

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное бюджетное государственное образовательное
учреждение высшего профессионального образования

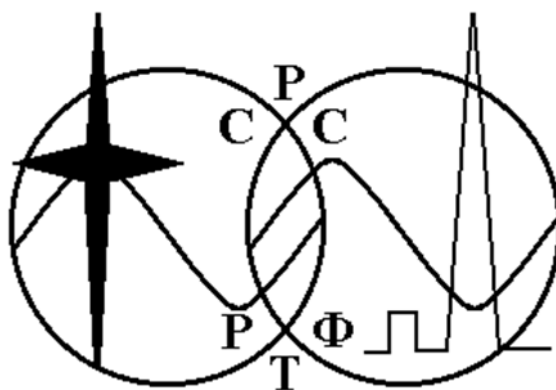
**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

Кафедра средств радиосвязи

МЕЛИХОВ С.В., ЦЕБЕР Н.А.

**ТЕЛЕФОННЫЙ ЭФФЕКТ ПРИ ДЕТЕКТИРОВАНИИ
СИГНАЛОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ МОДУЛЯЦИИ И
ДАЛЬНОСТЬ РАДИОСВЯЗИ**

Учебно-методическое пособие по лабораторной работе в компьютерной среде Design Center (P Spice) по дисциплинам «Радиовещание, связь и электроакустика», «Радиовещание и электроакустика», «Системы радиовещания» для студентов радиотехнических специальностей



Томск – 2012

Мелихов С.В., Цебер Н.А. Телефонный эффект при детектировании сигналов с различными видами модуляции и дальность радиосвязи, Учебно-методическое пособие по лабораторной работе в компьютерной среде Design Center (PSpice) по дисциплинам «Радиовещание, связь и электроакустика», «Радиовещание и электроакустика», «Системы радиовещания» для студентов радиотехнических специальностей. - Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. 2012. – 17 с.

Приводятся краткие теоретические сведения и аналитические выражения, необходимые для исследования телефонного эффекта при детектировании сигналов с различными видами модуляции и оценки дальности радиосвязи. Представлена методика проведения экспериментального исследования на основе использования компьютерной среды Design Center (PSpice).

© Мелихов С.В., Цебер Н.А. 2012

© Томский государственный университет систем
управления и радиоэлектроники, 2012

Цель работы:

исследование телефонного эффекта при детектировании радиосигналов с амплитудной модуляцией (АМ - сигнала), с одной боковой полосой (ОБП - сигнала), с совместимой однополосной модуляцией (СОМ - сигнала) и ориентировочная сравнительная оценка дальности радиосвязи при использовании этих видов модуляции;

приобретение навыков работы с пакетом программ автоматизированного проектирования Design Center (PSPice).

1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Дальность связи при одной и той же пиковой мощности передатчика зависит от многих факторов, в частности от вида модуляции. При передаче АМ - сигнала мощность передатчика расходуется на передачу несущей и информационного сигнала, который содержится только в боковых полосах. При передаче ОБП - сигнала вся мощность передатчика идёт на передачу информационного сигнала. При передаче СОМ - сигнала мощность передатчика расходуется на передачу несущей и информационного сигнала, который содержится только в верхней (или нижней) боковой полосе. Полезный *телефонный эффект* на выходе детектора приемника (эффект выделения из радиосигнала информационного сигнала) зависит от мощности излучаемого передатчиком информационного сигнала и существенно влияет на дальность радиосвязи. Ориентировочное сравнение дальностей радиосвязи при АМ - сигнале, ОБП - сигнале и СОМ - сигнале можно провести, рассмотрев "энергетику" этих сигналов и телефонный эффект на выходе амплитудного детектора (АД) приемника при их демодуляции.

1.1 Радиосигнал с амплитудной модуляцией. АМ – сигнал с несущей частотой $\omega_0 = 2\pi f_0$ при однотоновой модуляции с частотой $\Omega = 2\pi F$ представляется выражением:

$$\begin{aligned} u_{AM}(t) &= U_0 [1 + m \cos(\Omega t + \Psi_0)] \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = \\ &= U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) + \frac{mU_0}{2} \cos[(\omega_0 - \Omega)t + \varphi_0 - \Psi_0] + \\ &\quad + \frac{mU_0}{2} \cos[(\omega_0 + \Omega)t + \varphi_0 + \Psi_0] = \\ &= u_H(t) + u_{H\bar{O}}(t) + u_{\bar{O}O}(t), \end{aligned} \quad (1)$$

где U_0 – амплитуда несущего колебания;

$$m = [U_{ог\ макс} - U_0] / U_0 = [U_0 - U_{ог\ мин}] / U_0 \quad - \text{коэффициент (ин-декс)}$$

модуляции;

$U_{ог\ макс}$, $U_{ог\ мин}$ – соответственно максимальное и минимальное значения огибающей АМ - сигнала;

φ_0 – начальная фаза несущего колебания;

ψ_0 – начальная фаза сигнала модуляции.

Из (1) следует, что АМ - сигнал при однотоновой модуляции содержит несущее колебание $u_n(t)$ с частотой ω_0 , колебание $u_{нб}(t)$ с нижней боковой частотой ($\omega_0 - \Omega$) и колебание $u_{вб}(t)$ с верхней боковой частотой ($\omega_0 + \Omega$) (рисунок 1,а). От индекса модуляции m зависят интенсивности нижнего и верхнего боковых колебаний. Полезная информация в АМ - сигнале содержится только в нижнем и верхнем боковых колебаниях, причем совершенно одинаковая. Несущее колебание полезной информации не содержит.

