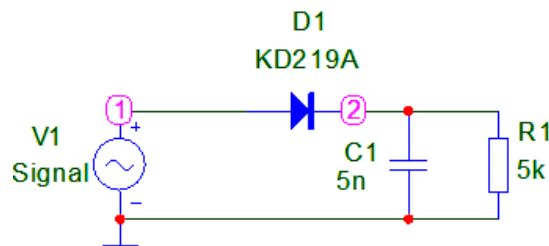


Занятие № 13

Амплитудный демодулятор

Выполнить моделирование диодного АД сначала при действии немодулированного сигнала, а затем – сигнала с гармонической АМ.

1. Диодный АД при действии немодулированного сигнала**1.1. Последовательный диодный АД****Схема модели и исходные данные для моделирования**

Параметры сигнала:

- частота $f_0 = 465$ кГц (стандартная промежуточная частота вещательного радиоприёмника АМ сигнала);
- амплитуда 1 В.

1.1.1. Процессы в АД

Получить эпюры процессов в последовательном АД при действии немодулированного сигнала: напряжения на диоде $U_d(t)$, тока через диод $I_d(t)$ (входного тока АД), напряжения на конденсаторе $U_C(t)$ (выходного напряжения АД).

Моделирование проводится в режиме **Transient Analysis**. Время моделирования (Time Range) должно составлять 5...10 периодов сигнала. Максимальную величину шага по времени (Maximum Time Step) нужно задавать таким образом, чтобы она была много меньше (в 10 раз и более), чем период сигнала. Чем меньше эта величина, тем выше точность моделирования.

На 1-й странице графиков (номер указывается в поле под заголовком Page) строятся эпюры сигнала $u(t)$ и напряжения на конденсаторе (на выходе АД) $U_C(t)$ (на одном графике). На 2-й странице строятся эпюры напряжения на диоде и тока через диод (на отдельных графиках).

По эпюрам тока измерить длительность импульса тока, протекающего через диод. Определить, какую часть длительности импульса тока составляет от длительности положительного полупериода сигнала (которая рассчитывается по известной частоте сигнала как $\frac{T_0}{2} = \frac{1}{2f_0}$). Сделать выводы из полученных результатов.

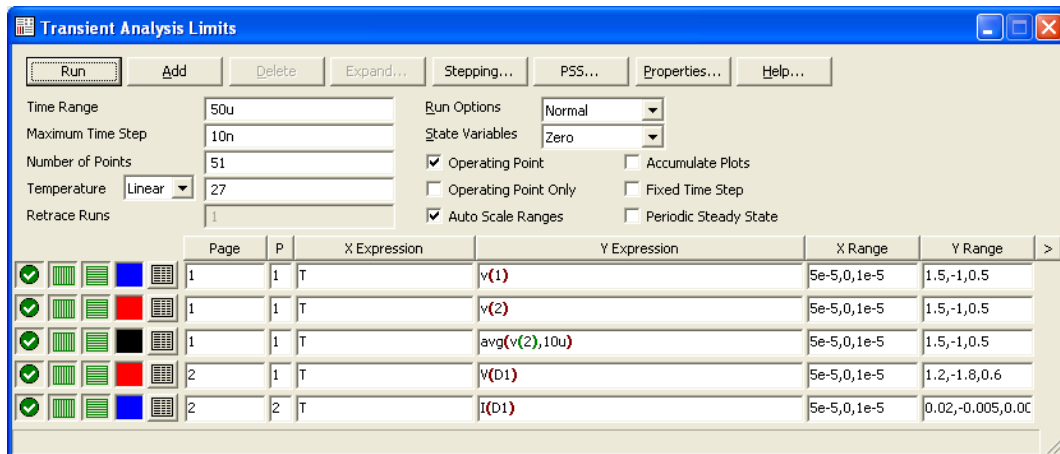
1.1.2. Характеристики АД

Характеристики АД (детекторная характеристика $U_{\text{д}}(U)$ и коэффициент передачи АД $K_{\text{д}}(U) = \frac{U_{\text{д}}}{U}$) зависят как от параметров элементов, так и от амплитуды сигнала.

Задание на моделирование

Получить зависимости постоянной составляющей напряжения на выходе АД и коэффициента передачи АД от амплитуды сигнала при изменении амплитуды от 0,05 В до 1 В.

