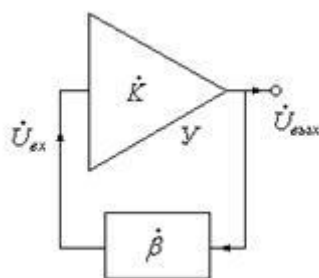


Лекция. Генераторы электрических сигналов



Структурная схема простейшего генератора, изображена на рис.

Цепь положительной обратной связи β обычно выполняется на пассивных элементах и поэтому имеет потери. Затухание сигнала в цепи обратной связи компенсируется усилением, которое обеспечивает усилитель U . При включении питания в схеме возникают колебания, обусловленные зарядом ёмкостей и индуктивностей, переходными процессами в транзисторах или в операционных усилителях (ОУ). Эти колебания поступают на вход

усилителя в виде сигнала $U_{вх}$ и, пройдя усилитель, появляются на

его выходе в виде сигнала $U_{вых} = K U_{вх}$. С выхода усилителя колебания через цепь

положительной обратной связи вновь поступают на вход усилителя, поэтому $U_{вх} = U_{вых} \beta$ или $U_{вх}(1 - K\beta) = 0$, где K - комплексное значение коэффициента усиления; β - коэффициент передачи цепи обратной связи. Коэффициент усиления усилителя с обратной связью

$$K_{ос} = K / (1 - (\pm \beta K))$$

Напряжение на входе усилителя, а, следовательно, и на его выходе может иметь конечное

значение только при выполнении условия $1 - K\beta = 0$, откуда находим условие возбуждения

колебаний $K\beta = 1$. Условие возникновения колебаний распадается на два условия, которые принято называть **условиями баланса амплитуд и фаз**:

$$\begin{cases} |K\beta| = 1 \\ \varphi + \phi = 2\pi n \end{cases}$$

, где φ - сдвиг по фазе для усилителя; ϕ - сдвиг по фазе для цепи обратной связи.

Выражение $|K\beta| = 1$ называют условием **баланса амплитуд**, а выражение $\varphi + \phi = 2\pi n$ - условием **баланса фаз**. Первое означает, что суммарное усиление должно быть больше 1, а второе - сигналы, приведенные к входу должны изменяться одинаково (в фазе, оба колеблются однонаправленно. В противофазе - разнонаправленно).

Если баланс амплитуд и баланс фаз выполняется на одной частоте, то в генераторе возникает одночастотные (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 гармонических.

Генераторы различаются **по форме выходного сигнала**: - синусоидальных, гармонических колебаний (сигналов); - прямоугольных импульсов (мультивибраторы, тактовые генераторы); - генератор линейно-изменяющегося напряжения (ГЛИН, ГПН); - генератор шума

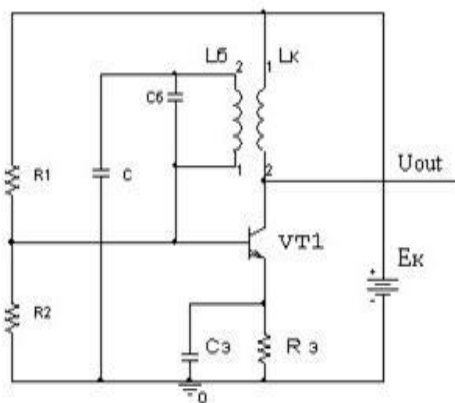
Независимо от формы выходного напряжения любой генератор может работать в одном из двух режимов: в режиме автоколебаний и в режиме запуска внешним сигналом.

Генератор гармонических колебаний представляет собой усилитель с положительной

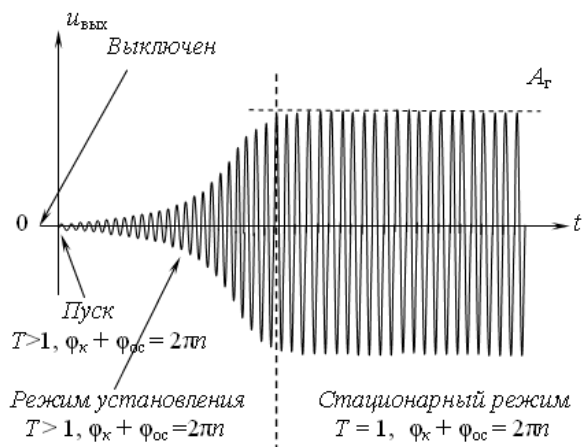
обратной связью. Цепи положительной обратной связи выполняют две функции: **сдвиг сигнала по фазе для получения петлевого сдвига близкого к $n \cdot 2\pi$ и фильтра, пропускающего нужную частоту**. Условие баланса фаз выполняется на одной единственной частоте, на которой также выполняется условие баланса амплитуд (должен быть активный прибор).

Схемы генераторов, в которых часть выходного сигнала передается в цепь базы через индуктивный или емкостной делитель, называются **трехточечными**.