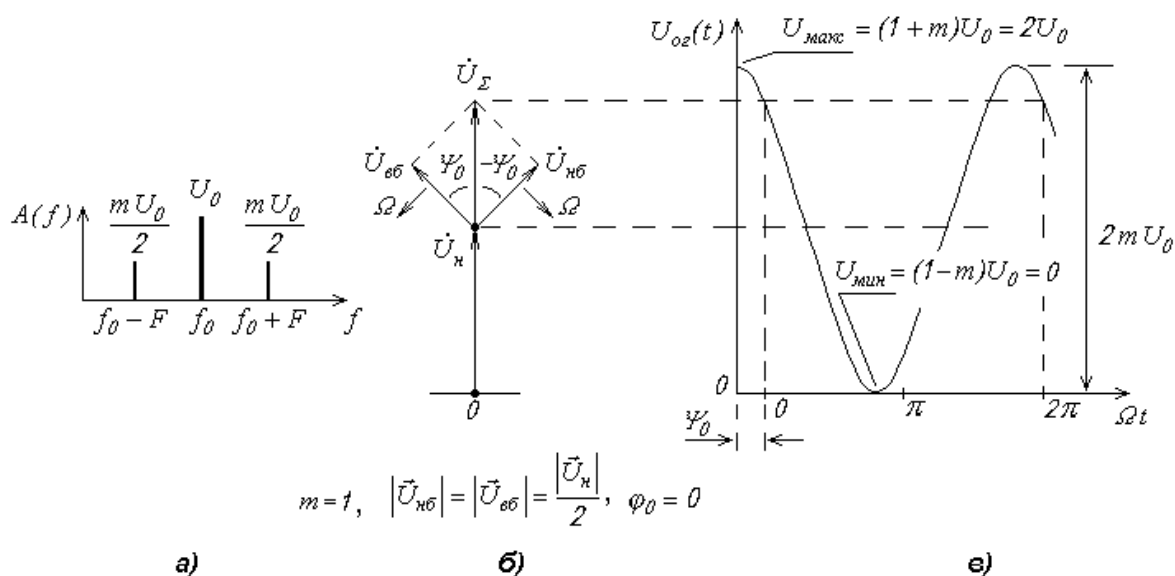


Рисунок 1 - Спектральная диаграмма (а), векторная диаграмма, поясняющая процесс образования огибающей АМ - сигнала (б), осциллограмма огибающей АМ - сигнала (в) при однотоновой модуляции и $m=1$

Векторная диаграмма, поясняющая процесс образования огибающей, и огибающая АМ – сигнала при $m=1$ изображены на рисунке 1,б и рисунке 1,в.

Рассмотрим энергетические характеристики АМ - сигнала. Для этого предположим, что сигнал вида (1) подан на входной зажим антенны передатчика, входное сопротивление которой равно 1 Ом (**единичное сопротивление**).

Мгновенная мощность АМ - сигнала на **единичном сопротивлении**:

$$\begin{aligned}
 p_{AM}(t) = u_{AM}^2(t) = & u_n^2(t) + u_{нб}^2(t) + u_{вб}^2(t) + \\
 & + 2u_n(t)u_{нб}(t) + 2u_n(t)u_{вб}(t) + 2u_{нб}(t)u_{вб}(t). \quad (2)
 \end{aligned}$$

В приведенном выражении присутствуют как собственные мощности несущего и боковых колебаний, так и их взаимные мощности, пропорциональные попарным произведениям мгновенных значений.

Средняя мощность АМ - сигнала может быть найдена интегрированием мгновенной мощности на достаточно большом отрезке времени T . При этом компоненты

взаимной мощности обращаются в нуль и средняя мощность оказывается равной сумме средних мощностей несущего и боковых колебаний:

$$\bar{P}_{AM} = \lim_{T \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{T} \int_0^T P_{AM}(t) dt \right] = \bar{P}_н + \bar{P}_{нб} + \bar{P}_{об} = \frac{U_0^2}{2} + \frac{m^2 U_0^2}{8} + \frac{m^2 U_0^2}{8}. \quad (3)$$

Процесс демодуляции (детектирования) АМ - сигнала в приемнике заключается в выделении его огибающей (образование телефонного сигнала). Предположим, что произведение коэффициента усиления передающей антенны G_n , коэффициента затухания напряженности поля радиоволны в линии связи k_{pe} , коэффициента усиления радиотракта приемника k_{np} , коэффициента передачи амплитудного детектора (АД) приемника k_d равно единице:

$$G_n k_{pe} k_{np} k_d = 1. \quad (4)$$

В этом случае огибающая АМ - сигнала на выходе **идеального линейного АД приемника** (рисунок 2) будет иметь вид, изображенный на рисунке 1, в (идеальный АД - это детектор, не искажающий форму огибающей входного сигнала и не имеющий потерь). Размах огибающей, характеризующий телефонный эффект, будет равен:

$$U_{p AM} = 2U_0. \quad (5)$$

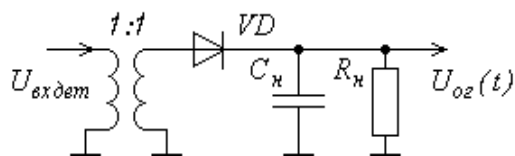


Рисунок 2 - Последовательный диодный АД

1.2 Радиосигнал с одной боковой полосой (ОБП - сигнал) - это радиосигнал с однополосной амплитудной модуляцией и подавленной несущей. Математическое представление ОБП - сигнала (при однотональной модуляции и подавленных нижней боковой и несущей) следующее:

$$u_{ОБП}(t) = u_{об}(t) = mU_0 \cos[(\omega_0 + \Omega)t + \Psi_0]. \quad (6)$$

Из (6) следует, что при однотональной модуляции ОБП - сигнал содержит одну спектральную составляющую, уровень которой прямо пропорционален индексу модуляции m (рисунок 3,а).

