

# ИЗСЛЕДВАНЕ НА СЛОЖЕН ЕМИТЕРЕН ПОВТОРИТЕЛ

## Цел на упражнението:

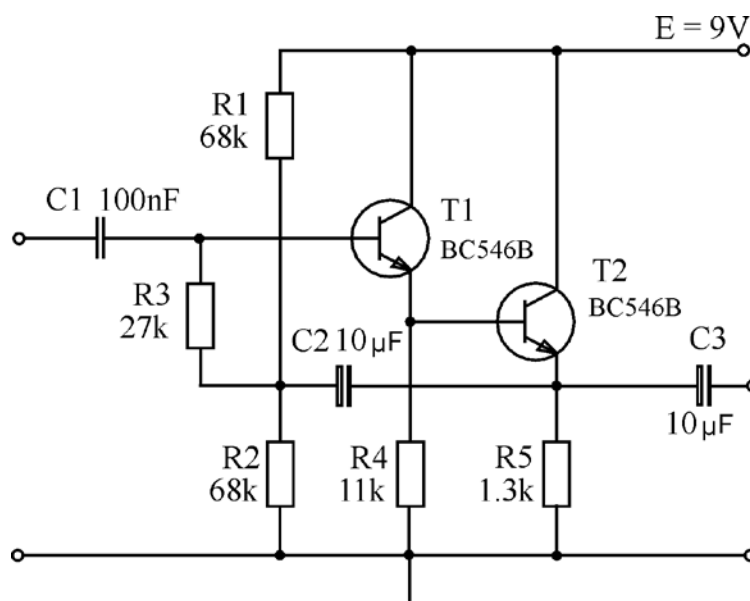
Да се затвърдят и разширят знанията на студентите за емитерния повторител и да се запознаят и усвоят методиката за измерване на входно съпротивление. Да се запознаят с влиянието на обратната връзка върху параметрите на емитерния повторител.

## I. ЗАДАНИЕ

1. Да се извърши анализ на схемата дадена на фиг.1, като се изчислят:
  - а/ постоянните напрежения в базата и емитера, и постоянния емитерен ток на двата транзистора;
  - б/ коефициентът на усилване по напрежение на схемата за два случая:
    - без кондензатора C2 и
    - с кондензатора C2;
  - в/ входното съпротивление на схемата за същите два случая.
2. Да се монтира схемата и да се измерят:
  - а/ потенциалите във възловите точки на схемата
  - б/ коефициентът на усилване по напрежение на схемата за два случая:
    - без кондензатора C2 и
    - с кондензатора C2
  - в/ входното съпротивление на схемата за същите два случая.
3. Да се направи симулация на схемата, като се използват указанията, дадени в т. IV.

## II. Теоретични пояснения

Схемата на фиг.1. е двустъпален усилвател с непосредствена връзка между стъпалата. Двете стъпала работят в схема общ колектор.



Фиг. 1

Постояннотоковият режим на първия транзистор T1 се определя от стойността на захранващото напрежение и стойността на резисторите R1, R2 и R4. Влиянието на резистора R3 върху режима на работа на схемата може да бъде пренебрегнато, тъй като падът върху него, предизвикан от протичащия базов ток, е пренебрежимо малък. Следователно, постоянното напрежение в базата на първия транзистор T1 ще се определя от резисторите R1, R2 и захранващото напрежение E.

Режимът на втория транзистор T2 се определя от потенциала в емитера на първия транзистор T1 и емитерния резистор R5.

**В схемата е въведена обратна връзка по променлив ток посредством кондензатора C2 от изхода на схемата към средната точка на базовия делител. Тази обратна връзка увеличава входното съпротивление на усилвателя за сметка на намаляване на частта на променливия входен ток, протичаща през входния делител.**

### III. Указания за изпълнение на т.1 от заданието.

#### По т. I.1/а.

Постояннотоковият режим на усилвателя се определя като се реши системата уравнения, даваща връзката между стойностите на елементите и захранващото напрежение от една страна и напреженията и токовете от друга. В общия случай решаването на системата уравнения е затруднено, тъй като връзката между напреженията и токовете през транзистора е нелинейна. С цел по-лесно решаване на системата се правят следните опростявания:

- базовите токове на транзисторите се пренебрегват като много малки и се приема, че  $I_{b1} = I_{b2} = 0$ ;

- падът върху емитерния преход и за двата транзистора не зависи от протичащия през него ток и е константна величина -  $U_{be1} = U_{be2} = 0.65V$ .

