

Лабораторно упражнение № 4

Изследване на нелинейно резонансно усилване и умножение на честотата

1. Цели на упражнението

След провеждането на това упражнение вие трябва да можете:

1.1. Да реализирате и изследвате нелинеен резонансен усилвател при големи амплитуди на входния сигнал.

1.2. Да определяте амплитудите на хармоничните съставлящи съдържащи се в импулса на колекторния ток.

1.3. Да използвате нелинейния резонансен усилвател като умножител на честота.

2. Литература

Койчев К., С. Садинов, Сигнали и системи, Алма Матер Интер., 2010

Койчев К. Теория на сигналите, ТУ Габрово, 1998

Ненов Г., С. Захариева. Основи на радиоелектрониката, Техн., С. 1989

3. Необходими уреди

- Лабораторен макет, осцилоскоп, нискочестотен генератор, постояннотоков волтметър

4. Теоретична обосновка

В радиопредавателната техника голямо приложение намират резонансните усилватели на мощност. Характерна особеност е работата им при големи амплитуди на входното напрежение, в резултата на което, е задължително да се взема в предвид нелинейността на волт-амперната характеристика на активния прибор.

На фиг.1,а е показана схемата на едностъпален транзисторен усилвател с товар, във вид на паралелен трептящ кръг, който е настроен на честотата на входния сигнал $\omega_{\text{рез}} = \omega_0$. На входа на усилвателя се подава напрежение $u_{\text{вх}}(t) = U_{\text{в0}} + U_{\text{мвх}} \cos \omega_0 t$, където $U_{\text{в0}}$ е преднапрежението на прибора.

Характеристиката на транзистора $i_c = f(U_{\text{вЕ}})$ е апроксимирана с отрезки от прави линии (фиг.1,б). Токът в колекторната верига ще има форма на отсечени косинусоидални импулси (фиг.1,в). Тези импулси имат сложен спектрален състав, но съществена роля за работата на усилвателя има само първата хармонична на тока $I_1 \cos \omega_0 t$ (фиг.1,г), честотата на която, съвпада с резонансната честота на трептящия кръг в резултат на което, върху него ще се отложи спад на напрежение с амплитуда

$$U_{\text{мизх}} = I_1 R_e, \quad (1)$$

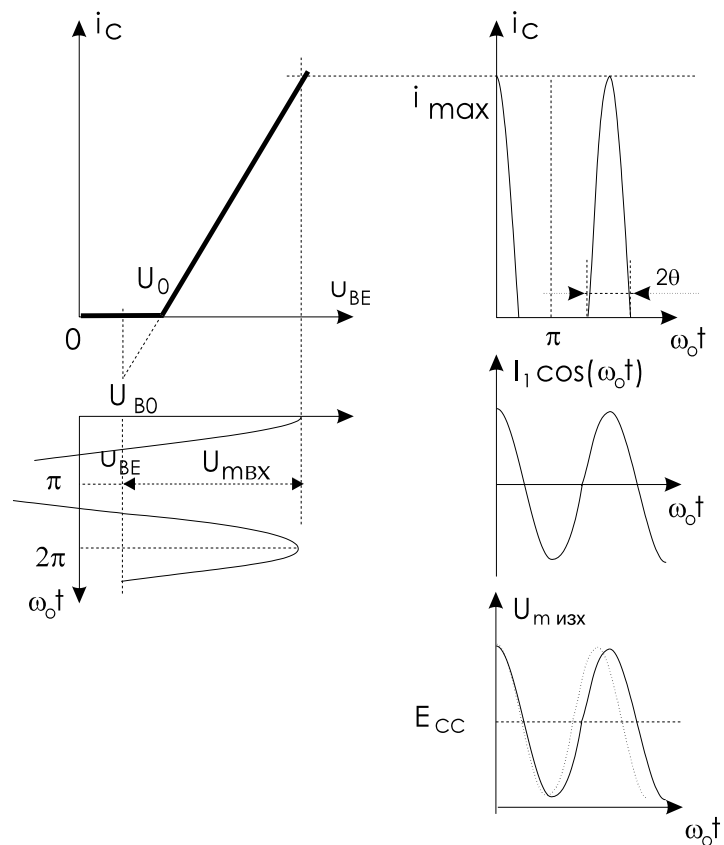
където I_1 е амплитудата на първата хармонична на колекторния ток, а $R_{\text{екв}}$ е еквивалентното съпротивление на трептящия кръг.