Мгновенная и средняя мощности ОБП - сигнала на единичном сопротивлении:

$$p_{ОБП}(t) = u_{ОБП}^2(t) = u_{об}^2(t); \quad (7)$$

$$\bar{P}_{ОБП} = \lim_{T \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{T} \int_0^T p_{ОБП}(t) dt \right] = \bar{P}_{об} = \frac{m^2 U_0^2}{2}. \quad (8)$$

Максимальное значение ОБП - сигнала $U_{\text{макс}} = mU_0$; при этом пиковая мощность на единичном сопротивлении:

$$P_{\text{пик ОБП}} = m^2 U_0^2 / 2 \stackrel{m=m_{\text{макс}}=1}{=} U_0^2 / 2. \quad (9)$$

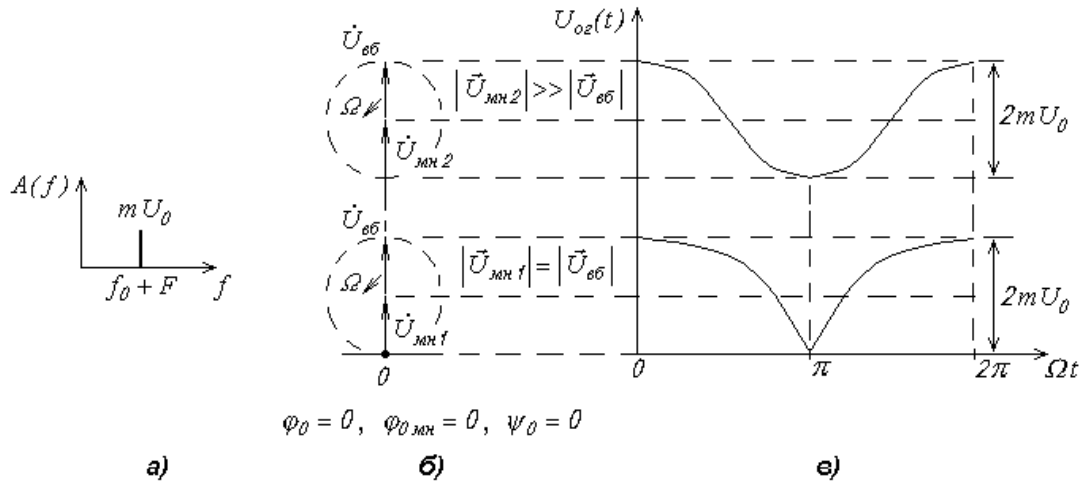


Рисунок 3 - Спектральная диаграмма (а) ОБП - сигнала с однотоновой модуляцией, векторные диаграммы (б) и осциллограммы огибающей (в) ОБП - сигнала на входе детектора приемника при различной интенсивности местной несущей

Для детектирования принятого ОБП - сигнала в приемнике необходим *гетеродинный детектор* (ГД, рисунок 4), состоящий из АД и *генератора местной несущей* (ГМН). Колебание с частотой местной несущей $\omega_{\text{МН}}$ и амплитудой $U_{\text{МН}}$ подается на АД вместе с ОБП - сигналом.

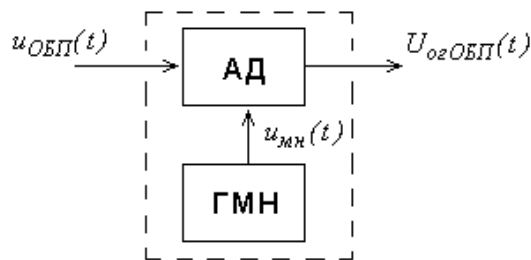


Рисунок 4 - Гетеродинный детектор, состоящий из амплитудного детектора и генератора местной несущей

При гетеродинном детектировании суммы напряжений $u_{\Sigma}(t) = u_{\text{МН}}(t) + u_{\text{ОБП}}(t)$ возможны нелинейные искажения *из-за недостаточного уровня местной несущей*. Искажения имеют место, если интенсивность местной несущей соизмерима с интенсивностью ОБП - сигнала. На рисунках 3,б,в приведены векторные диаграммы и осциллограммы, поясняющие процесс образования огибающей на выходе ГД (телефонный эффект) при выполнении условия (4) и различных интенсивностях местной несущей.

Из рисунка 3,б на основе теоремы косинусов огибающую ОБП - сигнала при $\omega_{мн} = \omega_0$ можно представить в виде:

$$U_{ог\text{ОБП}}(t) = \sqrt{U_{мн}^2 + (mU_0)^2 + 2U_{мн} mU_0 \cos(\Omega t + \varphi_0 + \psi_0 - \varphi_{0\text{мн}})}, \quad (10)$$

где $\varphi_{0\text{мн}}$ – начальная фаза колебания местной несущей.

Если $U_{мн1} = mU_0$, то огибающая $U_{ог}(t)$ имеет форму **циклоиды** (траектория движения точки на колесе, "катящемся" по оси Ωt , см. рисунок 3,в), а нелинейные искажения ее формы значительны и достигают 22 %.

Если $U_{мн2} \gg mU_0$, то форма огибающей $U_{ог}(t)$ близка к косинусоидальной и нелинейные искажения ее формы малы.

1.3 Радиосигнал с совместимой однополосной модуляцией (СОМ - сигнал) получают на основе суммы двух сигналов, один из которых представляет собой немодулированную несущую с частотой ω_0 , а второй является ОБП - сигналом с частотой $\omega_0 + \Omega$ (если модуляция осуществляется одним тоном с частотой Ω). Формирование СОМ - сигнала проводят на основе двухканального передатчика, упрощенная структурная схема которого изображена на рисунке 5.

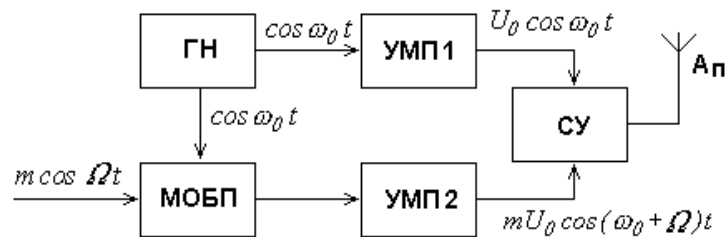


Рисунок 5 - Структурная схема двухканального передатчика СОМ - сигнала.

