

## ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРОННО УСИЛВАТЕЛНО СЪПЛАЛО

## Цел на упражнението:

Да се затвърдят знанията за RC - усилвателно съпало и да се усвои методиката за измерване на постоянни напрежения и коефициент на усилване по напрежение.

## 1. ЗАДАНИЕ

1. Да се извърши анализ на схемата, дадена на фиг.2.1, като се изчислят:

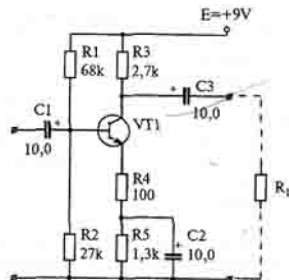
- постояннотоковият режим на транзистора;
- коефициентът на усилване по напрежение на съпалото за три случая:
  - без обратна връзка по променлив ток  $R_4 = 0$ ,
  - с обратна връзка по променлив ток  $R_4 = 100\Omega$ ,
  - с дълбока обратна връзка по променлив ток - без  $C_2$ .

2. Да се монтира схемата.

3. Да се измерят:

а/ захранващото напрежение и потенциалите в емитера, базата и колектора на транзистора. Да се направи оценка за точността на измерването, като се има предвид, че съпротивлението на мултицетата е  $5 \text{ k}\Omega/\text{V}$ ;

б/ коефициентът на усилване по напрежение на съпалото за трите случая

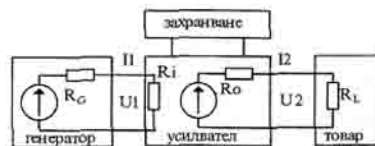


фиг. 2.1

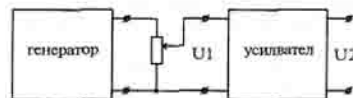
## II. Теоретични пояснения

Под усилвател се разбира устройство, в което маломощен входен сигнал управлява предаването на значително по-голяма енергия от захранващия източник в товара, присъединен към изхода на усилвателя. При това изходната мощност е напрекъсната функция на входния сигнал. При електронните усилватели се управлява електрическа енергия с помощта на електронни лампи или полупроводникови прибори. Напрежителните трансформатори не могат да се разглеждат като усилватели тъй като изходната енергия е равна на входната минус загубите в трансформатора. Следователно изходната енергия е равна или по-малка от входната, а при усилвателите тя е минимум няколко пъти по-голяма от входната.

Схемата на свързване при използването на даден усилвател е показана на фиг. 2.2.



фиг. 2.2



фиг. 2.3

Към усилвателя са присъединени следните три блока: захранване, източник на входен сигнал - генератор с вътрешно съпротивление  $R_G$  и товар - товарно съпротивление  $R_L$ . Всеки един от тези три блока е свързан с усилвателя минимум с два проводника. Често единият от проводниците е общ за трите блока.

Входната верига на усилвателя се характеризира с входен ток, входно напрежение и входно съпротивление, а изходната верига с изходен ток, изходно напрежение и изходно съпротивление.

В зависимост от съотношението между стойностите на изходното съпротивление на източника на входен сигнал и входното съпротивление на усилвателя, източникът на входен сигнал може да разглеждаме като генератор на напрежение /ако  $R_G \ll R_i$ / и като генератор на ток /ако  $R_G \gg R_i$ /.

Връзката между входните и изходните токове и напрежения се описва с коефициента на усилване. Дефинират се следните коефициенти:

а/ коефициент на усилване по напрежение  $A_u = U_2/U_1$ ;

б/ коефициент на усилване по ток  $A_i = I_2/I_1$ ;

в/ коефициент на усилване по мощност  $A_p = P_2/P_1 = A_i \cdot A_u$ .

Стойностите на отделните коефициенти на усилване се определят от стойностите на параметрите на използваните пасивни и активни елементи.

При средни честоти за определянето на коефициента на усилване по напрежение на елементарно RC-усилвателно стъпало /фиг.2.1/ се използват следните зависимости:

$$A_{ue} = \frac{Y_{21e} \cdot R_c}{1 + Y_{21e} \cdot R_e} = \frac{R_c}{h_{11b} + R_e} = \frac{h_{21e} \cdot R_c}{h_{11e} + h_{21e} \cdot R_e}$$

*h<sub>11b</sub> =  $\frac{h_{21e}}{I_e} = \frac{0,021V}{I_e}$*

При средни честоти се предполага, че кондензаторите имат много малко съпротивление за променлив ток, а дроселите /бобините/ имат безкрайно голямо съпротивление. Тогава в еквивалентната схема може да считаме, че двата извода на кондензаторите са далени нахъсо, а между двата извода на дроселите /бобините/ липсва връзка.

