

# MOZA Projekt

## Wzmacniacz Kaskodowy 4

### (wariant B)

Jakub Półtorak

22 maja 2022

## Spis treści

<b>1</b>	<b>Sformułowanie matematyczne zadań optymalizacji</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Wyznaczenie przybliżenia początkowego rozwiązania</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Wyznaczanie parametrów roboczych, gładkość funkcji celu, opis kodu</b>	<b>4</b>
3.1	Wyznaczanie parametrów roboczych . . . . .	4
3.2	Gładkość funkcji celu . . . . .	5
3.3	Opis kodu . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Propozycja rozwiązania numerycznego</b>	<b>6</b>
4.1	Alogrytm, skalowanie . . . . .	6
4.2	Przebieg optymalizacji, otrzymane wyniki . . . . .	7

# Etap 1

## Opis problemu

Zadanie polega na doborze wartości elementów wzmacniacza tak, aby uzyskać maksymalnie duży iloczyn GBW. Na układ nałożono dodatkowe ograniczenia w postaci minimalnego wzmocnienia dla małych częstotliwości  $k_{u0} > 10dB$  oraz minimalnej częstotliwości granicznej  $f_g > 200MHz$  (rozumianej jako częstotliwość spadku o 3 dB względem  $k_{u0}$ ).

## 1 Sformułowanie matematyczne zadań optymalizacji

Poszukiwane jest minimum funkcji celu:

$$\min_{\mathbf{x} \in \mathbf{R}^+} f(\mathbf{x})$$

p.o.

$$g_i(\mathbf{x}) \leq 0 \quad i = 1..n_g$$

gdzie:

$$f(\mathbf{x}) = -(k_{u0} \cdot f_g)$$

$\mathbf{x}$  - wektor zmiennych optymalizowanych:

$$\mathbf{x} = [REE1 \quad REE2 \quad RE \quad RC2 \quad RC3 \quad CEE \quad CG],$$

$k_{u0}$  - wzmocnienie dla małych częstotliwości, rozumiane jako wzmocnienia dla częstotliwości 1 kHz.

$f_g$  - częstotliwość graniczna, rozumiana jako częstotliwość, dla której wzmocnienie spada o 3 dB względem  $k_{u0}(\mathbf{x})$ .

Parametry  $k_{u0}(\mathbf{x})$  oraz  $f_g(\mathbf{x})$  obliczane są w Matlabie na podstawie surowych danych ( $U_{out}^{AC}(x, f)$ ) zwracanych przez symulator LTSpice.

Dodatkowo, w zadaniu pojawiają się ograniczenia nieliniowe związane z wymaganiami projektowymi:

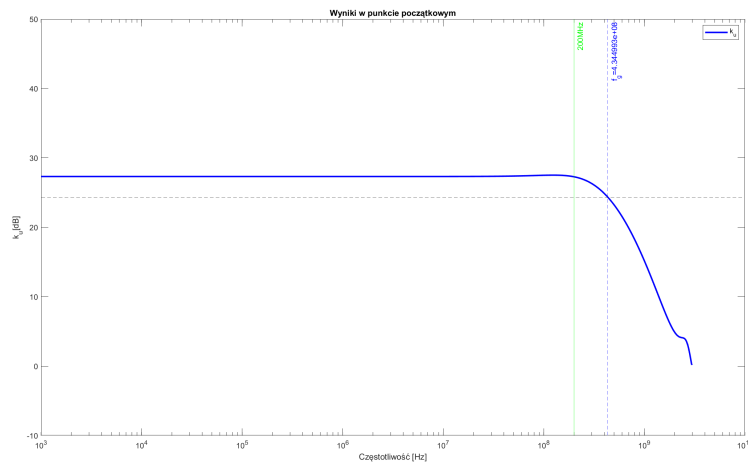
- $g_1(\mathbf{x}) : -(\frac{k_{u0}(\mathbf{x})}{k_{u_{min}}} - 1) < 0$   
Warunek minimalnego wzmocnienia,  $k_{u_{min}} = 20dB$
- $g_2(\mathbf{x}) : -(\frac{f_g(\mathbf{x})}{f_{g_{min}}} - 1) < 0$   
Warunek minimalnej częstotliwości granicznej,  $f_{g_{min}} = 200MHz$
- $g_3(\mathbf{x}) : b(\mathbf{x}) - b_{max} < 0$   
Ograniczenie podbicia charakterystyki,  $b_{max} = 1dB$ . Podbicie  $b$  rozumiane jest jako różnica między maksymalnym poziomem wzmocnienia a  $k_{u0}$ . Podbicie jest obliczane w Matlabie.