ГН - генератор несущего колебания; МОБП - модулятор для получения ОБП - сигнала; УМП1, УМП 2 - усилители мощности; СУ - суммирующее устройство; Ап - передающая антенна

Двухкомпонентный СОМ - сигнал в антенне передающего устройства с идеальным СУ (коэффициент передачи напряжений идеального СУ $k_{СУ} = 1$) при модуляции одним тоном представляется выражением:

$$u_{СОМ}(t) = u_n(t) + u_{об}(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) + mU_0 \cos[(\omega_0 + \Omega)t + \varphi_0 + \psi_0]. \quad (11)$$

Спектр СОМ - сигнала при модуляции одним тоном изображен на рисунке 6,а.

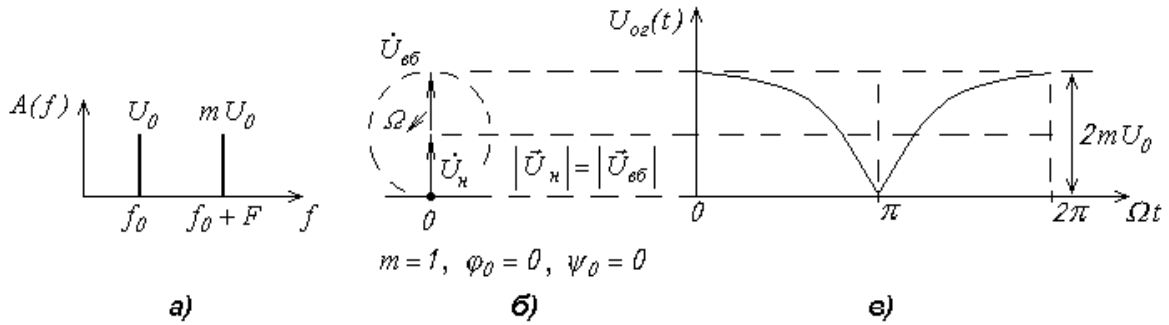


Рисунок 6 - Спектральные составляющие (а), векторная диаграмма (б), оциллограмма огибающей (в) СОМ - сигнала при однотональной модуляции и $m=1$

Средняя мощность СОМ-сигнала на единичном сопротивлении

$$\bar{P}_{COM} = \bar{P}_H + \bar{P}_{\delta\sigma} = \frac{U_0^2}{2} + \frac{m^2 U_0^2}{2}. \quad (12)$$

Пиковая мощность СОМ-сигнала, состоящая из суммы пиковых мощностей первого и второго канальных усилителей:

$$P_{пик\ COM} = P_{пик1} + P_{пик2} = \frac{U_0^2}{2} + \frac{m^2 U_0^2}{2} \stackrel{m=m_{макс}=1}{=} U_0^2. \quad (13)$$

Если выполняется условие (4), то огибающая СОМ - сигнала, выделяемая идеальным линейным АД приемника и характеризующая телефонный эффект:

$$\begin{aligned}
 U_{oz\ COM}(t) &= \sqrt{|\bar{u}_H^2| + |\bar{u}_{\delta\sigma}^2| + 2|\bar{u}_H||\bar{u}_{\delta\sigma}|\cos[(\omega_0 + \Omega)t + \varphi_0 + \psi_0 - (\omega_0 t + \varphi_0)]} = \\
 &= U_0 \sqrt{1 + m^2 + 2m \cos(\Omega t + \psi_0)}. \quad (14)
 \end{aligned}$$

Огибающая СОМ - сигнала при $m = m_{макс} = 1$ представляет собой циклоиду (рисунок 6,в) с коэффициентом гармоник $k_2 \approx 22\%$. С уменьшением индекса модуляции форма огибающей улучшается, однако даже при $m = m_{cp} = 0,3$ $k_2 \approx 8\%$.

Несмотря на это, СОМ - сигнал может быть использован для радиовещания в диапазонах СВ и КВ. Прием его возможен на обычные радиоприемники АМ - сигнала без каких-либо их переделок.

1.4 Телефонный эффект при детектировании АМ -, ОБП -, СОМ - сигналов.

1.4.1 Телефонный эффект при детектировании АМ - сигнала. Определим, какая часть мощности АМ - сигнала при детектировании участвует в образовании телефонного сигнала на выходе АД. Для этого предположим, что выполняется условие (4) и на вход идеального последовательного диодного АД (см. рисунок 2) подан АМ - сигнал вида (1).

Огибающая АМ - сигнала на выходе АД будет иметь вид, изображенный на рисунке 1,в, и опишется выражением:

$$U_{ог\ AM}(t) = U_0(1 + m \cos \Omega t). \quad (15)$$

Поскольку для идеального последовательного диодного АД $R_H = 2 R_{ex} = 2 \text{ Ом}$, то средняя мощность огибающей АМ - сигнала на **сопротивлении** $R_H = 2 \text{ Ом}$ можно найти путем интегрирования мгновенной мощности огибающей за период частоты Ω :

$$\bar{P}_{ог\ AM} = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} U_{ог\ AM}^2(t) d\Omega t \right] = \frac{U_0^2}{2} + \frac{m^2 U_0^2}{4}. \quad (16)$$

Первое слагаемое $(U_0^2 / 2)$ в (16) обусловлено детектированием несущего колебания АМ - сигнала и определяет мощность в нагрузке детектора от протекания средней составляющей тока огибающей {заметим, что среднее значение напряжения на нагрузке детектора используется в приемнике АМ - сигнала в качестве управляющего для системы автоматической регулировки усиления (АРУ) приемника}.

Второе слагаемое $(m^2 U_0^2 / 4)$ в (16) обусловлено детектированием двух боковых колебаний АМ - сигнала и определяет *мощность телефонного сигнала* в нагрузке детектора.

