

Лекция 4

***RC* - генератор на биполярном транзисторе**

Цель лекции:

Изучение принципов работы электронных генераторов, *RC*-автогенераторы.

План лекции:

1. фазовращающие цепи электронных генераторов.
2. *RC*-генераторы на биполярных транзисторах.
3. *RC*-генераторы на операционных усилителях.

Для генерирования гармонических колебаний в области низких частот применение *LC*-автогенераторов затруднительно из-за громоздкости контуров. Для получения гармонических колебаний низкой частоты используются *RC*-автогенераторы, которые содержат усилитель и звено ПОС (частотно-зависимую *RC*-цепь). Условием самовозбуждения для *RC*-генераторов также является выполнение соотношений 1 и 2. По принципу построения *RC*-генераторы подразделяются на две основные группы: генераторы с поворотом фазы сигнала в цепи ПОС на $\pm 180^\circ$ и генераторы, у которых фазовый сдвиг сигнала в цепи ПОС на определенной частоте равен нулю.

Для фазирующих *RC*-цепей частота, кратная πn , где $n=0,1$, называется **квазирезонансной**. На квазирезонансной частоте ω_0 фазовый сдвиг φ_β для *RC*-цепи равен 180° , а коэффициент передачи напряжения $\beta = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}$ имеет вещественный характер. Таким образом, фазосдвигающие *RC*-цепи должны обеспечивать на рабочей частоте поворот фазы выходного напряжения усилителя относительно входного на 180° . Фазовращающую цепь формируют из нескольких обратный Г-образных *RC*-звеньев. Изменение фазы

зависит от числа звеньев n и равно $\varphi = \frac{180^\circ}{n}$. Для обеспечения суммарного сдвига фаз всей фазовращающей цепью на величину π необходимо не менее трех звеньев ($n = 3$). На рис. 3 изображены два варианта таких цепочек, получивших название соответственно R -параллель и C -параллель.

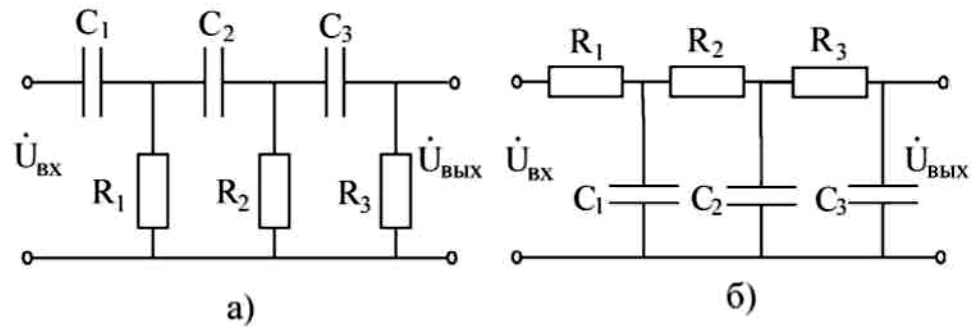


Рис. 3. Фазовращающие цепи: R -параллель (а); C -параллель (б)

Для R -параллели на квазирезонансной частоте генерации f_0 трехзвенная RC -цепь ПОС имеет вещественное значение коэффициента передачи этого звена $\beta = 1/29$ и вносит фазовый сдвиг $\varphi_\beta = \pi$. Поэтому для обеспечения в автогенераторе баланса амплитуд необходимо выбирать коэффициент усиления усилителя $|K| > 29$. Квазирезонансная частота генерации при $R_1 = R_2 = R_3 = R$ и $C_1 = C_2 = C_3 = C$ определяется формулой:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{6}} = \frac{0.065}{RC}. \quad (5)$$

Т.е. частота генерации зависит только от параметров цепи ОС: R и C . Для C -параллели квазирезонансная частота будет определяться соотношением:

$$f_0 = \frac{\sqrt{6}}{2\pi RC} = \frac{0.39}{RC}. \quad (6)$$

RC-генераторы на БТ. На рис. 4 приведена схема RC-генератора с цепью обратной связи в виде трехзвенной RC-цепи. Генератор состоит из транзисторного усилителя (схема ОЭ) и цепи ПОС ($C_1, C_2, C_3, R_1'', R_2, R_3$). Резисторы R_1' и R_1'' включены как делители напряжения для создания необходимого режима работы транзистора по постоянному току. Температурная стабилизация рабочей точки осуществляется с помощью R_3 и C_3 , C_4 - разделительные конденсаторы.

Резисторы R_1'', R_2, R_3 и конденсаторы C_1, C_2, C_3 образуют трехзвенную цепь ПОС. Три цепочки создают сдвиг фаз, равный 180° между напряжениями на коллекторе и базе. Коэффициент передачи напряжения фазосдвигающими цепочками равен $1/29$. Для того чтобы схема вырабатывала синусоидальные колебания, ПОС должна обеспечиваться только для одной частоты.