## 2 Wyznaczenie przybliżenia początkowego rozwiązania

Zgodnie z poleceniem zmodyfikowano domyślne parametry tak, aby uzyskać rozwiązanie spełniające warunek minimalnej częstotliwości granicznej i wzmocnienia. Ostatecznie, po wybraniu wartości, wektor  $\mathbf{x}$  wygląda następująco:

$$\mathbf{x} = [5\Omega \quad 15\Omega \quad 320\Omega \quad 220\Omega \quad 200\Omega \quad 45p \quad 50p],$$

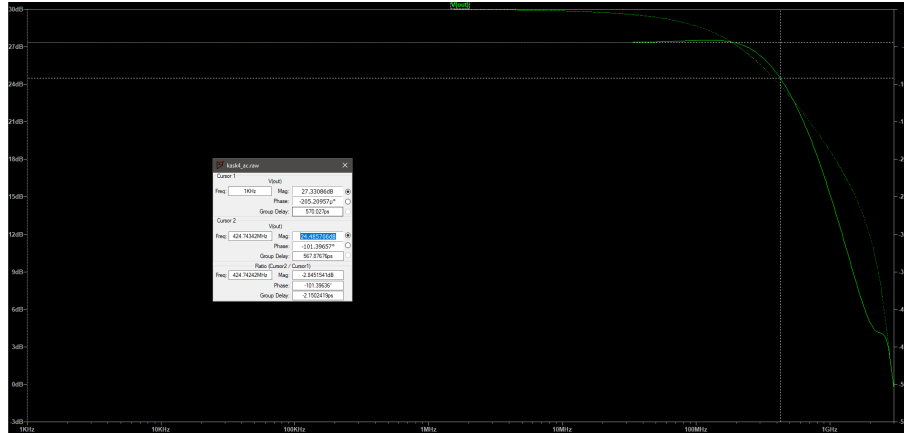
Wyniki w punkcie początkowym można zobaczyć na poniższym wykresie:



Rysunek 1: Charakterystyka układu w punkcie startowym.

Jak widać spełnione są warunki postawione w zadaniu (minimalna wartość wzmocnienia to 20 dB, przy źródle AC mającym 1V amplitudy) oraz wzmacniacz pracuje prawidłowo.

Aby potwierdzić, że Matlab i Spice zwracają te same wyniki przeprowadzono symulację w LTSpice:



Rysunek 2: Charakterystyka układu w punkcie startowym.

### 3 Wyznaczanie parametrów roboczych, gładkość funkcji celu, opis kodu

#### 3.1 Wyznaczanie parametrów roboczych

W zadaniu badane są trzy parametry: częstotliwość graniczna, wzmacnienie oraz podbicie charakterystyki.

##### Podbicie $b$

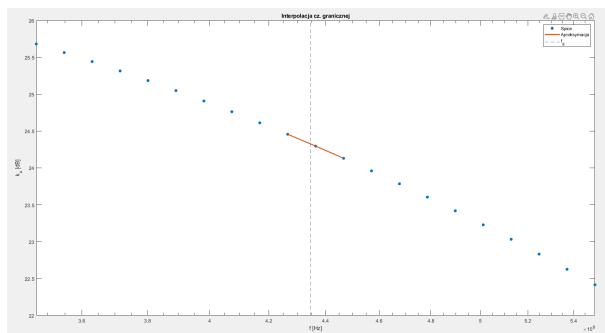
Podbicie rozumiane jest jako różnica między wzmacnieniem  $k_{u0}$  a maksymalnym wzmacnieniem jakie osiąga charakterystyka.

##### Wzmacnienie małowartościowościowe $k_{u0}$

Wzmacnienie  $k_u$  rozumiane jest jako wartość wzmacnienia pozyskana z danych  $U_{out}^{AC}(x, f)$  dla częstotliwości 1 KHz.

##### Częstotliwość graniczna $f_g$

Częstotliwość graniczna wyznaczana jest jako częstotliwość, dla której wzmacnienie względem  $k_{u0}$  spada o 3 dB. Ponieważ LTSpice zwraca wyniki w postaci punktów, uznano, że wymagana jest interpolacja częstotliwości granicznej. Interpolacja pozwoliła zminimalizować skoki w funkcji celu. Do interpolacji wykorzystano wielomian drugiego stopnia. Wynik interpolacji przedstawia poniższy wykres:



Rysunek 3: Interpolacja częstotliwości granicznej.

### 3.2 Gładkość funkcji celu

Przyjęto, że funkcja celu, w борёbie odpowiednich wartości elemntów układu, jest ciągła. Tak długo, w układzie zmieniane są wartości pojemności i rezystancji i nie powodują nieprawidłowej pracy układu zawsze możliwe będzie otrzymanie charakterystyki, która, nawet jeśli nie spełnia wymagań projektowych, otrzymanie prawidłowej odpowiedzi (bez dużych skoków np. wzrost wzmacnienia do 10000 dB).

### 3.3 Opis kodu

Dołączony katalog z kodem podzielony został na odpowiednie katalogi dla wyników (results i plots zapisany worksapce z Matlaba, wykresy) i plików dla symulacji(spice). W katalogu głównym katalogu znajdują się skrypty i m-funkcje.

Aby uruchomić optymalizację należy uruchomić skrypt main.m. Po optymalizacji wyniki zostaną zapisane do odpowiednich folderów.

Aby nie czekać aż optymalizator zakończy pracę (ok. 5 minut) można wczytać gotowe wyniki za pomocą komendy `load('results/latest.mat')`.