Сравнивая (3) и (16) с точки зрения равенства мощностей, поданных на вход детектора, и мощностей, выделяемых в нагрузке, можно заключить, что *телефонный эффект при детектировании АМ - сигнала зависит только от мощности его боковых колебаний и не зависит от мощности несущего колебания*.

1.4.2 Телефонный эффект при детектировании ОБП - сигнала гетеродинным детектором. Если на идеальный последовательный диодный АД подана сумма двух колебаний {колебание местной несущей и колебание ОБП - сигнала при выполнении условия (4)}

$$U_{ex\ дет} = U_{мн} \cos \omega_{мн} t + m U_0 \cos(\omega_0 + \Omega)t, \quad (17)$$

то его режим работы будет являться режимом *гетеродинного детектирования*.

Средняя мощность суммы колебаний (17) на *единичном входном сопротивлении детектора АД* ($R_{ex\ дет} = 1 \text{ Ом}$):

$$\bar{P}_{(мн+ОБП)} = \lim_{T \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{T} \int_0^T U_{ex\ дет}^2 dt \right] = \frac{U_{мн}^2}{2} + \frac{m^2 U_0^2}{2}. \quad (18)$$

Средняя мощность огибающей суммы колебаний (17) на выходе ГД при $R_{H\ дет} = 2 R_{ex\ дет} = 2 \text{ Ом}$ с учетом (10):

$$\bar{P}_{ог\ ОБП} = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} U_{ог\ ОБП}^2(t) d\Omega t \right] = \frac{U_{мн}^2}{2} + \frac{m^2 U_0^2}{2}. \quad (19)$$

Первое слагаемое $(U_{мн}^2 / 2)$ в (19) обусловлено детектированием колебания

местной несущей и определяет мощность в нагрузке детектора от протекания средней составляющей тока огибающей.

Второе слагаемое $(m^2 U_0^2 / 2)$ в (19) обусловлено детектированием бокового колебания ОБП - сигнала и определяет мощность телефонного сигнала в нагрузке детектора.

Сопоставляя (18) и (19) можно заключить, что *телефонный эффект при детектировании гетеродинным детектором ОБП - сигнала зависит только от мощности его бокового колебания и не зависит от мощности местного несущего колебания.*

1.4.3 Телефонный эффект при детектировании СОМ - сигнала. Положим, что выполняется условие (4) и СОМ - сигнал вида (11) подан на идеальный последовательный диодный АД со входным сопротивлением $R_{вх\ det} = 1\ \text{Ом}$. Средняя мощность огибающей СОМ - сигнала на выходе АД при $R_{н\ det} = 2 R_{вх\ det} = 2\ \text{Ом}$ с учетом (14):

$$\bar{P}_{ог\ СОМ} = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} U_{ог\ СОМ}^2(t) d\Omega t \right] = \frac{U_0^2}{2} + \frac{m^2 U_0^2}{2}. \quad (20)$$

Первое слагаемое $(U_0^2 / 2)$ в (20) обусловлено детектированием несущего колебания СОМ - сигнала и определяет мощность в нагрузке детектора от протекания средней составляющей тока огибающей. Среднее значение напряжения на нагрузке детектора при приеме СОМ - сигнала может быть использовано (так же как и при приеме АМ - сигнала) в качестве управляющего для системы АРУ приемника.

Второе слагаемое $(m^2 U_0^2 / 2)$ в (20) обусловлено детектированием бокового колебания СОМ - сигнала и определяет мощность телефонного сигнала в нагрузке детектора.

Сопоставляя (20) и (12), можно заключить, что *телефонный эффект при детектировании СОМ - сигнала зависит только от мощности его бокового колебания и не зависит от мощности несущего колебания.*

1.5 Телефонный эффект и дальность радиосвязи. Для сравнительной ориентировочной оценки дальности радиосвязи при использовании АМ - , ОБП - , и СОМ - сигналов предположим, что выполняются следующие условия.

1) Пиковые мощности АМ - , ОБП - и СОМ - передатчиков равны:

$$P_{пик\ АМ} = P_{пик\ ОБП} = P_{пик\ СОМ}. \quad (21)$$

2) Имеют место *идеальные условия распространения поверхностного луча радиоволны, а пространственные лучи, которые могут вызвать интерференцию радиоволны в точке приема, отсутствуют.* Тогда можно считать, что напряженность

поля радиоволны (ε) прямо пропорциональна эквивалентной излучаемой мощности передатчика ($P_{\text{эк}}$) и обратно пропорциональна дальности до передатчика (r):

$$\varepsilon \sim \sqrt{P_{\text{эк}}} / r. \quad (22)$$

3) Напряжение полезного сигнала на входе детектора линейно связано с ε через действующую высоту антенны ($h_{\text{д}}$) и коэффициент усиления радиотракта приемника ($k_{\text{нр}}$) и, следовательно, также обратно пропорционально r :

$$U_{\text{с вх дет}} = \varepsilon h_{\text{д}} k_{\text{нр}} \sim 1 / r. \quad (23)$$

4) Детектирование АМ - или СМ - сигналов в приемнике осуществляется идеальным АД, детектирование ОБП - сигнала - идеальным ГД.

5) Внешние шумы при приеме отсутствуют.

6) Полоса пропускания приемников при приеме сигналов с различными видами модуляции одинаковая.

Сравнительную оценку дальностей приема АМ - , ОБП - и СМ - сигналов при выполнении этих условий можно провести с использованием осциллограмм и данных, изображенных на рисунке 7.