Исторически первый LC-генератор был изобретен Мейснером в 1913 году (немецкое общество

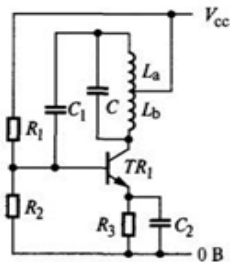
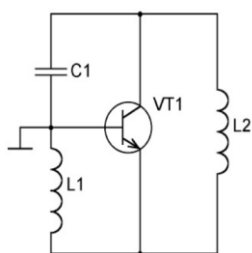


беспроволочного телефона) и затем усовершенствован Роундом (фирма Маркони). В нём использовалась индуктивная обратная связь. Первые LC-генераторы имели резонансный контур в цепи обратной связи, а в выходную цепь усилителя включалась катушка индуктивности. Эта катушка, с одной стороны, играла роль нагрузки усилителя, а с другой — передавала часть энергии в цепь обратной связи.



При подаче напряжения питания в колебательном контуре появятся колебания с частотой $\omega_0 = 1/\sqrt{L_B C_B}$, которые при отсутствии положительной обратной связи должны прекратиться из-за активных потерь энергии в LC-контуре, определяемых величиной r_k активного сопротивления индуктивной катушки. Появившийся в контуре переменный ток i_b усиливается транзистором. Эти колебания через катушку L_k , индуктивно связанную с L_B , вновь возвращаются в колебательный контур. Размах колебаний постепенно нарастает до определенной величины, так как транзистор

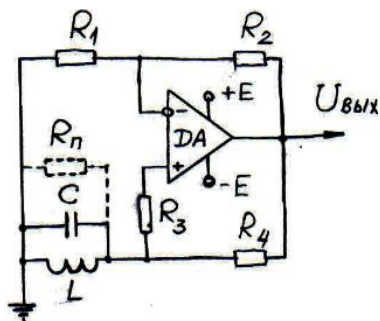
представляет собой ограничивающее устройство, не позволяющее коллекторному току возрастать бесконечно.



В LC-генераторе, выполненном по индуктивной трехточечной схеме (рис. а), резонансный контур (селективный элемент) образован включенными последовательно катушками L_1 , L_2 и подключенным параллельно им конденсатором C_1 . Этот контур включен в цепь коллектора транзистора VT_1 . Сигнал обратной связи снимается с точки

соединения катушек L_1 , L_2 и подается в цепь базы, которая является входным электродом активного элемента. Таким образом, селективный элемент оказывается подключенным к транзистору в трех точках - **трехточка Хартли**.

Генератор колебаний можно создать и с использованием **операционного усилителя**. Одна из схем такого генератора (рис.б) содержит усилитель, цепь отрицательной обратной связи — R_1 , R_2 , цепь частотно-избирательной положительной обратной связи — R_4 и параллельный LC-колебательный контур. Цепь положительной обратной связи имеет максимум коэффициента передачи на резонансной частоте $\omega_0 = \sqrt{LC}^{-1}$



%.

Кварцевые генераторы получили свое название от кристалла кварца, который используется в генераторе вместо колебательного контура. Добротность колебательного контура на кварце и его стабильность настолько велики, что достичь таких значений в схемах генераторов LC- или RC-типа просто невозможно. Нестабильность частоты RC-генераторов имеет значение около 0,1%, LC-генераторов — около 0,01%, а кварцевый генератор имеет нестабильность частоты от 10^{-4} - 10^{-5}

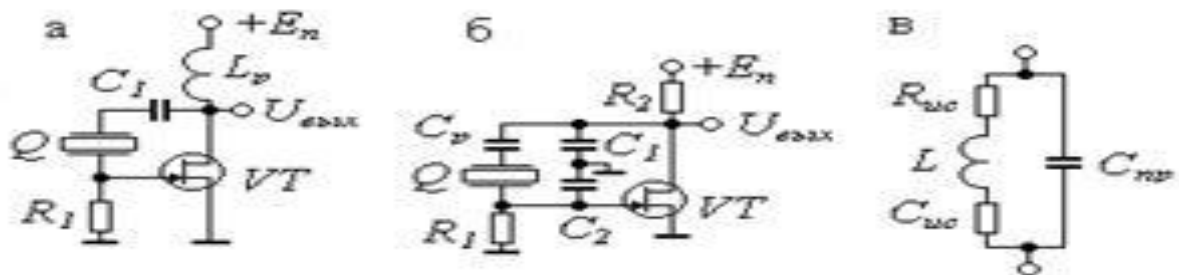
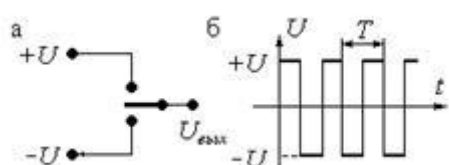


Рис. Кварцевый генератор по схеме Пирса (а), кварцевый генератор по схеме Колпитца (б) и схема замещения кварца (в). В схеме Пирса кварц включается между стоком и затвором полевого транзистора VT, т. е. в цепь отрицательной обратной связи. В результате чего схема становится похожей на емкостную трехточку. На частоте резонанса кварц вносит дополнительный фазовый сдвиг на 180° и обратная связь становится положительной. В схеме Колпитца (б) для облегчения возбуждения применен емкостной делитель на элементах C_1 и C_2 .

