

### Задача 3

Амплитудный модулятор состоит из нелинейного элемента (транзистора) с проходной ВАХ (зависимость  $i_k$  от  $U_d$ ) вида:

$$i_k = \begin{cases} S(U_d - U_{\text{отс}}) & \text{if } U_d \geq U_{\text{отс}}; \\ 0 & \text{if } U_d < U_{\text{отс}} \end{cases} \quad (3.1)$$

где

$i_k$  - ток коллектора транзистора;

$U_d$  - напряжение на базе транзистора;

$S$  - крутизна характеристики;

$U_{\text{отс}}$  - напряжение отсечки;

и идеального полосового фильтра (параллельного колебательного контура), настроенного на частоту несущей  $\omega_0$ , имеющего сопротивление  $R_{\text{св}} = 10 \text{ Ком}$ .

На вход модулятора подано напряжение:

$$U = E_0 + U_{\Omega} \cos \Omega t + U_0 \cos \omega_0 t. \quad (3.2)$$

Значения крутизны  $S$ , напряжения отсечки  $U_{\text{отс}}$  и амплитуды высокочастотного сигнала  $U_0$

$U_m, \text{В}$	0.50	$U_{\text{отс}}$	0.75
$S, \text{mA/V}$	90	$U_0$	0.8

1 Объяснить назначение модуляции. Пояснить принцип разных видов модуляции: АМ, ЧМ, ФМ.

2 Привести схему транзисторного амплитудного модулятора с базовой модуляцией. Объяснить принцип работы модулятора. Графически проиллюстрировать работу модулятора. Для этого показать временные диаграммы напряжений на входе модулятора, коллекторного тока и напряжения на выходе полосового фильтра (без указания масштаба).

3 Рассчитать и построить статическую модуляционную характеристику модулятора (СМХ) при аппроксимации проходной ВАХ транзистора выражением (3.1).

4 Выбрать по рассчитанной статической модуляционной характеристике параметры рабочего режима модулятора, обеспечивающего наименьшие искажения АМ-сигнала. Для этого определить оптимальное смещение  $E_0$ , допустимую величину амплитуды  $U_{\Omega}$  модулирующего напряжения  $U_{\Omega} \cos \Omega t$ , соответствующие неискаженной модуляции. По найденным значениям и заданной величине амплитуды несущей  $U_0$  рассчитать коэффициент глубины амплитудной модуляции  $M$ .

5 Изобразить спектральные диаграммы коллекторного тока и напряжения АМ-сигнала на нагрузке модулятора.

### Указания к задаче 3

Для выполнения п.3-4 задачи 3 следует ознакомиться с методом угла отсечки, изложенном в [3], [4].

Статической модуляционной характеристикой (СМХ) модулятора называется зависимость первой гармоники коллекторного тока  $I_{к1}$  от напряжения смещения на базе транзистора

$$I_{к1} = \varphi(E_d)$$

при постоянной амплитуде высокочастотного колебания  $U_0 - \text{const}$ .

Поскольку транзистор модулятора работает в режиме отсечки, то ток коллектора имеет форму импульсов с амплитудой  $I_{км}$  и углом отсечки  $\theta$  с богатым спектральным составом. Резонансный контур в цепи коллектора, выполняющий роль нагрузки, выделяет только первую гармонику коллекторного тока  $I_{к1}$ .

Амплитуду первой гармоники коллекторного тока  $I_1$  можно найти как:

$$I_1 = I_m \gamma_1(\theta), \quad (3.3)$$

где  $\gamma_1(\theta)$  - коэффициент разложения первой гармоники коллекторного тока, являющийся функцией угла отсечки (коэффициент Берга). Он рассчитывается из соотношения

$$\gamma_1(\theta) = 1 / \pi (\theta - \sin \theta \cos \theta) \quad (3.4)$$

Здесь  $\theta$  измеряется в радианах и связан со смещением на базе транзистора  $E_b$ , напряжением отсечки и амплитудой несущего колебания  $U_0$  соотношением

$$\cos \theta = (U_{тог} - E_d) / U_0 \quad (3.5)$$

Таким образом, расчет СМХ производится в следующей последовательности:

- задаются смещением на базе транзистора  $E_b$  в пределах от  $E_{d1} = U_{тог} + U_0$ , (что соответствует углу отсечки  $\theta = 0^\circ$ ) до  $E_{d2} = U_{тог} + U_0$ , (что соответствует углу отсечки  $\theta = 180^\circ$ );
- для выбранных значений  $E_b$  рассчитывается величина угла отсечки  $\theta$  и функция Берга  $\gamma_1(\theta)$ ;
- находится амплитуда первой гармоники коллекторного тока  $I_{к1}$ ;
- строится график СМХ, как

$$I_{к1} = \varphi(E_d).$$

График СМХ имеет вид, приведенный на рисунке 3.1.