#### Opis plików

- main.m - główny skrypt realizujący zadanie optymalizacji.
- display\_results.m - Skrypt wyświetlający wyniki optymalizacji. Uruchamiany automatycznie po main.m
- get\_fg.m - Funkcja obliczająca częstotliwość graniczną.
- boost.m - Funkcja obliczająca podbicie charakterystyki.
- extract\_results.m - Funkcja odczytująca dane z pliku output\_results powstającego przez funkcję output\_fun.
- modify\_params.m - Funkcja modyfikująca paremetry w pliku params.inc

- nonlcon.m - Funkcja nieliniowych ograniczeń nierównościowych.
- obj\_fun.m - Implementacja funkcji celu.
- output\_fun.m - Funkcja wyjściowa dla optymalizatora.
- run\_sim.m - Funkcja uruchamiająca symulator LTSpice.
- LTspice2Matlab.m - Funkcja do odczytu danych z LTSpice.

## 4 Propozycja rozwiązania numerycznego

### 4.1 Alogrytm, skalowanie

#### Solver i algorytm optymalizacji

Jako solver wykorzystano fmincon z domyślnym algorytmem (Interior Point). Zdecydowano się na wykorzystanie metod gradientowych, ponieważ założono gładkość funkcji dla danych ograniczeń.

Po próbach przeprowadzonych w LTSpice ustalono, że niektóre elementy mają większy wpływ na układ niż inne, jednak, przy różnych kombinacjach wartości, wpływ różnych elementów jest trudny do przewidzenia. Stwierdzono np. że zmniejszanie wartości REE1 powoduje wzrost wzmocnienia przy spadku pasma, manipulowanie pojemnością CEE wpływa na pasmo, CG na podbicie itp. Ponieważ nie znaleziono jednoznacznej zależności (działanie na kształt algorytmu Gaussa-Seidla) postanowiono nie ograniczać liczby optymalizowanych zmiennych, a jedynie zadbać o odpowiednie ograniczenia kostkowe parametrów.

#### Skalowanie

Zarówno wektor wartości elementów jak i funkcja celu zostały przeskalowane.

W przypadku wektora parametrów optymalizowanych zastosowano proste skalowanie do 1 względem punktu startowego  $\frac{x}{x_0}$ . Jest to wymagane ponieważ rezystancje są na poziomie kilkuset ohmów podczas gdy pojemności na poziomie pikofaradów.

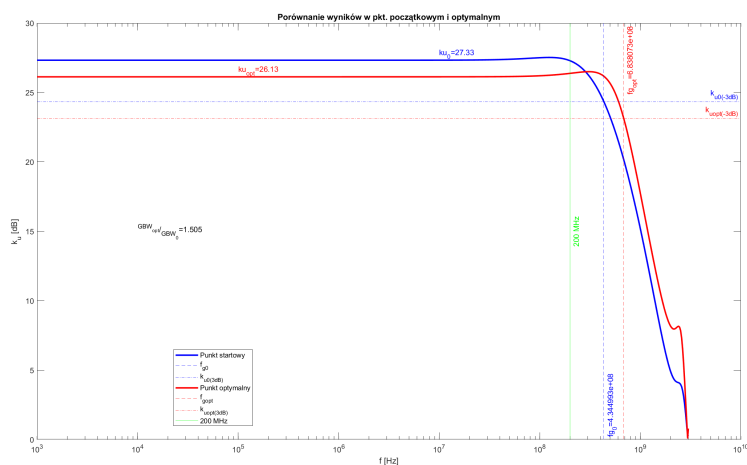
W przypadku funkcji celu iloczyn wzmocnienia i częstotliwości granicznej sięga rzędu  $10^9$ . Aby usprawnić pracę optymalizatora wyjście z zaimplementowanej funkcji celu jest postaci  $-\log(GBW)$ .

## 4.2 Przebieg optymalizacji, otrzymane wyniki

Optymalizowane są wszystkie parametry dostępne w zadaniu. Ograniczenia dobrano na podstawie metody prób i błędów i zapisano w postaci wektorów lb i ub w pliku main.m. Dolne ograniczenie zapewnia, że wszystkie elementy mają dodatnie wartości.

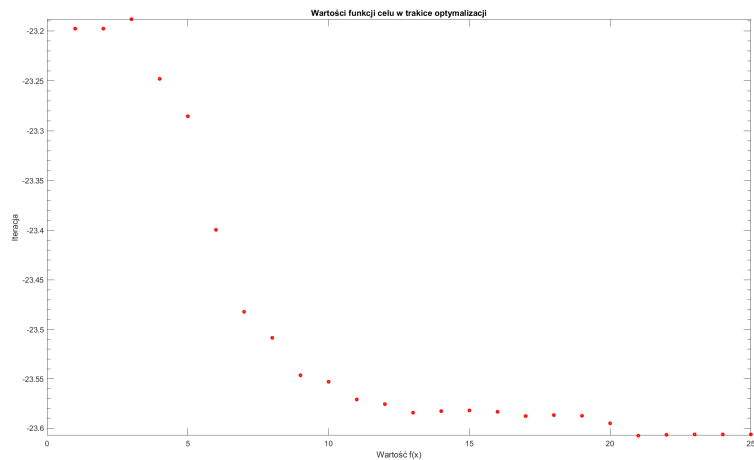
Przebieg optymalizacji zoabczyć można poniżej:

	$k_u$ [dB]	$f_g$ [MHz]	GBW [ $dB \cdot MHz$ ]	b [dB]
P. start	27,33	4,345	1,187	0,198
P. opt.	26,13	6,838	1,781	0,371



Rysunek 4: Porównanie punktu optymalnego i startowego.