2 ОПИСАНИЕ ПАКЕТА DESIGN CENTER (PSpice) И ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА

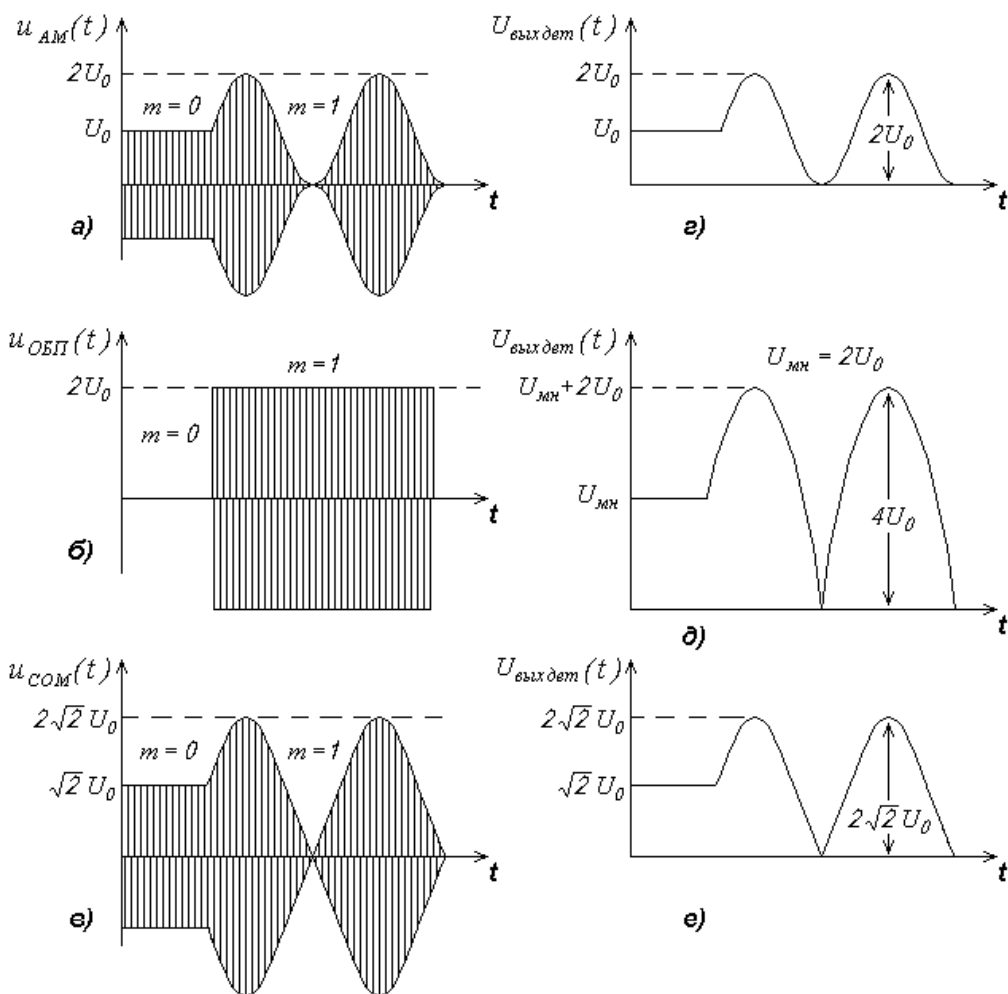
2.1 Пакет Design Center (PSpice). Пакет состоит из следующих основных программ:

Schematics — графический редактор принципиальных схем, который одновременно является управляющей оболочкой для запуска основных модулей системы на всех стадиях выполнения работы. Редактор запускается открытием файла Wpsched;

PSpice — программа моделирования аналоговых устройств. Программа запускается из графического редактора путем выполнения команды Analysis\Run PSpice или по нажатию клавиши F11 при работающем графическом редакторе;

Probe — программа графического отображения, обработки и документирования результатов моделирования. Программа запускается автоматически по завершению моделирования устройства программой PSpice.

Пакет начинает работу при запуске графического редактора Schematics.



*

Рисунок 7 - Напряжения на входном зажиме антенны передатчика:

АМ - сигнала (а); ОБП - сигнала (б); СОМ - сигнала (в).

Напряжения на нагрузке идеального АД в приемнике при детектировании:

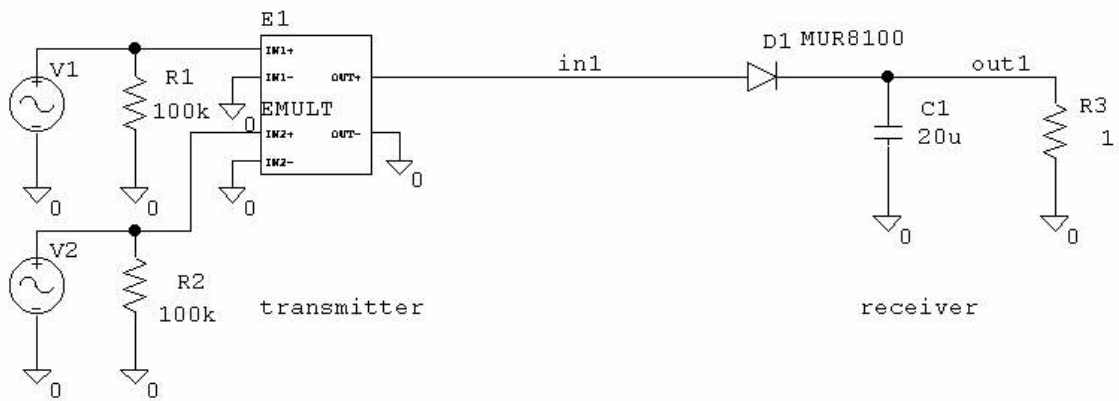
АМ - сигнала (г); ОБП - сигнала (д); СОМ - сигнала (е)

2.2 Лабораторный макет разработан в пакете Design Center (PSPICE). Лабораторный макет находится в файле maket.sch. Макет состоит из трёх систем приёма - передачи: АМ - сигнала; ОБП - сигнала; СОМ - сигнала. Принципиальная схема макета приведена на рисунке 8.

