

Wykonawca: Julia Polak

Numer Indeksu: 310 965

Data: Czerwiec 2022

1.) WSTĘP

Zadaniem projektu było zaprojektowanie układu wielokanałowego wzmacniacza. Głównym zadaniem projektu jest dobranie odpowiedniego wzmacniacza operacyjnego, który spełni wszystkie wymagania, oraz dobranie do układu innych elementów np. rezystorów (z szeregu E24) oraz kondensatorów (z szeregu E6). Później okazało się nie potrzebne dobranie przetwornicy, ale o tym później. Następne podpunkty będą opisywać mój proces jakże „kreatywnej twórczości” co do doboru elementów itp.

2.) DANE I WYMAGANIA DOTYCZĄCE UKŁADU

- Napięcie zasilające: 15 [V]
- Wydajność prądowa źródła zasilającego: 320 [mA]
- Liczba kanałów: 3
- Wzmocnienie każdego z kanałów: 16 [V/V]
- Górna częstotliwość graniczna każdego z kanałów: > 830 [kHz]
- Dolna częstotliwość graniczna każdego z kanałów: < 130 [Hz]
- Amplituda sygnału wyjściowego: 2 [V]
- Rezystancja obciążenia dla każdego kanału: 57 [Ω]
- Pobór prądu przez układ sterujący: 57 [mA]

3.) ZAPEWNIENIE ODPOWIEDNIEGO WZMOCNIENIA $k=16$ V/V

$$k = 1 + \frac{R_1}{R_2} \rightarrow 15 \frac{V}{V} = \frac{R_1}{R_2}$$

Wybieram więc wartość $R_1 = 300k$

$$R_2 = \frac{R_1}{15 \frac{V}{V}} = \frac{300k}{15 \frac{V}{V}} = 20k\Omega$$

A więc $R_1 = 300k\Omega$, $R_2 = 20k\Omega$

Podstawową ideą co do doboru wartości rezystorów, był fakt, aby uzyskać wymagane wzmocnienie. Aby spełnić jeszcze inne założenia zajrzałam do katalogu szeregu E24, aby znaleźć rezystory, które do niego należą, a także dają wzmocnienie na odpowiednim poziomie. $R_1 = 300k\Omega$ oraz $R_2 = 20k\Omega$ należą do owego szeregu, więc takie je pozostawiam. Nie powinno się stosować rezystorów ani za małych, ani za dużych, gdyż powoduje to pobieranie dodatkowego prądu z wyjścia. Niewłaściwy dobór rezystorów może być także skutkiem wybicia wzmocnienia na wyższych częstotliwościach pracy układu. Zbyt duże rezystory mogą być, także powodem problemów z prądami

polaryzacji. Dlatego, więc wybrałam wartości pośrednie zachowując kompromis pomiędzy problemami dotyczącymi rezystorów.

4.) ZASILANIE WZMACNIACZA

Według wymagań projektowych, założeniem jest użycie zasilania niesymetrycznego, a więc $U_{CC} = +15V$, natomiast U_{CC} jest zwarte do masy.

Zdecydowałam się na taką wartość napięcia zasilającego, gdyż ponieważ daje nam to możliwość uzyskania odpowiedniej amplitudy na wyjściu wzmacniacza (2V).

5.) DOBÓR WARTOŚCI REZYSTORÓW R_3 ORAZ R_4

Instaluję dzielnik napięciowy z rezystorami R_3 oraz R_4 , gdzie $R_4 = R_3$, do jego wejścia nieodwracającego. Robimy to dla zapewnienia polaryzacji wzmacniacza oraz dla zapewnienia odpowiedniej amplitudy, w celu zminimalizowaniu wpływu prądu niezrównoważenia.

$$R_3 = 2 * (R_1 || R_2) = 2 * (300k\Omega || 20k\Omega) = 18,75k\Omega \approx 18k\Omega$$

Wartość rezystorów tych została zaokrąglona do $18k\Omega$ według szeregu E24. Tak dobrane wartości skorelowane z wartościami R_1 oraz R_2 . Posiadają one takie wartości, aby stworzyć dzielnik napięciowy dla napięcia zasilania. Dzięki tym opornikom uzyskujemy polaryzację stałoprądową wejścia wzmacniacza oraz prowadzi do minimalizacji prądu niezrównoważenia.