Rysunek 5: Przebieg wartości funkcji celu.

```

Local minimum possible. Constraints satisfied.

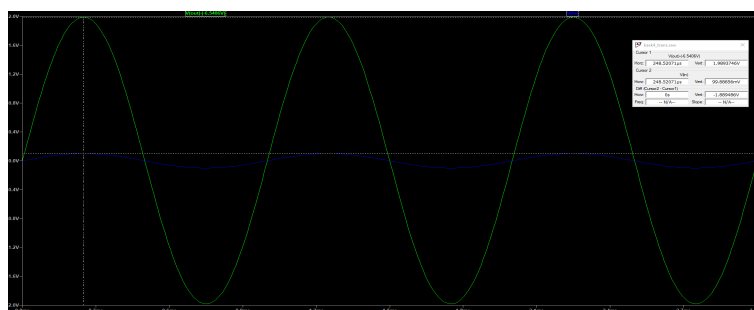
fmincon stopped because the size of the current step is less than
the value of the step size tolerance and constraints are
satisfied to within the value of the constraint tolerance.

<stopping criteria details>

Optimization stopped because the relative changes in all elements of x are
less than options.StepTolerance = 1.000000e-10, and the relative maximum constraint
violation, 0.000000e+00, is less than options.ConstraintTolerance = 1.000000e-06.

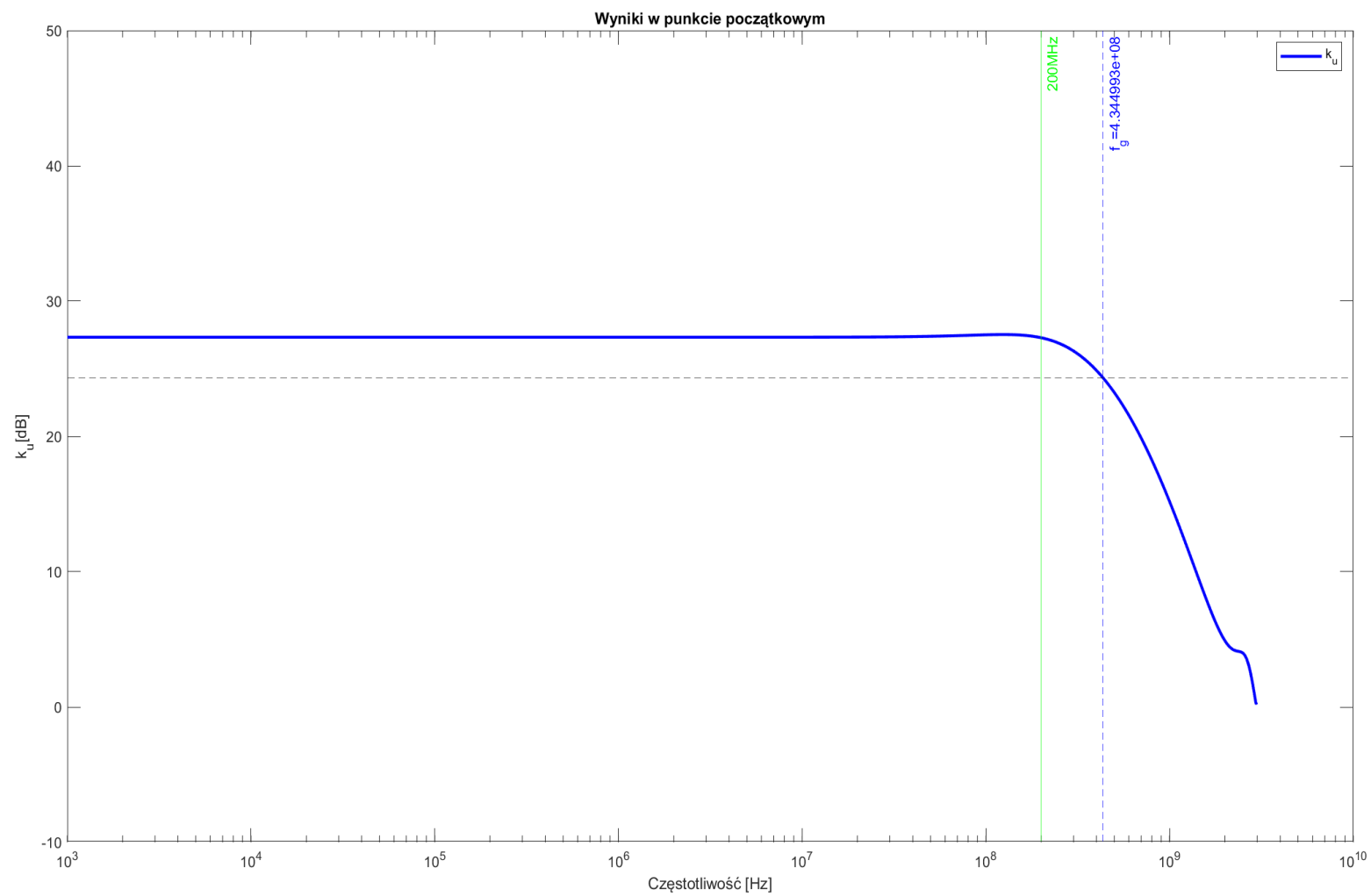
```

Rysunek 6: Informacja o zakończeniu pracy przez optymalizator.

