



Технически университет – София  
ФЕТТ, Катедра „Електронна техника“

# Курсов проект по Аналогова схемотехника

на тема:  
**Постояннотоков усилвател**

**Изработил: Виолин Георгиев Илиев**  
**ФЕТТ, Фак.№ 101206062 Група: 23**

**Ръководител:**  
**К.Аспарухова**

**01.05.2008**  
**гр. София**

## 1. Задание

Заданието към този курсов проект е да се проектира постоянен ток усилвател;

Като параметри на входната верига са дадени следните изисквания:

$$U_i = 1,5 \text{ mV}$$

$$R_{iA} \geq 500 \text{ k}\Omega$$

Необходим коефициент на усилване:

$$A_U = 2000$$

Честотен обхват:

$$0 \div 2 \text{ kHz}$$

Допустими изкривявания:

$$M \leq 1 \text{ dB}$$

Грешка:

$$\epsilon \leq 1,5 \%$$

Температурен обхват:

$$\Delta T = 10^\circ \text{C}$$

## 2. Проектиране и изчисляване на отделните стъпала и части

Един операционен усилвател може да усилва до 100 пъти, като се срещат усилватели, които могат да достигнат усилване 1000 пъти. Тъй като на нас ни трябва устройство, което да усилва 2000 пъти, очевидно е, че то ще трябва да се състои от поне 2 звена. Те може да усилват 100 и 20 пъти или пък 50 и 40. Най-удачен изглежда втория вариант.

Нужени са усилватели, които да могат да постигнат усилване по-голямо от 50. ОР27Е изглежда удачен вариант и за двете стъпала.

Тъй като имаме условие за допустимото честотно изкривяване  $M \leq 1\text{dB}$ , ще проверим дали избория ОУ го удовлетворява. Започваме

с определяне на полюсната честота  $f_p$  по формулата  $f_p = \frac{f_h}{\sqrt{M_h^2 - 1}}$  ;

Получаваме следния резултат:  $f_p = 3930\text{Hz} = 3,9\text{kHz}$  ; На тази честота избория ОУ има усилване 70dB, което е повече от необходимите ни 34dB(50 пъти); Сега може да изчислим и дълбочината  $F = A_u / A_f = 0,016$ ; Имаме ограничение и за  $R_{id} \geq 500\text{k}\Omega$  ; Изчисляваме го за нашия

усилвател по формулата:  $R_{ia} = F \cdot R_{id} \parallel R_{icm} = \frac{1}{\frac{A_f}{A_d \cdot R_{id}} + \frac{1}{R_{icm}}}$  ;  $R_{id}$  и  $R_{icm}$ ,

взимаме от каталога. Получаваме  $R_{ia} \approx 950\text{k}\Omega$  , което отговаря на изискването.

За схема на свързване на стъпалата е най-удачно да ползваме неинвертираща, защото входното ни напрежение е по-голямо от 1,5mV;

Започваме с избора и изчисляването на елементите на първото стъпало. Разполагаме със следните формули, за неинвертиращо стъпало:

$$A_F \approx 1 + \frac{R_F}{R_1} ; \quad R_1 = \frac{R_F}{A_F - 1} ; \quad R_2 = R_1 \parallel R_F$$

От тях ясно се вижда, че ако изберем един от резисторите, лесно може да намерим и другия, като по този начин ще си гарантираме необходимото усилване. Препоръчително е следното условие

$$R_1 \leq 0,1 \frac{U_i}{I_{iB}} ; \text{ От каталога на усилвателя вземаме } I_{iB} = 4,2 \text{ nA} \text{ и}$$

изчисляваме  $R_1 = 15 \text{ k}\Omega = 15 \text{ k}\Omega \pm 1\%$  ; Сега намираме и другите два резистора:

$$R_f = 735 \text{ k}\Omega = 732 \text{ k}\Omega \pm 1\% ; R_2 = 14,689 \text{ k}\Omega = 14,7 \text{ k}\Omega$$

