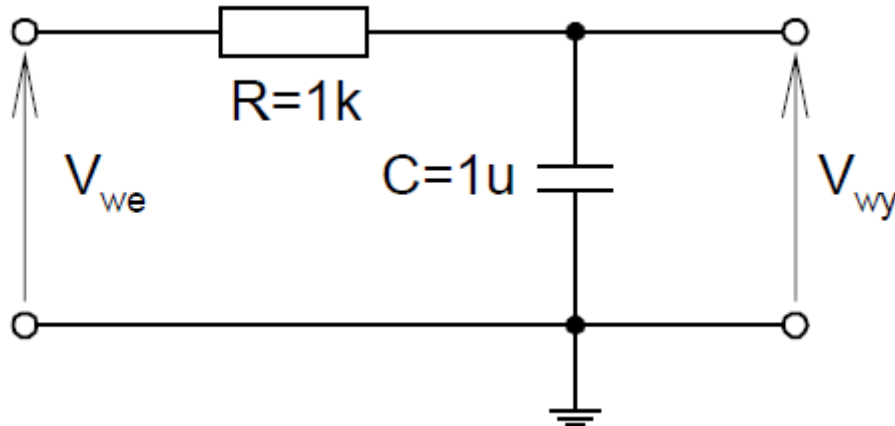


## Układy prostych filtrów RC

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 dekad w dół i 3 dekad 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?

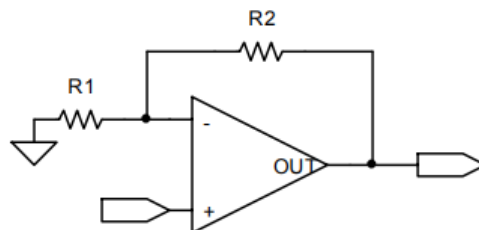
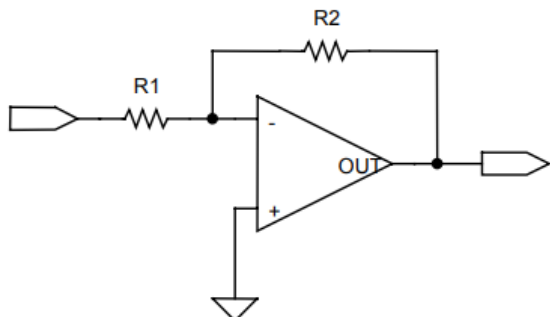
3. Wyznaczyć odpowiedź układu na sygnały prostokątne o częstotliwościach kolejno  $f_1$ ,  $f_{3dB}$ ,  $f_2$  (należy przy tym pamiętać o modyfikowaniu parametrów analizy .TRAN). Dla której częstotliwości obserwujemy całkowanie? Co dzieje się ze składową stałą sygnału? (przeprowadź kilka analiz z różnymi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

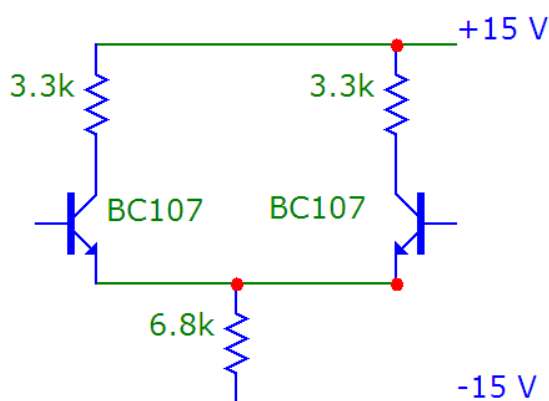
Zbadać zależność wzmacnienia układu od wzmacnienia samego wzmacniacza (przyjąć wzmacnienie 10, 100, 1000, itd)

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<sub>in1</sub>**, natomiast wejście **V<sub>in2</sub>** 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*.

