# Генераторы синусоидальных колебаний

# 5.6.1. Емкостная трёхточечная схема *LC*-генератора

Принцип работы генераторов синусоидальных колебаний основан на использовании в схемах колебательных контуров или фазосдвигающих звеньев: моста Вина, двойного *T*-образного моста, сдвигающих *RC*-цепей и др. Для всех автогенераторов услови­ем возникновения автоколебаний является наличие положительной обратной связи при коэффициенте усиления *КU*, равном или большем единицы.

Рассмотрим простейшие схемы *LC*-генераторов, представляющих собой устрой­ства, содержащие активный элемент (транзистор, ОУ) и сложные колебательные кон­туры, собранные по так называемой трёхточечной ёмкостной или трёхточечной ин­дуктивной схеме.

Схема *LC*-генератора (рис. 5.37) собрана на биполярном транзисторе **VT** с колеба­тельным контуром *LC1C2*, частично включенном в коллекторную цепь транзистора с помощью конденсатора **С1**. Колебательный контур является тем звеном, на котором формируется выходной сигнал генератора.

Для обеспечения незатухающих колебаний генератор должен содержать источник энергии **Е2** (обычно это источник постоянного напряжения) для восполнения потерь энергии в контуре. Резисторы **Rk**, **Re**, **Rb1** и **Rb2** обеспечивают нормальный режим работы транзистора по постоянному току. Конденсатор **С** называют конденсатором связи. Поступающий на базу транзистора **VT** сигнал положительной обратной связи, снимаемый с ёмкостного делителя, образованного конденсаторами **С1** и **С2**, совпа­дает по фазе с переменным сигналом на коллекторе. Для визуализации результатов моделирования *LC*-генератора в схему включены осциллограф **XSC1**, плоттер Боде **ХВР1**, частотомер **XFC1** и измеритель искажений синусоиды **XDA1**.

При разомкнутой цепи положительной обратной связи (при положении переклю­чателя А в верхнем положении) в схеме (рис. 5.37) получается избирательный усилитель. При подаче на базу транзистора **VT** синусоидального напряжения (действующее значение *Uвх*= 10 мВ) с частотой 5 кГц на выходе усилителя появляется напряжение *KuUвх*, а на выходе цепи обратной связи — напряжение *KuUвхβ*, где *β* — коэффициент передачи цепи ОС, определяемый коэффициентом передачи ёмкостного делителя. Если произведение *Kuβ* = 1 (условие баланса амплитуд), то напряжение на выходе цепи ОС будет одинаково по значению с напряжением *Uвх*, совпадая с ним по фазе.



Рис. 5.37

АЧХ (рис. 5.38) избирательного усилителя (рис. 5.37), снятая с помощью плот­тера **ХВР1**, из-за наличия конденсатора **С1** имеет две резонансные частоты: час­тоту *f*0 соответствующую резонансу напряжений в последовательном контуре *RLC*2, и частоту *f*1, соответствующую резонансу токов в параллельном контуре RLC12, где *C*12 = *C*1*C*2/(*C*1 + *С*2). Поскольку *С*12 < *С*1 то *f*1 > *f*0, однако расхождение между часто­тами *f*1 и *f*0 невелико. АЧХ усилителя подобна АЧХ пьезоэлектрического (кварцевого) резонатора, представляющего собой пластинку, вырезанную определённым образом из кристалла природного или искусственного кварца.

При моделировании осциллограмм в среде **Multisim** точки кривых связаны друг с другом отрезками прямых. Если точек моделирования слишком мало, кривые будут выглядеть угловатыми (рис. 5.39), а точность результатов будет сомнительной, так как настоящие осциллограммы бывают только плавными.

Для получения гармонических колебаний с заданным отклонением, например, 5.. .7% от синусоидальной функции настроим функцию анализа **Transient Analysis**. Вы­полним команды **Simulate/Analysis/Transient Analysis** (Моделировать/Анализ/Анализ переходных процессов) (рис. 5.40). Моделирование переходных процессов выполня­ется в диапазоне времени, определяемом параметрами **Start Time** (Время начала) и **End Time**. Настройки **Maximum time step** (Максимальный шаг по времени) определяют промежуток времени между точками моделирования. При выборе опции **Generate time Steps Automatically** (Создание шага по времени автоматически) программа **Multisim** будет выбирать максимально большие промежутки между точками моделирования, в результате число точек моделирования будет минимальным. При этом ошибки при моделировании будут удерживаться в диапазоне ниже заданного **Reset to default** (пo определению) максимума.



Рис. 5.38



Рис. 5.39

Опция **Minimum number of time points** (Минимальное количество точек по времени) позволяет задать минимальное количество точек для всего времени моделирования. Например, если выбрать значение МТ = 20000 точек, то максимальный промежуток времени между точками моделирования равен

ТМАХ = (TSTOP - TSTART)/MT = 0,001/20000 = 50 нс.

Можно непосредственно задать значение ТМАХ, воспользовавшись опцией **Maximum time step** (ТМАХ). При моделировании схем генераторов гармонических колебаний будем устанавливать ТМАХ = 1е-007 с. Чтобы уменьшить время возникновения и нарастания колебаний (рис. 5.41), зададим время начала отображения ос­циллограмм TSTART = 0,0019 с, а время окончания моделирования TSTOP = 0,002 с.



Рис. 5.40



Рис. 5.41

Укажем, какие кривые следует отобразить в окне программы **Grapher**. Вызов этой программы на рабочее поле дисплея осуществляется щелчком мыши на кнопке **Grapher**, расположенной в командной строке инструментальной линейки. Чтобы оп­ределить узлы, с которых будем снимать напряжение, последовательно щелкнем мышью на соответствующих проводах, а при выборе закладок **Properties** (Параметры) определим их номера: это узел 5 (напряжение с выхода конденсатора **С2**) и узел 6 (вы­ходное напряжение генератора).

Щелкнем мышью на вкладке **Output** (Выходные переменные) (см. рис. 5.40, ввер­ху). В открывшемся окне (рис. 5.42) в столбце слева выделим переменную V[5], затем щелкнем на кнопке **Add** (Добавить), и данная переменная отобразится в правом стол­бце. Повторим эти операции для переменной V[6] и щелкнем мышью на кнопке **Simulate** (Моделировать). После запуска и окончания моделирования откроется окно **Grapher View**, в котором отобразятся обе переменные на одном графике (рис. 5.43).



Рис. 5.42

Частота автоколебаний в первом приближении определяется по формуле

$f\_{1}=1/2π\sqrt{LC\_{1}C\_{2}/(C\_{1}+C\_{2})}=1/2π\sqrt{5∙10^{-3}∙5^{2}∙10^{-18}/10^{-8}}≈45кГц$.

Полученные результаты моделирования схемы (рис. 5.37): АЧХ генератора (рис. 5.44, а), частота колебаний напряжения $U\_{вых}$ (рис. 5.44, б) и отклонение кривой на­пряжения от синусоидальной формы, рассчитанное с учётом десяти гармоник ряда Фурье (рис. 5.44, в), показывают, что форма колебаний близка к синусоидальной, а их частота практически совпадает с теоретическим значением.



Рис. 5.43



а)



б)

Рис. 5.44

Изменениями сопротивления **Re** в цепи эмиттера транзистора **VT** и ЭДС источ­ника **Е2** можно в некоторой степени регулировать амплитуду выходного напряжения. Перестройку частоты *LC*-генераторов обычно осуществляют изменением ёмкости конденсатора **С1** колебательного контура.