

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 20.01.2021 15:07:07

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabfb73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра вычислительной техники



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г.Локтионова

«*октябрь*» 2016 г.

АМПЛИТУДНАЯ МОДУЛЯЦИЯ И ДЕТЕКТИРОВАНИЕ РАДИОСИГНАЛОВ

Методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов
направления подготовки 09.03.01 по дисциплине
"Основы теории цепей и сигналов"

Курск 2016

УДК 621.396.4

Составитель: В.И. Иванов

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *Пиккиев В.А.*

Амплитудная модуляция и детектирование радиосигналов: методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Основы теории цепей и сигналов» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. В.И. Иванов. - Курск: ЮЗГУ, 2016. - 13 е.: ил. 4, табл. 1. Библиогр.: с. 13.

Описывается методика проектирования и исследования амплитудного модулятора и диодного детектора АМ колебаний; приведены рекомендации по применению программы моделирования электронных схем для изучения процессов амплитудной модуляции и демодуляции радиосигналов.

Методические указания соответствуют Федеральному государственному образовательному стандарту высшего образования направления подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника, учебному плану направления подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника, одобренному Ученым советом университета (протокол № 7 «29» февраля 2016 г.).

Предназначены для студентов направления подготовки 09.03.01 очной и заочной формы обучения

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *12.10.16* . Формат 60*84 1/16.
Усл. печ.л. *0,4* . Уч.-изд.л. *0,6* Тираж 100 экз. Заказ *963*
Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет
305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

АМПЛИТУДНАЯ МОДУЛЯЦИЯ И ДЕТЕКТИРОВАНИЕ РАДИОСИГНАЛОВ

1. Цель работы

Исследование физических процессов при амплитудной модуляции смещением и при детектировании амплитудно-модулированных колебаний диодным детектором.

2. Основные теоретические положения и расчетные формулы

Для передачи информации на расстояние применяется высокочастотное колебание, которое называют **несущим** колебанием. Обычно это гармоническое колебание вида

$$u_{\text{нес}}(t) = U_0 \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (1)$$

где ω_0 – несущая частота; φ_0 – начальная фаза; U_0 – амплитуда несущего колебания.

Передаваемое сообщение – это низкочастотное (узкополосное) колебание $s(t)$. Частота несущего колебания ω_0 гораздо выше наибольшей частоты Ω_{max} спектра передаваемого сигнала $s(t)$.

Радиосигнал, несущий в себе информацию, представляет собой высокочастотное колебание, в котором один или несколько параметров несущего колебания (1) изменяются по закону передаваемого сообщения. Процесс управления параметрами высокочастотного колебания называется **модуляцией**. При амплитудной модуляции (АМ) огибающая амплитуд несущего колебания изменяется по закону, совпадающему с поведением передаваемого сигнала, а частота и начальная фаза колебания поддерживаются неизменными:

$$u(t) = U(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0). \quad (2)$$

Характер огибающей $U(t)$ определяется видом передаваемого сообщения.

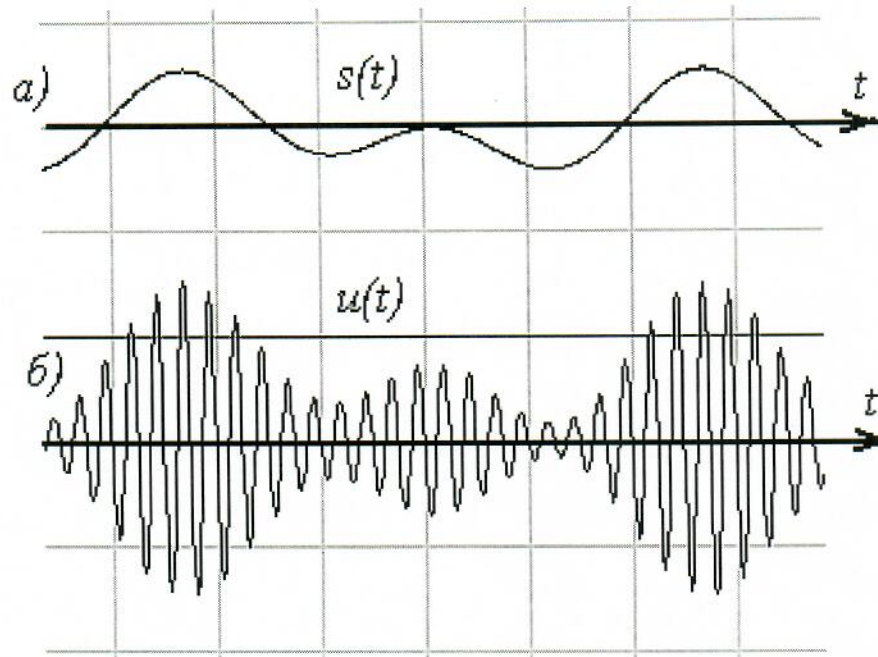


Рис. 1. Диаграммы передаваемого сообщения (а) и амплитудно-модулированного радиосигнала (б)