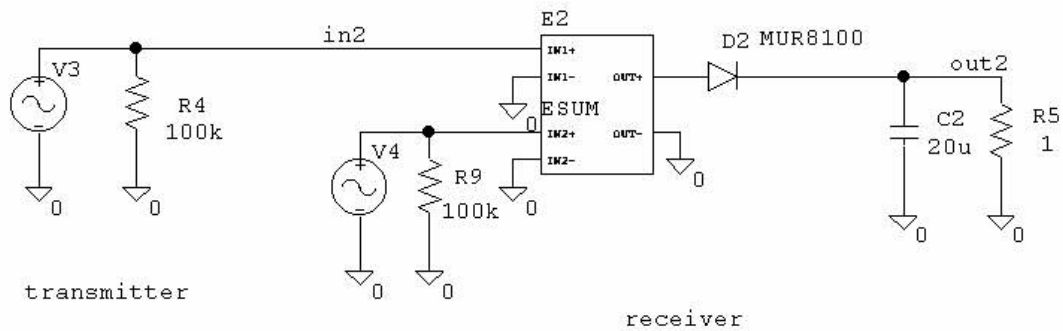
Частоты огибающей и несущей, равные соответственно 10 кГц и 100 кГц , выбраны для наглядности получаемых осциллограмм модулированных сигналов.

Передатчик АМ - сигнала состоит из: высокочастотного генератора синусоидальных колебаний (V1) с частотой $f = 100 \text{ кГц}$; низкочастотного генератора синусоидальных колебаний (V2) с частотой $f = 10 \text{ кГц}$; модулятора (умножителя E1); резисторов R1 и R2. Для приёма АМ - сигнала использован диодный детектор (D1).

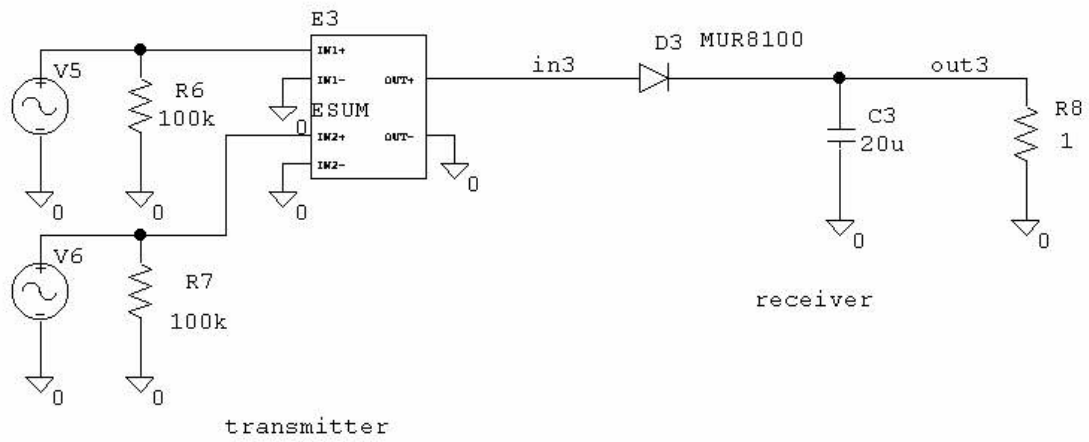
Передатчик ОБП - сигнала состоит из генератора синусоидальных колеба-



amplitude modulation



single side band modulation



compatible amplitude modulation

Рисунок 8 - Принципиальная схема макета

ний (V3) с частотой верхней боковой ($f = 100 \text{ кГц}$) и резистора R4. Приёмник

ОБП - сигнала состоит из: генератора местной несущей (V4) с частотой $f = 110 \text{ кГц}$; сумматора (E2); детектора на диоде D2.

Передатчик СОМ - сигнала состоит из: генератора синусоидального колебания (V5) с частотой $f = 100 \text{ кГц}$; генератора синусоидального колебания (V6) с частотой верхней боковой $f = 110 \text{ кГц}$. Для приёма СОМ - сигнала используется детектор на диоде (D3). Узлы на схеме обозначены соответственно их обозначению на макете.

3 РАСЧЁТНОЕ ЗАДАНИЕ

3.1 Рассчитать среднюю мощность АМ - сигнала при индексах модуляции $m = 0,3$ и $m = 1$, если пиковая мощность $P_{\text{пик АМ}}(m = 1) = 200 \text{ Вт}$.

3.2 Рассчитать среднюю мощность передатчика ОБП - сигнала при $m = 0,3$ и $m = 1$, если $P_{\text{пик ОБП}}(m = 1) = 200 \text{ Вт}$.

3.3 Рассчитать среднюю мощность СОМ - сигнала при $m = 0,3$ и $m = 1$, если пиковая мощность двухканального СОМ - передатчика $P_{\text{пик СОМ}}(m = 1) = 200 \text{ Вт}$.

3.4 Рассчитать амплитуды колебаний и величины смещений генераторов лабораторного макета в среде Design Center (P Spice) для получения АМ - , ОБП - и СОМ - сигналов при $m = 0,3$, $m = 1$ и $P_{\text{пик}}(m = 1) = 200 \text{ Вт}$.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Ознакомиться с описанием лабораторной работы, изучить состав и назначение программ пакета P Spice, уяснить функциональное назначение отдельных узлов макета.

4.2 Выполнить расчётное задание.

4.3 Продумать ответы на контрольные вопросы.

4.4 Запустить пакет P Spice и открыть файл с лабораторным макетом maket.sch.

4.5 Провести исследование сигналов, наблюдаемых в схеме макета, и их спектров. В частности:

а) получить и зарисовать осциллограммы и спектрограммы на выходах передатчиков и осциллограммы на выходах детекторов при $m = 0,3$ и $m = 1$;

б) изменить амплитуду местной несущей в ОБП - приёмнике таким образом, чтобы на выходе детектора не было, и были нелинейные искажения информационного сигнала. Зарисовать полученные сигналы.

4.6 Сделать выводы по проделанной работе.

Отчёт по лабораторной работе необходимо представить в письменной или электронной форме. Отчёт должен содержать расчётное задание, результаты экс-

перимента и выводы по проделанной работе.

