

Методические указания к лабораторной работе № 3

«Моделирование схемы формирователя амплитудной модуляции»,

лабораторной работе № 4

«Моделирование схемы фазового модулятора»

Одним из основных элементов радиопередающего устройства является модулятор. Начнем с наиболее простой модуляции — амплитудной. Как и в случае преобразователя частоты, модуляция по амплитуде сводится к перемножению модулирующего сигнала

$$Y(t) = E_0 + Y_m \cos \Omega t$$

и несущего

$$X(t) = X_m \cos \omega t.$$

После перемножения и тригонометрических преобразований получим результирующее колебание в следующем виде:

$$Z(t) = E_m \{ \cos \omega t + 0,5 M [\cos (\Omega - \omega) t + \cos (\Omega + \omega) t] \},$$

где $M = Y_m / E_m$ — коэффициент модуляции; $E_m = E_0 - X_m$.

Схема амплитудного модулятора показана на рис. 13.23. Она содержит двухвходной суммирующий усилитель на ОУ к одному входу которого подключен источник постоянного напряжения E_0 , к другому — источник модулирующего напряжения

$Y'(t)$ (амплитудой $Y_m = 1,42$ В). Поскольку коэффициент усиления по каждому входу

$R_3/R_1 = 1$, на выходе усилителя формируется сигнал

$$Y(t) = E_0 + Y'(t) = E_0 + Y_m \cos \Omega t,$$

, который поступает на Y-вход перемножителя M с коэффициентом передачи 1. На X-вход перемножителя подается сигнал несущей $X(t)$ с амплитудой $X_m = 5,66$ В.

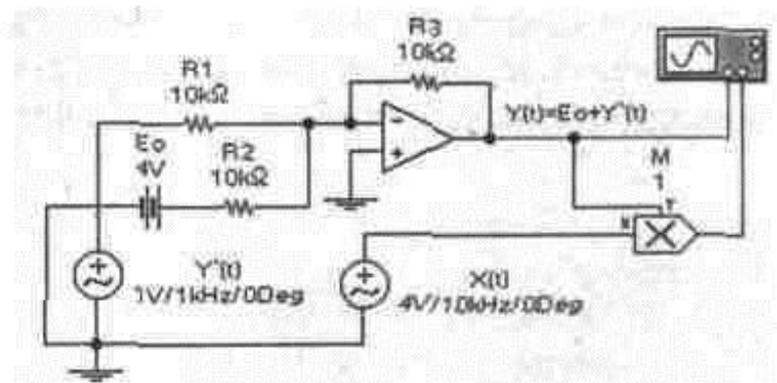


Рис. 13.23. Схема формирователя АМ- сигнала

При указанных на рис. 13.23 значениях параметров расчетные значения $M=1,42/4=0,35$; $E_m=4-5,66=22,64$. Проверим полученные результаты моделированием, результаты которого показаны на рис. 13.24, а. Для определения коэффициента модуляции по осциллограмме АМ сигналов используем методику из [51], согласно которой $M=A_m/A_c$, где (см. рис. 13.24, а) $A_m=|VB_2-VB_1|/2=15,76/2=7,88$ В; $A_c=A_m+|VB_2|=7,88+14,7=22,58$ В и, следовательно, $M=0,349$, т.е. практически равно расчетному. Для проверки второго расчетного параметра (E_m) необходимо исключить воздействие модулирующего сигнала. Для этого достаточно сделать его пренебрежимо малым — в нашем случае вместо 1 В установим 1 мкВ. Результаты моделирования показаны на рис. 13.24, б, откуда видно, что амплитуда несущей $E_m=VB_1=VB_2=22,58$ В, что практически совпадает с расчетным значением. Отметим, что оно равно среднему значению A_c амплитудно-модулированного колебания.

Другим распространенным типом модуляции является угловая. Такое название является общим для частотной и фазовой модуляции. Связь между ними формулируется следующим образом [51]: изменение частоты во времени по закону эквивалентно изменению полной фазы по закону интеграла, а изменение полной фазы по закону эквивалентно изменению частоты по закону производной. Это положение, являющееся основным в теории угловой модуляции, определяет связь между изменениями частоты и фазы и указывает на общность, существующую между двумя разновидностями угловой модуляции — модуляцией частоты (ЧМ) и модуляцией фазы (ФМ).

