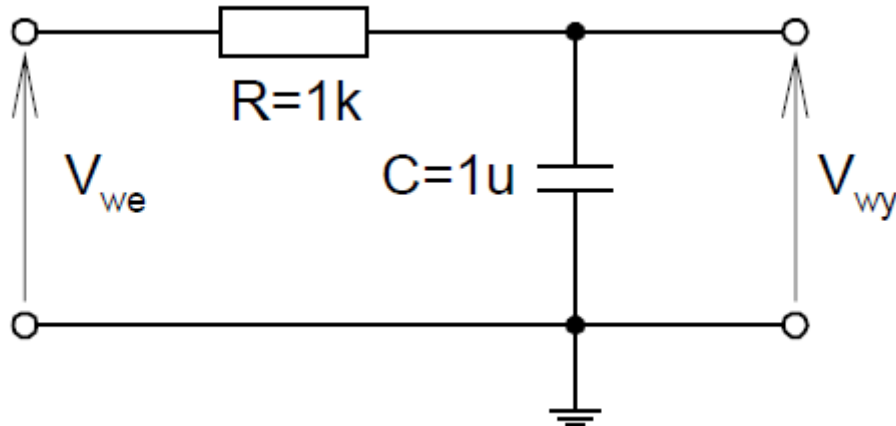


Układy prostych filtrów RC

1. Należy zrealizować układ filtru dolnoprzepustowego jak na rysunku



Przed przystąpieniem do wykonywania analiz w Pspice należy obliczyć 3 dB wartość częstotliwości granicznej.

Następnie należy zapisać topologię układu w programie Pspice i wykonać symulację AC dekadami, co najmniej 3 dekadę w dół i 3 dekadę w górę od obliczonej częstotliwości granicznej. Należy wykreślić charakterystykę amplitudową i fazową filtru.

Z charakterystyki amplitudowej należy odczytać przy użyciu kursorów częstotliwość graniczną filtra.

Należy także wyznaczyć nachylenie charakterystyki w dB/dek.

Z charakterystyki częstotliwościowej wyznaczyć przesunięcie fazowe dla f_{3dB} oraz dla $f_1=0,1f_{3dB}$ i $f_2=10f_{3dB}$.

Powyższy układ jest nazywany układem całkującym. Dla jakich częstotliwości układ ten całkuje sygnał wejściowy? Wskazówka $\int \sin x dx = -\cos x$, jakie jest przesunięcie fazowe pomiędzy $\sin x$ i $\cos x$?

2. Za pomocą analizy .TRAN wyznaczyć odpowiedź układu na sygnały sinusoidalne o częstotliwościach kolejno f_1 , f_{3dB} , f_2 (należy przy tym pamiętać o modyfikowaniu parametrów analizy .TRAN). Obserwuj sygnał wyjściowy na tle sygnału wejściowego. Czy wartości amplitud i przesunięć fazowych pokrywają się z uprzednio obliczonymi?

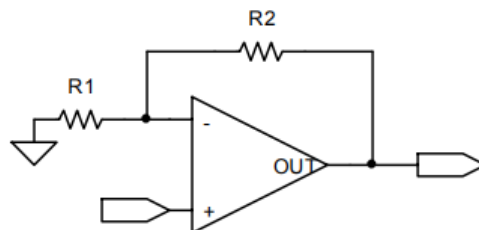
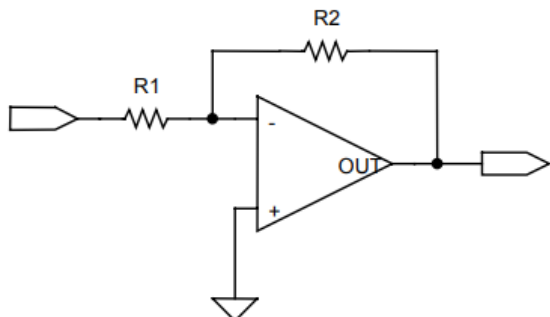
3. Wyznaczyć odpowiedź układu na sygnały prostokątne o częstotliwościach kolejno f_1 , f_{3dB} , f_2 (należy przy tym pamiętać o modyfikowaniu parametrów analizy .TRAN). Dla której częstotliwości obserwujemy całkowanie? Co dzieje się ze składową stałą sygnału? (przeprowadź kilka analiz z różnymi współczynnikami wypełnienia i różnymi składowymi stałymi)?

4. Należy powtórzyć punkty 1, 2, 3 dla układu różniczkującego.

Ćwiczenie 2

Wzmacniacz Operacyjny

1. WO można traktować w pierwszym przybliżeniu jako źródło napięcia sterowane napięciem o bardzo dużym wzmacnieniu, przyjmujemy na początek 1 000 000. Zbadać wzmacnienie WO w układzie odwracającym i nieodwracającym (analiza AC, DC i Transient)



Przyjąć $R1=1k$, $R2=10k$, $100k$, $1M$ (PARAM)

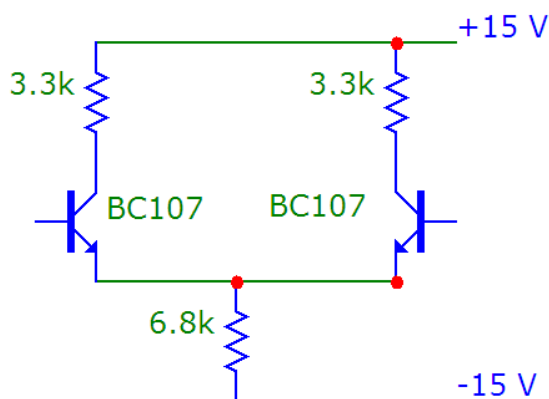
Zbadać zależność wzmacnienia układu od wzmacnienia samego wzmacniacza (przyjąć wzmacnienie 10, 100, 1000, itd)

Zbadać wpływ skończonej rezystancji wejściowej i niezerowej wyjściowej na podstawowe parametry układu.