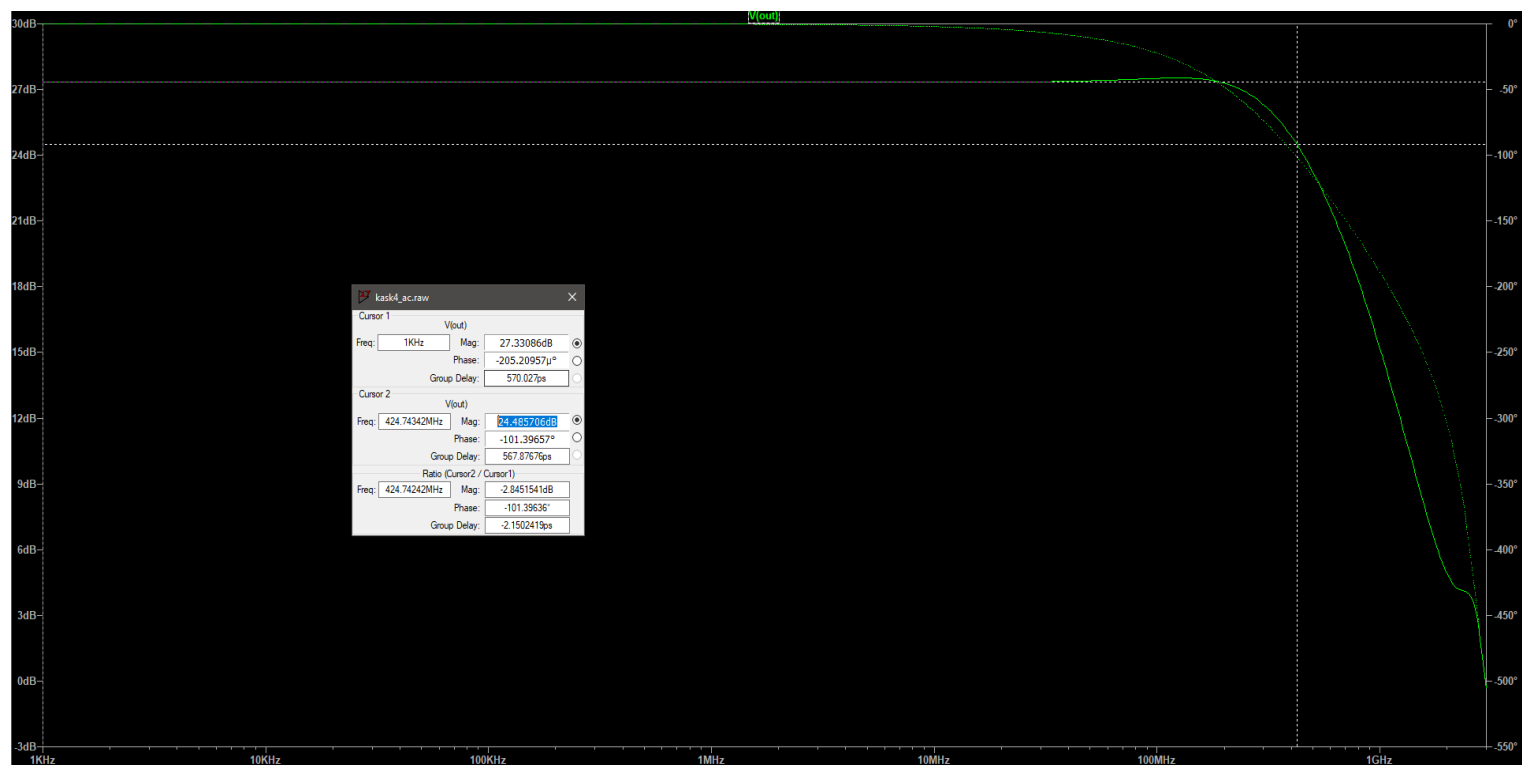


Rysunek 7: Symulacja czasowa w pkt. optymalnym. Wzmacniacz wzmacnia.