Последователно се изчисляват потенциала в базата, потенциала в емитера и емитерния ток на транзистора T1, потенциала в емитера и емитерния ток на транзистора T2.

#### По т. I.1/б.

Коефициентът на усилване по напрежение на схемата е произведението от коефициентите на усилване по напрежение на двата транзистора:

$$A_u = A_{u1} \cdot A_{u2} .$$

При определяне на двата коефициента на усилване пренебрегваме h параметрите  $h_{12}$  и  $h_{22}$  като много малки поради това, че усилвателят работи при сравнително ниски честоти.

Коефициентът на усилване на всяко стъпало се определя по формулите:

$$A_{u1} = \frac{R_{\text{тов}T1}}{h_{11bT1} + R_{\text{тов}T1}} \quad A_{u2} = \frac{R_{\text{тов}T2}}{h_{11bT2} + R_{\text{тов}T2}} ,$$

където  $h_{11bT}$  е импеданса на прехода база-емитер на транзистора, а  $R_{\text{тов}T}$  е еквивалентното товарно съпротивление на всяко стъпало.

$$h_{11bT1} = \varphi_T / I_{e1} \text{ и } h_{11bT2} = \varphi_T / I_{e2}, \text{ където } \varphi_T = 25mV$$

**Определяне на коефициента на усилване  $Au_{без\ C2}$ , когато кондензаторът  $C2$  не е свързан.**

Първо се определя коефициентът на усилване  $Au_{2\ без\ C2}$  на втория транзистор  $T2$ , а след това  $Au_{1\ без\ C2}$  на първия транзистор  $T1$ .

Когато кондензаторът  $C2$  не е свързан, товарно съпротивление  $R_{товT2}$  на транзистора  $T2$  се явява резисторът  $R5$ , т.е.  $R_{товT2} = R5$ .

$$\text{Следователно } Au_{2\ без\ C2} = R5 / (h_{11bT2} + R5).$$

Стойността на товарното съпротивление  $R_{товT1}$  на транзистора  $T1$  се определя от паралелното свързване на резистора  $R4$  и входното съпротивление на транзистора  $T2$ :

$$R_{товT1} = R4 \parallel R_{вхT2} .$$

Входното съпротивление на транзистора  $T2$  се определя от формулата:

$$R_{вхT2} = (h_{11bT2} + R_{товT2})(h_{21e} + 1) = (h_{11bT2} + R5)(h_{21e} + 1)$$

Отчитаме  $h_{21e}$  от Приложение 1.

След определяне на  $R_{товT1}$  се изчислява  $Au_{1\ без\ C2}$  и съответно  $Au_{без\ C2}$ .

**Определяне на коефициента на усилване  $Au_{с\ C2}$ , когато кондензаторът  $C2$  е свързан.**

Първо се определя коефициентът на усилване  $Au_{2\ с\ C2}$  на втория транзистор  $T2$ , а след това  $Au_{1\ с\ C2}$  на първия транзистор  $T1$ .

Когато кондензаторът  $C2$  е свързан, еквивалентното товарно съпротивление  $R_{товT2}$  на транзистора  $T2$  се определя от резисторите  $R5$ ,  $R1$  и  $R2$  и от тока, протичащ през резистора  $R3$ , който пренебрегваме като много малък, т.е.

$$R_{товT2} = R5 \parallel R1 \parallel R2 .$$

След определяне на  $R_{товT2}$  се изчислява  $Au_{2\ с\ C2}$ .

Стойността на товарното съпротивление  $R_{товT1}$  на транзистора  $T1$  се определя от паралелното свързване на резистора  $R4$  и входното съпротивление на транзистора  $T2$ :

$$R_{товT1} = R4 \parallel R_{вхT2} .$$

Входното съпротивление на транзистора  $T2$  се определя от формулата:

$$R_{вхT2} = (h_{11bT2} + R_{товT2})(h_{21e} + 1),$$

Отчитаме  $h_{21e}$  от Приложение 1.

След определяне на  $R_{товT1}$  се изчислява  $Au_{1\ с\ C2}$  и съответно  $Au_{с\ C2}$ .