По аналогичен начин намираме и елементите за второто стъпало, а именно:

$$R_1 = 15 \text{ k}\Omega = 15 \text{ k}\Omega \pm 1\%$$

$$R_2 = 14,682 \text{ k}\Omega = 14,7 \text{ k}\Omega$$

$$R_f = 585 \text{ k}\Omega = 590 \text{ k}\Omega \pm 1\%$$

### 3. Изчисляване на общите характеристики и параметри на устройството

#### Изчисляване на грешката:

1) Грешка от напрежението на несиметрия  $U_{io}$  и тока на несиметрия  $I_{io}$  :

$$\sum U_{io} \approx U_{io} + (R_F \parallel R_i) I_{io}$$
$$\epsilon_{\sum U_{io}} = \frac{\sum U_{io}}{U_i}, \text{ където } I_{io} \text{ и } U_{io} \text{ вземаме от каталога.}$$

След заместване и изчисление получаваме:

$$\epsilon_{\sum U_{io}} = 0,213\%$$

2) Грешка от допълнителното напрежение на несиметрия, което се получава при изменение на температурата:

$$\sum U_{io, T} \approx \sqrt{((\alpha_{io} \Delta T)^2 + (\Delta I_{io} (R_i \parallel R_F))^2)} ;$$
$$\epsilon_{\sum U_{io, T}} = \frac{\sum U_{io, T}}{U_i} \approx 0,1\% \text{ *}, \text{ където } \alpha_{io} \text{ се взема от каталога, а } \Delta I_{io}$$

снемаме от съответната графика.

\*(същата стойност и за второто стъпало)

3) Грешка при определяне на коефициента на усилване поради използване на приблизителни формули:

$$\epsilon_{A \neq \infty} = \frac{1}{A} \left( 1 + \frac{R_F}{R_1} + \frac{R_F}{R_i} + \frac{R_2}{R_1} \left( 1 + \frac{R_F}{R_1} \right) \right) = 2,026\%$$

Тази грешка е голяма. Ще я избегнем, като си осигурим възможност да регулираме един от резисторите -  $R_1$  . За целта след него добавяме тример-потенциометър;

4) Грешка от изменението на захранващите напрежения:

$$\epsilon_{U_{CC}} = \frac{\Delta U_{io}}{U_{io}} = 0,067\%$$

Общата грешка е сумата от тези грешки:

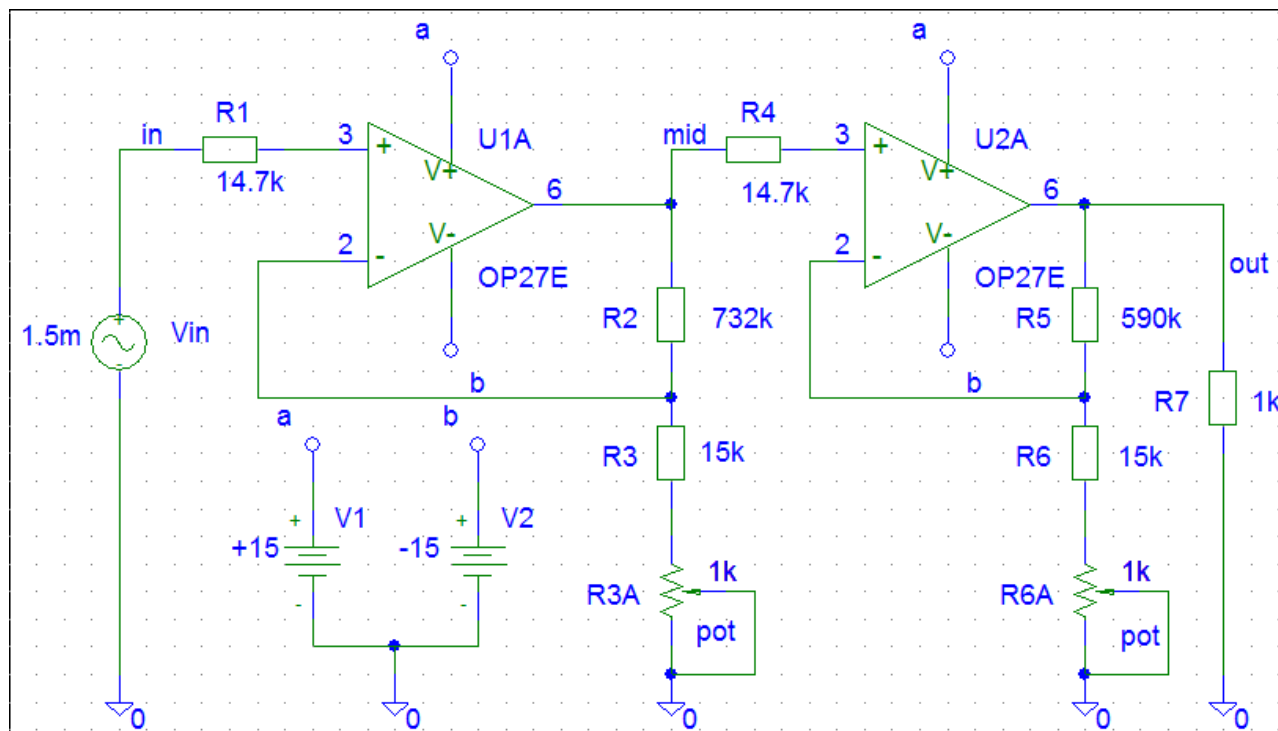
$$\epsilon_{A_F} \leq \epsilon_{U_{io}} + \epsilon_{U_{cc}} + \epsilon_{U_{io}, T} \leq 0,38\%$$