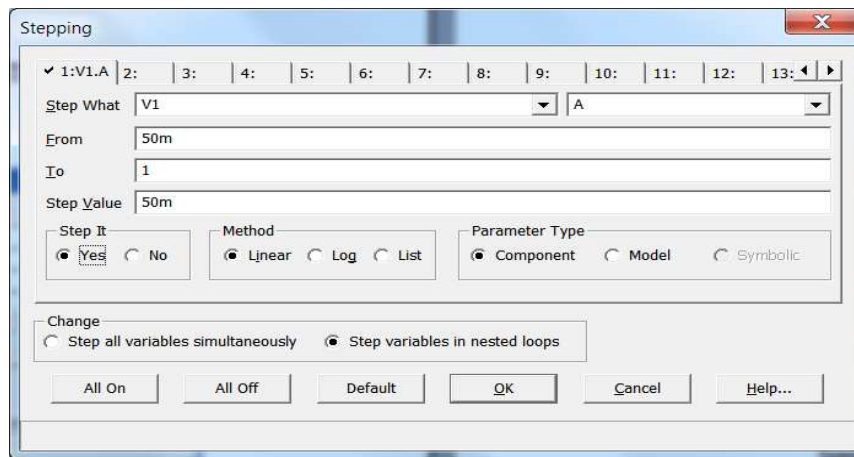
Постоянная составляющая $U_{\text{д}}$ напряжения на выходе АД определяется с использованием функции усреднения $\text{avg}(V(2), 10u)$ ¹. Второй аргумент этой функции определяет момент времени, с которого начинается усреднение мгновенных значений напряжения. Для ослабления влияния переходных процессов в АД на результат измерения это время следует задать больше длительности переходных процессов. Время моделирования установить равным 50 мкс.



Для удобства измерения постоянной составляющей нужно увеличить правую часть графика и включить маркеры (Cursor Mode). Постоянная составляющая напряжения определяется в поле правого маркера. Для перемещения маркеров с одного графика на другой используется клавиша Tab.

Для построения детекторной характеристики и получения зависимости $K_{\text{д}}(U)$ нужно проводить измерение на модели постоянной составляющей выходного напряжения при различной амплитуде сигнала. Для этого при задании параметров моделирования удобно использовать режим пошагового изменения параметров модели (Stepping), выбрав в качестве изменяемого параметра амплитуду сигнала источника V(1) (начальное значение 0.05, конечное значение 1, шаг 0.05). В окне задания параметров **Transient Analysis Limits** оставить активным только график процесса $\text{avg}(V(2), 10u)$.

¹ От англ. average – среднее.

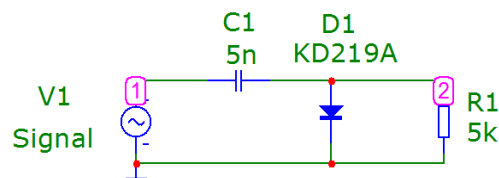


В результате строится семейство графиков при различной амплитуде сигнала. Устанавливая маркер и перемещая его по графикам клавишами \uparrow и \downarrow (при этом в заголовке графика указывается соответствующее значение амплитуды), определяем постоянную составляющую напряжения на выходе АД.

Далее, в соответствии с определением, нужно вручную (т.е. не средствами Micro-Cap) построить графики детекторной характеристики и зависимости $K_d(U)$, добавив начальную точку $U = 0$, для которой измерение провести нельзя.

1.2. Параллельный диодный АД

Схема модели АД



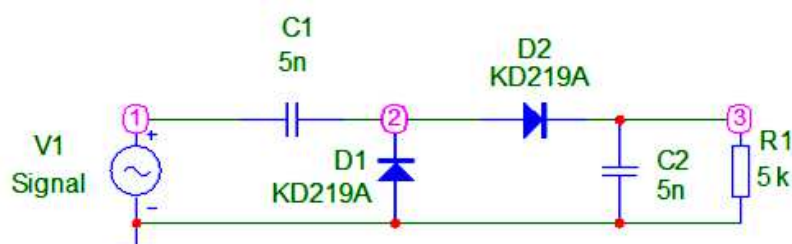
Параметры сигнала:

- частота $f_0 = 465$ кГц;
- амплитуда 1 В.