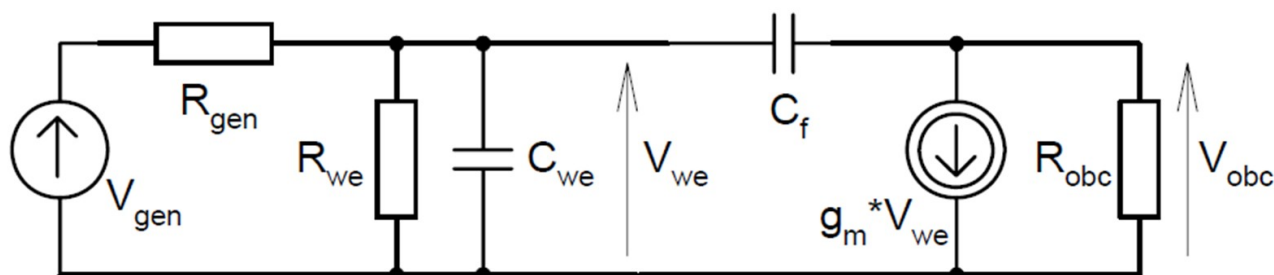
Należy zastąpić rezystor 6.8k źródłem prądu o odpowiednio dobranej wartości i rezystancji wyjściowej (na początek może być idealne źródło prądowe). Wyznaczyć i porównać charakterystyki stałoprądowe obu układów.

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.

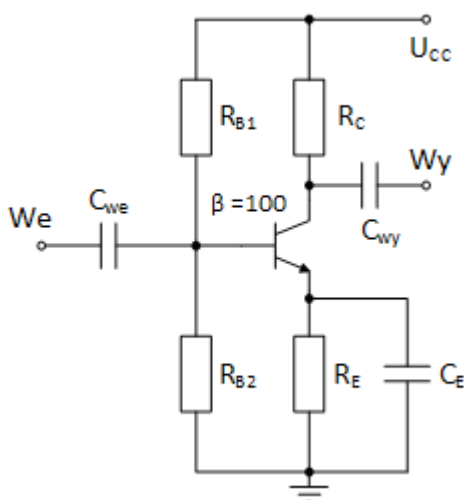
Porównać na jednym wykresie charakterystyki obu układów.

#### 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  $\beta$  ( $\beta_f=100$ ) 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:

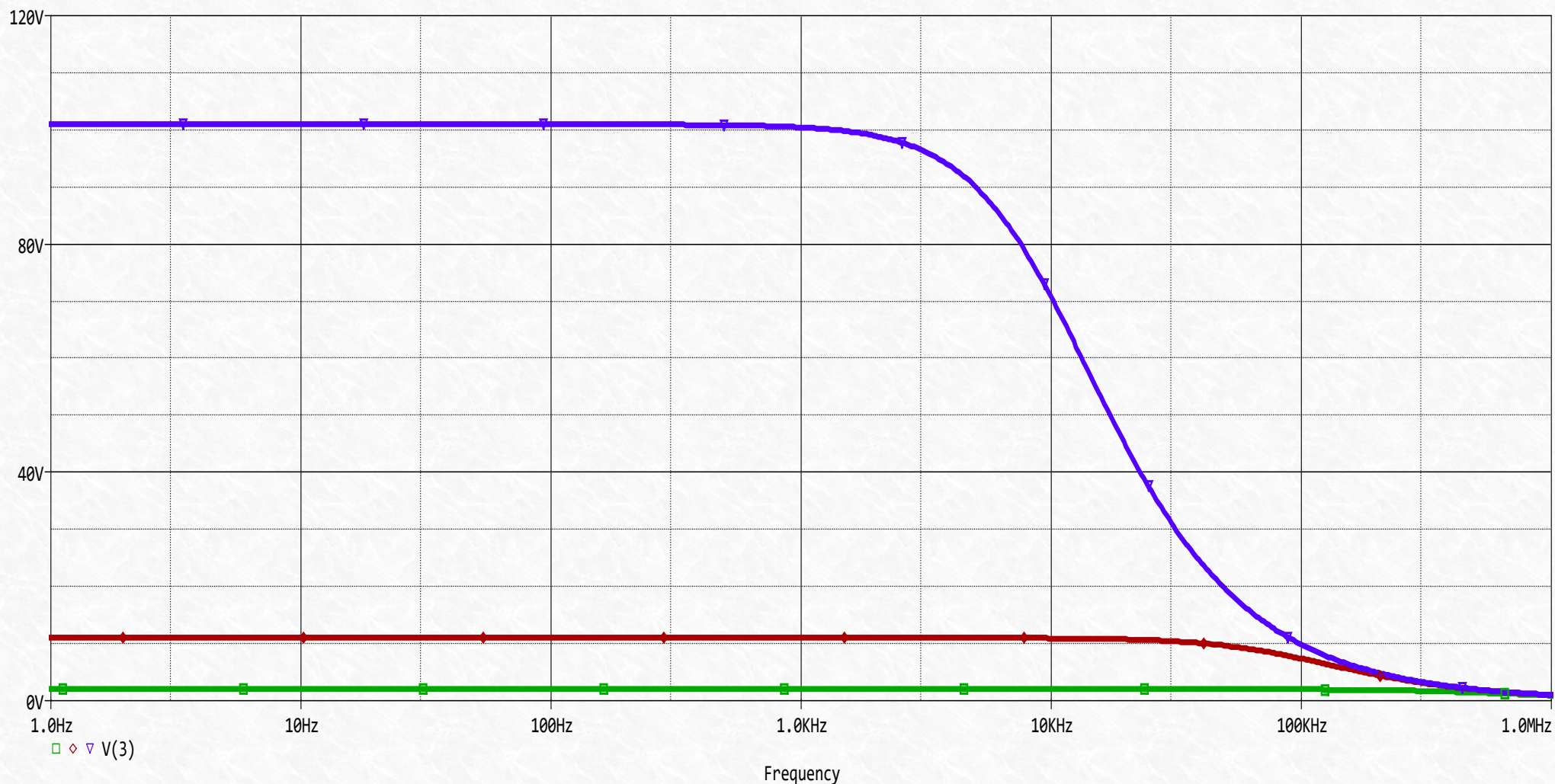
```
Wzmacniacz 3 ;pierwsza linia ignorowana
.SUBCKT wzmo3 1 2 3 ;we+, we-, wy
R1 1 2 1meg
R2 3 7 1
R3 5 0 100meg ;rezystor niezbędny, inaczej błąd
R4 6 0 100meg ;rezystor niezbędny, inaczej błąd
E1 5 6 LAPLACE {V(1,2)}={200000/(1+s/31.4)}
E2 7 0 TABLE {V(5,6)}=(-15 -15) (15 15)
.ENDS
* wzmacniacz nieodwracający 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
```