Като имаме в предвид, че звената са две, то грешката ще бъде 2 пъти по-голяма или  $\epsilon_{A_F} \leq 0,76\%$

Това отговаря на изискването по задание и означава, че избрания от нас усилвател може да бъде изпозван за проектирането на устройството.

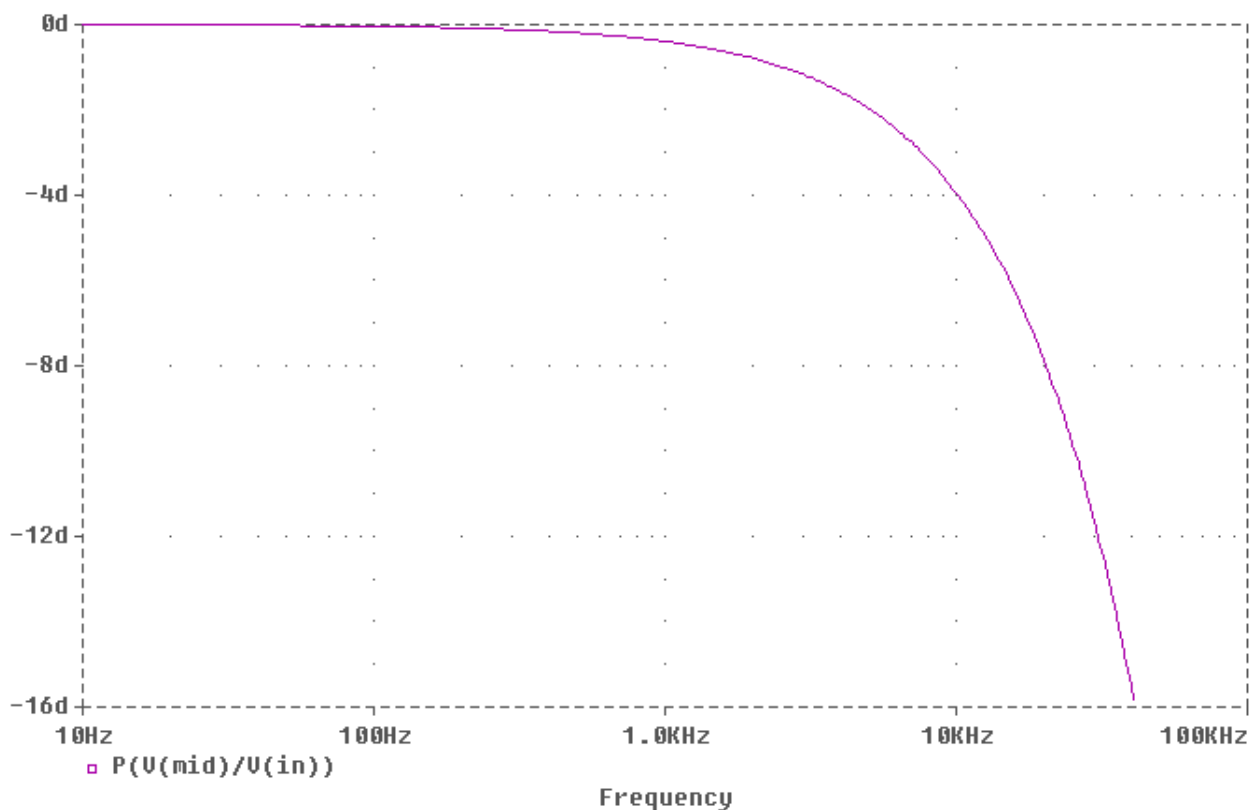
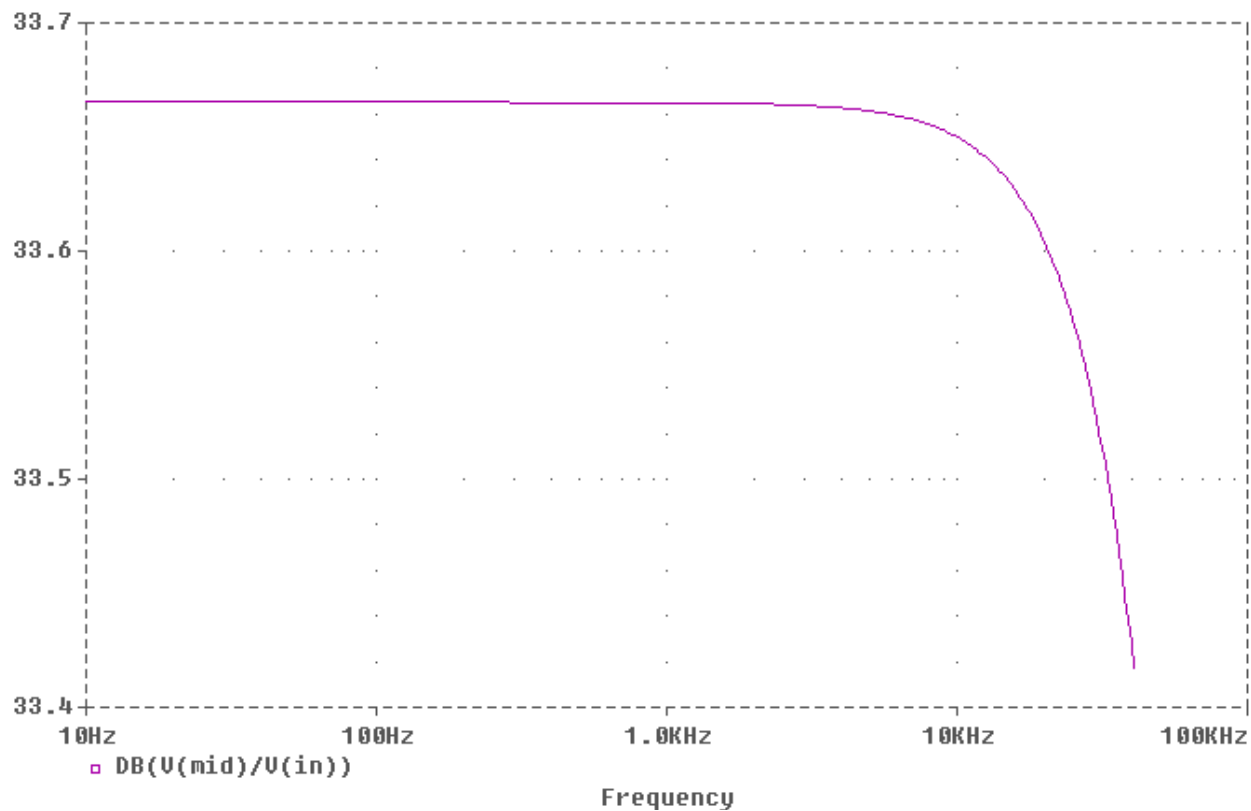
## 4. Електронна схема и симулационно тестване