6.) DOBRANIE ODPOWIEDNICH POJEMNOŚCI C_1, C_2, C_3

Z racji, że mamy sprzężenie zmiennoprądowe, musimy wyznaczyć odpowiednią wartość dolnej częstotliwości granicznej, która ma być mniejsza od 130 Hz, więc także wartości pojemności kondensatorów.

$$f_{dg} = \sqrt{f_{ac1}^2 + f_{ac2}^2 + f_{ac3}^2} < 130Hz$$

$$C_1 > \frac{1}{2 * \pi * 130Hz * \frac{R_4}{2}} = \frac{1}{2 * \pi * 130Hz * \frac{18k}{2}} = 137 nF$$

$$C_2 > \frac{1}{2 * \pi * 130Hz * R_2} = \frac{1}{2 * \pi * 130Hz * 20k} = 62 nF$$

$$C_3 > \frac{1}{2 * \pi * 130Hz * R_L} = \frac{1}{2 * \pi * 130Hz * 57} = 21.6 \mu F$$

Abyśmy byli pewni, że pierwsza równość dotycząca dolnej częstotliwości granicznej została spełniona kondensatory będą miały takowe pojemności: $C_1 = 15\mu F$, $C_2 = 15\mu F$, $C_3 = 33\mu F$, są to oczywiście kondensatory z szeregu E6.

Założenie na częstotliwość dolną graniczną zostało spełnione. Pojemności oraz rezystory wprowadzają nam stałe czasowe, natomiast ich wartości definiują dolną częstotliwość graniczną. Tak jak wcześniej wspominałam, mamy także zapewnioną polaryzację zmiennoprądową, więc wzmocnieniu ulega tylko składowa harmoniczna sygnału wejściowego. Niestety wadą takich wielkości pojemności jest fakt, że wynika z tego długi czas ładowania ich.

5.) PARAMETRY WZMACNIACZA OPERACYJNEGO

Dla zapewnienia liniowej pracy wzmacniacza ,należy dobrać odpowiednie wartości GBW oraz SR. Musimy spełnić założenie co do częstotliwości górnej granicznej, czyli ma być większa niż 830kHz.

Wyliczenie GBW (Gain Bandwidth Product) wzmacniacza:

$$f_g = \frac{GBW}{k}, \text{ gdzie } f_g > 830 \text{ kHz}$$

$$GBW > f_g * k$$

$$GBW > 830\text{kHz} * 16 \frac{V}{V} = 13,28 \text{ MHz}$$

Wyliczenie SR (Slew Rate) wzmacniacza:

$$SR \geq 2 * \pi * A * f_g = 2 * \pi * 2 \text{ V} * 830 \text{ kHz} = 10,42 \frac{V}{\mu s}$$

6.) CAŁOWITY PRĄD POBIERANY PRZEZ UKŁAD

$$I_{wypadkowe} = \text{Supply Current} + I_{wyjściowy} + I_{sterująca}$$

$$\text{Supply Current} = I_{SC} * \text{liczba kanałów} = 7\text{mA} * 3 = 21 \text{ mA}$$

$$I_{wyjściowy} = \frac{A}{R_L} * \text{liczba kanałów} = \frac{2V}{57\Omega} * 3 = 105 \text{ mA}$$

$$I_{sterujący} = 57 \text{ mA} , \text{ czyli pobór prądu przez układ sterujący}$$

$$I_{wypadkowe} = \text{Supply Current} + I_{wyjściowy} + I_{sterujący} = 21\text{mA} + 105\text{mA} + 57\text{mA} = 183 \text{ mA}$$

Wydajność źródła zasilającego to 320 mA, więc jest to wystarczająco dużo ,aby zapewnić poprawną pracę układu.