2. WO zazwyczaj mają tak ukształtowaną charakterystykę, by była opisywana funkcją jednobiegunową. Należy zamodelować taki wzmacniacz wykorzystując źródło typu Laplace i przyjmując $k_u=106$ dB i $f_0=5$ Hz. Następnie przeprowadzić analizę charakterystyk częstotliwościowych wzmacniacza odwracającego i nieodwracającego. Zaobserwować zjawisko wymiany wzmacnienia na pasmo.

3. WO są zasilane zazwyczaj napięciami symetrycznymi. Należy zamodelować wzmacniacz z punktu 2 tak, by działał przy napięciach zasilania $+15$ i -15 V (źródło typu TABLE).

Wzmacniacz różnicowy



Dla układu wzmacniacza różnicowego z rysunku obliczyć teoretyczne wartości:

- wzmacnienia sumacyjnego, wyrażonego wzorem:
-

$$|k_{usteor}| = \frac{R_C}{2 R_I}$$

- wzmocnienia różnicowego:

$$|k_{ur\,teor}| = \frac{R_c I}{2U_T}$$

- CMRR
- prądu I oraz prądów I_{E1} i I_{E2}

Badania wzmacniacza należy przeprowadzić dla dwóch przypadków:

- a) sygnał wejściowy E_r różnicowy jest podawany tylko na wejście **V_{in1}**, natomiast wejście **V_{in2}** zwarte jest do masy.
- b) sygnał wejściowy różnicowy podany jest na oba wejścia ($V_{in1}=E_r/2$, $V_{in2}=-E_r/2$).

Wyznaczyć wartości napięć w węzłach układu oraz wartości prądów. Jaki jest potencjał emiterów (dlaczego?) gdy:

- a) jedno z wejść dołączone jest do masy;
- b) w przypadku podłączeniu do obu wejść źródła *ac*.

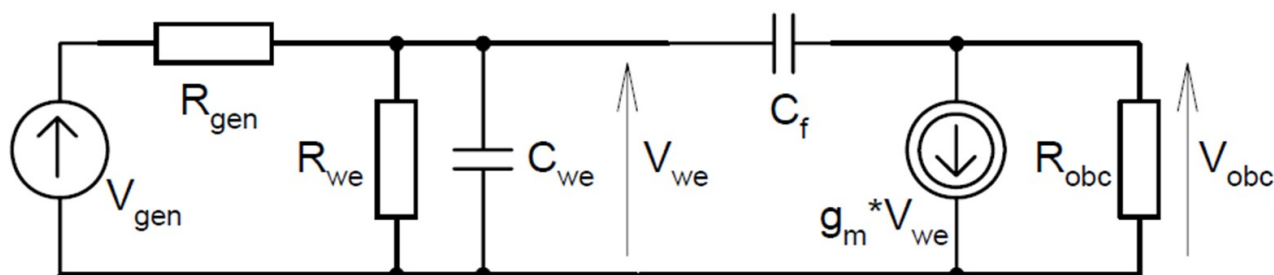
Należy zastąpić rezystor 6.8k źródłem prądu o odpowiednio dobranej wartości i rezystancji wyjściowej (na początek może być idealne źródło prądowe). Wyznaczyć i porównać charakterystyki stałoprądowe obu układów.

Korzystając z analizy .DC wyznaczyć wartości k_{us} , k_{ur} oraz CMMR. Należy przeanalizować krzywe $U_{rwy}=f(U_{rwe})$ oraz $U_{s wy}=f(U_{s we})$

Ćwiczenie 3

Wzmacniacz transkonduktancyjny z efektem Millera

1. Dla schematu jak na rysunku poniżej sporządzić netlistę.



Przyjąć $R_{gen}=2k$, $R_{we}=2k$, $C_{we}=10p$, $C_f=1p$, $R_{obc}=10k$, $g_m=10m$.

Należy zbadać charakterystykę amplitudową i fazową; określić pasmo układu (3 dB). Następnie należy wzmacniacz zunilatoryzować i ponownie zbadać charakterystykę amplitudową i fazową oraz określić pasmo układu.

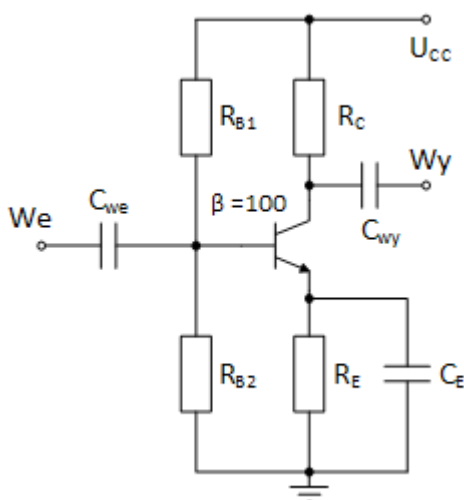
Porównać na jednym wykresie charakterystyki obu układów.