От горното за схемата на фиг.2.1 следва:

$$R_c = R_3 \parallel R_o = \frac{R_3 R_o}{R_3 + R_o}$$

$$R_e = R_4$$

Четириполносните параметри на използвания транзистор  $Y_{21e}$ ,  $h_{21e}$ ,  $h_{11e}$ ,  $h_{11b}$  зависят от постояннотоковия режим на използвания транзистор и за дадена конкретна схема са еднозначно определени.

Следователно, за да могат да се определят четириполносните параметри на транзистора е необходимо да се знае неговият постояннотоков режим. Режимът на транзистора се задава чрез стойността на захранващото напрежение и чрез стойностите на съпротивленията на използваните резистори. За да бъде определен, е необходимо да се състави и реши система от уравнения, включваща като неизвестни величини напреженията и токовете, протичащи през транзистора.

$$U_{cc} = R_1 \cdot (I_b + \frac{U_b}{R_2}) + U_b$$

$$U_b = U_{be} + I_e \cdot (R_4 + R_5)$$

$$U_{ce} = U_{cc} - R_3 \cdot I_c - (R_4 + R_5) \cdot I_e$$

$$I_c = h_{21e} \cdot I_b$$

$$I_e = I_b + I_c = (h_{21e} + 1) \cdot I_b$$

където  $U_{cc}$  е захранващото напрежение на схемата,  $U_b$ ,  $U_c$ ,  $U_e$  - потенциалите в базата, колектора и емитера  $I_b$ ,  $I_c$ ,  $I_e$  - токът, протичащ през съответния извод,  $U_{ce}$ ,  $U_{be}$  - падът върху транзистора между съответните изводи.

От решението на горните уравнения трябва да се определят токът през колекторния преход  $I_c$  и падът между емитера и колектора  $U_{ce}$ . Тези две стойности определят постояннотоковия режим, а той от своя страна определя стойностите на четириполносните параметри.

Решаването на системата уравнения е трудно поради участващите величини, които са нелинейни функции на други величини. Например:

- падът между емитера и базата на транзистора е нелинейна функция на базовия ток и на емитерния ток, а

- коефициентът на усилване по ток  $h_{21e}$  е нелинейна функция на колекторния ток  $I_c$ .

Уравненията успешно се решават чрез метода на последователните приближения. При първото приближение се извършват следните допускания:

а/ токът през базовия преход на използвания транзистор е нула  
б/ падът между емитера и базата на силициевии транзистори е 0.6V, а на германиеви транзистори е 0.3V;

в/ статичният коефициент на усилване по ток на транзистора в схема ОЕ -  $h_{21e}$  е константна величина и е равна на типовата стойност на динамичния коефициент на усилване по ток.

Горните допускания позволяват системата уравнения да бъде решена лесно и бързо.

За второто приближение се използват резултатите от първото решение на системата. За получените стойности на тока  $I_c$  и на напрежението  $U_{ce}$  от първото решение се определят типовите входни и изходни характеристики на транзистора  $U_{be}$ ,  $h_{21e}$ ,  $I_b$  и последните се заместят в системата уравнения. Решава се повторно системата.

По получените нови стойности на тока  $I_c$  и напрежението  $U_{ce}$  се определят  $U_{be}$ ,  $h_{21e}$ ,  $I_b$ , заместят се в уравненията и т.н., докато решенията на две последователни приближения на системата уравнения не се различават помежду си с една предварително зададена точност.

Като се има предвид, че параметрите на различни транзистори от даден тип се различават в границите на 15-20%, то търсенето на решение с много малка грешка не е оправдано. На практика още първото приближение на системата уравнения дава едно решение за колекторния ток и колекторните напрежения със задоволителна точност от порядъка на 10%.