Конструктивно кварцевый контур выполняется в виде кварцевой пластины с нанесенными на нее электродами. Эквивалентная схема кварцевого контура приведена на рис. в, где: L — эквивалентная индуктивность кварца, $R_{ис}$ — сопротивление потерь, $C_{пс}$ — последовательная емкость, $C_{пр}$ — параллельная емкость. Такой контур имеет две резонансные частоты: резонанса напряжений $\omega_n \approx (LC)^{-1/2}$ и резонанса токов $\omega_r \approx (LC)^{-1/2}$, причем $\omega_n < \omega_r$. Эти резонансные частоты расположены очень близко друг к другу и отличаются всего примерно на 1%.

Генераторы импульсных сигналов предназначены для получения колебаний резко несинусоидальной формы, называемых **релаксационными**. Длительность импульса определяется временем исчезновения (по латыни *relaxatio*) электрического поля в одном из конденсаторов. Для таких колебаний характерно наличие участков сравнительно медленного изменения напряжения и



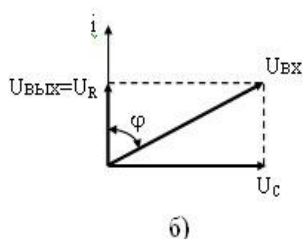
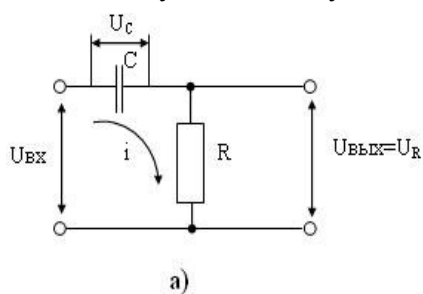
участков, на которых напряжение изменяется скачкообразно. Генератор прямоугольных импульсов (ГПИ) работает как автоколебательный ключ, непрерывно переключающийся взад и вперед между двумя уровнями постоянного напряжения без использования внешнего сигнала запуска. Для импульсных генераторов характерно

наличие внешней или внутренней **положительной обратной связи** и скоротечный (лавинообразный) процесс перехода активных элементов генератора из одного крайнего (закрытого, открытого) в другое (открытое, закрытое) состояние. Импульсные генераторы могут работать в трех основных режимах: автоколебательном, ждущем и в режиме синхронизации. В зависимости от длительности фронтов различают генераторы прямоугольных, трапецеидальных, треугольных и пилообразных импульсов.

Автоколебательные генераторы импульсов после самовозбуждения генерируют последовательность импульсов, параметры которых (амплитуда, частота повторения, длительность, скважность) определяются только параметрами элементов схемы генератора.

Ждущие генераторы генерируют импульсы, период повторения которых определяется периодом повторения запускающих импульсов, а параметры каждого импульса (амплитуда, длительность, форма) зависят только от параметров схемы генератора.

В режиме синхронизации генератор вырабатывает импульсы, частота которых равна или кратна частоте синхронизирующего сигнала. Поэтому такие генераторы часто используются в качестве делителей частоты. Кроме того, иногда генерируются нескольких импульсных последовательностей, сдвинутых по фазе друг относительно друга на некоторую произвольную величину, в общем случае не равную 180° . Такие генераторы называются **многофазными**.

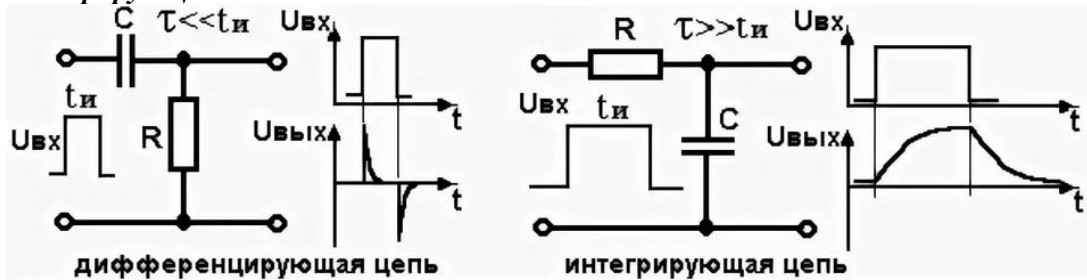


В качестве времязадающих используются емкостно-резисторные **RC – цепи** (или индуктивно-резисторные), линейные формирующие