Analiza Performance (Trace > Performance Analysis)

2. Dla układu z zadania 1 sparametryzuj C_f i wykonaj analizę krokową np. w zakresie od 0,1 pF do 10 pF tak, by otrzymać około 100 kroków analizy. Następnie sporządź wykres częstotliwości odcięcia w zależności od C_f i wyznacz wartość dla której częstotliwość odcięcia wynosi 8 MHz. Jeśli częstotliwości odcięcia nie ma na wykresie, to należy zmodyfikować analizę tak, by otrzymać założony rezultat.

Wzmacniacz tranzystorowy

3. Dla wzmacniacza tranzystorowego jak na rysunku



sporządzić netlistę, dołączyć źródło napięcia wejściowego i zasilającego (15V), oraz rezystor obciążenia i wykonaj analizę AC i TRAN. Na podstawie tych analiz określ pasmo wzmacniacza,

jego wzmacnienie, oraz maksymalną amplitudę napięcia wejściowego (sinusoidalnego), dla której napięcie wyjściowe jest nieznieskształcone. Wartości:

$R_{B1} = 900k$, $R_{B2} = 200k$, $R_E = 1k$, $R_C = 10k$, $C_E = 470\mu$, $C_{WE} = C_{WY} = 10\mu$, obciążenie $10k$

UWAGA!!! Model tranzystora oprócz β ($\beta_f=100$) powinien zawierać parametr odpowiadający pojemności Millera o wartości $2pF$. Należy go znaleźć w materiałach.

4. Dla wzmacniacza z zadania 3 należy tak zmienić odpowiednie rezystancje, by osiągnąć wzmacnienie 100, **a następnie** zmienić wartość odpowiedniej pojemności by osiągnąć częstotliwość dolną 4 Hz. Należy to osiągnąć na drodze parametryzacji odpowiednich elementów i wykorzystując analizę performance.

Symulacja Układów Elektronicznych

laboratorium 3

Uwagi do wykonania lab 2

Ćwiczenia 1, 2 i 3 stanowiły powtórzenie zagadnień omówionych na wykładzie, należy tylko zwrócić uwagę, że wpływ rezystancji wyjściowej może się dobrze uwidocznić jedynie wtedy, gdy wzmacniacz jest obciążony rezystancją (niezbyt dużą) na wyjściu. Natomiast w wypadku rezystancji wejściowej należy wyposażyć źródło napięcia wejściowego w rezystancję wewnętrzną stosunkowo dużą.