Сигнал с частотной модуляции в простейшем случае описывается выражением:

$$A(t)=A_0\sin[\omega t+(\Delta\omega/\Omega)\sin\Omega t] \quad (13.9)$$

где A_0 — амплитуда несущей; $\Delta\omega$ — диапазон частотного отклонения (девиации) несущей под действием модулирующего (в данном случае — синусоидального) сигнала.

Из выражения (13.9) видно, что периодическая модуляция частоты эквивалентна гармонической вариации фазы с той же частотой, при этом амплитуда получаемой вариации фазы равна

$$\Phi = \Delta\omega / \Omega.$$

Это отношение численно равно индексу модуляции M , являющемуся основным параметром угловой модуляции. Существенно, что индекс модуляции не зависит от средней (немодулированной) частоты ω , а определяется исключительно величиной девиации и модулирующей частотой.

Сигнал с фазовой модуляцией описывается выражением:

$$A(t) = A_0 \sin[\omega t + \Phi \sin \Omega t]. \quad (13.10).$$

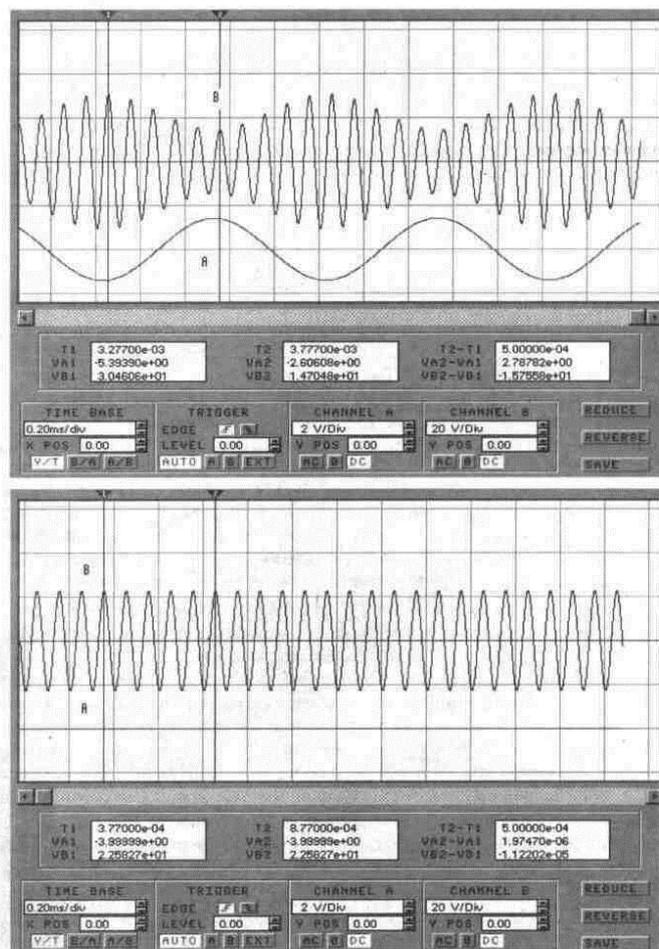


Рис. 13.24. Осциллограммы амплитудно-модулированного (B) и модулирующего (A) сигналов (а) и при отсутствии модуляции (б)

Поскольку выражения (13.9) и (13.10) получены для гармонического модулирующего сигнала, то из сравнения этих выражений с учетом обозначения $\Phi = \Delta\omega/\Omega$ можно сделать вывод, что при модуляции гармоническим сигналом по характеру колебания и его свойствам нельзя сделать однозначное заключение о том, с какой модуляцией мы имеем дело — с частотной или фазовой. Различие между частотной и фазовой модуляцией проявляется только при изменении частоты модуляции. При этом различие заключается в следующем. При частотной модуляции величина девиации пропорциональна амплитуде модулирующего напряжения и не зависит от частоты модуляции, однако с ростом последней индекс модуляции уменьшается. При фазовой же модуляции величина Φ пропорциональна амплитуде модулирующего напряжения и не зависит от частоты модуляции.

Перейдем к рассмотрению схемы фазового модулятора, показанной на рис. 13.25, а. Она содержит функциональный генератор в качестве источника модулирующего сигнала (рис. 13.25, б), источник напряжения U_i несущей и фазовращатель на ОУ1 с полевым транзистором VT в режиме управляемого сопротивления. Канал В осциллографа подключен к выходу ОУ1, а канал А — к источнику несущей для возможности наблюдения эффекта модуляции.