На рис. 1, а показан пример непрерывного сообщения $s(t)$ с нулевой постоянной составляющей. Огибающая АМ радиосигнала (рис. 1, б) воспроизводит форму сообщения $s(t)$ без искажений, если наибольшее изменение $U(t)$ “вниз” не превышает амплитуды несущего колебания U_0 . Изменение $U(t)$ “вверх” может быть, в принципе, и больше U_0 . Таким образом, существует ограничение на максимальную “глубину модуляции”, которая не должна превышать 100 %.

В случае простейшей однотоновой модуляции модулирующая функция является гармоническим колебанием:

$$s(t) = S_0 \cdot \cos(\Omega t + \Phi).$$

Огибающая АМ колебания при этом может быть записана в виде

$$U(t) = U_0 + k \cdot s(t) = U_0 + U_m \cdot \cos(\Omega t + \Phi), \quad (3)$$

где Ω – частота модулирующей функции; Φ – начальная фаза огибающей; k – коэффициент пропорциональности; U_m – амплитуда изменения огибающей.

Отношение $M = U_m / U_0$ называется **коэффициентом модуляции**.

В этом случае мгновенное значение АМ колебания имеет вид

$$u(t) = U_0 \cdot [1 + M \cdot \cos(\Omega t + \Phi)] \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0). \quad (4)$$

При неискаженной модуляции ($M < 1$) амплитуда колебания изменяется в пределах от $U_{\min} = (1 - M) \cdot U_0$ до $U_{\max} = (1 + M) \cdot U_0$.

Частотный спектр АМ сигнала с однотоновой модуляцией можно получить после преобразования (4):

$$u(t) = U_0 \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0) + (M \cdot U_0 / 2) \cdot \cos[(\omega_0 + \Omega)t + \varphi_0 + \Phi] +$$

$$+ (M \cdot U_0 / 2) \cdot \cos[(\omega_0 - \Omega)t + \varphi_0 - \Phi]. \quad (5)$$

Первое слагаемое в правой части (5) представляет собой исходное немодулированное несущее колебание, а второе и третье слагаемые появились в процессе модуляции амплитуды. Частоты этих колебаний $(\omega_0 + \Omega)$ и $(\omega_0 - \Omega)$ называются “верхней” и “нижней” боковыми частотами спектра АМ сигнала. Амплитуды колебаний на боковых частотах составляют долю амплитуды несущей, равную $M/2$, и при самой глубокой модуляции не могут превышать половины амплитуды несущей.

Процесс амплитудной модуляции связан с нелинейными преобразованиями несущего и модулирующего колебаний. Один из способов получения АМ колебаний называется **модуляцией смещением**. Схема модулятора на биполярном транзисторе приведена на рисунке 2. К эмиттерному переходу VT1 подводятся три напряжения: а) постоянное напряжение смещения $U_{см}$, определяющее рабочую точку транзистора; б) низкочастотный модулирующий сигнал U_{Ω} ; в) высокочастотное несущее колебание $U_{нес}$ с амплитудой U_0 и частотой $\omega_0 = 2\pi f_0$. Транзистор работает в нелинейном режиме и может рассматриваться как усилитель несущего колебания с переменным усилением, управляемым модулирующим напряжением.

Под действием модулирующего напряжения происходит смещение рабочей точки и изменяется угол отсечки косинусоидальных импульсов тока коллектора (рис. 3).