***Proszę kopiować wykresy Window > Copy to clipboard!
Pogrubiać linie.***

Uwagi do wykonania lab 2

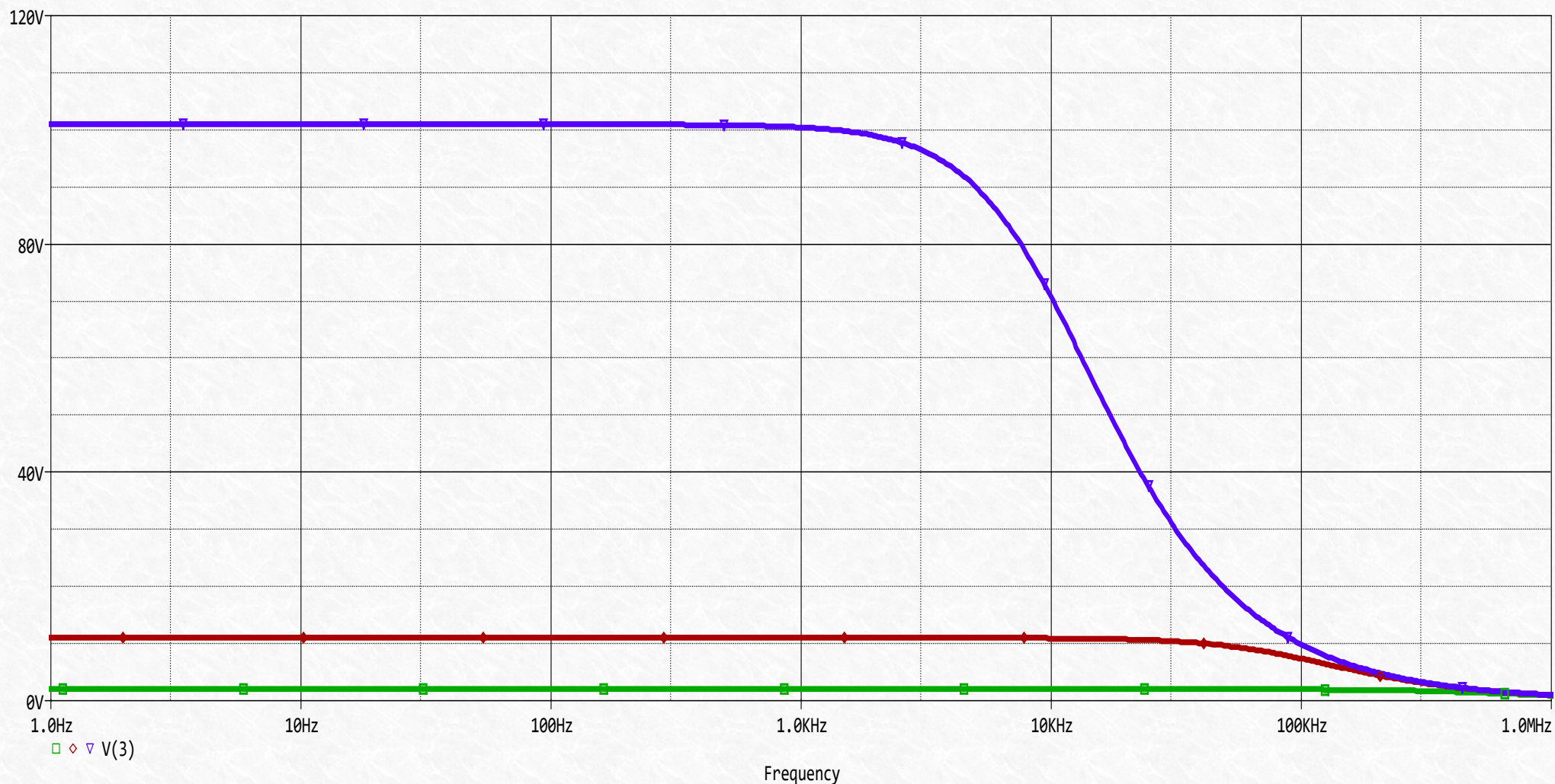
Wymiana wzmacnienia za pasmo:

```
Wzmacniacz 3 ;pierwsza linia ignorowana
.SUBCKT wzmo3 1 2 3 ;we+, we-, wy
R1 1 2 1meg
R2 3 7 1
R3 5 0 100meg ;rezystor niezbędny, inaczej błąd
R4 6 0 100meg ;rezystor niezbędny, inaczej błąd
E1 5 6 LAPLACE {V(1,2)}={200000/(1+s/31.4)}
E2 7 0 TABLE {V(5,6)}=(-15 -15) (15 15)
.ENDS
* wzmacniacz nieodwracający o wzmacnieniu 11
V1 1 0 AC 1 SIN (0 10 1 0 0) ;źródła napięć do analizy AC i TRANSIENT
X1 1 2 3 wzmo3
R1 0 2 10k
R2 2 3 {opor}
.PARAM opor=10k
.TRAN 100m 10
.AC DEC 100 1 1meg ;100 punktów na dekadę, start 1 Hz, stop 1 MHz
.STEP PARAM opor LIST 10k 100k 1meg
.PROBE
.END
```