### По т. I.1/в.

За определяне на входното съпротивление на схемата е необходимо да се проследи през кои вериги протича променливият входен ток. Този ток има три компоненти. Едната протича през прехода база-колектор и се определя от еквивалентната проводимост  $h_{22}$ , която приемаме за нула. Втората протича през прехода база-емитер и се определя от еквивалентното входно съпротивление  $R_{вхТ1}$  на транзистора Т1. Третата компонента е токът, протичащ през R3.

**Когато кондензаторът C2 не е свързан** - еквивалентното съпротивление на тази верига се определя от резисторите R3, R1, R2 и  $R_{вхТ1}$  :

$$R_{вх} = \left( \frac{R1 \cdot R2}{R1+R2} + R3 \right) \parallel R_{вхТ1} \approx \frac{R1 \cdot R2}{R1+R2} + R3 ,$$

като е пренебрегнато входното съпротивление  $R_{вхТ1}$  на транзистора Т1, което е много по-голямо.

**При свързан кондензатор C2** - в единия извод на резистора R3 се подава входното напрежение  $U_i$ , а в другия извод на резистора R3 се подава изходното напрежение  $U_o$ .

Входният променлив ток на схемата ще бъде:

$$I_i = h_{22} \cdot U_i + U_i / R_{вхТ1} + (U_i - U_o) / R3,$$

където приемаме  $h_{22} \approx 0$ ,  $R_{вхТ1}$  е входното съпротивление на транзистора Т1 и  $U_o = A_{u \text{ c } C2} \cdot U_i$ .

Следователно входното съпротивление на схемата ще бъде:

$$R_{вх} = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_i}{U_i / R_{вхТ1} + (U_i - A_{u \text{ c } C2} \cdot U_i) / R3} = \frac{U_i}{U_i [ 1 / R_{вхТ1} + (1 - A_{u \text{ c } C2}) / R3]}$$

или

$$R_{вх} = \frac{1}{\frac{1}{R_{вхТ1}} + \frac{1}{R3(1 - A_{u \text{ c } C2})}}$$

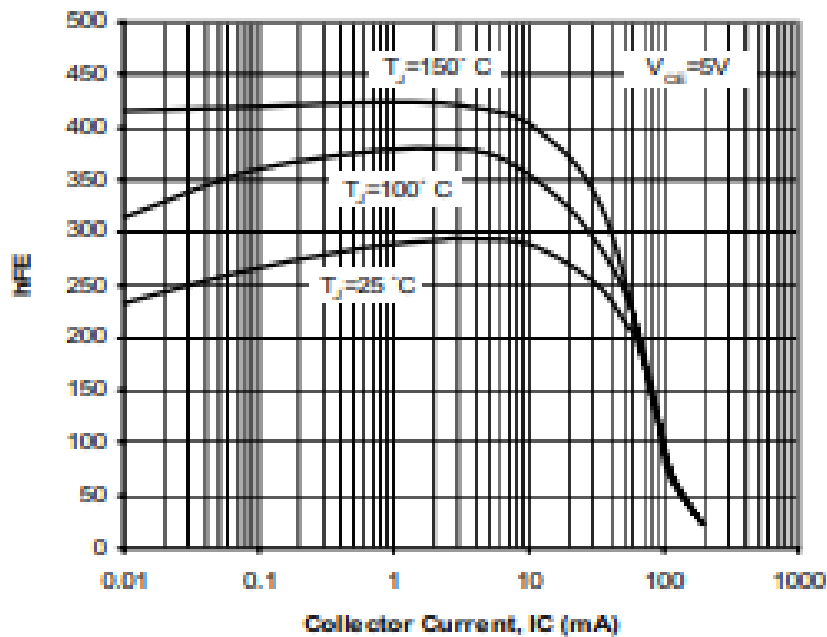
От горния израз се вижда, че въвеждането на обратната връзка посредством кондензатора C2 увеличава входното съпротивление на схемата за сметка на намаляване на тока през резистора R3. Това е еквивалентно на увеличение на стойността на R3. Новата стойност ще бъде съответно:

$$R3' = \frac{R3}{1 - A_{u \text{ c } C2}} .$$

Следователно входното съпротивление на схемата при свързан кондензатор C2 ще бъде:

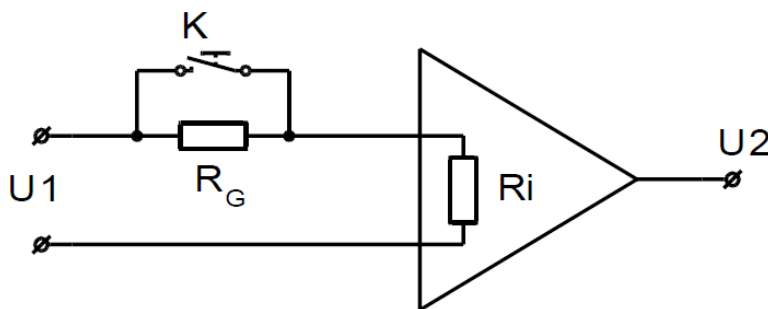
$$R_{вх} = \frac{R_{вхТ1} \cdot R3'}{R_{вхТ1} + R3'} ,$$

където  $R_{вхТ1} = (h_{11bТ1} + R_{товТ1})(h_{21e} + 1)$  и  $R_{товТ1} = R4 \parallel R_{вхТ2}$  е изчислено по-горе.



Приложение 1

Входното съпротивление на усилвателя на практика се измерва с помощта на добавъчен резистор  $R_G$ , който се свързва последователно на входа на изследваната схемата, както е дадено на фиг.2.



фиг. 2

На входа на усилвателя се подава напрежение  $U_1$  с амплитуда 1V и честота 1kHz. Стойността на добавъчния резистор трябва да е от порядъка на теоретично изчислената стойност на входното съпротивление  $R_{вх}$  на схемата.

За случая без кондензатора  $C_2$  се извършват две измервания на изходното напрежение на схемата  $U_2$ :

$U_2'$  - при открит добавъчен резистор  $R_G$  ( $R_G=0\Omega$ ) и

$U_2''$  - с добавъчен резистор  $R_G$ , като  $R_G = 62k\Omega$ .

Връзката между измерените напрежения, стойността на добавъчния резистор  $R_G$  и входното съпротивление на усилвателя  $R_{вх}$  се дава с израза:

$$R_{вх} = \frac{U_2''_{p-p}}{U_2'_{p-p} - U_2''_{p-p}} R_G.$$

За случая с кондензатора C2 аналогично се извършват две измервания на изходното напрежение на схемата U2:

U2' - при окъсен добавъчен резистор RG (RG=0Ω) и

U2'' - с добавъчен резистор RG, като RG = 1000kΩ

и се определя Rвх.