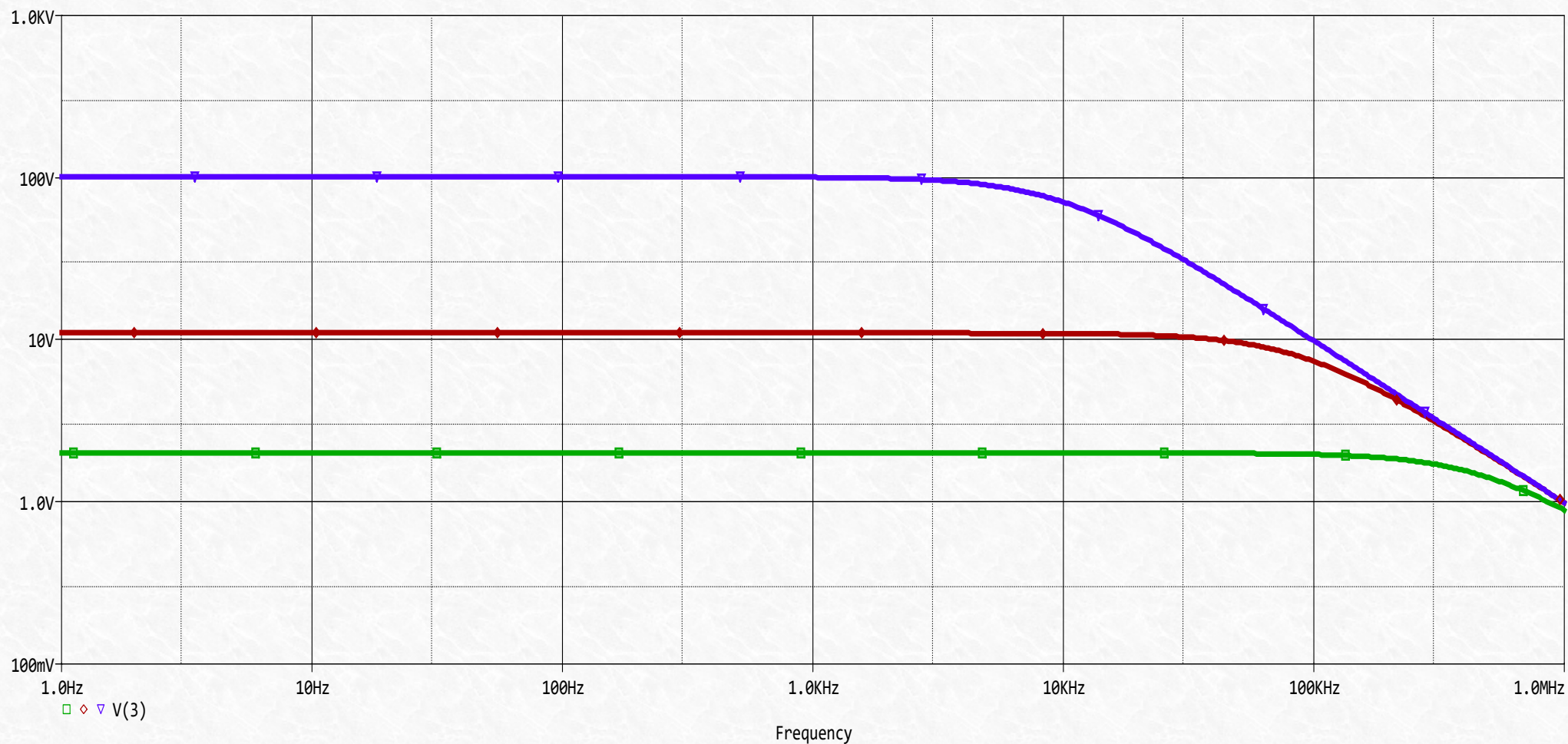
# Uwagi do wykonania lab 2

## Wymiana wzmacnienia za pasmo:



# Uwagi do wykonania lab 2

## Wymiana wzmacnienia za pasmo:





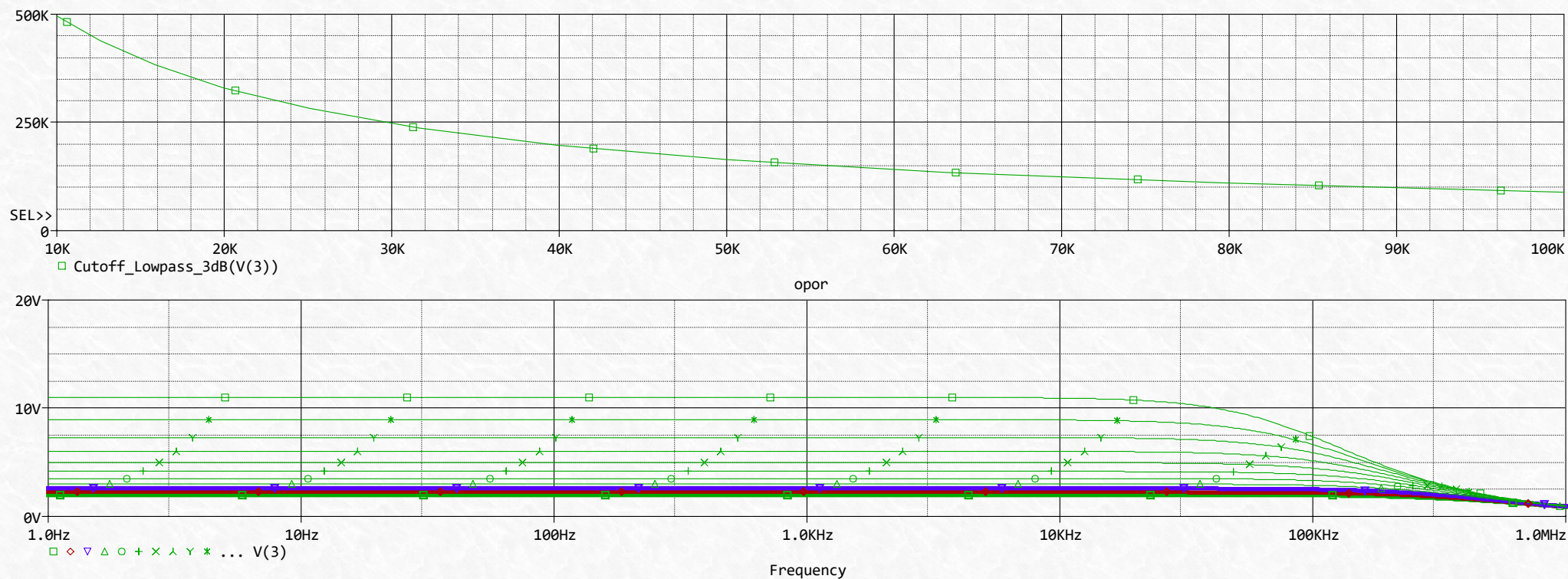
# Uwagi do wykonania lab 2

## 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:*

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