7.) AMPLITUDA SYGNAŁU ZMIENNEGO NA WEJŚCIU WZMACNIACZA

Założeniem projektu jest sygnał wyjściowy o amplitudzie 2 V, przy wzmacnieniu pojedynczego kanału na poziomie 16 V/V. Aby to zapewnić należy na wejście nieodwracające wzmacniacza podać sygnał o amplitudzie:

$$U_{WE} = \frac{2V}{16 \frac{V}{V}} = 125 \text{ mV}$$

8.) WYBÓR ODPowiedniego Modelu WZMACNIACZA

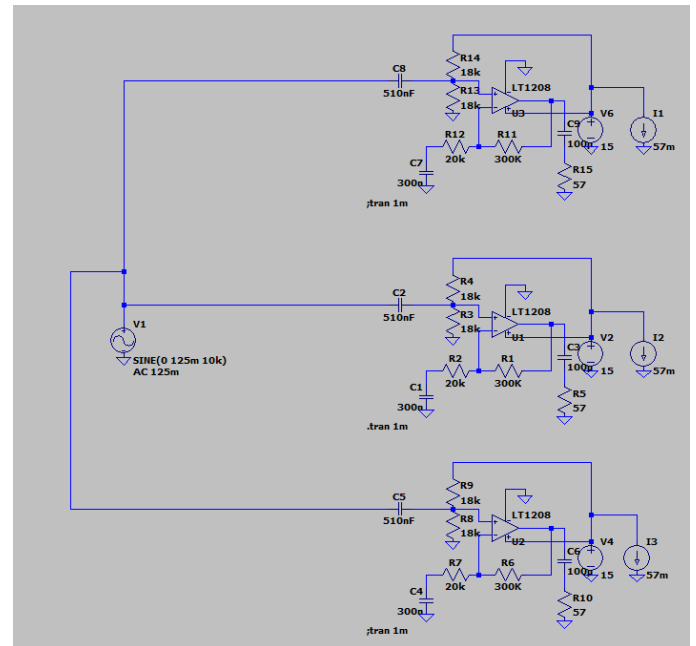
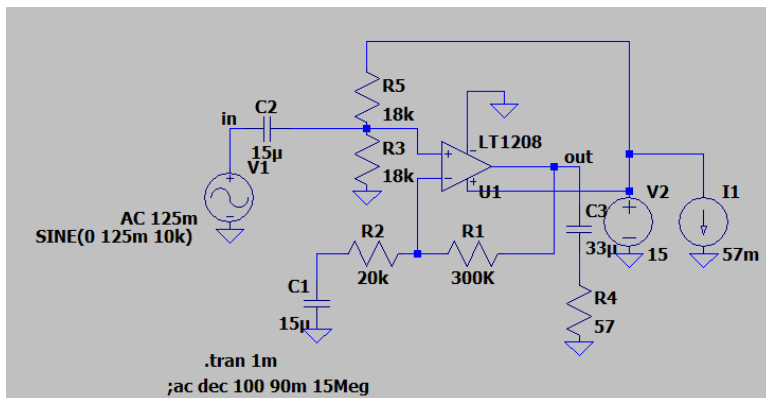
Zdecydowałam się na wzmacniacz LT 1208. Spełnia on wszystkie wymagania projektowe. Jego parametry to : GBW = 45MHz, SR= 400 V/us, Total Supply Voltage = 36V, $I_{out} = \pm 40 \text{ mA}$, $I_s = 8\text{mA}$. Charakteryzuje się także dużą rezystancją wejściową 40MΩ oraz dużymi dozwolonymi napięciami zasilania.

9.) BRAK PRZETWORNICY

Po zbudowaniu układu wzmacniacza operacyjnego z tym konkretnym modelem wzmacniacza, nie jest nam potrzebna przetwornica ani obniżająca, ani podwyższająca. Według założeń projektowych moim napięciem zasilającym jest 15V, natomiast wzmacniacz może być zasilany (V+)-(V-) 36V (Total