Получить эпюры напряжения на входе и выходе АД, а также усреднённого напряжения на выходе (полезного эффекта детектирования). Определить уровень постоянной составляющей напряжения на выходе АД, сравнить его со значением в случае последовательного АД.

1.3. АД с удвоением напряжения

Схема модели АД



Обратите внимание, что, по сравнению с предыдущей схемой, диод D1, входящий в состав параллельного АД, включён в обратной полярности для того, чтобы постоянная составляющая напряжения на его выходе была положительной.

Получить эпюры напряжения на входе схемы и на выходе всего детектора (на цепи R1C2). Обратит внимание на длительность переходного процесса и среднее значение напряжения на выходе АД. Сделать выводы.

Построить детекторную характеристику АД с удвоением напряжения, сравнить с аналогичной характеристикой последовательного АД, сделать выводы.

2. Демодуляция АМ сигнала в последовательном АД

Сигнал с гармонической амплитудной модуляцией определяется выражением

$$u(t) = U(t) \cos 2\pi f_0 t,$$

где $U(t) = U_0 (1 + m \cos 2\pi F_m t)$ – огибающая сигнала,

U_0 – амплитуда несущей,

f_0 – частота несущей,

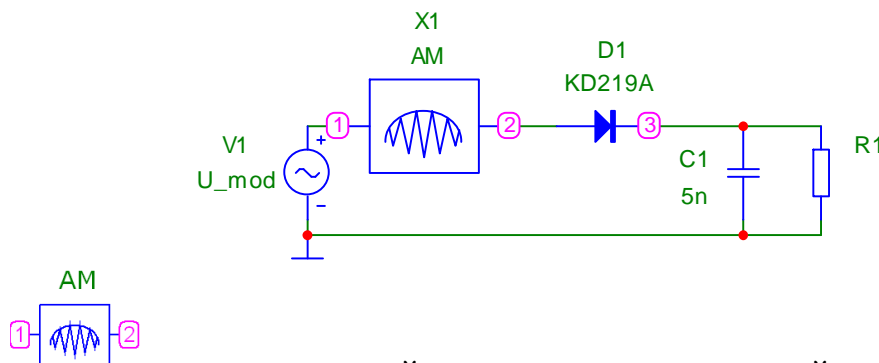
F_m – частота модуляции,

m – коэффициент модуляции.

Составить модель источника АМ сигнала и последовательного АД при следующих значениях параметров:

- амплитуда несущей $U_0 = 1$ В;
- частота несущей $f_0 = 465$ кГц;
- коэффициент модуляции $m = 0,5$;
- частота модуляции $F_m = 1$ кГц.

Схема модели



Элемент , моделирующий генератор с управляемой амплитудой колебаний, выбирается в группе макросов (**Component** → **Analog Primitives** → **Macros**)².

Сопротивление резистора R1 выбрать в интервале 10...30 кОм. Амплитуду модулирующего колебания в модели источника напряжения U_mod задать равной 1 В, частоту 2 кГц. Установив время моделирования 2...5 мс и максимальный шаг

² В версии Micro-Cap 10.0.8 этот элемент, так же как и модели источников других модулированных колебаний, помещён в отдельную группу: **Component** → **Analog Primitives** → **Modulators**.

по времени 0,1 мкс, получить на одном графике эпюры АМ сигнала и напряжения на выходе АД.

Оценка влияния инерционности АД

Используя формулу для критического коэффициента модуляции

$$m_{\text{кр}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi F_{\text{м}} \tau)^2}}, \quad \tau = R_1 C_1$$

для заданных значений $m_{\text{кр}} = 0,5$, $C_1 = 5$ нФ и выбранного сопротивления R_1 , рассчитать максимальную частоту модуляции $F_{\text{м max}}$, при которой ещё отсутствуют заметные нелинейные искажения, обусловленные инерционностью АД.

Провести моделирование для трёх значений частоты модуляции: $F_{\text{м max}}/2$, $F_{\text{м max}}$, $2F_{\text{м max}}$. (Для удобства наблюдения время моделирования можно уменьшить). Сравнить полученные эпюры напряжения на выходе АД, сделать выводы.