5 ПОЯСНЕНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

5.1 Для открытия пакета PSpice необходимо запустить графический редактор Psched (schematics). Лабораторный макет находится в файле maket.sch, который открывается выполнением команды file\open.

5.2 Для подготовки схемы к моделированию необходимо выполнить команду Analysis\Setup, имеющей несколько позиций. Поскольку исследование проходит во временной области, выбираем позицию Transient - расчёт переходных процессов и спектральный анализ. Появится меню Transient. В строке Final Time необходимо установить конечное время исследования. Для просмотра колебаний с частотами, рекомендованными в подразделе 2.2, достаточно 0.3 - 0.5 мкс. В строке Print Step необходимо задать точность вывода результатов. Рекомендуется устанавливать 5 мкс (5us).

5.3 Для исследования зависимости формы сигнала и уровня спектральных составляющих спектра от коэффициента модуляции после открытия файла с макетом, необходимо выставить амплитуды и частоты генераторов. Для задания амплитуды колебаний нужно по очереди двойным нажатием левой кнопки мыши по символам генераторов сигналов V1, V2, V3, V4, V5, V6 вызвать меню параметров генератора и в графе iamp1 установить значения, взятые из расчётного задания (учесть, что для получения АМ - сигнала используется умножитель). Для задания частоты колебаний в графе freq установить необходимые значения. Для запуска программы расчета процессов, протекающих в схеме, необходимо выполнить команду Analysis\Run PSpice или нажать клавишу F11. По завершению моделирования, о чем можно судить по короткому звуковому сигналу, запустится программа Probe, предназначенная для графического отображения процессов, протекающих в заданных точках. Для просмотра сигнала на входах приёмников необходимо выполнить команду Probe Trase\add. В меню из списка узлов необходимо выбрать узлы in1, in2, in3. На экране Probe появится изображение сигнала.

На схеме макета обозначены узлы:

- in1 — сигнал на входе АМ – приёмника;
- in2 — сигнал на входе ОБП – приёмника;
- in3 — сигнал на входе СОМ – приёмника;
- out1 — сигнал на выходе АМ – приёмника;
- out2 — сигнал на выходе ОБП – приёмника;
- out3 — сигнал на выходе СОМ – приёмника.

Для просмотра сигнала на выходах приёмников при выполнении команды Probe Trase\add из списка узлов необходимо выбрать узлы out1, out2, out3.

Для исследования спектра необходимо выполнить команду axis\fourier. Вер-

нуться к нормальному изображению сигнала возможно, выполнив эту команду повторно. Для более детального исследования спектра или сигнала необходимо выполнить команду `zoom\display pointer`. Затем мышью необходимо выделить интересующий участок сигнала и выполнить команду `zoom\area`. Возвращение нормального изображения сигнала или спектра возможно командой `zoom\normal`. (Не забывайте отключить функцию выделения участка сигнала или спектра командой `zoom\display pointer`). Изменить диапазон осей можно командой `axis\set range`. При этом появится запрос на изменение параметров по осям. Изменение требует введения двух чисел через пробел, например, при необходимости детального просмотра диапазона от 0 до 5 миллисекунд необходимо ввести: "0_5ms". По умолчанию параметры изменены не будут.

Примечание. В пакете PSpice приняты следующие обозначения порядка:

- Гига — G;
- Мега — M;
- Кило — K или k;
- Милли — m;
- Микро — u;
- Нано — n.

Для точного определения уровня сигнала и значения частоты или времени в заданной точке, возможно использование дисплейного курсора (его вызов осуществляется командой `cursor\display`). В окне курсора - три строки и три столбца. Первый столбец — название курсора. C1 — курсор, управляемый левой кнопкой мыши, C2 — курсор, управляемый правой кнопкой мыши, dif — разница между показаниями курсоров. Второй столбец — показание по оси X, третий столбец — показания по оси Y. Курсор отключается повторным выполнением команды `cursor\display`.

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как зависит коэффициент использования пиковой мощности (КИПМ) передатчика от индекса модуляции при передаче АМ - сигнала? При каком значении индекса модуляции коэффициент использования пиковой мощности передатчика максимален ?
2. Чему равна ширина спектра АМ - радиколебания при сложном модулирующем сигнале с полосой частот $F_H \dots F_G$?
3. Возможен ли приём ОБП - сигнала на обычный АМ приёмник? Поясните почему ?
4. Чему равен КИПМ передатчика в случае передачи ОБП - сигнала при коэффициенте модуляции $m=1$; при $m=0,3$?
5. Назовите виды и причины нелинейных искажений, возникающих при гетеродинном детектировании ОБП - сигнала? Какие меры применяются для уменьшения

этих нелинейных искажений ?

6. Какие способы получения ОБП - сигнала вы знаете? В чём они заключаются ?

7. Возможен ли приём СОР - сигнала на обычный АМ приёмник? Почему ?

8. Как зависят нелинейные искажения, возникающие при линейном детектировании огибающей СОР – сигнала, от индекса модуляции ? Как их можно уменьшить ?

9. При передаче какого сигнала (АМ, ОБП или СОР) энергетические возможности передатчика используются эффективнее всего ? Почему ?

10. От чего зависит телефонный эффект при детектировании АМ - сигнала; при детектировании ОБП - сигнала; при детектировании СОР - сигнала ?

11. Поясните принцип работы пакета программ схемотехнического моделирования Design Center (P Spice) ?

12. Перечислите этапы подготовки принципиальной схемы к моделированию.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Мелихов С.В., Титов А.А. Радиовещание, связь и электроакустика: Учебно - методическое пособие по практическим занятиям для студентов радиотехнических специальностей. — Томск: Том. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2000. — 49 с.

2. Разевиг В. Д. Система схемотехнического моделирования и проектирования печатных плат Design Center (P Spice) — М.: СК ПРЕСС, 1996. — 272 с.

3. Поляков В.Т. Однополосное радиовещание // Радио. - 1992. - № 1. - С.6 - 8.