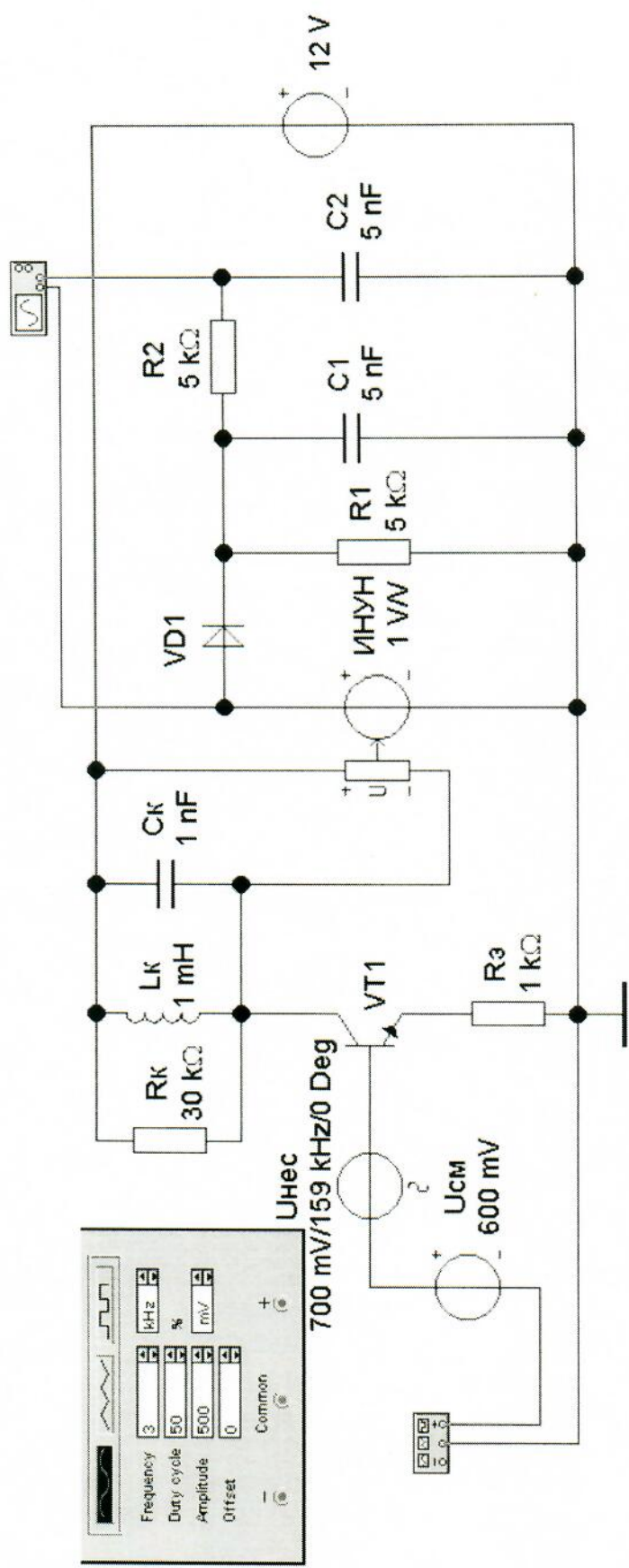


Рис. 2. Схема амплитудного модулятора и детектора АМ сигнала

Колебательный контур $L_k C_k$ в коллекторной цепи транзистора настроен на первую гармонику импульсов тока коллектора, то есть несущую частоту $\omega_0 = 2\pi f_0$. При удачном выборе напряжения смещения $U_{см}$ и амплитуды несущего колебания U_0 можно получить линейную связь между амплитудой первой гармоники импульсов тока I_{1m} и напряжением модулирующего сигнала U_{Ω} .