За определяне на параметрите на сигнали от вида на фиг. 1в се въвежда специален параметър - ъгъл на отсечката на тока Θ определен от съотношението

$$\cos \Theta = \frac{U_0 - U_{\text{в0}}}{U_{\text{ма0}}}, \quad (2)$$

поради което ъгъл Θ изразен в градуси или радиани представлява половината от продължителността изходния импулс на тока.

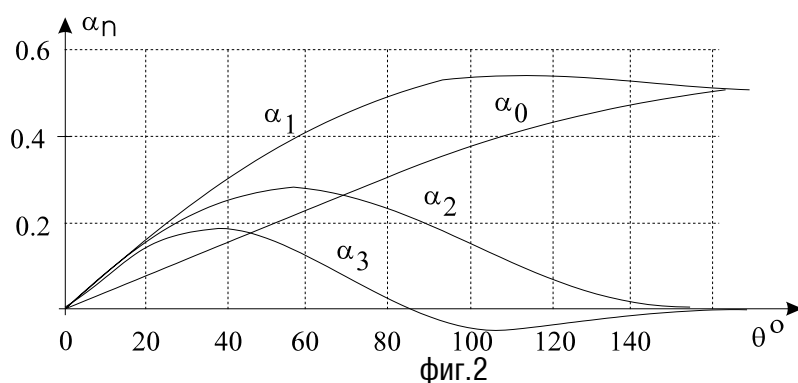
В (2) U_0 е големината на запушващото напрежение на транзистора.



фиг. 1

Постоянната съставляща и амплитудите на тока се изчисляват по формулите:

$$I_0 = S U_{\text{мвх}} \alpha_0(\Theta), \quad I_1 = S U_{\text{мвх}} \alpha_1(\Theta), \quad \dots \quad I_n = S U_{\text{мвх}} \alpha_n(\Theta), \quad (3), (4)$$



фиг.2

където S е стръм-ността на волт-ампер-ната характеристика на използвания прибор а $\alpha_n(\Theta)$ са коефициентите на Берг, които се определят аналитично, или от таблици или графики. На фиг.2 са показани графиките на $\alpha_0(\Theta)$, $\alpha_1(\Theta)$ и $\alpha_2(\Theta)$.

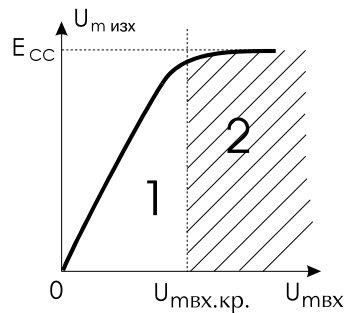
Замествайки в (1) с (4) се получава

$$U_{\text{мизх}} = S R_e U_{\text{мвх}} \alpha_1(\Theta). \quad (5)$$

Зависимостта $U_{\text{мизх}} = f(U_{\text{мвх}})$ произтичаща от(5) се нарича колебателна характеристика на усилвателя .

Естествено изискване към колебателната характеристика е нейната линейност, което е особено важно при усилване на амплитудно-модулирани сигнали.

Не е трудно да се забележи от (5), че колебателната характеристика в общия случай е нелинейна, тъй като ъгъл Θ , а следователно и функцията на Берг $\alpha_1(\Theta)$ зависи от амплитудата на възбуждащото напрежение $U_{\text{мвх}}$. Изключение прави случая, когато $\Theta=90^\circ$.