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

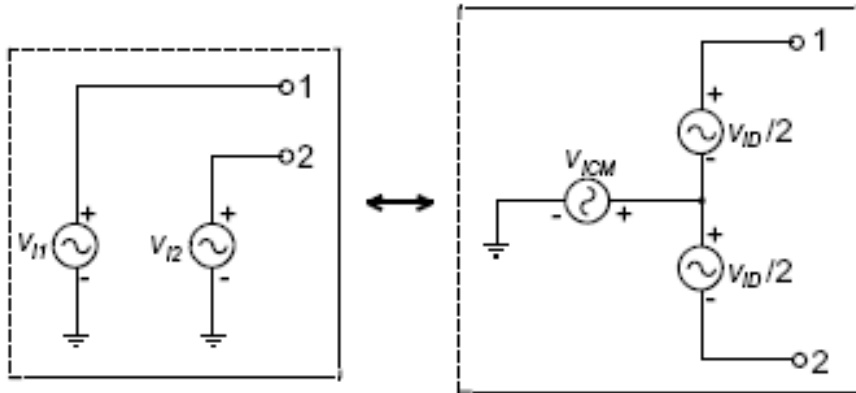
$$|k_{urteor}| = \frac{I \cdot R_C}{2U_T} = \frac{2,1 \cdot 3,3}{0,052} = 133,3$$

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

*W zadaniu tym ostatni podpunkt wymaga bardziej szczegółowego wyjaśnienia.*