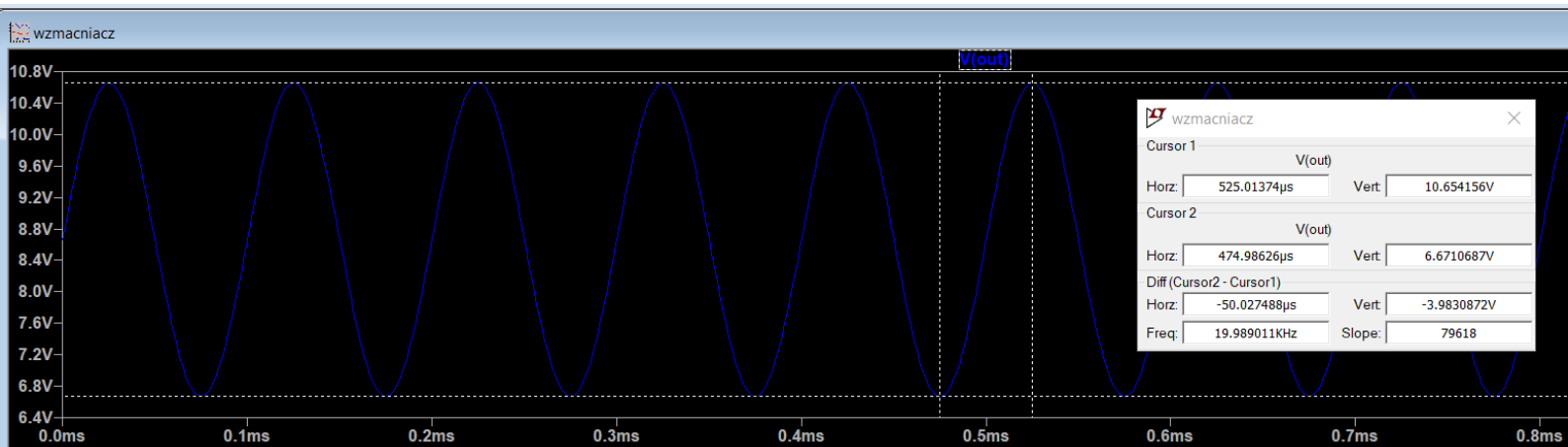
Supply Voltage). Przy zasilaniu układu źródłem napięciowym 15 V nie otrzymamy na wyjściu efektu drop-out. Parametr ten możemy odczytać z symulacji lub z not katalogowych. W symulacjach efekt drop out zachodzi dopiero od 9 V w dół, co daje spory zakres zapasu. Symulacyjnie sprawdzając prąd wyjściowy wzmacniacza również nie stanowi żadnego ograniczenia pracy układu. Nie występują, również żadne inne niepożądane efekty. Z tych właśnie powodów nie stosuję przetwornicy, ale także wiązałyby się ona z dodatkowymi komplikacjami.

10.) SCHEMAT KOŃCOWY WZMACNIACZA



11.) ANALIZA WZMACNIACZA W LTSPICE

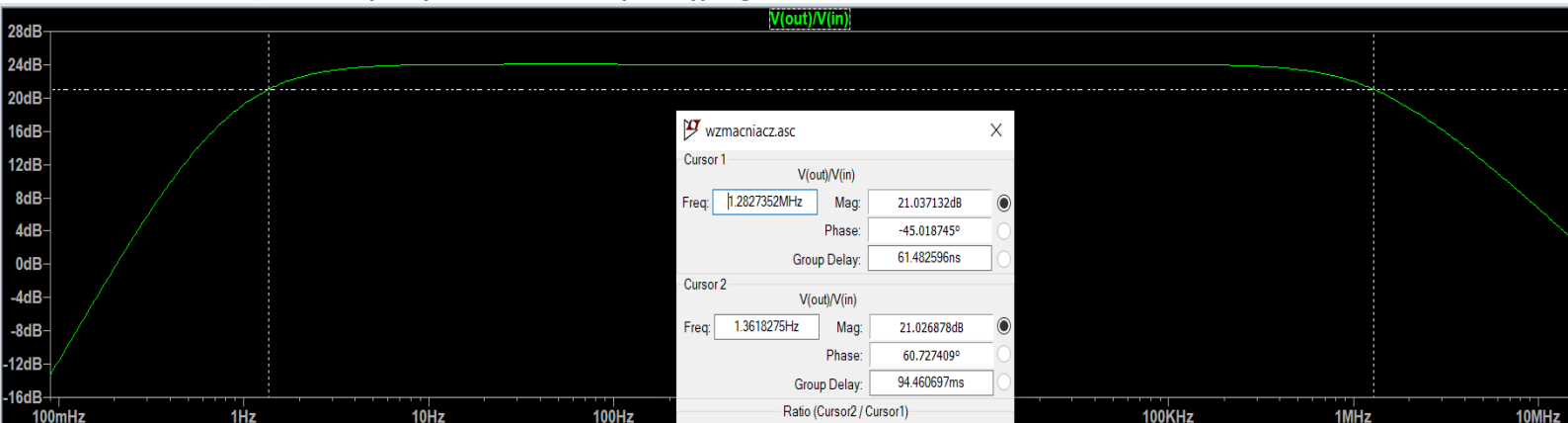
a.) Amplituda sygnału wyjściowego wzmacniacza – analiza tran