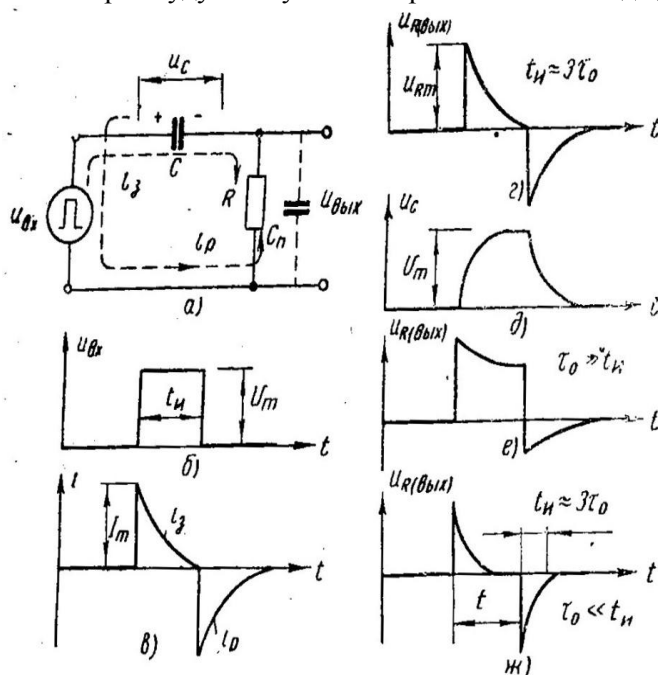
цепи, линии задержки и колебательные контуры.

Процессы, происходящие в RC фильтре, представлены на рис. а. Для наглядности, пояснение будем пояснять с помощью векторной диаграммы (рисунок б). При подаче на вход напряжения $U_{вх}$ в цепи протекает ток i . Этот ток создает падение напряжения на конденсаторе U_C и резисторе U_R . Последнее одновременно является выходным напряжением $U_{вых}$. Напряжение $U_{вых}$ совпадает по фазе с током i , а напряжение U_C сдвинуто относительно $U_{вых}$ на 90° . Напряжение на входе цепи равно геометрической сумме векторов $U_{вых}$ и U_C и соответствует вектору $U_{вх}$. Вектора $U_{вх}$ и $U_{вых}$ сдвинуты по фазе относительно друг друга на угол φ . Угол φ можно увеличивать, уменьшая емкость конденсатора. Как видно из диаграммы $\varphi < 90^\circ$.

Действие импульсного напряжения на цепь RC. Цепи из элементов RC в различных комбинациях могут быть использованы для преобразования формы импульсов. В зависимости от того, с какого элемента снимается сигнал (с R или C), цепь называют *дифференцирующей* или *интегрирующей*.



Цепь, показанная на рис. а называется *дифференцирующей*, поскольку при $\tau_0 < t_n$ выходное напряжение пропорционально производной от входного и служит для получения кратковременных остроконечных импульсов напряжения, часто используемых для запуска формирующих устройств. Чем меньше τ_0 , тем больше скорость изменения напряжения и тем острее будут импульсы напряжения на выходе дифференцирующей цепи.



Предположим, что на входе цепи, содержащей конденсатор C и резистор R (рис. а), действует последовательность прямоугольных импульсов (рис. б). В момент появления на входе RC цепи переднего фронта импульса в ней потечет наибольший ток $I_m = U_m / R$ (рис. в).

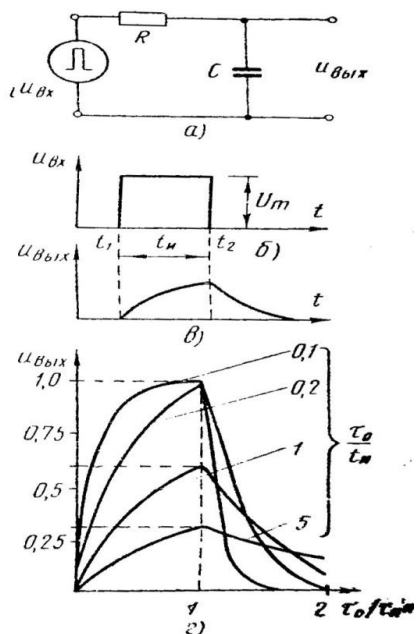
По мере заряда конденсатора результирующее напряжение в схеме $u_p = U_m - u_c$ уменьшается, соответственно уменьшается зарядный ток i_a . Уменьшение тока происходит по экспоненциальному закону. Ток заряда i_3 создает на резисторе R падение напряжения (рис. г). С уменьшением тока экспоненциально снижается напряжение на резисторе R.

Воздействие прямоугольного импульса на дифференцирующую цепь: а — схема, б — форма импульса на входе, в — форма тока в цепи, г — форма напряжения на резисторе, д — то же, на конденсаторе, е — форма импульса на выходе при $\tau_0 \geq t_n$, ж — то же при $\tau_0 \leq t_n$.

Напряжение на конденсаторе u_c по мере его заряда экспоненциально возрастает (рис. д) и к некоторому моменту достигает наибольшего значения U_m после чего остается постоянным на все время действия плоской вершины входного импульса.

Время, в течение которого напряжение на C и R достигает амплитудного значения, зависит от величины сопротивления резистора R и емкости конденсатора C. Чем меньше эти величины, тем быстрее заканчивается переходный процесс. Оценку длительности переходного процесса ведут с помощью постоянной времени цепи $\tau_0 = RC$. Практически переходные процессы в схеме заканчиваются по истечении промежутка времени $t = (2,3-3)\tau_0$.

