

SYSTEMY ANALOGOWE I CYFROWE

Podstawowe zastosowania wzmacniaczy operacyjnych – wzmacniacz odwracający i nieodwracający

Prowadzący: dr inż. Adam Wąż
Autor: Emilia Szymańska

18.06.2020r.

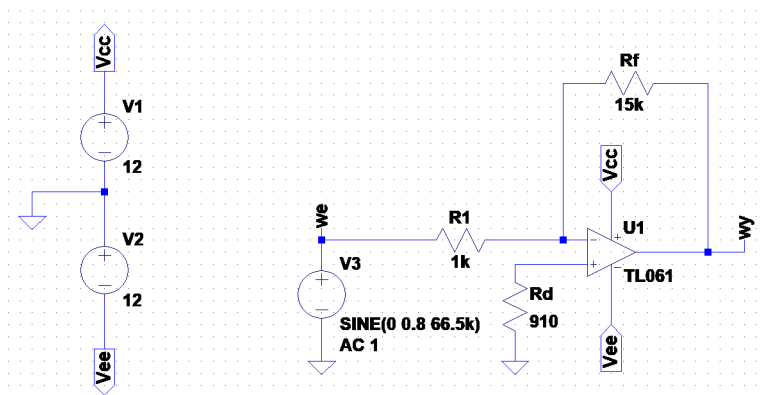
1 Wstęp

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z działaniem i doбором parametrów wzmacniaczy operacyjnych (odwracających i nieodwracających) oraz ich podstawowymi zastosowaniami.

2 Zaprojektowane układy

2.1 Wzmacniacz odwracający

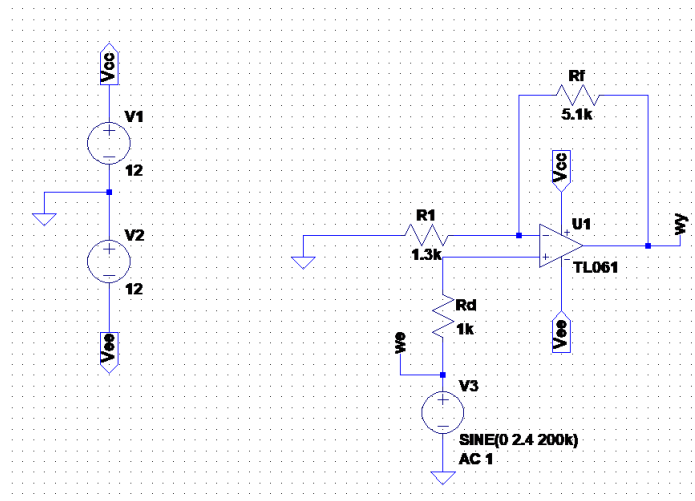
$$K_u = -15 \frac{V}{V} \quad R_1 = 1k\Omega \quad R_f = 15k\Omega \quad R_d = 910\Omega$$



Rysunek 1: Wzmacniacz odwracający - układ

2.2 Wzmacniacz nieodwracający

$$K_u = 5 \frac{V}{V} \quad R_1 = 1.3k\Omega \quad R_f = 5.1k\Omega \quad R_d = 1k\Omega$$