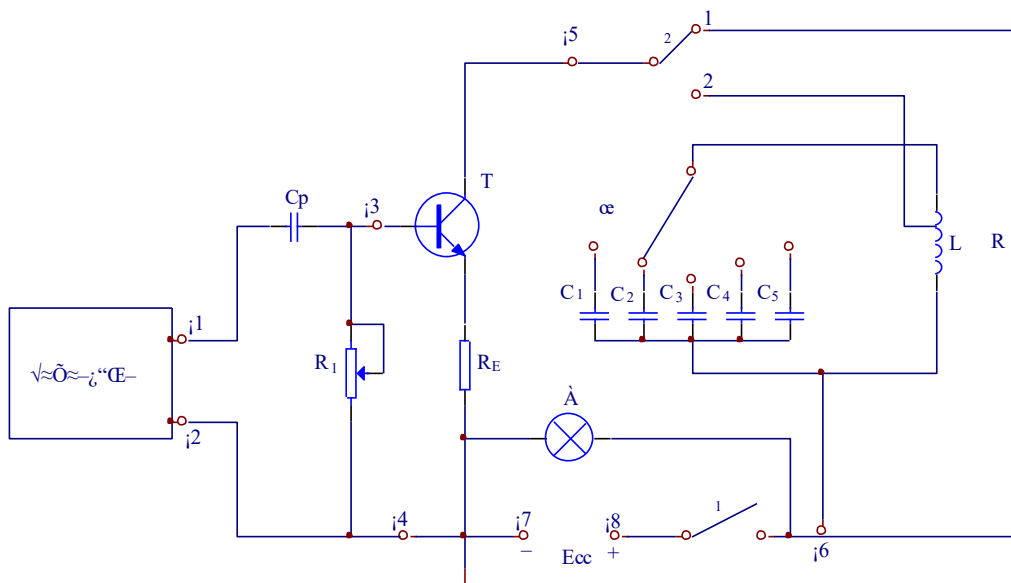
Фиг.3

Важен параметър на колебателната характеристика е широчината на нейния нелинеен участък, което определя динамичния диапазон на усилваните сигнали. Ограничаването на широчината и се определя от това, че при някаква критична стойност на амплитудата на входния сигнал $U_{mвх.кр.}$ (фиг.3) колебателното напрежение върху кръга става по големина близко до захранващото напрежение E_{cc} . По нататъшното увеличаване на амплитудата върху кръга става невъзможно, тъй като в определени моменти от времето моментните стойности на напрежението върху колектора на транзистора преминават през нулата. В този случай нормално запущения колекторен преход се отпущва и по веригата колектор-база-източник на сигнал-захранващ източник се извършва рязко шунтиране на колебателната система на усилвателя.

Такъв режим, при който $U_{mвх} > U_{mвх.кр.}$ се нарича пренапрегнат режим- площта 2 от фиг.3. Този режим, за разлика от ненапрегнатия режим- площта 1 от фиг.3 е непригоден за усилване на амплитудно-модулирани сигнали. Намалявайки обаче напрежението E_{cc} , резонансният усилвател може да се въведе в пренапрегнат режим превръщайки го в амплитуден ограничител на квазихармонични колебания-устройство ликвидиращо паразитната амплитудна модулация на честотно и фазово модулирани сигнали.

Схемата на лабораторния макет за изследване на нелинейно резонансно усилване при голяма амплитуда на входния сигнал и умножение на честотата е показана на фиг.4.

С ключът K_2 се превключва товара в колекторната верига на транзистора: в положение „1“ се



фиг.4

включва активно съпротивление $R=1k\Omega$, в положение „2“ паралелен трептящ кръг. Превключвателят П позволява да се установяват различни стойности на кондензатора в трептящия кръг: $C_1=6,8nF$; $C_2=4,7nF$; $C_3=3,3nF$; $C_4=2,2nF$; $C_5=1,5nF$. Големината на индуктивността е $L=2mH$.

Чрез клемите B_3 и B_4 е възможно измерването на U_{B0} , а чрез B_4 и B_5 включването на осцилоскоп (или високочестотен волтметър) в колекторната верига на транзистора. При включване на осцилоскоп (или високочестотен волтметър) към клемите B_5 и B_6 може да се измери напрежението върху трептящия кръг $U_{mизх}$ а чрез ключа K_1 се включва захранването на макета.

5.Задачи за изпълнение

5.1.За една от стойностите на кръговия капацитет (кондензаторите C_1-C_5) от фиг.4 и като се има в предвид, че големината на индуктивността е $L=2mH$ а нейното активно съпротивление е $13,5 \Omega$ да се изчислят:

а) собствената резонансна честота на кръга $f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$. (6)

б) еквивалентното съпротивление на трептящия кръг $R_e = \rho Q = \sqrt{\frac{L}{C}} \frac{\omega L}{R}$. (7)

в) амплитудата на входния сигнал $U_{\text{твх}}$ (формула 2) съответстващ на зададен ъгъл на отсечката Θ и зададено преднапрежение U_{B0} за следните случаи:

1) $\Theta = 180^\circ$, $U_{B0} = 0,8 \text{ V}$; 2) $\Theta = 120^\circ$, $U_{B0} = 0,8 \text{ V}$; 3) $\Theta = 60^\circ$, $U_{B0} = 0,4 \text{ V}$

при положение, че $U_0 = 0,6 \text{ V}$

г) амплитудата на изходния сигнал $U_{\text{тизх}}$ (формула 5) за $\alpha_1(\Theta) = 180^\circ; 120^\circ; 90^\circ; 60^\circ$. Стойностите на $\alpha_1(\Theta)$ могат да се определят от графиките на фиг. 2 а $S = 0,3 \text{ mA/V}$ и $U_0 = 0,6 \text{ V}$ за използвания в случая транзистор (КТ315).

Получените резултати да се нанесат в табл. 1.

5.2. Да се включи генератора към клеми B_1 и B_2 , волтметъра към клеми B_3 и B_4 и осцилоскоп B_5 и B_6 . Към клеми B_7 и B_8 , посредством ключа K_1 се включва захранващо напрежение $E_{cc} = 8 \text{ V}$.

Ключът K_2 да се постави в положение „1“. В този случай транзисторът работи като апериодичен усилвател. Честотата на генератора да се установи съгласно изчисленията в т. 5.1 а като амплитудата му не превишава 1 V .

Променяйки амплитудата на изходното напрежение на генератора да се установи такъв режим, при който върху екрана на осцилоскопа да се наблюдават импулси съответстващи на ъгли на отсечка Θ както следва:

а) $\Theta = 180^\circ$, $U_{B0} = 0,8 \text{ V}$; б) $\Theta = 120^\circ$, $U_{B0} = 0,8 \text{ V}$;
в) $\Theta = 90^\circ$, $U_{B0} = 0,6 \text{ V}$; г) $\Theta = 60^\circ$, $U_{B0} = 0,4 \text{ V}$;

Пречертайте на фиг. 5 от екрана на осцилоскопа импулсите за съответните ъгли на отсечката.

Ключът K_2 да се постави в положение „2“. В този случай ще бъде включен за товар трептящия кръг. Хармоничният сигнал, който ще наблюдавате върху екрана на осцилоскопа ще представлява първата хармонична на изходното напрежение за съответния ъгъл Θ и U_{B0} . Нанесете стойностите на тези амплитуди в табл. 2.

5.3. Да се снимат три колебателни характеристики $U_{\text{тизх}} = f(U_{\text{твх}})$ при $U_{B0} = 0,8 \text{ V}; 0,6 \text{ V}; 0,4 \text{ V}$.

В този случай ключът K_2 остава в положение „2“. Амплитудата на изходното напрежение на генератора да се променя от $0,2 \text{ V}$ до стойността при която напрежението върху трептящия кръг $U_{\text{тизх}}$ остане непроменено.

Амплитудата на входното и изходното напрежение може да се отчита с осцилоскоп или високочестотен волтметър. В последния случай да се има в предвид, че волтметъра ще показва ефективните стойности на измерваните напрежения. Получените експериментални резултати да се нанесат в табл. 3. Графиките да се построят на фиг. 5, като от тях се отчете стойността на $U_{\text{твхкр}}$ при която настъпва напрегнат режим.

Въпроси и задачи за самопроверка:

1. Как зависи ъгълът на отсечка на колекторния ток от преднапрежението и амплитудата на входния сигнал ?

.....
.....
.....
.....

2. Как се определя напрегнатостта на режима на нелинейния резонансен усилвател ?

.....
.....
.....
.....

3. Обяснете зависимостта на режима на работа на нелинейния резонансен усилвател от захранващото напрежение.

.....
.....
.....

.....

.....

4.Как трябва да се избира ъгъла на отсечка на колекторния ток в умножителя на честота при следния вид на работа.

- а) с постоянна големина на импулса на колекторния ток ?
- б) с постоянна амплитуда на входния сигнал ?

.....

.....

.....

.....

5.Как може да се обясни, че при един и същ ъгъл на отсечката в режим на удвояване на честотата к.п.д. е по-нисък отколкото в режим на усилване ?

.....

.....

.....

.....

6.Защо не се използва висока кратност на умножение на честотата ?

.....

.....

.....

.....

7.Какви са енергетичните предимства на режима с отсечка на тока ?

.....

.....

.....

.....