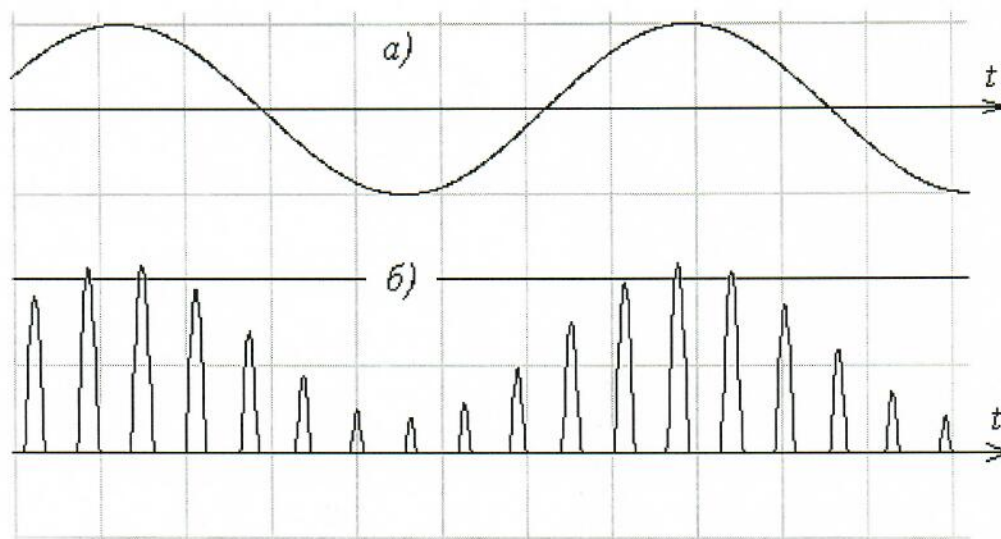


Рис. 3. Диаграммы модулирующего напряжения (а) и импульсов тока коллектора (б)

Благодаря избирательным свойствам колебательного контура в коллекторной цепи формируется модулированное по амплитуде напряжение несущей частоты. Зависимость текущей амплитуды выходного напряжения модулятора от напряжения модулирующего сигнала U_{Ω} называется **модуляционной характеристикой**.

Колебательный контур $L_k C_k$ зашунтирован резистором R_k , от сопротивления которого зависит добротность контура Q , а следовательно, и полоса пропускания на уровне 0,7 от усиления на резонансной частоте:

$$\Delta f_{0.7} = \frac{f_0}{Q}. \quad (6)$$

Ширина полосы $\Delta f_{0.7}$ должна быть больше удвоенного значения наивысшей частоты в спектре модулирующего сигнала:

$$\Delta f_{0.7} > 2 F_{\max}. \quad (7)$$

Детектирование – это процесс, обратный модуляции (**демодуляция**). При детектировании АМ колебания восстанавливается низкочастотный сигнал, управляющий амплитудой высокочастотных колебаний в модуляторе. Детектор должен содержать нелинейный преобразователь, осуществляющий трансформацию спектра принятого сигнала, и фильтр нижних частот,

выделяющий низкочастотные компоненты.

В этой работе исследуется диодный детектор (диод VD1 на рис. 2). Для связи детектора с выходом модулятора используется преобразователь типа “источник напряжения, управляемый напряжением” (ИНУН) – **Voltage-Controlled Voltage Source** из магазина **Sources**. Благодаря ИНУН осуществляется развязка по постоянному току цепей коллектора VT1 и детектора. Фильтр нижних частот содержит две интегрирующие RC-цепочки. Постоянные времени R_1C_1 и R_2C_2 выбираются так, чтобы обеспечить сглаживание высокочастотных пульсаций и неискаженное воспроизведение огибающей АМ колебаний:

$$1/f_0 \ll RC \ll 1/F_{\max}. \quad (8)$$

Режим работы диодного детектора определяется амплитудой высокочастотных колебаний: для слабых сигналов с амплитудой до 0,6 В имеет место квадратичное детектирование, а для сильных сигналов с амплитудой не менее 1 В – режим линейного детектирования. При квадратичном детектировании возникают нелинейные искажения, связанные с появлением на выходе второй гармоники модулирующего сигнала.

При линейном детектировании на выходе детектора присутствуют постоянная составляющая и переменное напряжение модулирующего сигнала, причем обе составляющие пропорциональны напряжению АМ колебания на входе детектора.

3. Программа исследований и порядок работы

3.1. Исследование модуляционной характеристики

Собрать на рабочем столе программы схему амплитудного модулятора и детектора рис. 2. Рассчитать параметры компонентов схемы согласно варианту задания (см. таблицу).

Варианты заданий

Вариант	f_0 , кГц	F , кГц	ρ_k , кОм
1	150	1,0	0,8
2	300	3,0	1,0
3	200	2,0	0,6
4	240	3,0	1,2
5	180	2,0	1,0
6	120	1,0	0,8
7	250	2,0	1,2
8	160	1,0	1,5
9	200	2,0	1,0
10	300	3,0	0,8
11	250	2,0	0,6
12	150	1,0	1,2
13	270	3,0	1,0
14	180	1,0	0,8
15	240	2,0	0,6

Значения индуктивности и емкости колебательного контура $L_k C_k$ определяют резонансную частоту f_0 и характеристическое сопротивление контура ρ_k :

$$\begin{cases} f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_k C_k}} \\ \rho_k = \sqrt{\frac{L_k}{C_k}} \end{cases} \quad (9)$$

Сопротивление R_k определяет требуемую согласно (6) и (7) добротность контура: $R_k = Q \cdot \rho_k$.