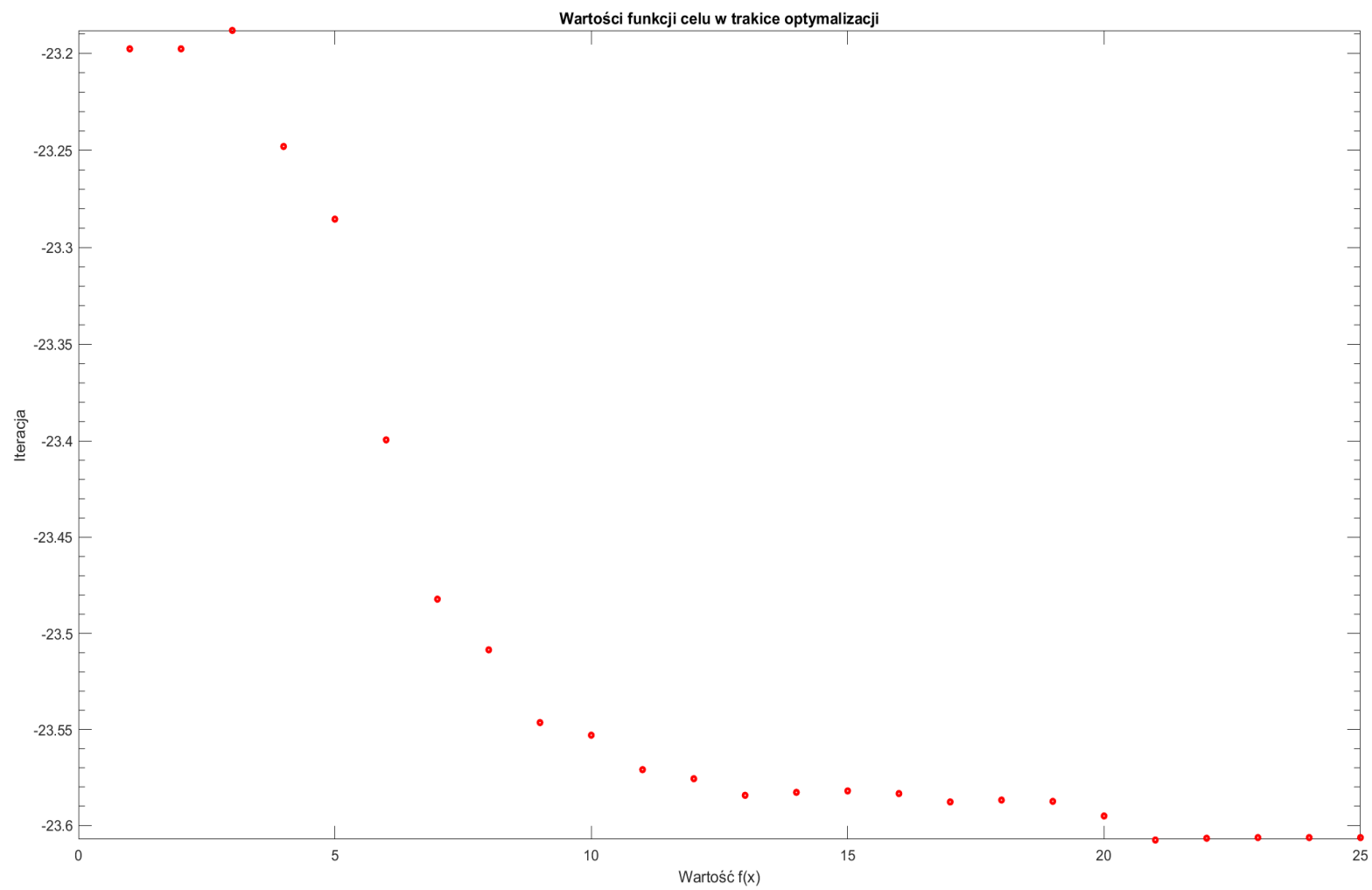
## Wykresy w dużej rozdzielczości



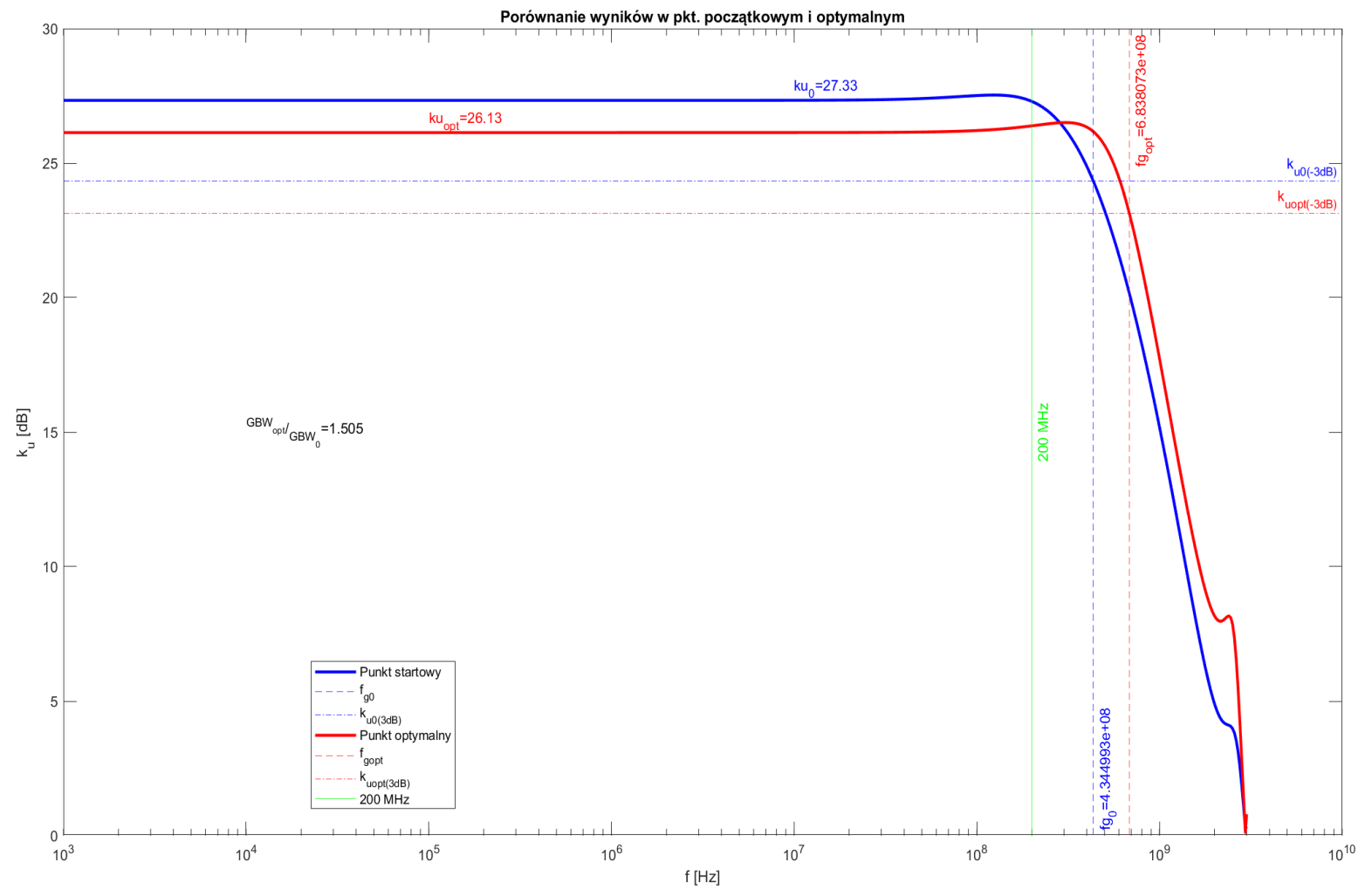
Rysunek 8: Charakterystyka