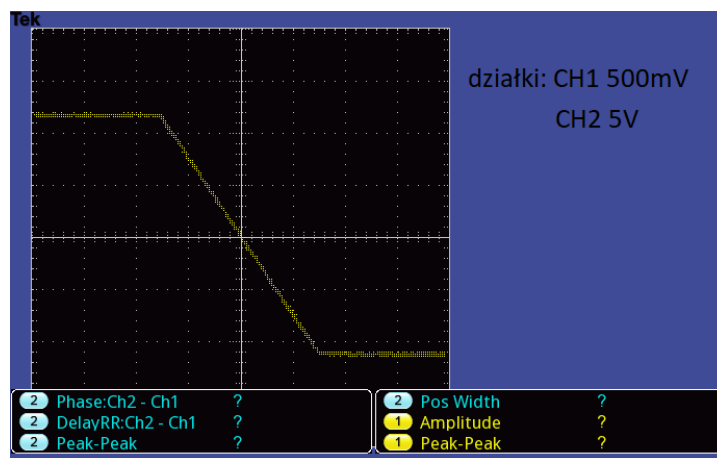


Rysunek 2: Wzmacniacz nieodwracający - układ

3 Pomiary

3.1 Wzmacniacz odwracający

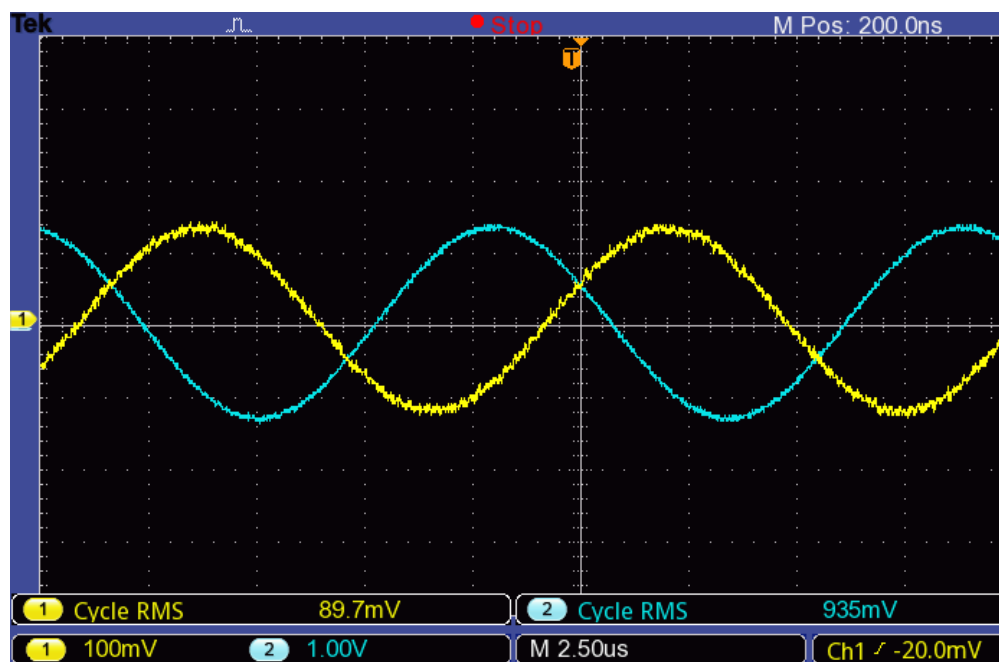
$$R_1 = 992\Omega \quad R_f = 14.75k\Omega \quad R_d = 903\Omega \quad U_{zasilania} = \pm 12V \text{ (zasilanie symetryczne)}$$