Прието по-горе положение, че точност от порядъка на 10-15% е напълно достатъчна, позволява при анализиране на дадена схема при ниски честоти за определяне на четириполюсните параметри да не се използват типовите характеристики на използвания транзистор или определените предварително чрез измерване зависимости на параметрите от режима, а доказаните в теорията на полупроводниковите прибори и теория на електронните схеми аналитични зависимости и някои допускания. Като се има предвид горното, и че схемата работи при сравнително ниски честоти, за определяне на четириполюсните параметри на транзистора приемаме следното:

$$1. h_{11b} = \frac{\varphi_T}{I_c}; \quad \varphi_T = 0.025V$$

$$2. h_{21e} = h_{21E} = \text{const} \gg 1$$

$$3. h_{22e} = h_{12e} = 0$$

От това следва:

$$Y_{21e} = \frac{h_{21e}}{h_{11e}} = \frac{h_{21e}}{h_{11b}(h_{21e}+1)} = \frac{I_c}{\varphi_T} = 40 \cdot I_c \text{ [mA/V]},$$

където  $I_c$  е в [mA].

### III. Указания за изпълнение на задачите

1. Захранващото напрежение и потенциалите в емитера, базата и колектора на транзистора се измерват с помощта на мултицет - комбиниран измервателен прибор за измерване на постоянни и променливи токове и напрежение и активно съпротивление. При измерване на напреженията се изисква измервателният прибор да има безкрайно голямо вътрешно съпротивление. Ако това не се спази, се получава грешка при измерването, която се определя с израза:

$$\delta = \frac{R_v}{R_v + R_c}$$

където:

-  $R_c$  е еквивалентното съпротивление на схемата по постоянни ток между точките, а които е свързан волтметърът. За всяко измерване еквивалентното съпротивление на схемата е различно;

-  $R_v$  е вътрешното съпротивление на волтметъра и се определя с израза:

$$R_v = R_x \cdot U_{\text{max}}$$

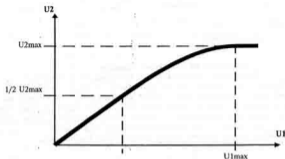
където  $R_x$ [k $\Omega$ /V] е характеристичното съпротивление на волтметъра, а  $U_{\text{max}}$ [V] е стойността на измервателния обхват, на който се ползва волтметъра.

2. Коефициентът на усилване по напрежение се измерва като отношение между изходното  $U_2$  и входното  $U_1$  напрежения:

$$A_u = \frac{U_2}{U_1}$$

Реализира се постановката на фиг. 2.3.

Зависимостта между изходното и входното променливи напрежения - предавателната /амплитудна/ характеристика на усилвателя - има вида, даден на фиг.2.4.



фиг. 2.4.

При много големи стойности на входното напрежение усилвателя работи в нелинейните области на предавателната характеристика /транзисторът излиза от активен режим/ и амплитудата на изходното напрежение се ограничават. Измерването на коефициента на усилване по напрежение трябва да се извършва в линейната област на предавателната характеристика. Желателно е това да стане с възможните най-малки амплитуди на входното напрежение. Поради ограничената чувствителност на измервателните уреди се работи със стойности, които могат да бъдат измерени. Допустимата стойност на изходното напрежение, която все още се намира в линейната област на предавателната характеристика ще се определи като половината от максималното напрежение, което може да се получи на изхода.

Постъпваме по следния начин:

- подаваме входно напрежение с голяма амплитуда така, че усилвателят да излезе от активен режим. Определяме стойността на изходното напрежение от връх до връх;

- намаляваме стойността на входното напрежение, докато на изхода се получи напрежение с размах, два пъти по-малък от максималния. Отчитаме стойностите на двете напрежения и ги

заменяме във формулата за определяне на коефициента на усилване по напрежение.

Напреженията е удобно да се измерват, като се отчита стойността от връх до връх.

Измерването на променливите напрежения се извършва с помощта на осцилоскоп, като се ползва калибрираният вертикален усилвател. Чувствителността на осцилоскопа по оста Y може да се регулира плавно и стъпално:

- копчето за регулиране на чувствителността "усилване Y" се поставя в положение "кал.;"
- копчето за стъпално изменение на чувствителността - на положение съобразно нуждите.

#### IV. Контролни въпроси:

1. Как се определя коефициентът на усилване по напрежение в схема OE?
2. Какво е влиянието на режима върху четириполосните параметри на транзистора?
3. Какво е влиянието на стойността на резистора R4 върху коефициента на усилване по напрежение?
4. Каква е връзката между постояннотоковия режим и четириполосните параметри  $h_{11e}$  и  $h_{21e}$ ?
5. Как се измерва коефициентът на усилване по напрежение?

#### V. Литература:

1. Златаров В., Електронни усилватели и генератори, Техника, 1979, София
2. Стоянов И., Измервания в електрониката и изчислителната техника, Техника, С., 1987