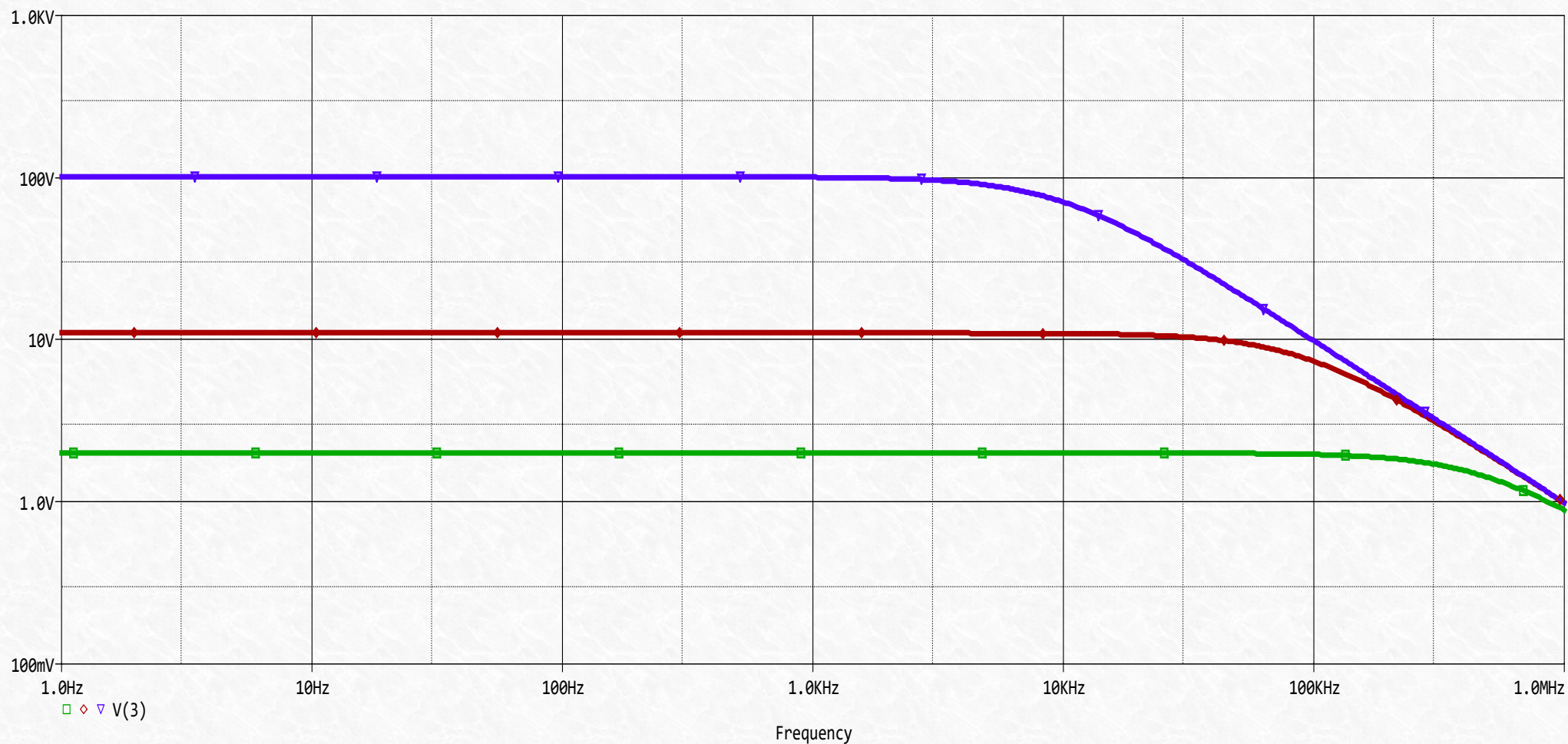
Uwagi do wykonania lab 2

Wymiana wzmacnienia za pasmo:



Uwagi do wykonania lab 2

Wymiana wzmacnienia za pasmo:



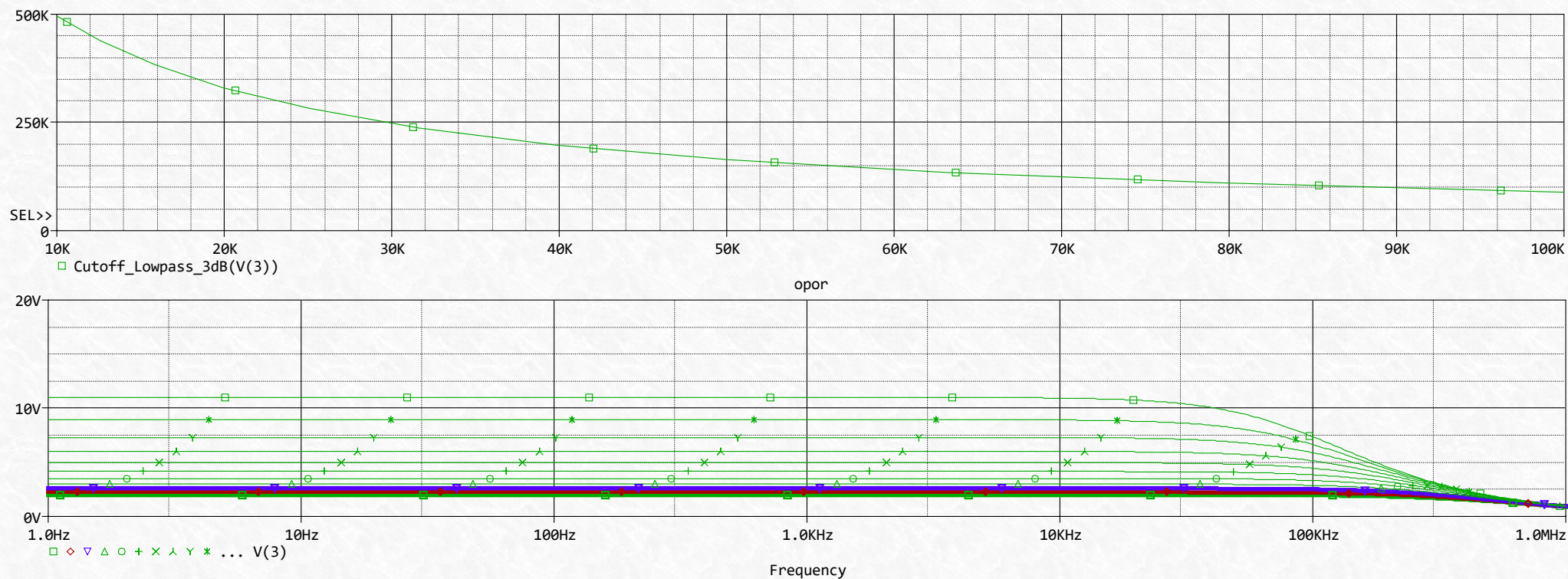
Uwagi do wykonania lab 2

Wymiana wzmacnienia za pasmo:

```
Wzmacniacz 3 ;pierwsza linia ignorowana
.SUBCKT wzmo3 1 2 3 ;we+, we-, wy
R1 1 2 1meg
R2 3 7 1
R3 5 0 100meg ;rezystor niezbedny, inaczey blad
R4 6 0 100meg ;rezystor niezbedny, inaczey blad
E1 5 6 LAPLACE {V(1,2)}={200000/(1+s/31.4)}
E2 7 0 TABLE {V(5,6)}=(-15 -15)(15 15)
.ENDS
* wzmacniacz nieodwracajacy
V1 1 0 AC 1 SIN (0 10 1 0 0) ;zrodla napiec do analizy AC i TRANSIENT
X1 1 2 3 wzmo3
R1 0 2 10k
R2 2 3 {opor}
.PARAM opor=10k
.TRAN 100m 10
.AC DEC 100 1 1meg ;100 punktow na deka, start 1 Hz, stop 1 MHz
.STEP DEC PARAM opor 10k 100k 10
.PROBE
.END
```

