzywych usunąć wskaźnik wzmocnienia w decybelach. Uruchomić analizę narysować i wytłumaczyć kształt charakterystyki, zwrócić uwagę na wartość wzmocnienia dla częstotliwości poniżej 100Hz.

4. Filtr aktywny dolnoprzepustowy

Podstawowe parametry filtru to częstotliwość graniczna i nachylenie charakterystyki określane najczęściej w decybelach na oktawę lub na dekadę. Przypominamy, że dwie częstotliwości różnią się o oktawę, jeżeli ich stosunek wynosi 2 o dekadę, jeżeli ich stosunek wynosi 10. Nachylenie charakterystyki zależy od rzędu filtru, przy czym rząd filtru równy jest rzędowi równania różniczkowego opisującego filtr. Filtry pierwszego rzędu mają nachylenie 6 dB na oktawę (20 dB na dekadę), drugiego rzędu 12 dB na oktawę (40 dB na dekadę), trzeciego 18 dB/oktawę (60 dB/dekadę) itd.



Zbadamy układ filtru jak na rysunku. Jest to filtr drugiego rzędu z dodatnim sprzężeniem zwrotnym. Dla tego filtru oprócz pulsacji granicznej ω_g określony jest współczynnik tłumienia ξ . Odpowiednie wzory określające te parametry są następujące:

$$\omega_g = \frac{1}{\sqrt{R1R2C1C2}}$$

$$\xi = 0,5*(R1+R2)*C2* \omega_g$$

Układ, w którym $\xi=1$ jest układem o tłumieniu krytycznym. Odpowiada to kaskadowemu połączeniu dwóch układów inercyjnych (prosty układ całkujących RC). Pulsacja ω_g odpowiada częstotliwości, w układzie o tłumieniu krytycznym, dla której napięcie wyjściowe spada o 6 dB. Graniczna częstotliwość wypadkowa układu (dla spadku 3 dB) jest oczywiście odpowiednio mniejsza.

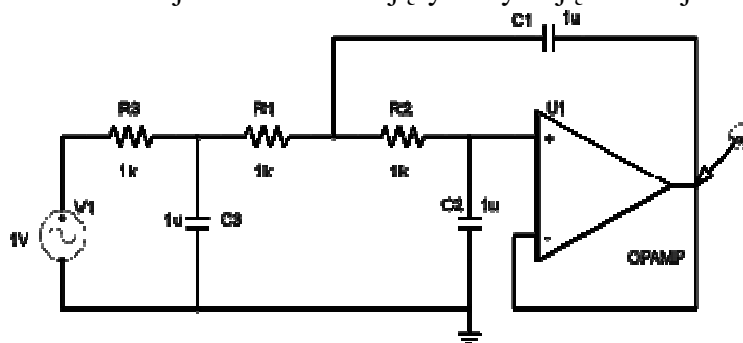
Wzmacniacz operacyjny w spisie elementów nazywa się OPAMP. Jest to idealny wzmacniacz teoretyczny. Nominalne rezystancje rezystorów są równe $1k\Omega$, nominalne pojemności kondensatorów są równe $1\mu F$.

Zbudować układ wg rysunku bez kondensatora C1 (rozwarcie). Otrzymuje się w ten sposób układ filtru 1. rzędu. Rezystory R1 i R2 mogłyby być zastąpione jednym ale przydadzą się później. Umieścić wskaźnik napięcia wyjściowego oraz decybelowy wskaźnik napięcia wyjściowego. Uruchomić analizę zmiennoprądową, zmierzyć częstotliwość graniczną (3 dB) i nachylenie charakterystyki (w części opadającej) w decybelach na oktawę. Dodać kondensator C1 (dodatnie sprzężenie zwrotne). Uruchomić analizę zmiennoprądową, przerysować charakterystykę i zmierzyć częstotliwość graniczną (3 dB) i nachylenie charakterystyki. Wpisać te wartości do sprawozdania. Porównać zmierzone nachylenia charakterystyk. Obliczyć ze wzoru częstotliwość graniczną i porównać ze zmierzoną. Obliczyć współczynnik tłumienia ξ . Zmierzyc częstotliwość dla spadku 6 dB. Porównać z obliczoną.

Przez zmianę wartości C1 i C2, nie zmieniając przy tym pulsacji granicznej (stała wartość iloczynu $C1*C2$) zbudować układ o współczynniku tłumienia ξ równym 0,5, a następnie 2. Dla obydwóch przypadków narysować charakterystykę częstotliwościową. Obok wpisać odpowiednie wartości częstotliwości granicznych (spadek 3 dB).

5. Filtr aktywny dolnoprzepustowy trzeciego rzędu

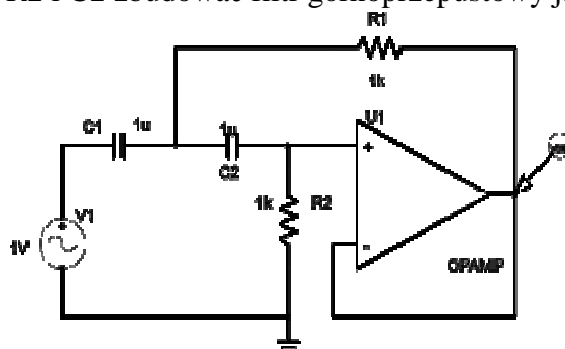
Dodać na wejściu człon całkujący otrzymując układ jak na rysunku.



Zmierzyć częstotliwość graniczną oraz nachylenie charakterystyki decybelowej tego układu dla częstotliwości gdzie charakterystyka decybelowa jest liniowa.

6. Filtr aktywny górnoprzepustowy

Usunąć dodatkowy człon całkujący na wejściu i przez zamianę miejscami R1 i C1 oraz R2 i C2 zbudować filtr górnoprzepustowy jak na rysunku. Obejrzeć i narysować



jego charakterystykę częstotliwościową dla $\xi = 1$. Zmierzyć częstotliwość graniczną i nachylenie charakterystyki.