Rysunek 3: Charakterystyka liniowości $U_{wy} = f(U_{we})$

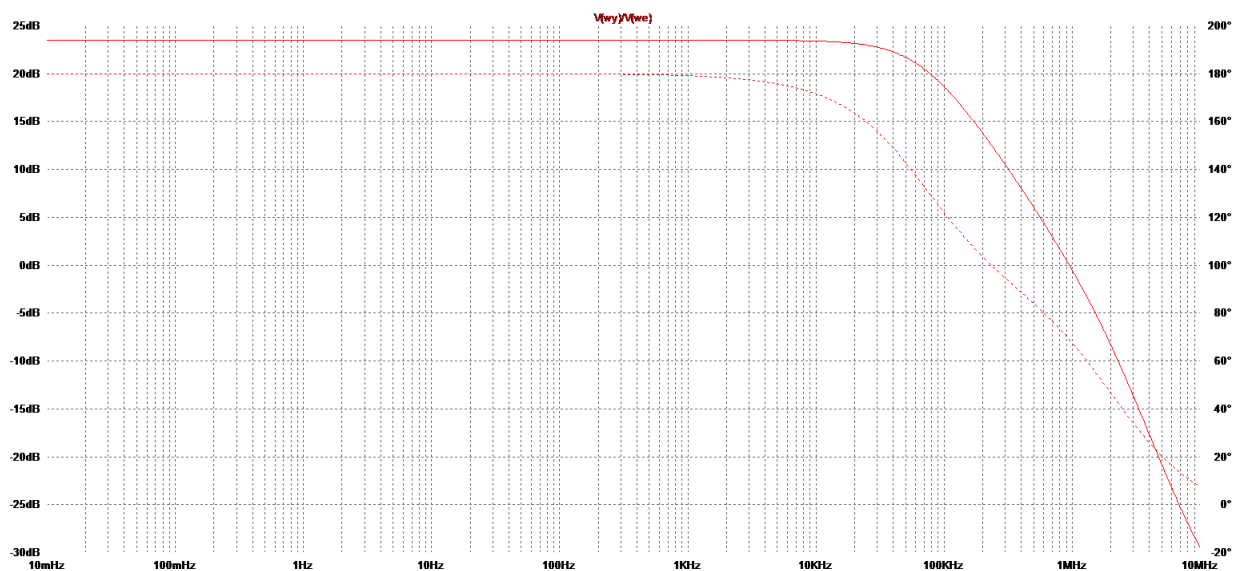
Dla sygnału sinusoidalnego o częstotliwości $f = 100$ Hz i amplitudzie $A = 4$ V mierzę zależność $U_{wy} = f(U_{we})$. Z wykresu otrzymanego na ekranie oscyloskopu odczytuję, że wzmacniacz pracuje liniowo w zakresie od -750mV do 750mV. Do oszacowania wzmocnienia obrałam punkt w zakresie liniowym, dla którego w przybliżeniu $U_{we} = 500$ mV, a $U_{wy} = 7.5$ V. Wyliczam $K_u = \frac{U_{wy}}{U_{we}} = \frac{7.5V}{500mV} = 15 \frac{V}{V}$. Należy do wartości wzmocnienia dopisać minus, gdyż obserwujemy zmianę fazy o 180 stopni. Obliczone z charakterystyki przybliżone wzmocnienie zgadza się z założonym.

Kolejnym punktem do oszacowania jest trzydecybelowa górna graniczna częstotliwość wzmacniacza. Na początku podaję na wejście sygnał sinusoidalny o częstotliwości $f = 1$ kHz i amplitudzie $A = 90$ mV RMS. Z ekranu oscyloskopu w trybie CycRMS odczytuję, że $U_{we} = 86.7$ mV, $U_{wy} = 1.28$ V. Z ich stosunku obliczam $K_u = \frac{U_{wy}}{U_{we}} \approx 14.764 \frac{V}{V}$. Na podstawie tego obliczam, jaka wartość wzmocnienia odpowiada górnej częstotliwości granicznej $K_{ug} = 0.707 \cdot K_u \approx 10.438 \frac{V}{V}$. Następnie podaję sygnał o różnych częstotliwościach i szukam takiej, której odpowiada obliczone wzmocnienie. Najbliższa wartość wynika ze stosunku $U_{wy} = 935$ mV do $U_{we} = 89.7$ mV ($K_u \approx 10.424 \frac{V}{V}$) dla częstotliwości $f = 92$ kHz, zatem ta wartość jest wartością górnej częstotliwości granicznej.



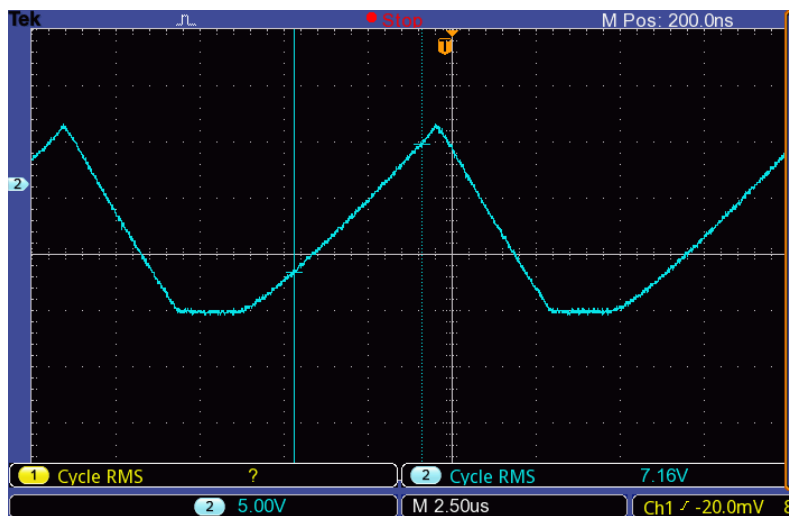
Rysunek 4: Wyznaczenie górnej częstotliwości granicznej