Uwagi do wykonania lab 2

Wymiana wzmocnienia za pasmo:



Uwagi do wykonania lab 2

Obliczenia do wzmacniacza różnicowego:

$$|k_{usteor}| = \frac{R_C}{2R_I} = \frac{3,3}{2 \cdot 6,8} = 0,243$$

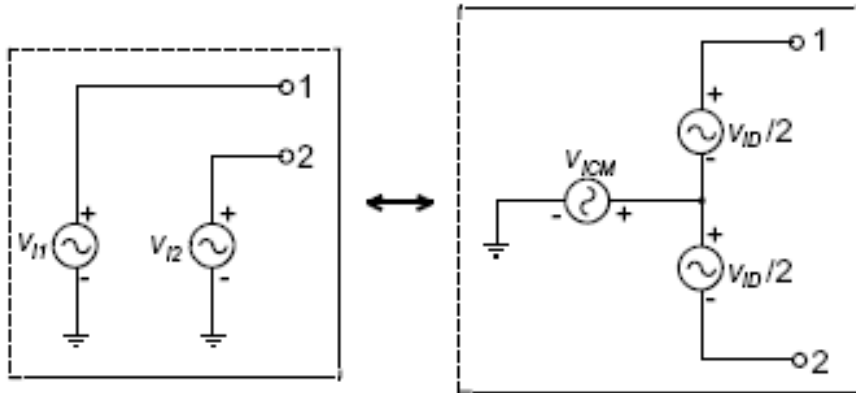
$$I = \frac{15 - 0,7}{6800} = 2,1 \text{ mA} \quad I_{E1} = I_{E2} = 1,05 \text{ mA}$$

$$|k_{urteor}| = \frac{I \cdot R_C}{2U_T} = \frac{2,1 \cdot 3,3}{0,052} = 133,3$$

$$CMRR = \frac{|k_{urteor}|}{|k_{usteor}|} = \frac{133,3}{0,243} = 549 \Rightarrow 54,8 \text{ dB}$$

W zadaniu tym ostatni podpunkt wymaga bardziej szczegółowego wyjaśnienia.

Sygnał wspólny i sygnał różnicowy



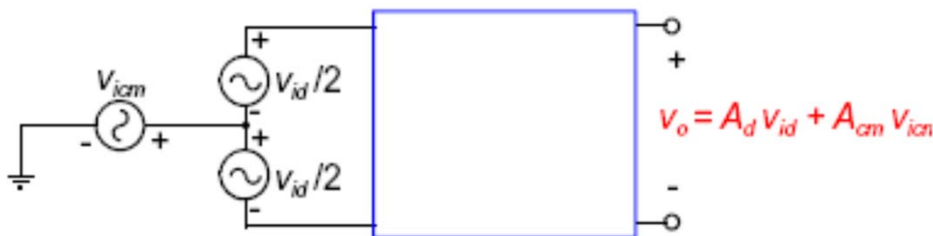
Reprezentacja dwóch sygnałów za pomocą ich składowej wspólnej i różnicowej

Gdy dany jest sygnał wspólny i różnicowy to:

$$V_{I1} = V_{ICM} + \frac{V_{ID}}{2} \quad \text{i} \quad V_{I2} = V_{ICM} - \frac{V_{ID}}{2}$$

Gdy dane są sygnały na każdym wejściu to:

$$V_{ID} = V_{I1} - V_{I2} \quad \text{i} \quad V_{ICM} = \frac{V_{I1} + V_{I2}}{2}$$



Sygnał wspólny powinien być silnie tłumiony $A_{cm} \ll 1$, natomiast sygnał różnicowy silnie wzmacniany $A_d \gg 1$

Współczynnik tłumienia sygnału wspólnego: $CMRR_{dB} = 20 \log \frac{|A_d|}{|A_{cm}|}$

Sygnał wspólny i sygnał różnicowy

Zatem, jeżeli podajemy sygnał tylko na jedno wejście to wzmacnienie różnicowe:

$$U_{we\ różn} = U_{we} - 0 = U_{we}$$

$$U_{wy\ różn} = U_{wy1} - U_{wy2}$$

$$k_{U\ różn} = \frac{\Delta(U_{wy1} - U_{wy2})}{\Delta U_{we\ różn}} = \frac{\Delta(U_{wy1} - U_{wy2})}{\Delta U_{we}}$$