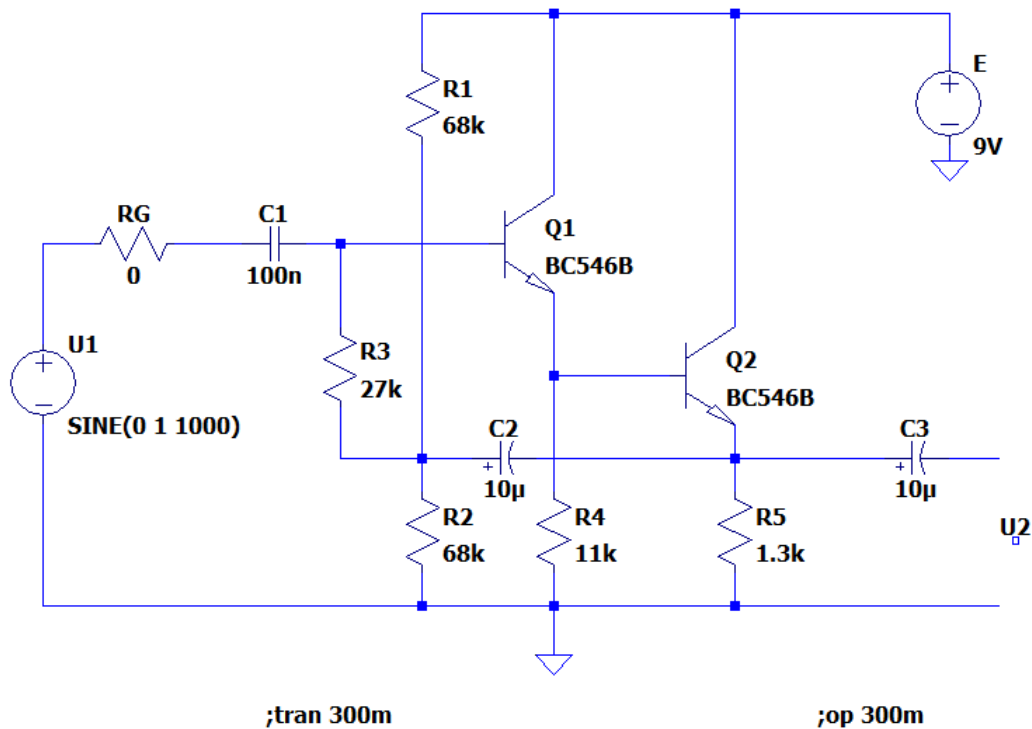
#### IV. Симулации

1. Да се направи постояннотоков анализ и да се определят напреженията в базата и емитера, и емитерният ток на двата транзистора.

2. Да се направи транзитентен анализ и да се определи входното съпротивление на схемата за два случая:

- без кондензатора C2 и
- с кондензатора C2;

При симулациите да се използва примерната схема дадена на фиг.3.



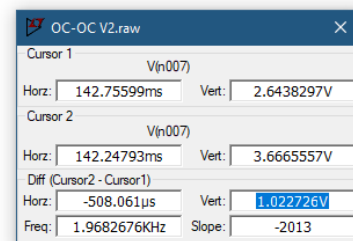
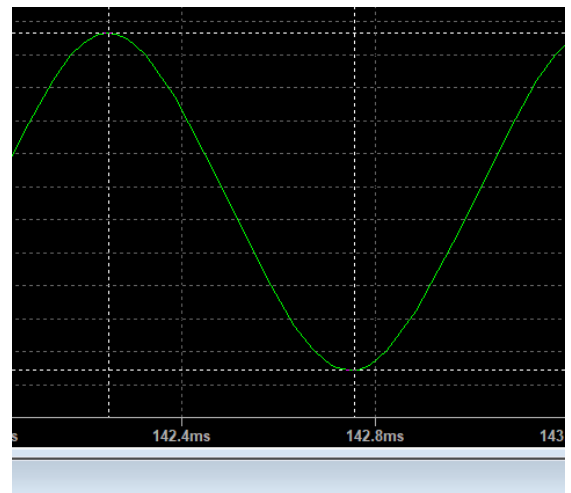
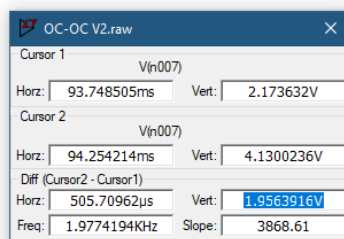
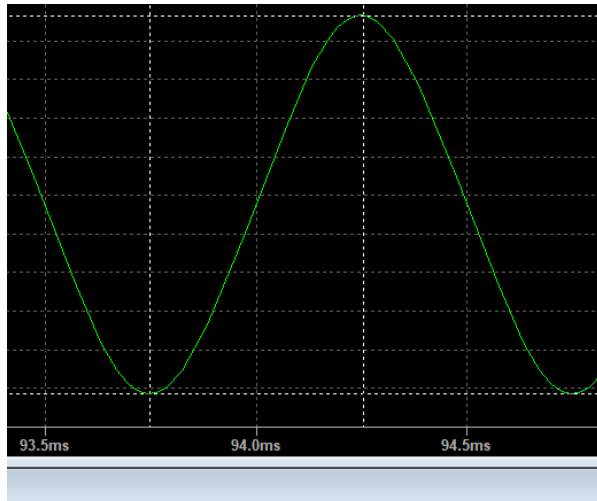
Фиг.3

Да се използват двата курсора за прецизно определяне на напреженията.

Да се сравнят резултатите от теоретичните изчисления и симулациите за:

- постояннотоковия режим на двата транзистора;
- входното съпротивление на схемата за двата случая – без кондензатора C2 и с кондензатора C2.

## Определяне на входното съпротивление $R_{вх}$ при свързан кондензатор $C_2$



$$U_2' = 1.956V \text{ при } R_G = 0\Omega$$

$$U_2'' = 1.022V \text{ при } R_G = 1000k\Omega$$

$$\text{Следователно } R_{вх} = [U_2'' / (U_2' - U_2'')] \cdot R_G = 1,094 \text{ M}\Omega .$$

Аналогично без кондензатора  $C_2$ .