Na laboratoriach nie pobieraliśmy punktów pomiarowych do charakterystyki amplitudowej i fazowej w logarytmicznej skali częstotliwości, więc stworzyłam ją za pomocą uruchomienia odpowiedniej symulacji w LTSpice.



Rysunek 5: Charakterystyka amplitudowo-fazowa wzmacniacza odwracającego

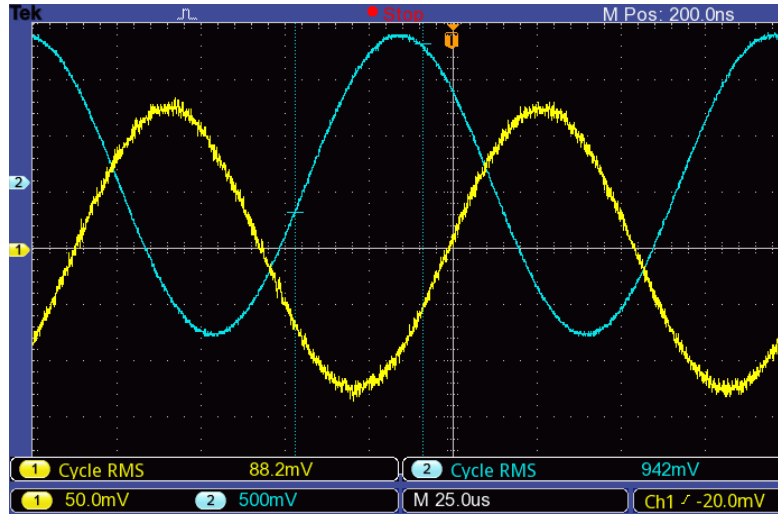
Dla sygnału częstotliwości $f = 90 \text{ kHz}$ (bliskiej górnej częstotliwości granicznej) i amplitudzie $A = 2 \text{ V RMS}$ generuję charakterystykę, dzięki której można oszacować parametr SR. Za pomocą kursorów odczytuję wartości do obliczenia nachylenia zbocza $\Delta V = 11.4 \text{ V}$ i $\Delta t = 3.8 \mu\text{s}$. Wynika z tego, że $SR = \frac{\Delta V}{\Delta t} = 3 \frac{\text{V}}{\mu\text{s}}$.



Rysunek 6: Szacowanie parametru SR

Równoległe z rezystorem R_f podłączam kondensator o wartości pojemności 1 nF i przeprowadzam ponownie pomiary górnej częstotliwości granicznej. Odczytuję, że wartość wzmocnienia odpowiadającej tej częstotliwości jest najbardziej

zbliżona do stosunku $U_{wy} = 942mV$ do $U_{we} = 88.2mV$. ($K_u = \frac{U_{wy}}{U_{we}} \approx 10.680 \frac{V}{V}$). Tym razem częstotliwość graniczna odpowiada wartości $f = 9 \text{ kHz}$.