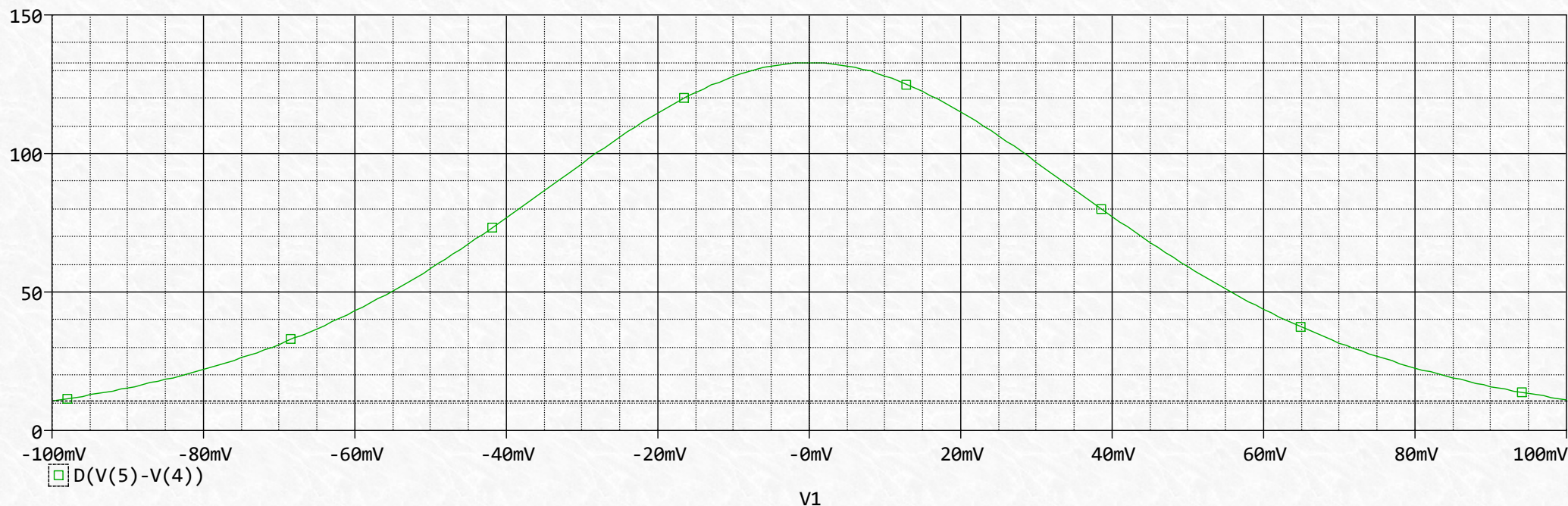
Natomiast wzmacnienie sumacyjne:

$$U_{we\ sum} = \frac{U_{we} + 0}{2} = \frac{U_{we}}{2}$$

$$U_{wy\ sum} = \frac{U_{wy1} + U_{wy2}}{2}$$

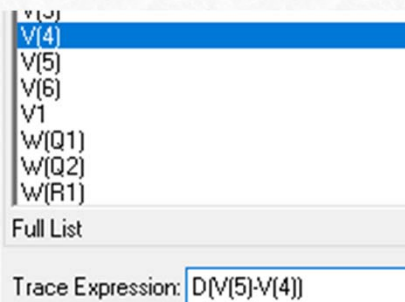
$$k_{U\ sum} = \frac{\Delta(U_{wy1} + U_{wy2})}{\Delta U_{we}}$$

Sygnał wspólny i sygnał różnicowy



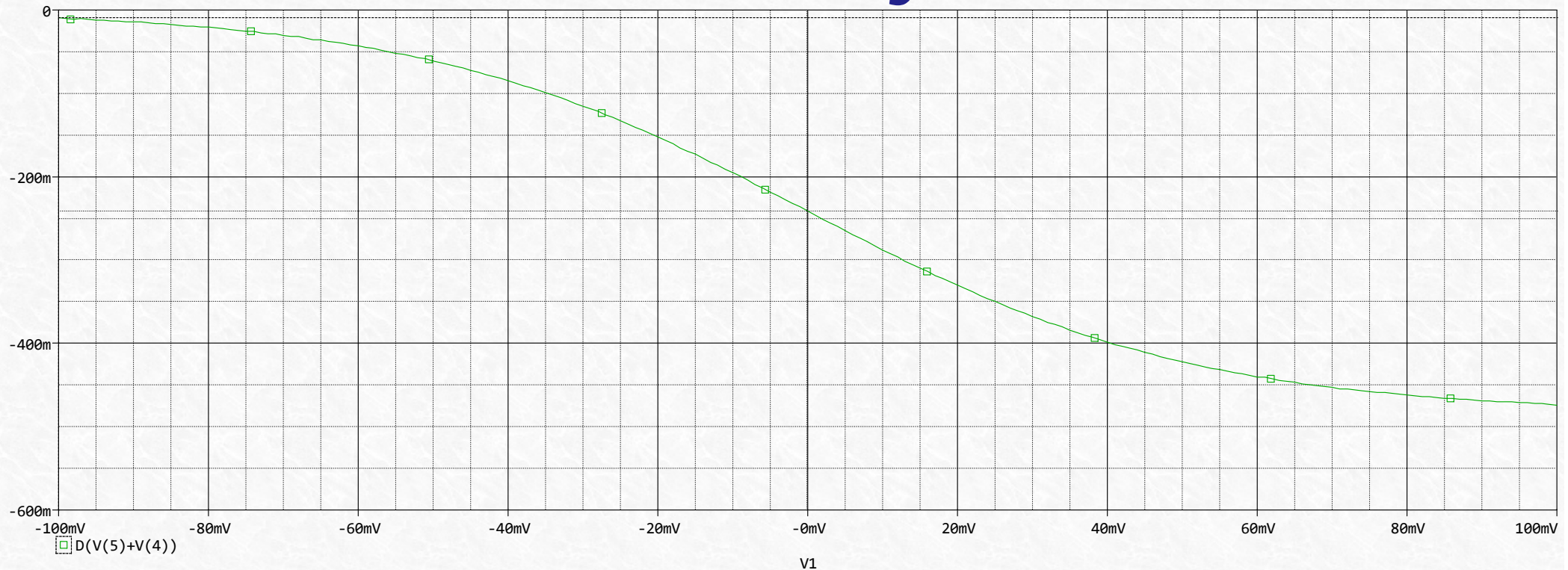
Żeby dostać $k_U \text{ różn} = \frac{\Delta(U_{wy1} - U_{wy2})}{\Delta U_{we}}$ rysujemy $D(V(5)-V(4))$.