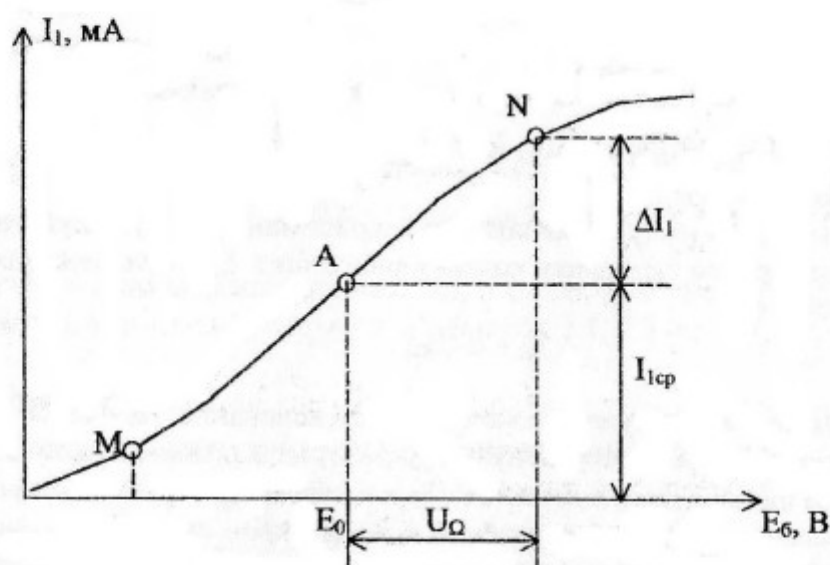


Рисунок 3.1

По графику СМХ определяется оптимальное смещение на базе транзистора  $E_0$  (рабочая точка А лежит на середине линейного участка СМХ) и максимально допустимую величину амплитуды модулирующего напряжения  $U_\Omega$ .

Максимально возможный коэффициент модуляции для выбранного режима определяется из СМХ как:

$$m_{\text{дн}} = \Delta I_1 / I_{1\text{cp}}.$$

Для найденного значения  $m_{\text{дн}}$  и заданного значения амплитуды несущей  $U_0$  строится спектральная диаграмма тока коллектора и напряжения на выходе модулятора.

При построении спектральной диаграммы тока коллектора следует учесть, что спектр тока содержит в своем составе постоянную составляющую  $I_0$ , первую гармонику коллекторного тока  $I_1$  с частотой  $\omega_0$ , вторую гармонику  $I_2$  с частотой  $2\omega_0$ , третью гармонику  $I_3$  с частотой  $3\omega_0$  и т.д., а также комбинационные частоты  $\omega_0 \pm \Omega$ ,  $2\omega_0 \pm \Omega$ ,  $3\omega_0 \pm \Omega$  и т.д. с амплитудами  $m_{\text{дн}} I_1 / 2$ ,  $m_{\text{дн}} I_2 / 2$ ,  $m_{\text{дн}} I_3 / 2$  и т. д. Значения гармоник тока рассчитываются через коэффициенты Берга по формуле

$$I_d = I_m \gamma_d(\theta) = S U_0 \gamma_d(\theta),$$

где

$$\gamma_0(\theta) = \frac{1}{\pi} (\sin \theta - \theta \cos \theta);$$

$$\gamma_k(\theta) = \frac{2}{\pi} \frac{\sin k\theta \cos \theta - k \cos k\theta \sin \theta}{k(k^2 - 1)}, \text{ для } k \geq 2$$

В расчете достаточно ограничиться вычислением первых трех гармоник коллекторного тока с соответствующими им токами комбинационных частот.

Поскольку нагрузкой транзистора является колебательный контур, настроенный на частоту первой гармоники и имеющий полосу пропускания  $2\Omega$ , то напряжение на выходе модулятора содержит только несущую  $U_0$  с частотой  $\omega_0$  и две боковых с амплитудами  $m_a U_0 / 2$  и частотами  $\omega_0 \pm \Omega$ . Значение амплитуд этого напряжения можно найти как произведение соответствующих амплитуд тока на сопротивление нагрузки, равное  $R_{\text{н}}$ .