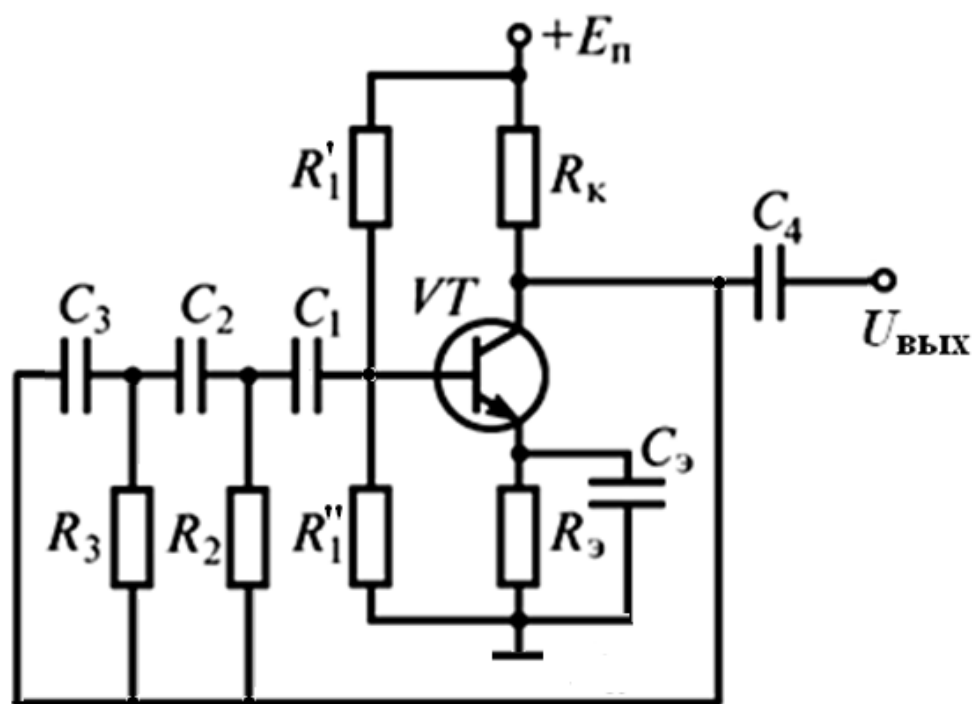


Рис. 4. Схема транзисторного RC-генератора

Для выполнения условия баланса амплитуд коэффициент усиления усилителя должен быть больше ослабления, вносимого фазовращающей цепью. Для схемы, приведенной на рис. 4, это ослабление равно 29. Сдвиг фаз сигнала на выходе цепи относительно сигнала на входе равен π .

RC-генераторы на ОУ. Рассмотрим схему RC-генератора с фазовым сдвигом в цепи ПОС, выполненную на ОУ (рис. 5). Схема содержит инвертирующий усилитель (R_0 , R_{OC} , ОУ), фаза выходного напряжения которого отличается от фазы входного на 180° . Условие баланса фаз может быть выполнено, если частотно-зависимая цепь ПОС также обеспечивает повороты фазы напряжения на 180° на нужной частоте генерации. В качестве фазирующей цепи используется трехзвенная Г-образная RC-цепь, включенная между выходом и инвертирующем входом ОУ (C_1 , C_2 , C_3 , R_1 , R_2 , R_3).

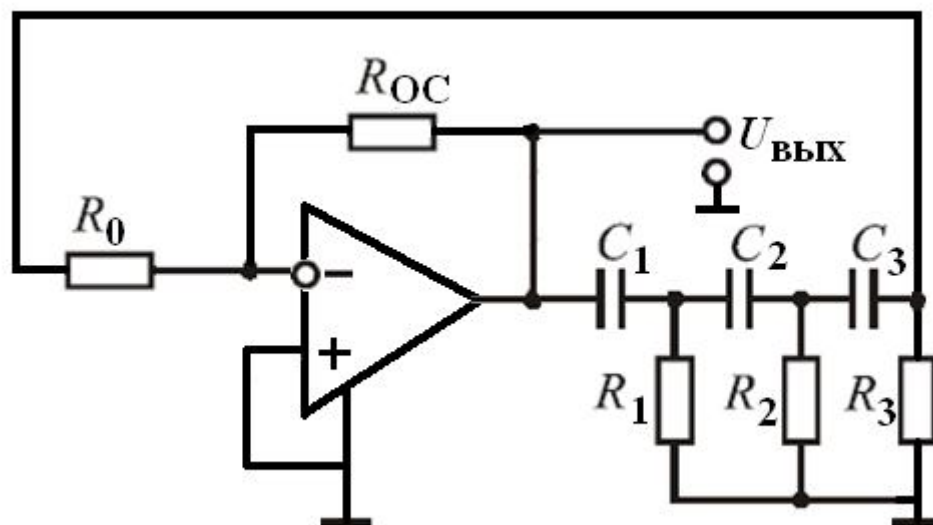


Рис. 5. Схема генератора синусоидальных колебаний на ОУ с трехзвенной RC-цепью

К другой группе RC - генераторов относятся генераторы, у которых сдвиг сигнала в цепи ПОС равен нулю. RC – генератор без фазового сдвига в цепи обратной связи содержит усилитель с нулевым фазовым сдвигом и последовательно – параллельную RC –цепочку с нулевым фазовым сдвигом на квазирезонансной частоте, например, мост Вина (рис. 6).