Rysunek 7: Wyznaczanie górnej częstotliwości granicznej po dołączeniu kondensatora

3.2 Wzmacniacz nieodwracający

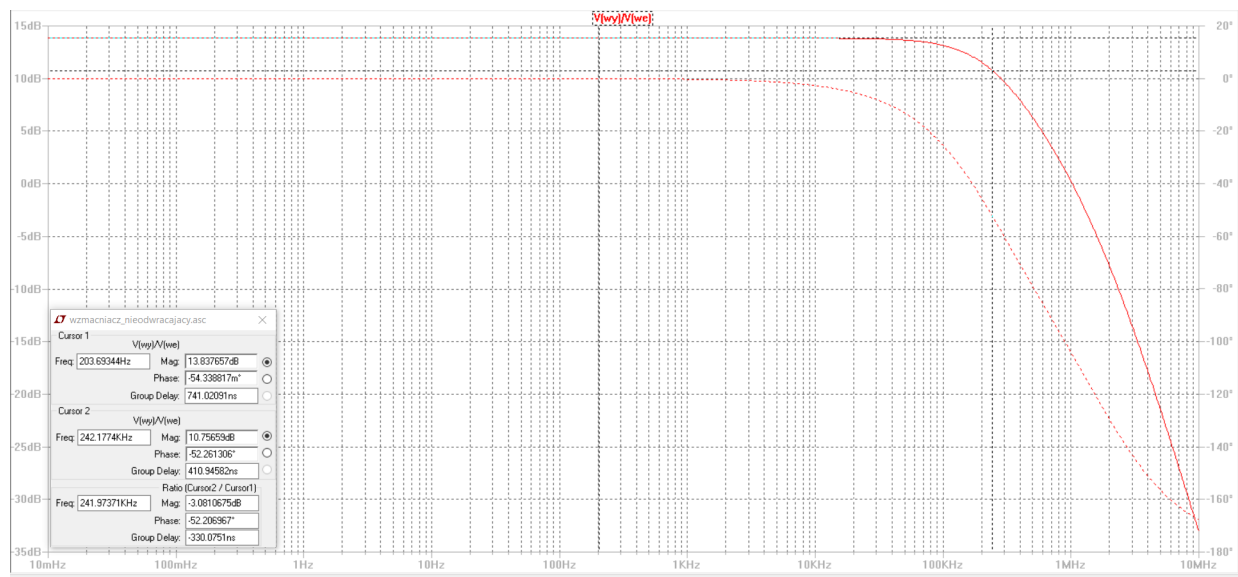
Do tego wzmacniacza użyliśmy tylko symulacji w LTSpice. Przypomnę, że wartości elementów, których używam do symulacji są następujące: $R_1 = 1.3k\Omega$ $R_f = 5.1k\Omega$ $R_d = 1k\Omega$ $U_{zasilania} = \pm 12V$ (zasilanie symetryczne)