Для получения линейной модуляционной характеристики необходимо установить нулевое смещение $U_{см} = 0$, треугольную форму модулирующего напряжения в функциональном генераторе (Function Generator) с амплитудой 500 мВ, смещением (Offset), равным также 500 мВ и частотой $F = 500$ Гц. Изменяя напряжение несущего колебания на заданной частоте f_0 в пределах от 400 до 700 мВ (действующее значение), найти такой режим модулятора, в котором длительность линейного участка модуляционной характеристики будет наибольшей. Для наблюдения формы модуляционной характеристики (рис. 4) необходимо на один вход осциллографа подать линейно изменяющееся модулирующее напряжение, а на второй вход – выходное напряжение

модулятора, которое можно снять с выхода ИНУН.

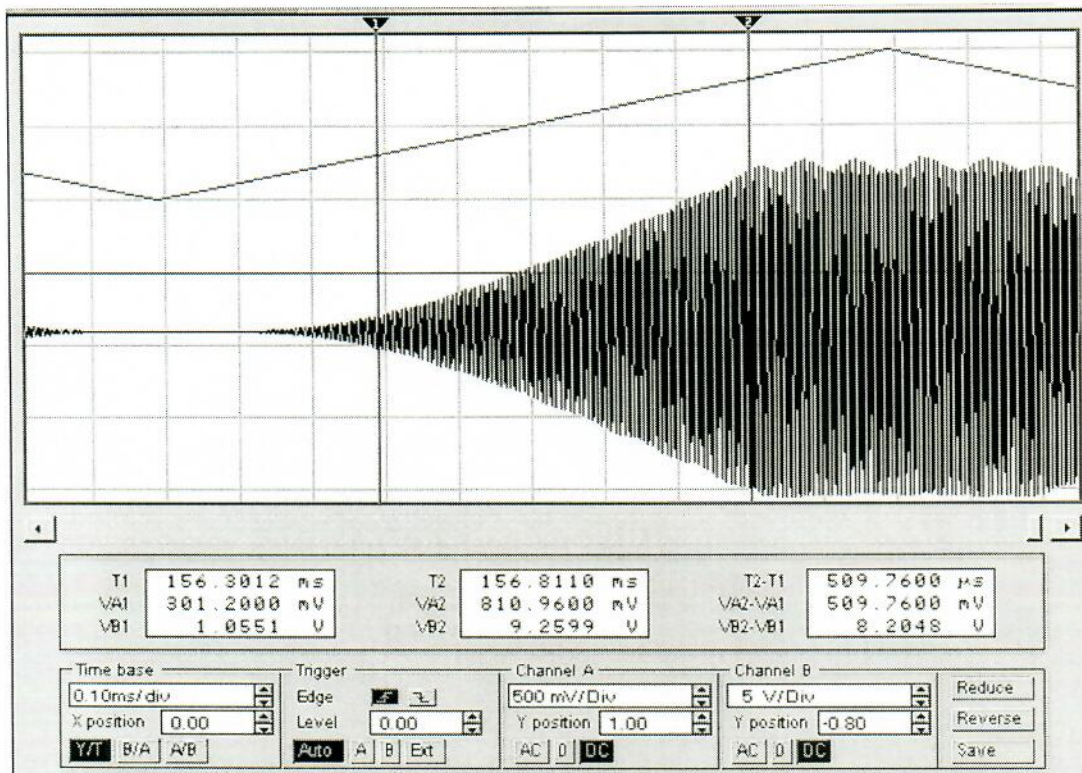


Рис. 4. Изображение модуляционной характеристики

В данном примере начало линейного фронта выходного напряжения модулятора соответствует модулирующему напряжению 300 мВ, а конец линейного участка – напряжению 810 мВ. Следовательно, в базовой цепи транзистора следует установить смещение $U_{см} = 550$ мВ, а амплитуда модулирующего сигнала не должна превышать 250 мВ.

