

Практическое занятие №16

ГЕНЕРАТОРНЫЕ И ИМПУЛЬСНЫЕ УСТРОЙСТВА

Теоретические сведения

ГЕНЕРАТОРЫ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Генераторы строят на основе усилителей, охваченных цепью положительной обратной связи. Для автогенераторов, т.е. генераторов с самовозбуждением, работающих без внешнего входного сигнала, процесс генерации колебаний происходит в случае выполнения двух условий:

$$K \cdot \chi \geq 1, \quad (1)$$

$$\varphi_K + \varphi_\chi = 2\pi n; \quad (2)$$

где K – коэффициент усиления (без учета цепи обратной связи); $\chi = U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ОС}}$ – коэффициент обратной связи; φ_K – сдвиг фазы, вносимый усилительным каскадом; φ_χ – сдвиг фазы, вносимый цепью ОС; $n = 0, 1, 2, \dots$

RC -генераторы строятся на фазосдвигающих (фазовращающих) RC -цепях. Обычно усилитель, на основе которого строится генератор гармонических (синусоидальных) колебаний, вносит угол фазового сдвига между входным и выходным сигналом $\varphi_K = \pi$. Соответственно, чтобы выполнялось условие $\varphi_K + \varphi_\chi = 2\pi n$, необходимо, чтобы фазовращающая цепь также сдвигала фазу на угол $\varphi_\chi = \pi$, причем это условие из-за частотной зависимости угла фазового сдвига φ , вносимого реактивными элементами (в данном случае конденсаторами), будет выполняться только на одной частоте. Эта частота называется **квазирезонансной**. Именно на этой частоте будут генерироваться синусоидальные колебания в RC -генераторе.

Фазовращающая цепь состоит из нескольких обратных Γ -образных RC -звеньев («обратных», т.к. в виде перевернутой справа налево буквы «Г»), как показано на рис. 1.

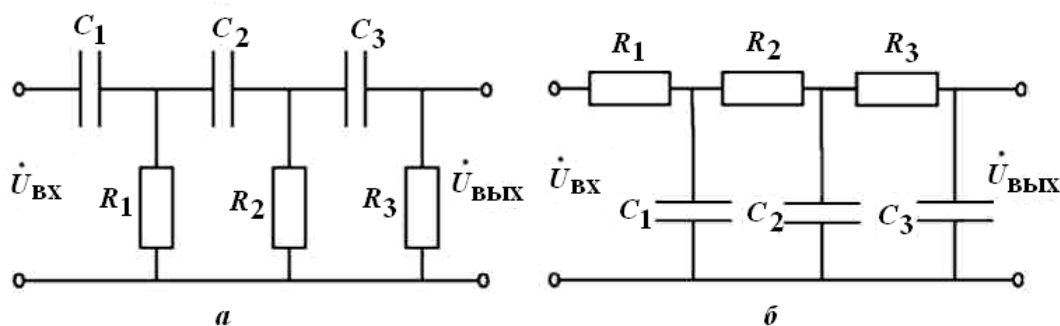


Рис. 1. Фазовращающие цепи: а – R -параллель; б – C -параллель

Изменение фазы зависит от числа звеньев n . Каждая RC -цепь сдвигает фазу на угол $0^\circ < \varphi < 90^\circ$, точное значение которого определяется

соотношением между емкостным и резистивным сопротивлениями. Соответственно, для получения суммарного сдвига фаз всей фазовращающей цепью на величину π (180°) необходимо не менее трех звеньев ($n = 3$, если каждое звено дает сдвиг фазы в 60°). На рис. 1 изображены два варианта таких цепочек, получивших название соответственно R -параллель и C -параллель. Обычно параметры звеньев делают одинаковыми.

На рис. 2 показаны варианты реализации схем RC -генератора на микросхеме ОУ. В их основе лежат фазосдвигающие RC -цепи (R -параллель и C -параллель), которые обеспечивают сдвиг фазы для генерируемой частоты на 180° . Это, с учётом инвертирующего усилителя, который также обеспечивает сдвиг фазы сигнала на 180° , получаем суммарный сдвиг фазы сигнала 2π .

Количество звеньев фазосдвигающей цепи может быть в принципе любое, но не менее 3.