# Sygnał wspólny i sygnał różnicowy



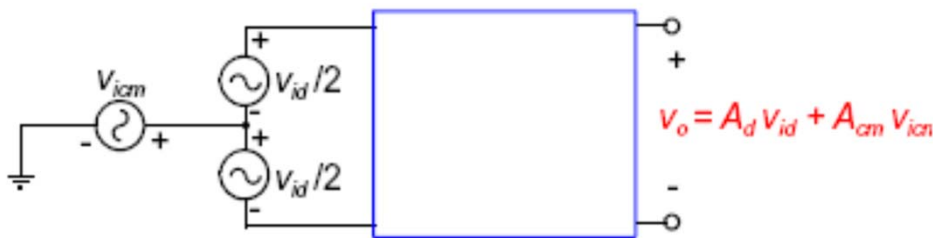
Reprezentacja dwóch sygnałów za pomocą ich składowej wspólnej i różnicowej

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:**

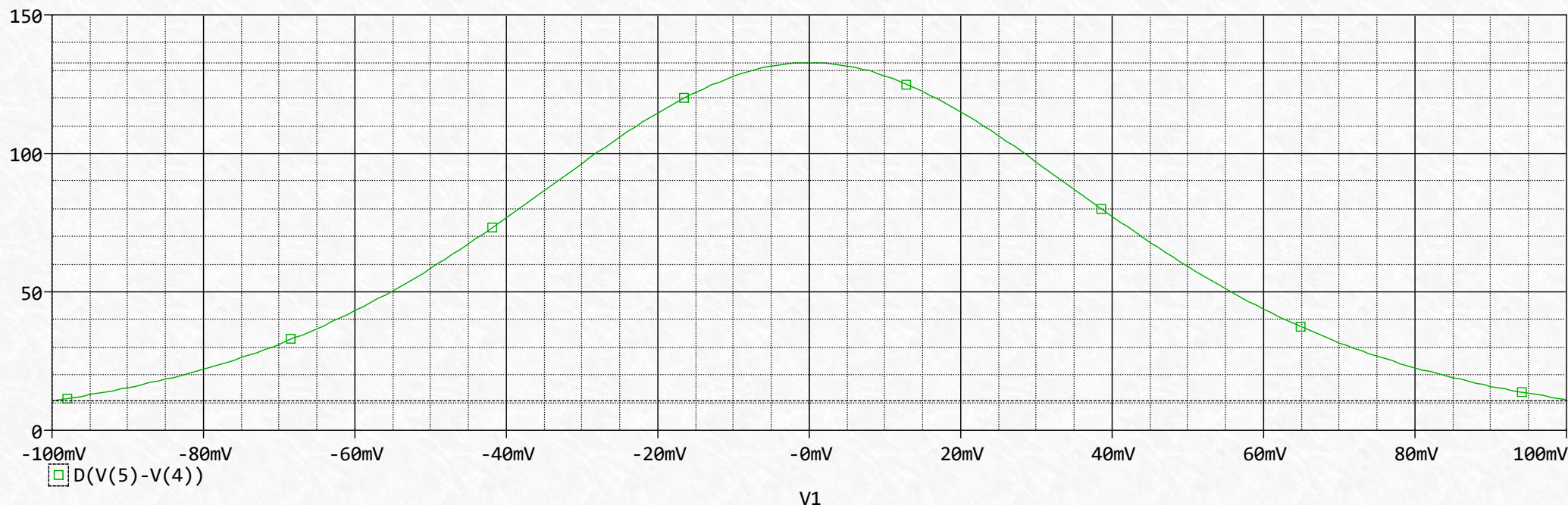
$$U_{we\ sum} = \frac{U_{we} + 0}{2} = \frac{U_{we}}{2}$$