$$A = \frac{U_1 - U_2}{2} = \frac{10.66V - 6.67V}{2} = 1,995 V$$

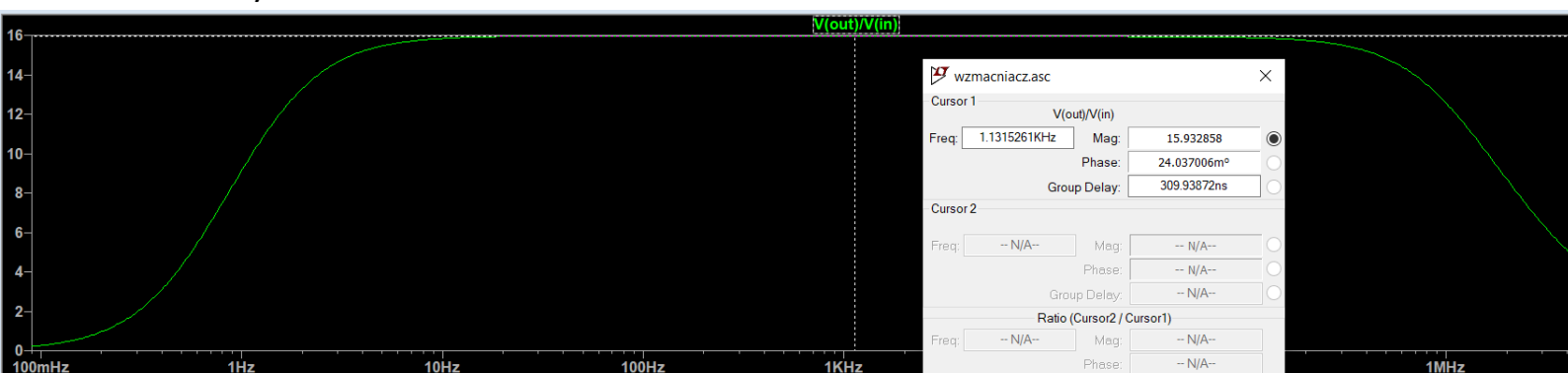
Jak widać amplituda wyszła w przybliżeniu 2 V, błąd jest mniejszy niż 1%, a dokładnie 0,5%, więc błąd ten jest zaniedbywalny. Może on wynikać z niedokładności ustawienia kursorów. Nie jesteśmy ograniczeni przez zasilanie wzmacniacza, pasmo pracy jest odpowiednie. Jak widać kształt sinusoidy jest idealny, bez żadnych zniekształceń, czyli nie występuje efekt Slew Rate, czyli praca wzmacniacza operacyjnego jest liniowa, nie występuje także Drop Out.