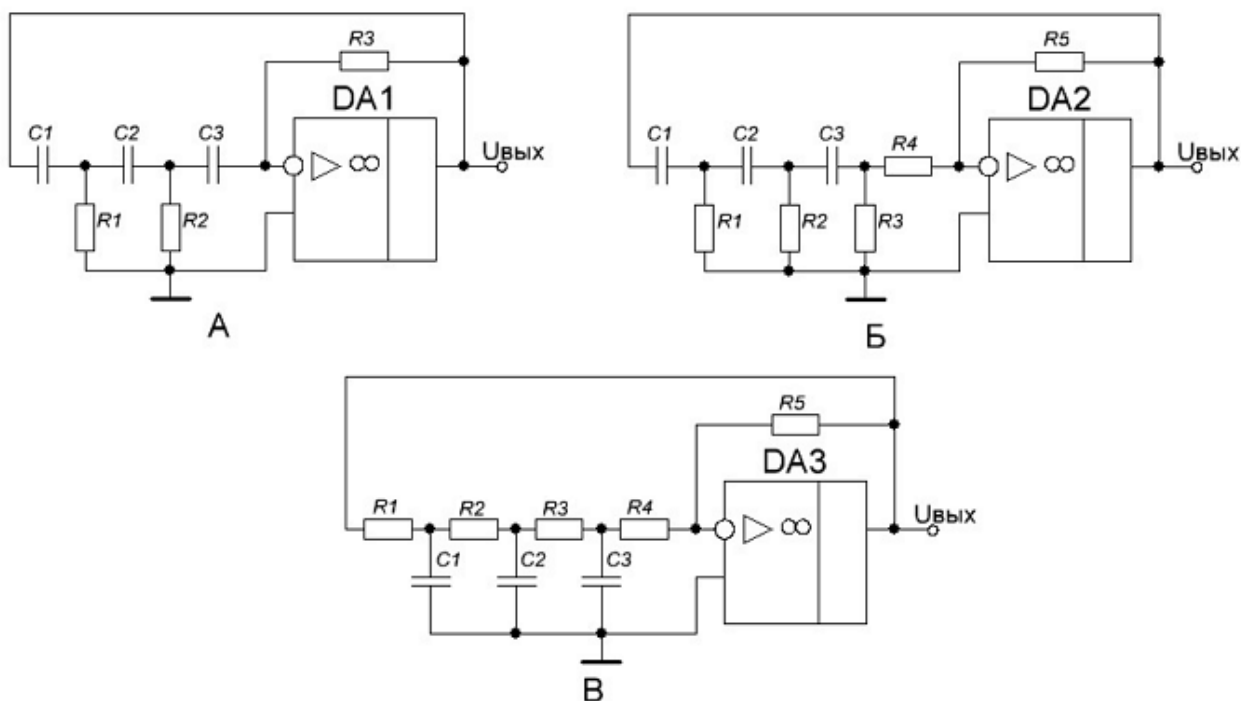


Рис. 2. Варианты схем RC -автогенератора на ОУ с R -параллелью (А и Б) и C -параллелью (В)

Для схемы рис. 2, а: при $R_1 = R_2 = R$, $C_1 = C_2 = C_3 = C$:

$$\text{Частота колебаний } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{3} \cdot RC}. \text{ Условие автогенерации: } R_3 \geq 12R. \quad (3)$$

Для схемы рис. 2, б: при $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$, $C_1 = C_2 = C_3 = C$:

$$\text{Частота колебаний } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{6} \cdot RC}. \text{ Условие автогенерации: } \frac{R_5}{R_4} \geq 29. \quad (4)$$

Для схемы рис. 2, в: при $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$, $C_1 = C_2 = C_3 = C$:

В случае произвольного по форме импульса (рис. 4) к этим параметрам добавляются длительность переднего фронта импульса $t_{\text{фр}}^+$ (время нарастания импульса от $0,1U_m$ до $0,9U_m$); длительность заднего фронта импульса $t_{\text{фр}}^-$ (время спада импульса от $0,9U_m$ до $0,1U_m$); перепад вершины импульса ΔU . В этом случае период импульса складывается из длительностей всех его этапов:

$$T = t_{\text{фр}}^+ + t_{\text{и}} + t_{\text{фр}}^- + t_{\text{п}}.$$

При этом обычно длительности фронтов $t_{\text{фр}}^+$ и $t_{\text{фр}}^-$ на несколько порядков величины (т.е. в десятки, сотни, тысячи раз) меньше времен $t_{\text{и}}$ и $t_{\text{п}}$.

КОМПАРАТОР

Показанный на рис. 5 компаратор переключается на выходе из одного устойчивого состояния в другое в моменты времени, когда напряжение на одном входе, например, на инвертирующем, только-только начинает превышать или, наоборот, становится меньше, чем напряжение на другом входе (неинвертирующем).