Форма выходного напряжения зависит от значения τ_0 (рис. г, е, ж). При $\tau_0 \gg t_n$ (рис. е) конденсатор за время действия входного импульса не успевает разрядиться, и форма выходного сигнала лишь незначительно отличается от формы входного. С такими параметрами ($\tau_0 \gg t_n$) цепь часто используют в схемах импульсных устройств как **разделительную** между усилительными каскадами (в качестве R используется сопротивление входа следующего каскада). При $\tau_0 < t_n$ заряд и разряд конденсатора происходят за время, немного меньшее длительности импульса, поэтому выходное напряжение имеет вид двух узких разнополярных импульсов (рис. ж).



Если в цепи RC выходное напряжение снимается с емкости (рис. а), то при $\tau_0 \gg t_n$ выходной сигнал пропорционален интегралу от входного, и такая цепь называется **интегрирующей**.

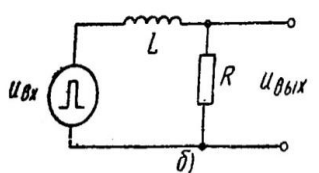
Если постоянная времени RC цепи выбрана равной или больше длительности прямоугольного импульса (рис. б) напряжения на входе ($\tau_0 \gg t_n$), то на выходе RC цепи возникает импульс с растянутым фронтом и спадом (рис. в). При воздействии на вход такой цепи кратковременного импульса напряжения на выходе образуется более широкий импульс.

Рис. Воздействие прямоугольного импульса на интегрирующую цепь: а — схема, б — форма импульса на входе, в — то же, на выходе, г — зависимость формы импульса от соотношения τ_0/t_n

Дифференцирование и интегрирование может также осуществляться с помощью цепей RL.

Поскольку реактивное действие индуктивности противоположно емкости, то в RL-цепях при дифференцировании выходной сигнал снимается с индуктивности (рис. а), а при интегрировании — с резистора (рис. б). Цепи RL применяют сравнительно редко, так как они содержат дорогую моточную деталь - L.

Цепи на RL элементах: а — дифференцирующая, б — интегрирующая



**) Переходные процессы в простейших линейных цепях, т.е. в цепях RL или RC описываются дифференциальным уравнением первого порядка:*

$$\tau \frac{dx(t)}{dt} + x(t) = y(t), \text{ где } x(t) - \text{напряжение или ток в схеме, } y(t) -$$

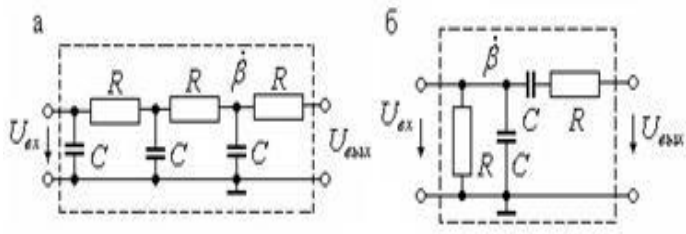
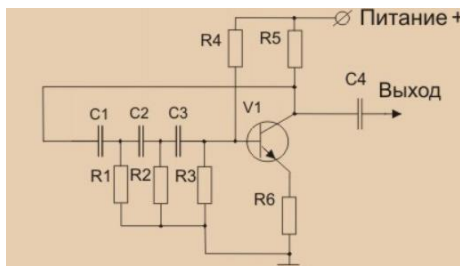
внешнее воздействие.

Решение этого уравнения для случая $y(t) = \text{const}$ имеет вид:

$$x(t) = x(\infty) - [x(\infty) - x(0)]e^{-\frac{t}{\tau}}, \text{ где } t - \text{текущее время, } x(t) -$$

напряжение или ток в схеме, $x(\infty)$ - конечное значение $x(t)$ при $t = \infty$, $x(0)$ - начальное значение $x(t)$ при $t = 0$. Характер изменения функции $x(t)$ представлен на рис. в (убывающая или нарастающая экспонента). рис.3 (убывающая или нарастающая экспонента).

RC-генераторы гармонических сигналов. Генераторы с LC-контурами нашли широкое применение на высокой частоте, однако их применение на низкой частоте осложняется низким качеством и большими габаритами катушек индуктивности. В связи с этим низкочастотные генераторы обычно используют различные RC-цепи в звеньях положительной обратной связи. Эти RC-цепи обычно имеют квазирезонансные характеристики со сдвигом фаз между входным и выходным напряжениями, равным нулю или 180° .



Первая цепь (а) состоит из трех фазосдвигающих звеньев, каждое из которых обеспечивает сдвиг по фазе на 60° . В результате выходное напряжение будет сдвинуто по отношению к входному на 180° . Для возбуждения колебаний усилитель также должен иметь сдвиг по фазе, равный 180° , т. е. должен быть инвертирующим. $f_2 = 0,065/RC$ (df); $f_2 = 0,39/RC$ (Int).

Вторая цепь называется **мостом Вина** и на квазирезонансной частоте обеспечивает сдвиг по фазе, равный нулю, поэтому для возбуждения колебаний усилитель должен быть неинвертирующим. В качестве активных элементов используются биполярные транзисторы, полевые транзисторы, ОУ в интегральном исполнении RC генератор $f = 1/2\pi\sqrt{6RC}$.