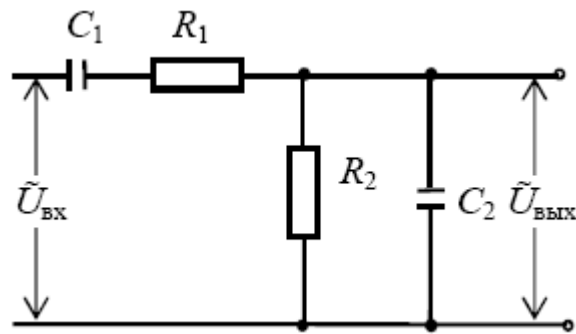


Рис. 6. Схема RC – цепи без фазового сдвига в цепи ОС (мост Вина)

Важной особенностью цепи Вина является то, что максимум модуля коэффициента передачи этой цепи имеется на частоте

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}, \quad (8)$$

на которой фазовый сдвиг выходного сигнала относительно гармонического входного сигнала равен нулю. При идеальных условиях $R_1 = R_2 = R$ и $C_1 = C_2 = C$. Тогда

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}; \quad \beta = \frac{1}{3}. \quad (9)$$

На рис. 7. показан генератор, выполненный на основе неинвертирующего усилителя (R_0 , R_{OC} , ОУ), а в качестве фазирующей RC - цепи используется мост Вина (C_1 , C_2 , R_1 , R_2).

Мост Вина – это элемент ПОС. Он включается между выходом генератора и неинвертирующим входом ОУ, поскольку он не дает сдвига фазы. Элементы R_{OC} и R_0 предназначены для получения требуемого коэффициента усиления усилительного звена. Частота генерации в схеме равна квазирезонансной частоте частотно-зависимой цепи, определяемой из соотношения

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} = \frac{1}{2\pi R C}, \quad (10)$$

где $R_1 = R_2 = R$ и $C_1 = C_2 = C$. Необходимая амплитуда колебаний достигается корректировкой сопротивления R_0 или R_{OC} в процессе настройки.

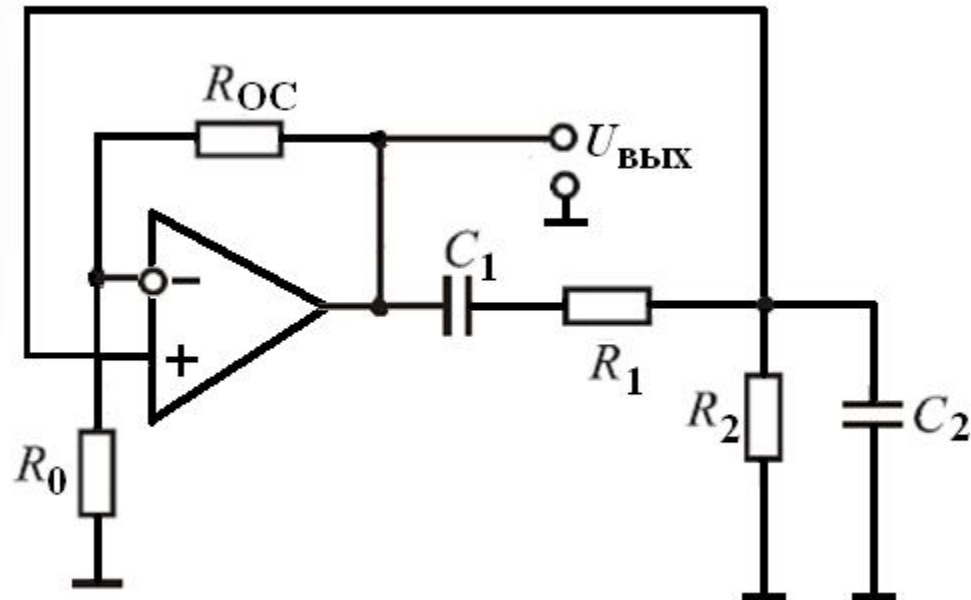


Рис. 7. Схема генератора синусоидальных колебаний на ОУ с мостом Вина

Коэффициент β на частоте ω_0 имеет вид:

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}}. \quad (10)$$

Или с учетом соотношений (9) $\beta = 1/3$.