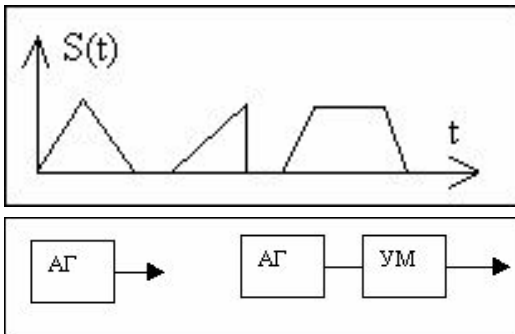


11.1. Общие сведения



Генераторы электрических сигналов - это устройства, которые преобразуют электрическую энергию постоянного тока в энергию электрических сигналов той или иной формы. Названия генераторам дают в соответствии с формой сигнала, который они вырабатывают, например:

1. Генераторы гармонических колебаний
2. Генераторы импульсов прямоугольной формы
3. Генераторы сигналов специальной формы (треугольной, пилообразной, трапециидальной и т.д.).

В зависимости от способов создания сигналов генераторы подразделяют:

А) Генераторы с самовозбуждением, их называют автогенераторы. Это устройства которые автономно преобразуют энергии источника питания в энергию сигналов требуемой формы.

Б) Генераторы с внешним возбуждением, это, фактически, усилитель мощности.

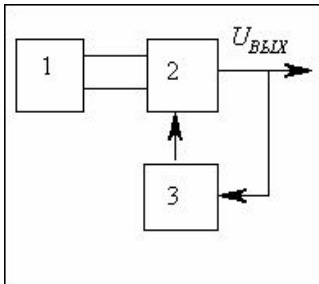
В зависимости от элементов, определяющих частоту автогенератора, генераторы бывают:

1. LC-типа
2. RC-типа
3. кварцевые генераторы (высокая стабильность частоты).

По принципу построения автогенераторы подразделяются:
С внешней обратной связью.

С внутренней обратной связью.

11.2. Структурная схема автогенератора. Баланс амплитуд, баланс фаз



Генератор с внешней обратной связью представляет собой нелинейный усилитель, охваченный положительной обратной связью. Основными элементами генератора являются:

1. Источник питания
2. Нелинейный усилитель
3. Цепь обратной связи

Коэффициент усилителя, охваченный обратной связью,

$$\text{определяется выражением: } K_{\text{ос}} = \frac{K(j\omega, a)}{1 - K(j\omega, a)\beta(j\omega)}$$

где, $K(j\omega, a) - \beta(j\omega) -$

Для того чтобы усилитель превратился в генератор, необходимо чтобы:

$$K_{\text{ос}} \rightarrow \infty, \text{ т.е. } K(j\omega)\beta(j\omega) = 1$$

Учитывая, что $K(j\omega, a) = K(\omega, a) e^{j\varphi_K}$, $\beta(j\omega) = \beta(\omega) e^{j\varphi_B}$

Получим, условие стационарных автоколебаний, т.е. автоколебаний с постоянной амплитудой:

$$K(\omega, a) \beta(\omega) e^{j(\varphi_K + \varphi_B)} = 1$$

Последнее соотношение разбивается на два:

$$K(\omega, a) \beta(\omega) = 1 \text{ - баланс амплитуд БА}$$

$$\varphi_K(\omega) + \varphi_B(\omega) = 2\pi n, n = 1, 2, \dots \text{ - баланс фаз БФ}$$

Обычно, цепь положительной ОС состоит из пассивных элементов, а потому $\beta(\omega) < 1$, а потому баланс амплитуд означает, что для стационарных автоколебаний энергия (амплитуда), теряемая в цепи обратной связи должна восстанавливаться усилителем. Только в этом случае в генераторе возможны колебания с постоянной (стационарной) амплитудой $a_{ст}$.

Баланс фаз означает, что для того, чтобы устройство было генератором необходима положительная обратная связь.

Важным этапом работы автогенератора является этап его самовозбуждения. На этом этапе амплитуда a возрастает от 0 до своего стационарного значения $a_{ст}$ т.е. $0 < a < a_{ст}$

Условие самовозбуждения имеет следующий вид:

$$K(j\omega, a) \beta(j\omega) > 1 \text{ Его можно разбить на два:}$$

$$\begin{cases} K(\omega, 0) \beta(\omega) > 1 \\ \varphi_{K(\omega)} + \varphi_{B(\omega)} = 2\pi n, n = 1, 2, \dots \end{cases}$$

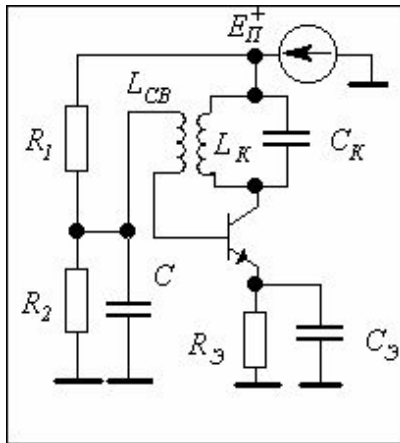
Первое из них означает, что на этапе самовозбуждения энергия создаваемая усилителем должна превышать энергию, теряемую в цепи обратной связи. За счет этого и происходит возрастание амплитуды автоколебания.