układu w punkcie startowym.



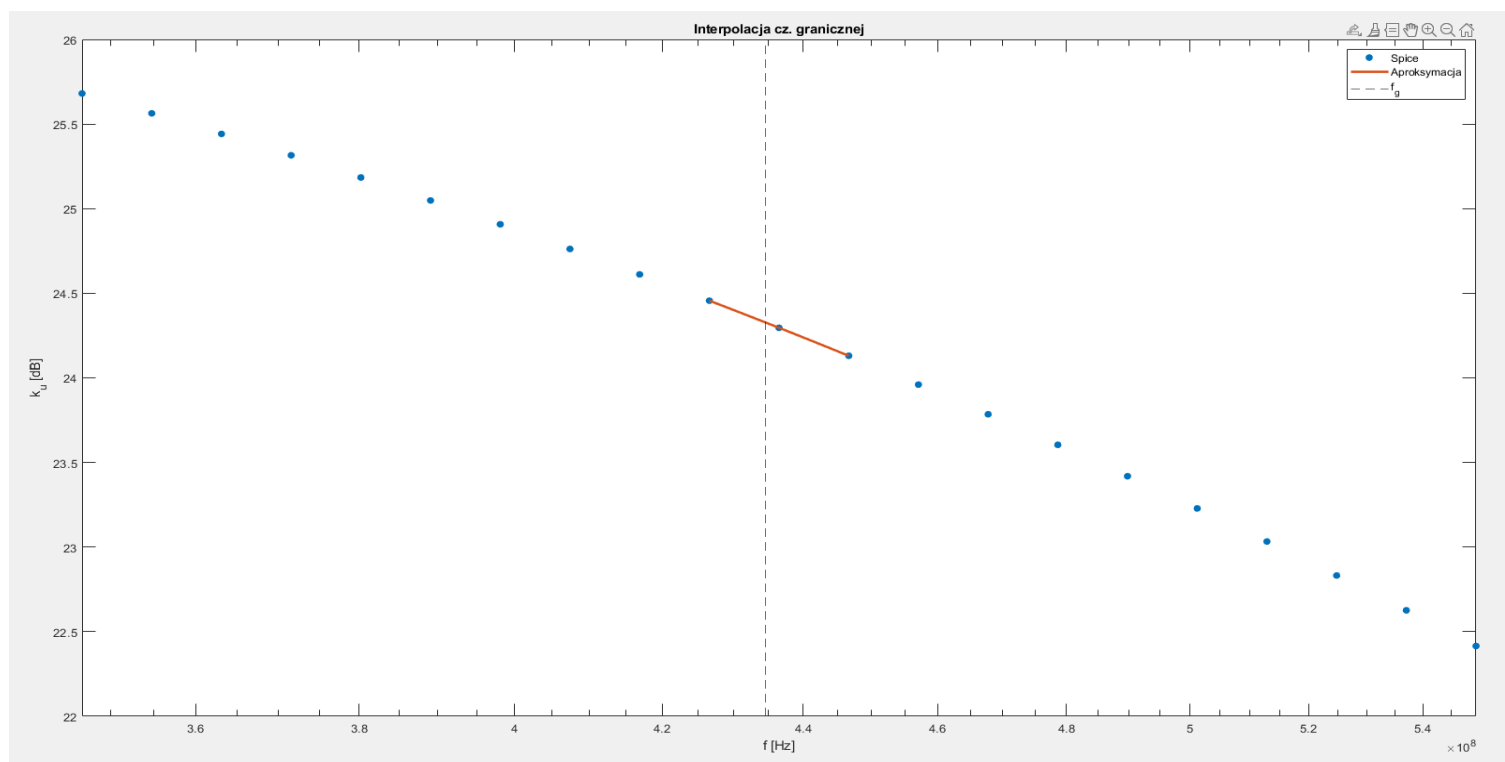
Rysunek 9: Charakterystyka układu w punkcie startowym (LTSpice).