Rysunek 8: Charakterystyka liniowości $U_{wy} = f(U_{we})$

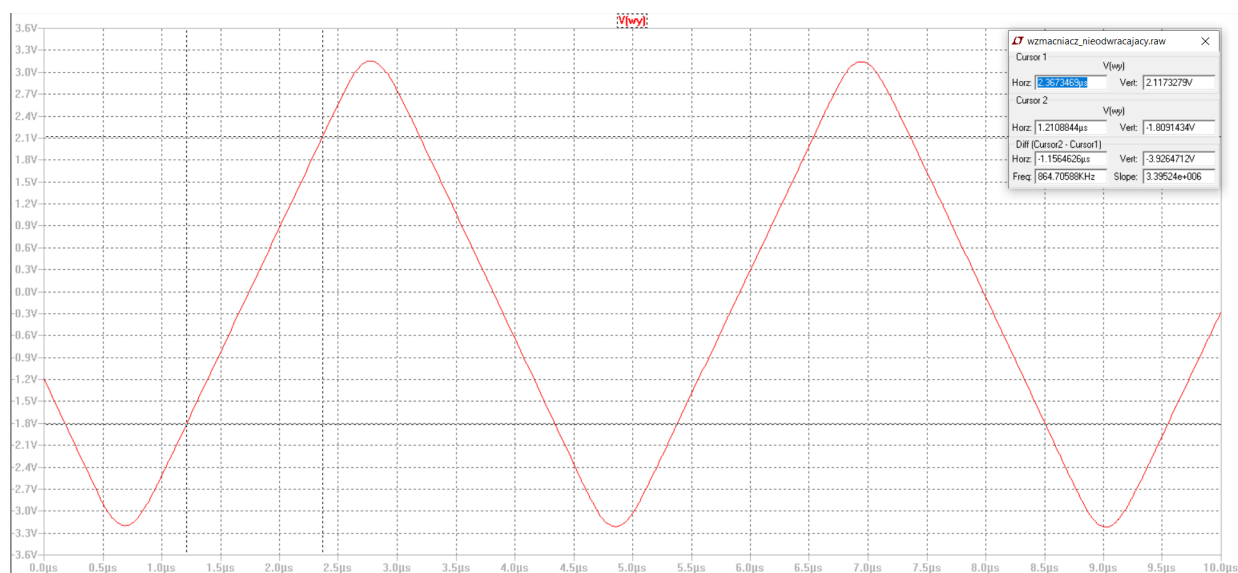
Dla sygnału sinusoidalnego o częstotliwości $f = 100 \text{ Hz}$ i amplitudzie $A = 4 \text{ V}$ w symulacji mierzę zależność $U_{wy} = f(U_{we})$. Z otrzymanego wykresu odczytuję, że wzmacniacz pracuje liniowo w zakresie od -2.1 V do 2.1 V . Do oszacowania wzmocnienia obrałam punkt w zakresie liniowym, dla którego w przybliżeniu $U_{we} = 1.6 \text{ V}$, a $U_{wy} \approx 7.871 \text{ V}$. Wyliczam $K_u = \frac{U_{wy}}{U_{we}} = \frac{7.871 \text{ V}}{1.6 \text{ V}} \approx 4.92 \frac{\text{V}}{\text{V}}$. Obliczone z charakterystyki wzmocnienie w przybliżeniu zgadza się z założonym.

Do oszacowania trzydecybelowej górnej granicznej częstotliwości wzmacniacza wykorzystuję wygenerowaną charakterystykę amplitudowo-fazową. Na wejście podaję sygnał sinusoidalny o częstotliwości $f = 1 \text{ kHz}$ i amplitudzie $A = 90 \text{ mV}$. Ustawiam pierwszy kursor tam, gdzie charakterystyka jest płaska, drugi zmieniam w taki sposób, by różnica w decybelach pomiędzy nimi wynosiła -3dB . Dla takiego ustawienia drugiego kursora odczytuję odpowiadającą mu częstotliwość. Ta częstotliwość to w przybliżeniu $f = 242 \text{ kHz}$.



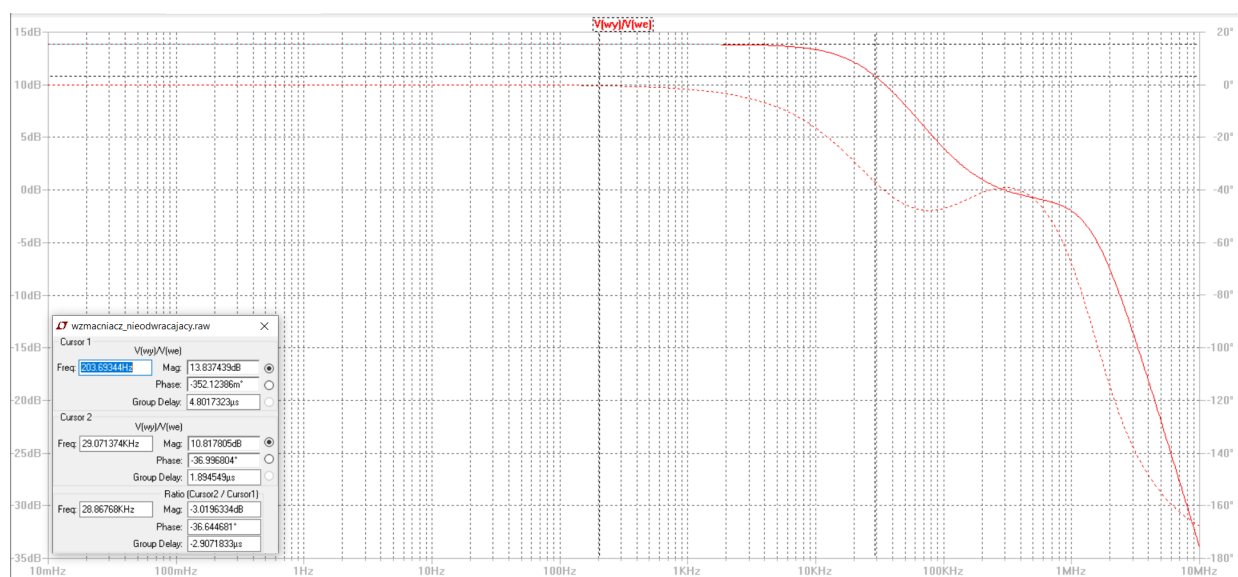
Rysunek 9: Wyznaczenie górnej częstotliwości granicznej