Мост Вина состоит из двух RC-звеньев: - первое звено состоит из последовательного соединения R и C и

$$Z_1 = R + \frac{1}{j\omega C} = \frac{1 + j\omega CR}{j\omega C}$$

имеет сопротивление

- второе звено состоит из параллельного соединения таких же R и C и имеет сопротивлени

$$Z_2 = \frac{R \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{R}{1 + j\omega CR}$$

Коэффициент передачи звена положительной обратной связи определяется выражением

$$\beta = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{1}{1 + Z_1/Z_2}, \quad \beta = \frac{j\omega CR}{1 - \omega^2 C^2 R^2 + 3j\omega CR}$$

Если выполнить условие $1 - (\omega CR)^2 = 0$, то фазовый сдвиг будет равен нулю, а $\beta = 1/3$. В этом случае

частоту генератора можно будет определить по формуле $\omega = (CR)^{-1}$

Мультивибраторы

Автоколебательным мультивибратором (МВ) называется устройство, которое периодически находится в одном из двух квазиустойчивых состояний, переход в которые происходит регенеративно. Мультивибратор представляет собой генератор колебаний почти прямоугольной формы на основе двухкаскадного усилителя с положительной обратной связью, в котором выход каждого каскада соединен с входом другого. Название (*мульти*) отражает тот факт, что в спектральный состав входит большое число гармонических составляющих.

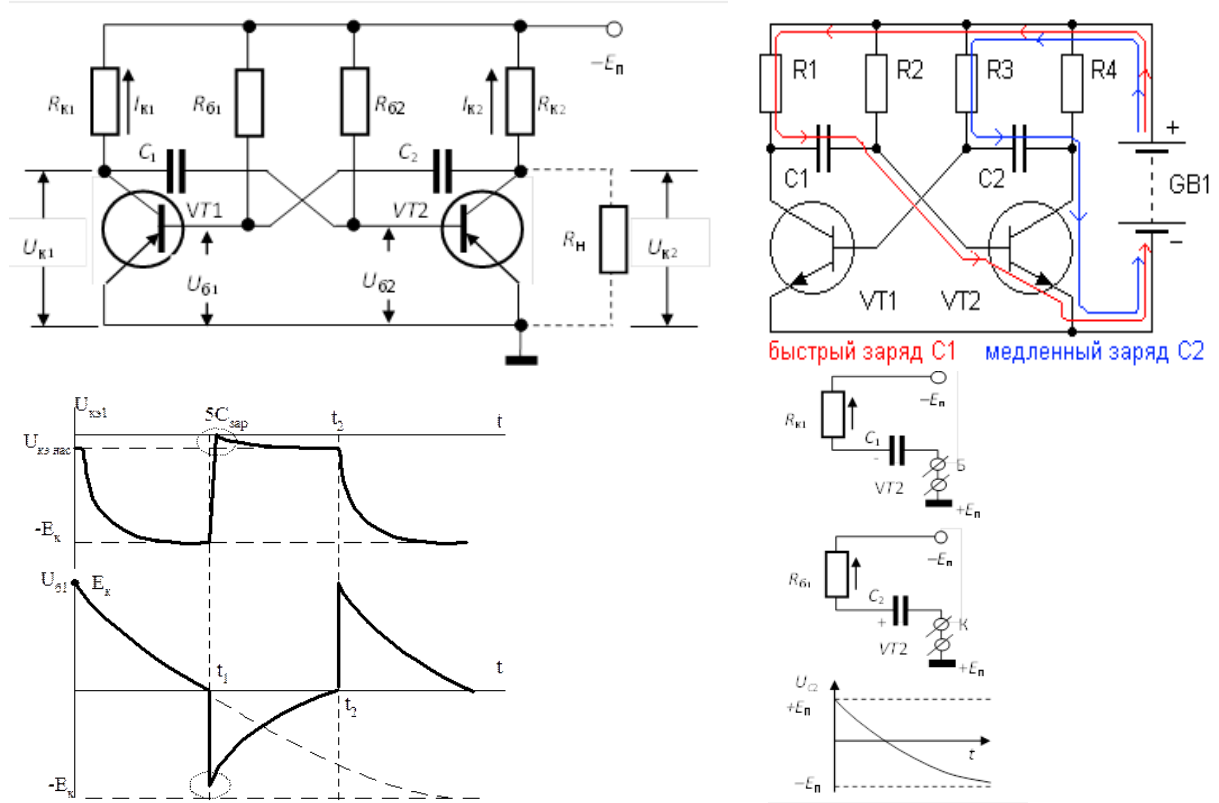
Колебания представляют собой смену квазиустойчивых состояний, в которых каждый транзистор попеременно находится в открытом состоянии, характеризующимся напряжением на базе $U_b > 0,7$ В, напряжением на коллекторе $U_k = (0,1 - 0,2)$ В и током коллектора $I_k = V_k/R_k$, и закрытом состоянии, характеризующимся напряжением на базе $U_b < 0,6$ В, напряжением на коллекторе $U_k = V_k$, токе коллектора $I_k = 0$. Положительная обратная связь существует при переходе транзистора из режима насыщения в режим отсечки и наоборот, то есть в активном режиме работы транзисторов

Переход транзисторов из одного состояния в другое определяют времязадающие цепочки $R_{61} C1$ и $R_{62} C2$ и соотношение напряжений V_b и V_k . Открытие (закрытие) одного транзистора передается на базу другого с некоторой задержкой, а положительная обратная связь формирует короткие фронты.