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

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

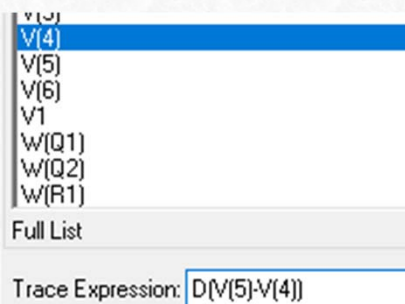


# Sygnał wspólny i sygnał różnicowy



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

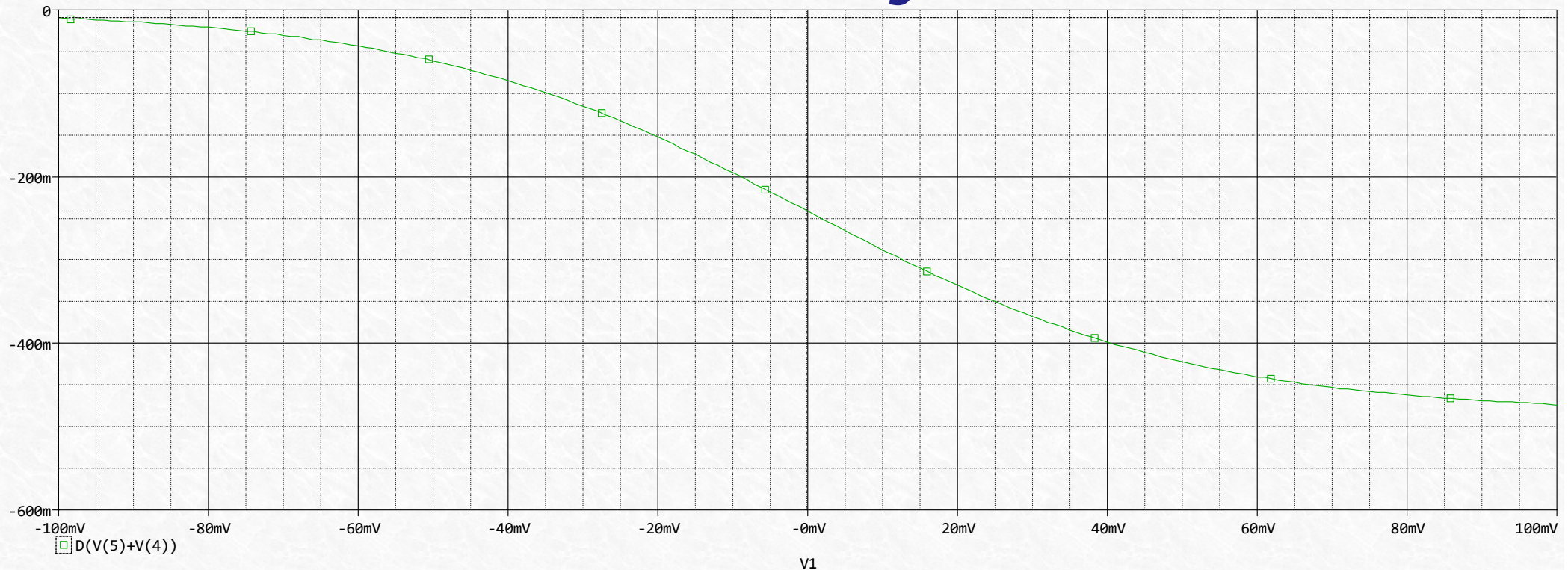
Maksymalna wartość (dla 0) to 132,7 V/V.