Схемата на постояннотоковия усилвател има следния вид:

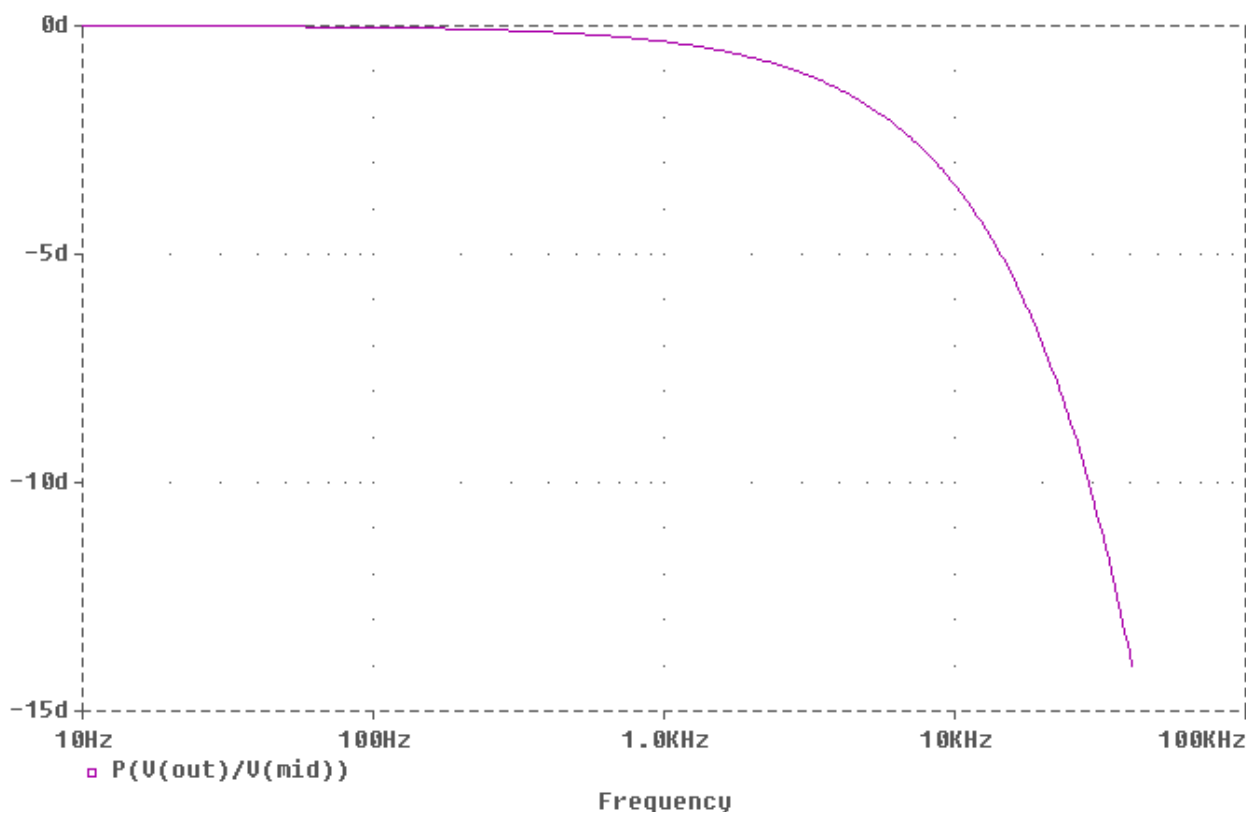
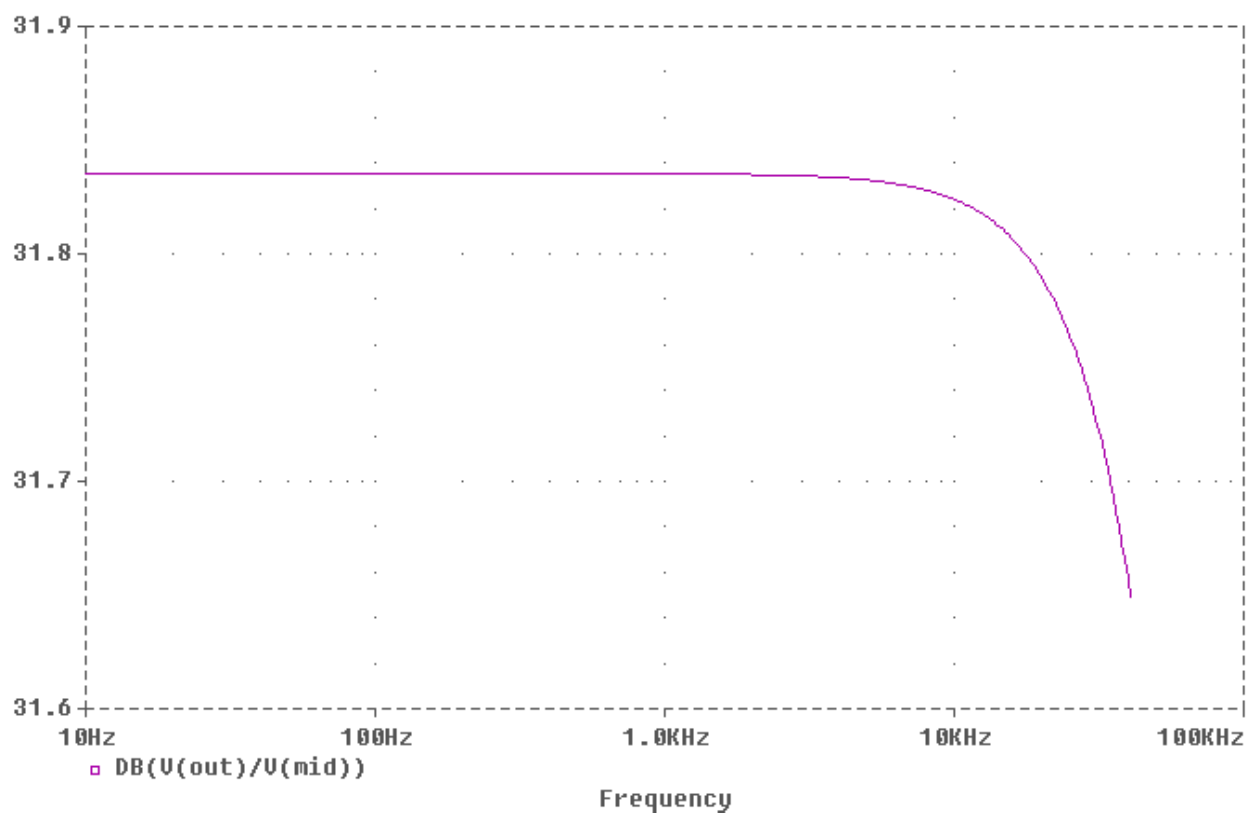