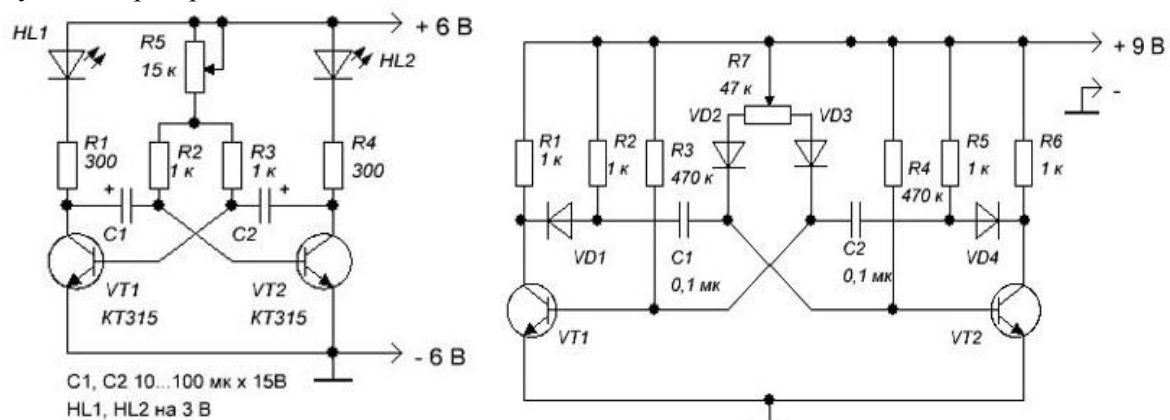
Регулировать частоту колебаний мультивибратора можно, изменяя постоянные времени τ_1 и τ_2 или значение напряжения смещения V_b . Математические модели мультивибратора отличаются от

реальных необходимо введение разбаланса в плечах, что бы колебания возникли, в редакторе начальных условий. Примерную частоту колебаний симметричного мультивибратора можно подсчитать по упрощенной формуле:

$$f = \frac{700}{(C1 * R2)}$$
, где f - частота в Гц, R - сопротивление базового резистора в кОм, C - ёмкость конденсатора связи в мкФ.



ИЗМЕНЕНИЕ ЧАСТОТЫ. Частота импульсов, генерируемых мультивибратором, определяется величинами разделительных конденсаторов и базовых резисторов. Из приведенной формулы видно, что увеличение постоянной времени RC-цепочки ($\tau=RC$) ведет к уменьшению частоты мультивибратора.



Форма графика колебаний мультивибратора называется «меандр»:

МЕАНДР



Время от начала одного импульса до начала другого – период T – состоит из t_i – длительности импульса и t_p – длительности паузы.

Отношение $S=T/t_i$ – называется *скважностью*. Для симметричного мультивибратора $S=2$. Величина, обратная скважности называется **коэффициентом заполнения $D=1/S$** . Для симметричного мультивибратора $D=0,5$. Мультивибратор, схема которого показана справа, вырабатывает прямоугольные импульсы. В зависимости от положения движка резистора R_7 данный мультивибратор становится несимметричным, и график его колебаний может быть, например, таким:



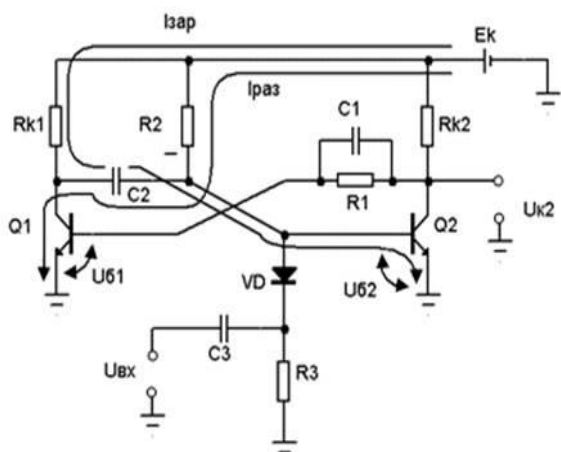
или таким:



В одном и другом случаях меняется соотношение T/t_i – меняется скважность.

Понятно, что грубо менять скважность можно, установив конденсаторы разной емкости.