|  | 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:***

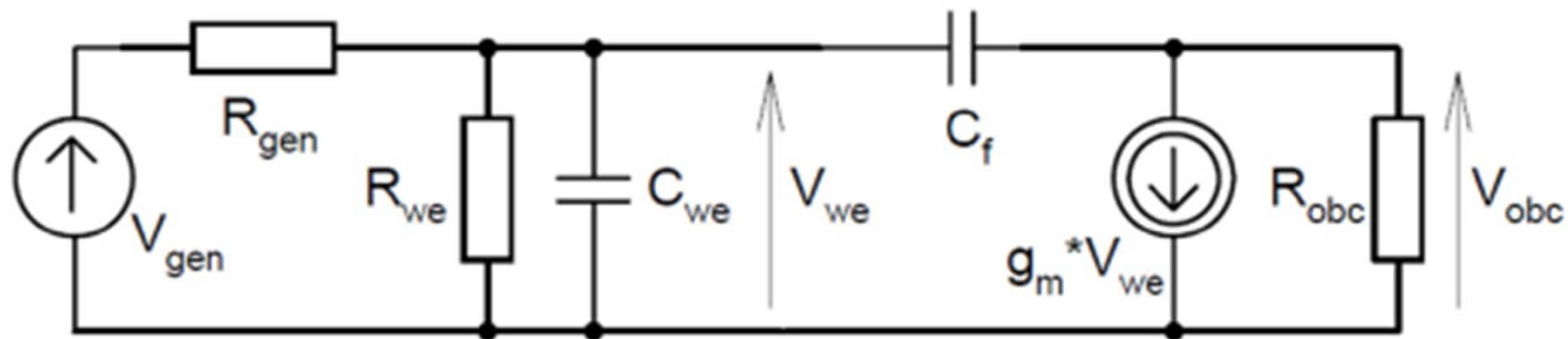
$$CMRR_{dB} = 20 \log \frac{132}{0,24} = 54,8 \text{ dB}$$



# Lab 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)

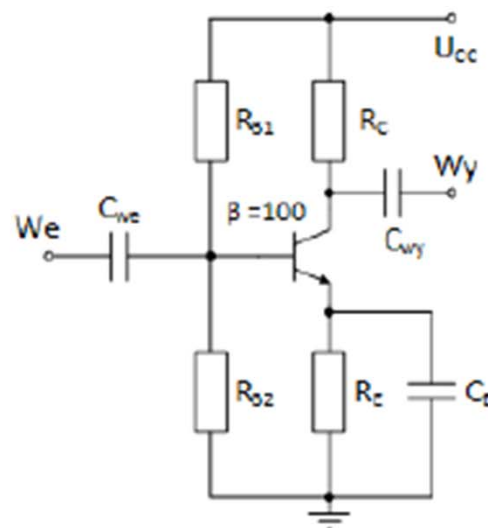
2. Dla układu z zadania 1 sparametryzuj  $C_f$  i wykonaj analizę krokową np. w zakresie od 0,1 pF do 10 pF tak, by otrzymać około 100 kroków analizy. Następnie sporządź wykres częstotliwości odcięcia w zależności od  $C_f$  i wyznacz wartość dla której częstotliwość odcięcia wynosi 8 MHz. Jeśli częstotliwości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



# Lab 3

## Wzmacniacz tranzystorowy

3. Dla wzmacniacza tranzystorowego jak na rysunku



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

jego wzmocnienie, oraz maksymalną amplitudę napięcia wejściowego (sinusoidalnego), dla której napięcie wyjściowe jest niezskażone. 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 beta ( $\beta_f=100$ ) 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 wzmocnienie 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.

***Cały tekst zadania umieszczony jest na mojej stronie internetowej***

***[www.home.agh.edu.pl/~godek](http://www.home.agh.edu.pl/~godek)***

***Zadanie 1 stanowi powtórzenie materiału z wykładu. W zadaniach następnych należy wykorzystać Performance Analysis.***



# 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](mailto: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.***



***Dziękuję za uwagę***