3.2. Исследование однотоновой амплитудной модуляции

По результатам п. 3.1 установить напряжение смещения $U_{см}$. На функциональном генераторе установить режим синусоидального сигнала на заданной в табл. 1 частоте F с амплитудой, не превышающей полученного в п. 3.1 значения. Построить осциллограммы модулирующего напряжения, импульсов в цепи эмиттера транзистора и АМ колебания на выходе ИНУН. Если форма огибающей радиосигнала заметно отличается от модулирующего колебания, изменить амплитуду модулирующего напряжения до получения приемлемого качества модуляции. Измерить минимальную и максимальную амплитуды U_{min} и U_{max} АМ сигнала и определить коэффициент модуляции M .

Привести в отчете изображения модулирующего сигнала, импульсов в цепи эмиттера транзистора и АМ колебания на выходе ИНУН.

3.3. Исследование диодного детектора АМ сигнала

Рассчитать параметры компонентов детектора R_1C_1 и R_2C_2 в соответствии с формулой (8) и установить полученные значения сопротивлений и емкостей.

Получить по методике п. 3.2 на выходе модулятора АМ сигнал. Подать модулирующее напряжение на один вход осциллографа, а выходное напряжение детектора – на другой вход (см. рис. 2). Сравнить оба колебания. Осциллограммы этих напряжений привести в отчете.

Уменьшить вдвое номиналы сопротивлений и емкостей детектора и отметить, как изменилась форма выходного колебания. Аналогично провести эксперимент, увеличив вдвое сопротивления и емкости детектора.

4. Методические указания

4.1. Решение системы уравнений (9) имеет вид:

$$L_k = \frac{R_k}{2\pi f_0}; \quad C_k = \frac{1}{2\pi f_0 R_k}.$$

Выразить L_k в мГн, а C_k – в нФ.

Установить ширину полосы пропускания колебательного контура с двойным запасом: $\Delta f_{0,7} = 4 F$.

Рассчитать требуемую добротность контура $Q = \frac{f_0}{\Delta f_{0,7}}$ и сопротивление

$$R_k = Q \cdot r_k.$$

4.2. Коэффициент модуляции (п. 3.2) можно определить по известным значениям огибающей U_{\min} и U_{\max} :

$$M = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}}.$$

4.3. После расчета постоянных времени $R_1 C_1$ и $R_2 C_2$ (п. 3.3) остается свобода выбора номинальных значений сопротивлений и емкостей. На практике сопротивления выбирают в диапазоне 5...15 кОм, а емкости – 1...5 нФ.

5. Контрольные вопросы

1. Поясните физические процессы при амплитудной модуляции смещением.
2. Почему режим работы модулятора для получения АМ колебаний должен быть существенно нелинейным?
3. Что такое модуляционная характеристика? Какие требования к ней предъявляются?
4. Чем следует руководствоваться при выборе рабочей точки модулятора?
5. Как оценить полосу частот спектра амплитудно-модулированного радиосигнала?
6. Какую роль играет колебательный контур в качестве нагрузки модулятора? Можно ли получить хорошее качество воспроизведения модулирующего сигнала огибающей АМ колебаний при аperiodической нагрузке модулятора?
7. Из каких соображений выбирают добротность колебательного контура?
8. Чем определяется режим работы диодного детектора? Почему принято разделять детектирование сильных и слабых сигналов?
9. Какими причинами может быть обусловлено появление нелинейных искажений на выходе детектора АМ сигналов?
10. Чем следует руководствоваться при выборе параметров нагрузки детектора?

6. Содержание отчёта

Отчёт должен содержать:

- 1) титульный лист;
- 2) наименование работы и цель исследований;
- 3) схему амплитудного модулятора и диодного детектора АМ колебаний; расчет параметров колебательного контура;
- 4) результаты выбора оптимального режима модулирующего усилителя; осциллограмму модуляционной характеристики; параметры линейного участка характеристики;
- 5) осциллограммы модулирующего сигнала, импульсов в цепи эмиттера транзистора и АМ колебания на выходе ИНУН; расчет коэффициента модуляции;
- 6) расчет компонентов диодного детектора; осциллограммы модулирующего колебания и соответствующего сигнала на выходе амплитудного детектора.

Библиографический список

1. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы [Текст]: учебник для вузов. – 4-е изд. – М.: Высш. шк., 2003. 462 с.
2. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы [Текст]: учебник для вузов. – 4-е изд. – М.: Радио и связь, 1986. 512 с.
3. Иванов В.И. Основы теории цепей и сигналов [Текст]: учеб. пособие / В.И. Иванов, В.С. Титов / Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 2001. 159 с.