Maksymalna wartość (dla 0) to 132,7 V/V.



Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	
	X Values	27.76E-18	-100.000m	10
CURSOR 1,2	D(V(5)-V(4))	132.771	10.641	12

Sygnał wspólny i sygnał różnicowy



Trace List:

- V(3)
- V(4)
- V(5)
- V(6)
- V1
- W(Q1)
- W(Q2)
- W(R1)

Full List

Trace Expression: $D(V(5)-V(4))$

Żeby dostać $k_{U\ sum} = \frac{\Delta(U_{wy1}+U_{wy2})}{\Delta U_{we}}$ rysujemy $D(V(5)+V(4))$.

Wartość dla 0 to -0,24 V/V.

	Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2
		X Values	-113.636u	-100.000m	99.886m
	CURSOR 1,2	D(V(5)+V(4))	-240.738m	-9.537m	-231.201m

Sygnał wspólny i sygnał różnicowy

$$CMRR_{dB} = 20 \log \frac{|A_d|}{|A_{cm}|}$$

Współczynnik tłumienia sygnału wspólnego:

$$CMRR_{dB} = 20 \log \frac{132}{0,24} = 54,8 \text{ dB}$$

Wykonanie

Wszystko, co wykonamy w trakcie laboratorium zdalnego należy na bieżąco umieszczać w pliku (Word, lub LibreOffice), a na koniec zajęć wykonujemy z tego pliku pdf i wysyłamy na godek@agh.edu.pl

Co ma być w pliku pdf:

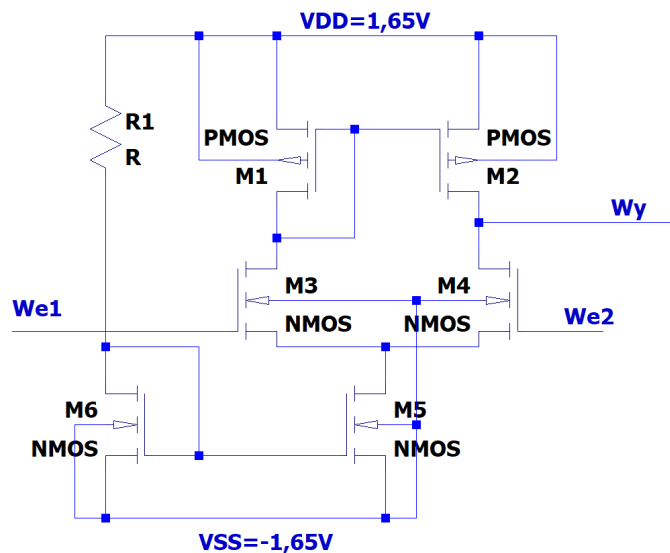
- ***nazwisko i imię***
- ***zadania do wykonania***
- ***wykonane netlisty***
- ***otrzymane przebiegi i wykresy***

Wszystko to w kolejności wykonania.

Ćwiczenie 4

Wzmacniacz na tranzystorach CMOS

1. Dla schematu jak na rysunku poniżej sporządzić netlistę.



Przyjąć dla PMOS $l=1\mu$, $w=20\mu$ level=5 dla NMOS $l=1\mu$, $w=10\mu$ level=5. R1 określić samodzielnie. Dołączyć napięcia wejściowe i wyjściowe, bez obciążenia.

Należy zbadać wzmocnienie maksymalne układu w zależności od rezystora R1. Dla maksymalnego wzmocnienia zbadać charakterystykę amplitudową i fazową; określić pasmo układu (3 dB).

2. Dla układu z zadania 1 dokonaj zmian parametrów geometrycznych tranzystorów tak, by otrzymać większe wzmocnienie maksymalne układu.

Analiza Monte Carlo i Worst Case

3. Dany jest prosty filtr dolnoprzepustowy RC o nominalnych wartościach $R=1k\Omega$ i $C=1nF$. Niech obie te parametry mają tolerancję $\pm 10\%$ o rozkładach jednorodnych i nieskorelowanych. Na podstawie analizy Monte Carlo wyznacz najważniejsze parametry statystyki 3-decybelowej częstotliwości granicznej filtru (minimum, maksimum, wartość oczekiwana, mediana, wariancja). Oszacuj uzysk produkcyjny układu przy założeniu, że dopuszczalne zmiany pasma filtru mogą zawierać się w granicach 153-163 kHz.

4. Dany jest szeregowy obwód rezonansowy RLC o parametrach $R=5\Omega \pm 10\%$ $C=50\mu F \pm 5\%$ i $L=6mH \pm 20\%$. Określić za pomocą analizy .WCASE parametry obwodu dla których:

- moduł impedancji będzie maksymalny