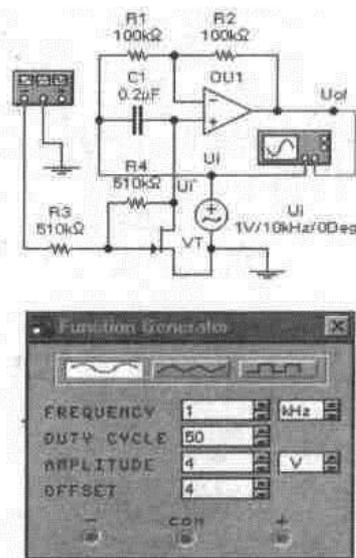


Рис. 13.25. Схема фазового модулятора (а) с установками функционального генератора (б)

Анализ фазового модулятора, представляющего собой систему с переменными параметрами, является достаточно сложной математической задачей. Поэтому ограничимся рассмотрением статического режима, заменив сопротивление полевого транзистора сопротивлением R. В таком случае напряжение на не инвертирующем входе ОУ1 в операторной форме будет иметь вид:

$$U_i'(p) = U_i(p) pRC / (1 + pRC).$$

Это напряжение передается на выход ОУ1 с коэффициентом передачи $1 + R_2/R_1 = 2$ (см. гл. 10). Напряжение $U_i(p)$ передается на выход того же усилителя с коэффициентом передачи $R_2/R_1 = 1$, причем с инвертированием сигнала. Следовательно, выходное напряжение ОУ1 $U_o(p) = 2U_i'(p) - U_i(p) = U_i(p)(pRC - 1)/(pRC + 1)$ и коэффициент передачи равен

$$K(p) = (pRC - 1)/(pRC + 1). \quad (13.11)$$

Вводя замену переменных $p = j\omega$, из (13.11) получим выражение для частотной характеристики

$$K(j\omega) = (2jm + m^2 - 1)/(1 + m^2), \quad (13.12)$$

где

$$m = \omega RC.$$

Из (13.12) нетрудно определить, что модуль коэффициента передачи равен 1, а его аргумент с учетом известного из тригонометрии соотношения

$$2 \arctg m = 2m / (1 - m^2)$$

будет определяться выражением

$$\Phi = 2 \arctg(\omega RC). \quad (13.13)$$

Из (13.13) видно, что по сравнению с обычной RC-цепью рассматриваемый фа-зовращатель обеспечивает возможность получения фазового сдвига в диапазоне от 0 до 180° . Поскольку в выражении (13.13) сопротивление R (сопротивление полевого транзистора) изменяется под действием модулирующего сигнала, выражение (13.13) отражает факт фазовой модуляции, что и подтверждается осциллографическими измерениями на рис. 13.26, откуда видно, что максимальный временной сдвиг колебаний на входе и выходе модулятора равен $T_2 - T_1 = 0,038$ мс. Поскольку период несущей составляет 0,1 мс, этот временной сдвиг эквивалентен фазовому сдвигу $136,8^\circ$.

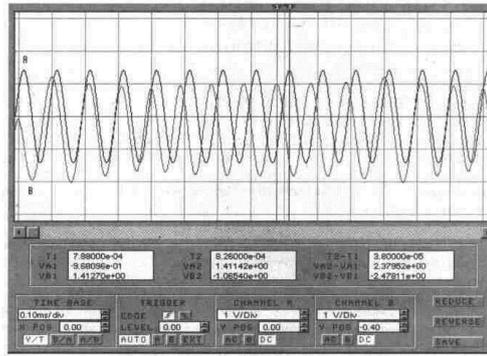


Рис. 13.26. Осциллограммы сигналов на входе (А) и выходе (В) модулятора

Контрольные вопросы и задания

1. Чем отличается процесс формирования АМ-сигнала от преобразования частоты?
2. Используя схему на рис. 13.21, проведите расчеты и моделирование для $E_0=3$ В.
3. В чем заключается различие между фазовой и частотной модуляцией?
4. Используя схему на рис. 13.25, а, исследуйте зависимость фазового сдвига (индекса модуляции) от амплитуды модулирующего напряжения.
5. Используя схему на рис. 13.27, исследуйте зависимость сопротивления полевого транзистора типа IDEAL от входного напряжения в диапазоне $[0, \dots, 4]$ В. Напряжение отсечки транзистора выберите равным -4 В. На основании полученных данных по формуле (13.13) рассчитайте фазовый угол для двух-трех значений сопротивления R и сравните полученные результаты с результатами моделирования, для чего необходимо в схеме на рис. 13.25, а функциональный генератор заменить на источник постоянного напряжения U , используемый в схеме на рис. 13.27.