b.) Pasmo pracy wzmacniacza operacyjnego – analiza AC



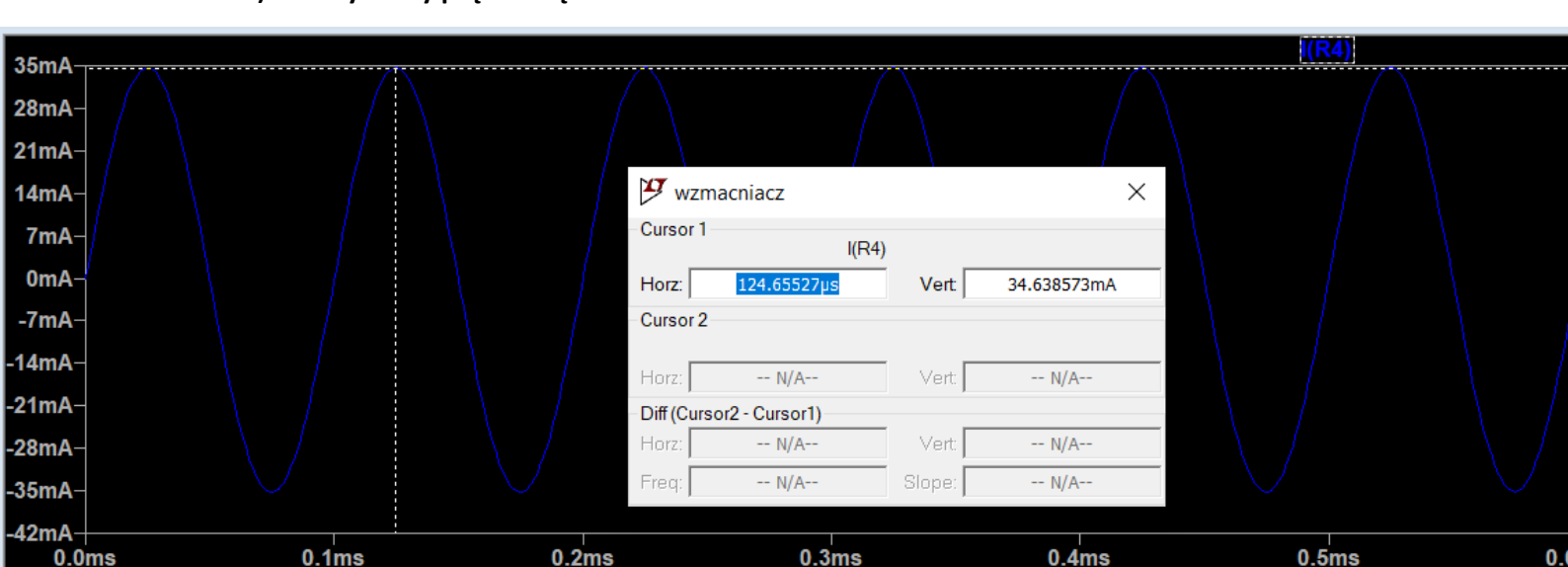
Jak widać przy spadku 3 dB od maksymalnego poziomu charakterystyki $f_{dg} = 1,36 \text{ Hz}$, więc założenie projektowe, że $f_{dg} < 130 \text{ Hz}$ zostało spełnione. Tak samo z $f_g = 1,28 \text{ MHz}$, więc założenie projektowe, że $f_g > 830 \text{ kHz}$, także zostało spełnione.

c.) Wzmocnienie układu - analiza AC



Aby zmierzyć wzmocnienie wzmacniacza operacyjnego zrobiłam analizę AC, a oś OY zmieniłam z skali decybelowej na liniową. Jak widać na zaznaczonym kursorze $k = 15,93 \text{ V/V}$. Wymaganiem projektu było wzmocnienie równe 16 V/V. Jednakże błąd ten jest mniejszy niż 1%, więc różnicę tą można zaniedbać.

d.) Maksymalny prąd obciążenia



Maksymalny prąd przepływający przez obciążenie jest równy 34,6 mA, czyli jest zgodny z wartością teoretyczną. Maksymalny prąd pobierany przez układ wynosi 162,8mA, więc zmieściliśmy się w założeniach projektowych, ponieważ układ pobiera mniej niż 320 mA. Do poboru prądu należy uwzględnić także prąd pobierany przez wzmacniacze.

12.)ZAKOŃCZENIE

Układ został wybudowany , wszystkie założenia projektowe zostały spełnione ,czyli wszystkie częstotliwości graniczne, wzmocnienie, szeregi rezystorów i cewek, napięcie zasilania, pobory prądów. Układ nie ma przetwornicy napięcia, ale jak wyżej już o tym wspomniałam nie jest to konieczne do mojego projektu. Układ został zasymulowany dla pojedynczego kanału, jak i dla wszystkich. W obu przypadkach działa poprawnie. Zostały wyeliminowane wszystkie złe efekty pojawiające się przy działaniu wzmacniacza m.in. slew rate, drop out, prądy niezrównoważenia itp.