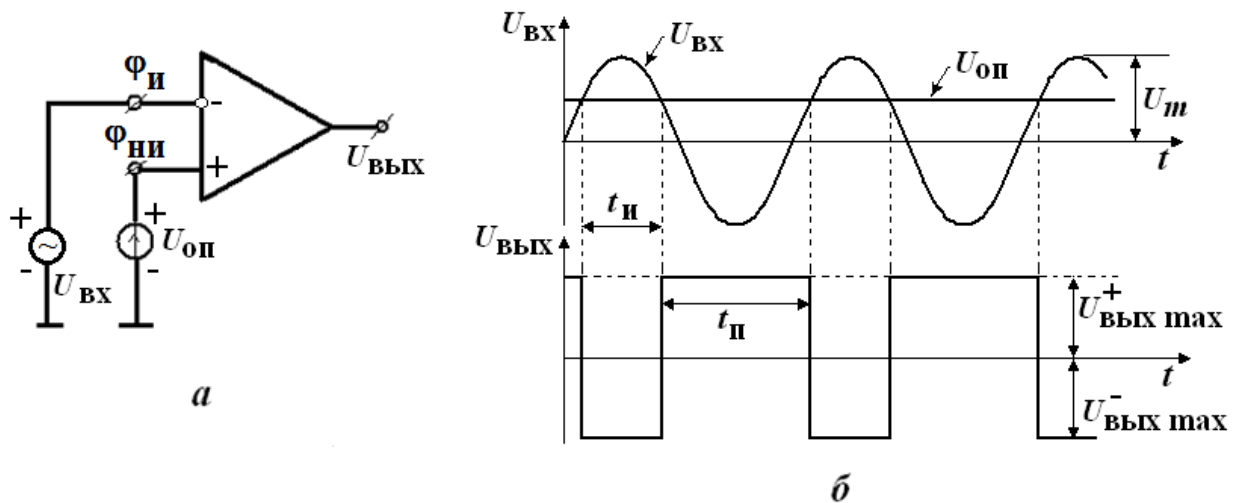


Рис. 5. Компаратор: схема (а) и временные диаграммы работы (б)

В случае если $\varphi_{\text{и}} > \varphi_{\text{ни}}$, на выходе устанавливается максимальное отрицательное напряжение $U_{\text{ВЫХ max}}^-$, если $\varphi_{\text{и}} < \varphi_{\text{ни}}$, на выходе устанавливается максимальное положительное напряжение $U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВЫХ max}}^+$.

Учитывая очень большой коэффициент усиления микросхемы ($K_{\text{д}}$ в десятки и сотни тысяч), можно считать, что переключение происходит в моменты равенства входных напряжений друг другу.

Задачи для решения

1. Для схемы генератора на рис. 2, а определить частоту генерации колебаний, если известно, что $C1 = C2 = C3 = 1$ мкФ, $R1 = R2 = 100$ Ом. Какое минимальное значение сопротивления должно быть у резистора $R3$, чтобы генератор работал?

2. В схеме генератора на рис. 2, б $R1 = R2 = R3 = R4 = 2,5$ кОм. Найти значения параметров всех остальных элементов схемы, чтобы она вырабатывала колебания на частоте 1 кГц. (Принять $C1 = C2 = C3 = C$.)

3. В схеме генератора на рис. 2, в $C1 = C2 = C3 = 100$ нФ. Найти значения параметров всех остальных элементов схемы, чтобы она вырабатывала колебания на частоте 20 кГц. (Принять $R1 = R2 = R3 = R4 = R$.)

4. Определить длительность паузы прямоугольного импульса (рис. 3), если известно, что частота следований импульсов 5 кГц, скважность импульса равна 1,5; 2; 3. (Должно быть три ответа.)

5. Определить частоту следования импульсов, если известно, что длительность импульса 5 мкс, длительность паузы 4 мкс, длительность переднего фронта импульса 20 нс, заднего фронта 50 нс.

6. Определить, через какое время переключится компаратор на рис. 5, а, если известно, что на его *инвертирующий* вход подается опорное напряжение 2 В, а на *неинвертирующем* входе напряжение линейно нарастает от нуля по закону $u(t) = 5000 \cdot t$. Какого знака было напряжение на выходе компаратора изначально и с каким знаком оно стало после переключения?

7. Определить длительность времени, в течение которого на выходе компаратора (рис. 5) держится максимальное отрицательное напряжение (т.е. $t_{и}$ на рис. 5, б), и длительность времени, в течение которого на выходе держится максимальное положительное напряжение (т.е. $t_{п}$ на рис. 5, б). На неинвертирующий вход подается опорное напряжение 2,5 В, а на инвертирующем входе напряжение меняется по закону: $u_{вх}(t) = 5 \cdot \sin(6280 \cdot t)$.

Примечание к задачам 6 и 7: Нужно найти время, при котором $\varphi_{и} = \varphi_{ни}$, т.е. решить уравнение $u_{вх}(t) = U_{оп}$ относительно t . Ответ должен получиться в секундах (в мс, мкс и т.д.).

Задаче 7 соответствует временная диаграмма на рис. 5, б. В случае задачи 7 получится не один, а серия корней, т.к. уравнение тригонометрическое, а корни должны находиться как \arcsin с соответствующей для функции \sin периодичностью (не забудьте, что здесь нужно подразумевать радианы, т.е. $\pi/6$ или $\pi/3$, $\pi/2$, $2\pi/3$, π и т.д. (и не забыть далее, что $\pi = 3,14$), а не градусы!). Затем нужно будет найти *разность* между моментами времени, когда $u_{вх}(t) = U_{оп}$, опять с учетом периодичности функции \sin , которая будет пересекаться с прямой $U = U_{оп}$ много раз.

Чтобы было понятно, сделайте для задач 6 и 7 рисунки временных диаграмм напряжений.