Dla sygnału częstotliwości $f = 240 \text{ kHz}$ (bliskiej górnej częstotliwości granicznej) i amplitudzie $A = 2 \text{ V}$ generuję charakterystykę, dzięki której można oszacować parametr SR . Za pomocą kursorów odczytuję nachylenie zbocza $SR \approx 3.395 \frac{\text{V}}{\mu\text{s}}$ lub mogę policzyć to ze stosunku $SR = \frac{\Delta V}{\Delta t}$.



Rysunek 10: Szacowanie parametru SR

Równolegle z rezystorem R_f podłączam kondensator o wartości pojemności 1 nF i przeprowadzam ponownie pomiary górnej częstotliwości granicznej jak w poprzedniej sytuacji. Odczytuję, że spadek o wartości 3 dB występuje dla częstotliwości ok. 29 kHz.



Rysunek 11: Wyznaczanie górnej częstotliwości granicznej po dołączeniu kondensatora

4 Porównanie obliczonych i uzyskanych wyników

Wzmacniacz odwracający:

- wartości obliczone/założone

$$\rightarrow K_u = -15 \frac{V}{V}$$

$$\rightarrow f_g \approx 67 kHz$$

$$\rightarrow f_{gC} \approx 10.65 kHz$$

$$\rightarrow SR = 3.5 \frac{V}{\mu s}$$

- wartości otrzymane

$$\rightarrow K_u \approx -14.764 \frac{V}{V}$$

$$\rightarrow f_g \approx 92 kHz$$

$$\rightarrow f_{gC} \approx 9 kHz$$

$$\rightarrow SR \approx 3 \frac{V}{\mu s}$$

Wzmacniacz nieodwracający:

- wartości obliczone/założone

$$\rightarrow K_u = 5 \frac{V}{V}$$

$$\rightarrow f_g \approx 200 kHz$$

$$\rightarrow f_{gC} \approx 31.22 kHz$$

$$\rightarrow SR = 3.5 \frac{V}{\mu s}$$

- wartości otrzymane

$$\rightarrow K_u \approx 4.92 \frac{V}{V}$$

$$\rightarrow f_g \approx 242 kHz$$

$$\rightarrow f_{gC} \approx 29 kHz$$

$$\rightarrow SR \approx 3.395 \frac{V}{\mu s}$$

5 Wnioski

- Wzmacniacz charakteryzuje się liniową pracą w zakresie (-750 mV; 750 mV) w przypadku wzmacniacza odwracającego i (-2.1 V; 2.1 V) w przypadku nieodwracającego.
- Im parametr K_u jest większy, tym mniejszy jest zakres pracy liniowej wzmacniacza (nachylenie wykresu $U_{wy} = f(U_{we})$ jest większe).
- Różnice pomiędzy parametrami obliczonymi a otrzymanymi wynikają z zaokrągleń wartości dobieranych elementów do wartości wynikających z szeregu oraz niedokładności przyrządów/elementów.
- Wprowadzenie dodatkowego kondensatora sprawia, że górna częstotliwość graniczna ma mniejszą wartość - pogarszają się zatem właściwości wzmacniacza.