По мере роста амплитуды коэффициент усиления нелинейного усилителя $K(\omega, a)$ уменьшается и при некотором значении $a = a_{ст}$ условие самовозбуждения автоматически переходит в условие стационарных автоколебаний.

Если баланс амплитуд и баланс фаз выполняются на одной частоте, то в генераторе возникает одночастотные, т.е. гармонические по форме колебания. Если баланс амплитуд и баланс фаз выполняются одновременно на многих частотах, то в генераторе возникают колебания с разными частотами. Форма таких сигналов отличается от гармоничных.

Генераторы прямоугольной формы иногда называют мультивибраторами. Это означает, что прямоугольные сигналы состоят из бесконечно большого числа гармонических колебаний.

11.3. LC-генератор с индуктивной обратной СВЯЗЬЮ



Основы генератора составляет резонансный усилитель с колебательным контуром L_k, C_k в коллекторной цепи. Резисторы R_1 и R_2 задают рабочую точку транзистора на линейном участке, здесь наибольший коэффициент усиления. Катушка индуктивности контура L_k индуктивно связана с катушкой индуктивности в цепи базы $L_{св\text{язи}}$ (ее называют катушкой связи). За счет нее часть энергии колебательного контура передается в цепь базы транзистора.

Для того чтобы это устройство было генератором, необходимо чтобы L_k и $L_{св\text{язи}}$ были включены встречно, что дает фазовый сдвиг цепи обратной связи равный π .

Баланс фаз этой схемы:

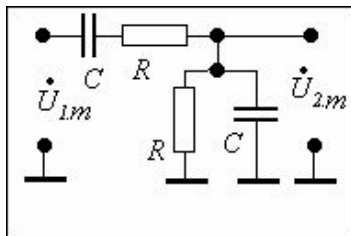
$$\varphi_k(\omega) + \varphi_B(\omega) = 2\pi$$

здесь $\varphi_k(\omega) = \pi$ и $\varphi_B(\omega) = \pi$.

В этой схеме за счет колебательного контура фазовый сдвиг усилителя равен 180° ($\varphi_k(\omega) = \pi$) только на одной резонансной частоте ω_0 , а потому баланс амплитуд и баланс фаз выполняется только на одной частоте. Это означает, что в схеме возникают гармонические колебания, частота которых определяется параметрами колебательного контура

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_k C_k}}$$

11.4. Генератор с мостом Вина в цепи с положительной обратной связью



Схема, состоящая из RC элементов, соединенных как показано на рис.11., называется мостом Вина. Ее комплексный коэффициент передачи определяется выражением

$$\beta(j\omega) = \frac{U_{2m}}{U_{1m}} = \frac{1}{3 + j(\omega\tau - \frac{1}{\omega\tau})}$$

а АЧХ и ФЧХ коэффициента передачи приведены на рис .11. Из них следует, что на частоте $\omega_0 = 1/RC$ (она называется квазирезонансная) коэффициент передачи цепи равен $1/3$, а фазовый сдвиг равен нулю.

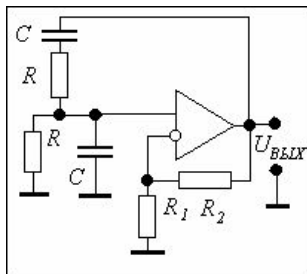
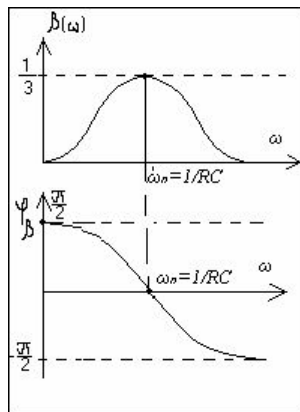
Схема генератора гармонических колебаний с мостом Вина приведена на рис.11. . Мост Вина включен в цепь положительной обратной связи, а резисторы R_1 и R_2 образуют цепь отрицательной обратной связи и задают коэффициент усиления. Причем по отношению к сигналу обратной связи усилитель является неинвертирующим, т.е. $\varphi_k(\omega) = 0$, $2\pi k$ с коэффициентом усиления $K = 1 + R_2/R_1$.

Установим условия, при которых выполняются баланс амплитуд и баланс фаз.