С помощта на Pspice извърших AC Sweep анализ, необходим за получаването на АЧХ и ФЧХ. Получените графики от симулационното тестване имат вида:

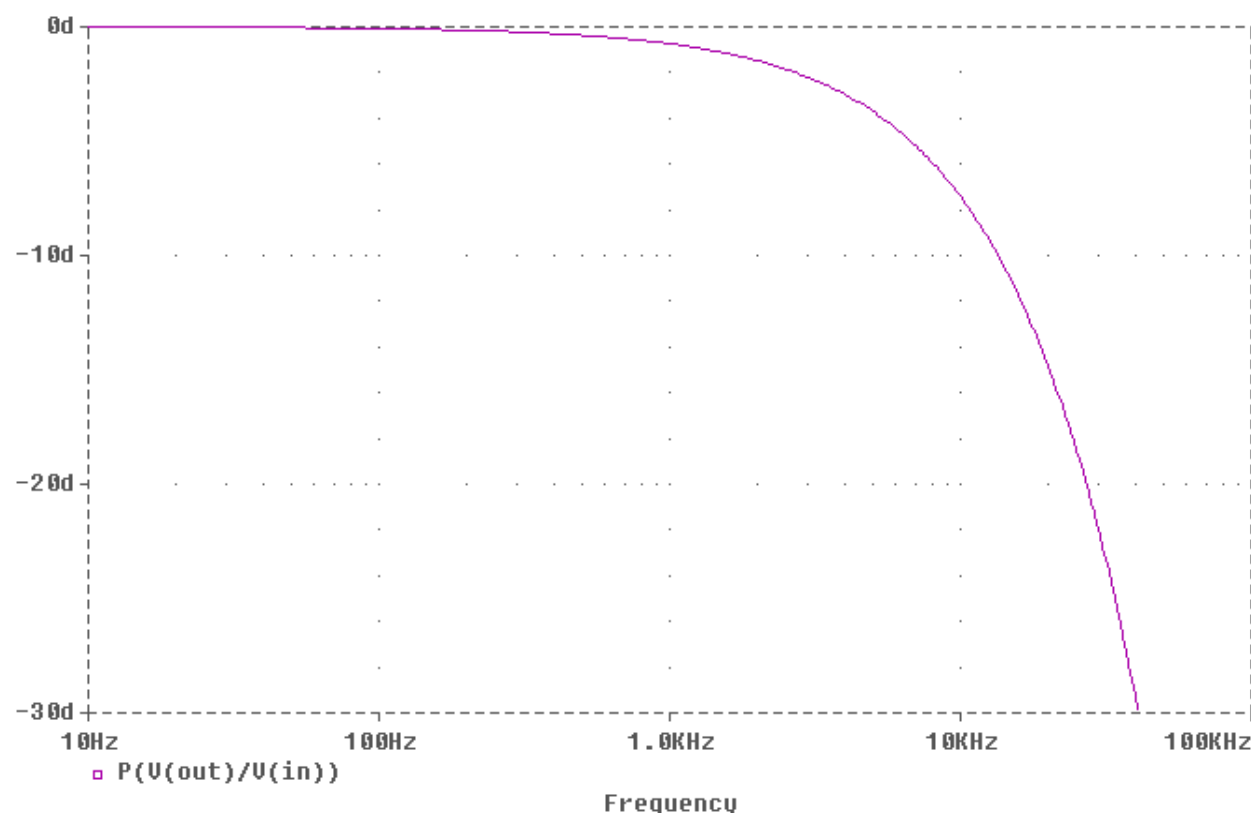
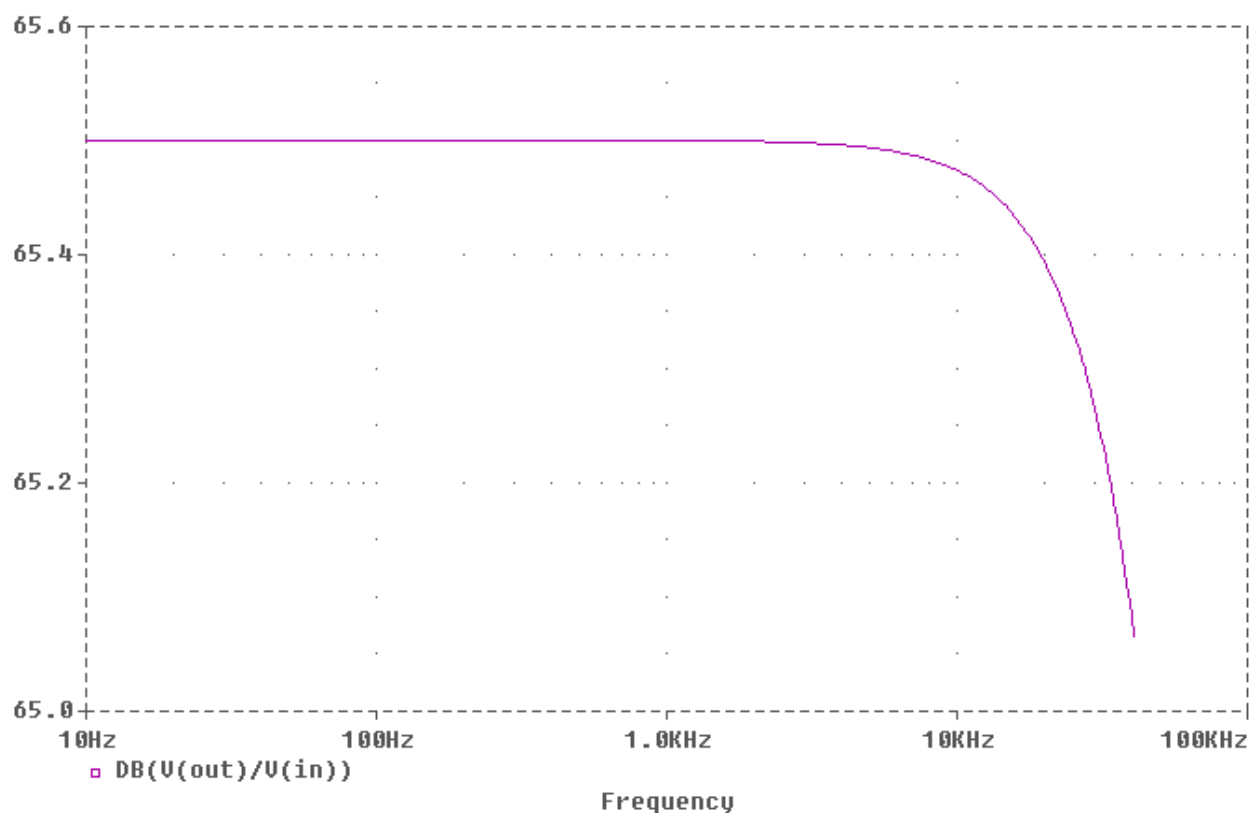
### Първо стъпало:



### Второ стъпало:



За цялото устройство:



## 5. Спецификация

Означение	Наименование	Стойност
U1A, U1B	Прецизен операционен усилвател с ниски нива на шума: OP27E	
R1,R4	Резистор	14,7k $\Omega$
R3,R6	Резистор	15k $\Omega$
R2	Резистор	735k $\Omega$
R4	Резистор	14,7k $\Omega$
R5	Резистор	590k $\Omega$
R7	Резистор	1k $\Omega$
R3A,R6A	Триммер-потенциометър	1k $\Omega$ $\leftrightarrow$ 3k $\Omega$
V1	Източник на напрежение	+15V
V2	Източник на напрежение	-15V
Vin	Източник на ток	1,5mV

## 6. Изводи и резултати

В резултат на извършените до тук изчисления и симулации успяхме да реализираме схема на постояннотоков усилвател, който отговаря на поставените в условието ограничения и изисквания. Грешката е в рамките на допустимата, честотните изкривявания също. От симулацията доказахме също, че усилването наистина е постоянно и непроменено в честотния интервал  $0 - 2\text{kHz}$ . Забелязва се лек спад в усилването, но той е в рамките на грешката и трябва да се отчете, че са взети мерки за намаляване на грешката, чрез потенциометри за настройка на  $R_1$  ;

## **7. Използвана литература**

- "Ръководство за курсово проектиране по електронни аналогови схеми и устройства", "ТЕХНИКА", София, 1993;
- „Електронни аналогови схеми и устройства“, „ТЕХНИКА“, 1994;
- <http://www.analog.com/>
- <http://www.ti.com/>

## Съдържание

1	Задание	стр. 2
2	Проектиране и изчисляване на отделните стъпала и части	стр. 3
3	Изчисляване на общите характеристики и паремтри на устройството	стр. 5
4	Електронна схема и симулационно тестване	стр. 7
5	Спецификация	стр. 11
6	Изводи и резултати	стр. 12
7	Използвана литература	стр. 13