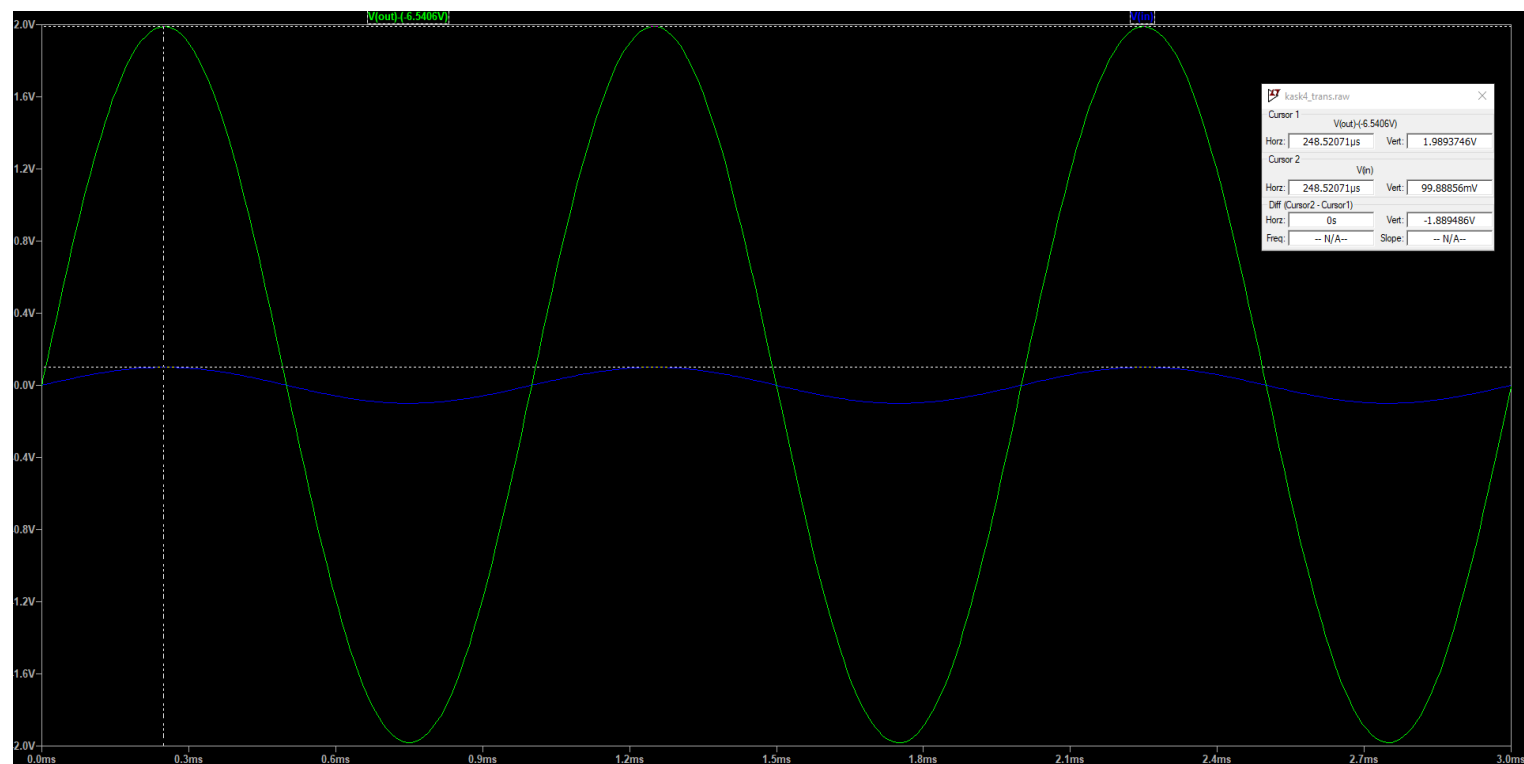
Rysunek 10: Przebieg wartości funkcji celu.



Rysunek 11: Porównanie wyników w punkcie optymalnym i startowym.



Rysunek 12: Interpolacja częstotliwości granicznej.



Rysunek 13: Symulacja czasowa w pkt. optymalnym. Wzmacniacz wzmacnia.