1. Т. к. $\varphi_k(\omega) = 2\pi k$, то баланс фаз $\varphi_k(\omega_0) + \varphi_B(\omega_0) = 0$, выполняется только на одной частоте ω_0 .

2.Т. к. на резонансной частоте $\beta(\omega_0) = 1/3$, то для выполнения баланса амплитуд $K\beta(\omega_0) \beta(\omega_0) = 1$, коэффициент усиления должен быть $K \geq 3$.

Отсюда $K \geq 1 + R_2/R_1$, следовательно, $R_2 \geq 2R_1$ и в этом случае в схеме будут возникать гармонические колебания.



11.5. Мультивибратор на операционном усилителе

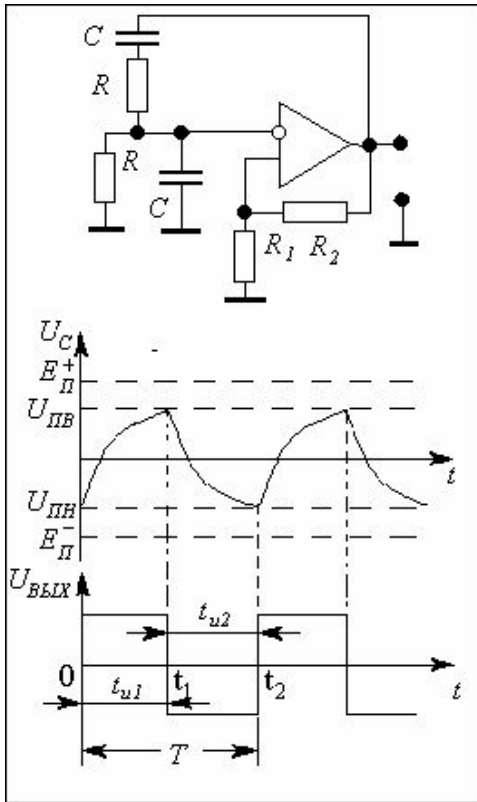


Схема мультивибратора (генератора прямоугольных импульсов) приведена на рис.11.

Схема содержит две цепи обратной связи:

1. Цепь положительной обратной связи, образованная элементами R_1 и R_2 . Она частотно независима.
2. Цепь отрицательной обратной связи, образованная элементами R и C . Она частотно зависима.

По отношению к напряжению на инвертирующем входе $U_{-ВХ}$ схема работает, как компаратор с положительной обратной связью, то есть переключается, когда напряжение на инвертирующем входе $U_{-ВХ}$ достигает величины напряжения на неинвертирующем входе $U_{+ВХ}$, которое может принимать два значения $U_{ПВ}$, $U_{ПН}$:

$$U_{ПВ} = E_{П}^{+} \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \text{верхний порог срабатывания};$$

$$U_{ПН} = E_{П}^{-} \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \text{нижний порог срабатывания}.$$

1. Пусть $U_{ВЫХ} = E_{П}^{+}$, тогда $U_{+ВХ} = U_{ПВ}$, а $U_{-ВХ} = U_C = U_{ПН}$. Происходит заряд конденсатора C током $I_{зар}$ через сопротивление R . Напряжение на конденсаторе повышается, а когда оно достигает $U_{ПВ}$, восстанавливаются усилительные свойства ОУ (он выходит из насыщения и переходит в активный режим). После чего схема лавинообразно изменяет свое состояние на противоположное. В результате чего выходное напряжение принимает значение $E_{П}^{-}$. Это временной интервал $0 \leq t \leq t_1$.

2. Рассмотрим временной интервал $t_1 \leq t \leq t_2$. При $t_1 = t$ напряжения на выводах ОУ равны $U_{ВЫХ} = E_{П}^{-}$, $U_{-ВХ} = U_C = U_{ПВ}$, $U_{+ВХ} = U_{ПН}$.

Происходит разряд конденсатора C током $i_{раз}$ через сопротивление R . Напряжение на конденсаторе убывает по экспоненте, стремясь к Е-П. При $t=t_2$ оно достигает значения УПН $U_{ПВ}$, восстанавливаются усилительные свойства ОУ (он выходит из насыщения и переходит в активный режим). После чего схема лавинообразно изменяет свое состояние на противоположное. В результате чего выходное напряжение принимает значение Е+П. В дальнейшем все повторяется.

Основными параметрами выходного сигнала являются:

1. Частота автоколебаний. $f = \frac{1}{T}$ $T = t_{u1} + t_{u2}$

2. Уровни выходного напряжения $U^1 = E_n^+$; $U^0 = E_n^-$

Если $E_n^+ = E_n^-$, то $t_{и1} = t_{и2}$ и мультивибратор называется симметричным.

Если $t_{и1} > t_{и2}$ или $t_{и1} < t_{и2}$ то мультивибратор называется несимметричным.