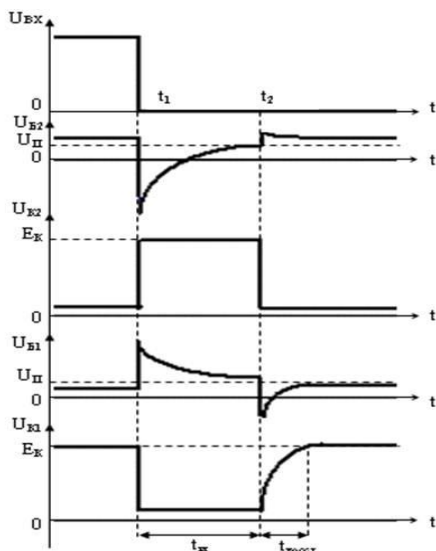
Ждущий мультивибратор.



Ждущие генераторы прямоугольных импульсов предназначены для формирования прямоугольного импульса заданной длительности при поступлении на вход короткого запускающего импульса. Такие генераторы имеют одно устойчивое и одно квазиустойчивое состояния, переход в которые осуществляется регенеративно.

Исходное устойчивое состояние. Транзистор $Q2$ открыт, а $Q1$ закрыт. Транзистор $Q2$ удерживается в открытом состоянии током I_{B2} , создаваемым источником E_k и втекающим в базу транзистора $Q2$ через резистор $R2$. Этот ток равен: $I_{B2} = (E_k - U_{BЭ\text{ на с } 2}) / R2$.

Сопротивление $R2$ выбрано таким, чтобы ток базы транзистора $Q2$ был больше тока базы на границе насыщения, транзистор $VT2$ насыщен, напряжение на его



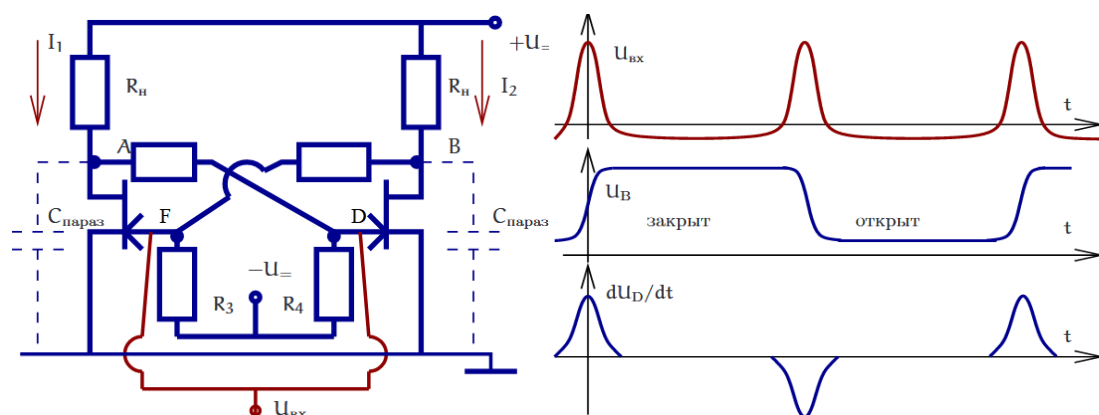
коллекторе U_{K2} имеет небольшое остаточное значение. При этом транзистор $Q1$ закрыт, напряжение на его базе U_{B1} меньше порога открывания $U_{б}$, а конденсатор $C2$ заряжен до напряжения $U_{C2} \approx E_k - U_{BЭ\text{ на с } 2}$ (слева плюс, справа минус) через R_{k1} и базовый переход транзистора $Q2$.

Запуск. В момент t_1 на базу $Q2$ поступает импульс тока, формируемый цепью запуска. Под действием заднего фронта этого импульса транзистор $VT2$ закрывается, напряжение U_{K2} на его коллекторе нарастает до значения, близкого к E_k . Это напряжение существенно превышает порог открывания $U_{б}$ транзистора $Q1$, последний открывается и входит в насыщение, что обеспечивается соответствующим выбором сопротивления $R1$.

Конденсатор $C2$ перезаряжается частью коллекторного тока транзистора $Q1$, протекающего по цепи: конденсатор $C2$, резистор $R2$, источник E_k так, что бы справа появился плюс,

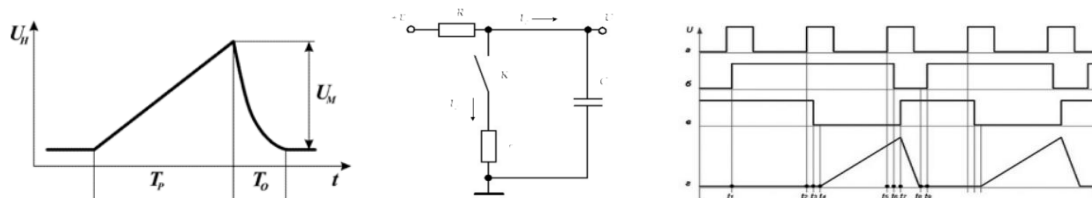
слева – минус). В соответствии с изменением напряжения на конденсаторе меняется и напряжение U_{B2} на базе транзистора $Q2$. В момент времени $t=t_2$ напряжение на перезаряжающемся конденсаторе $C2$ достигает порогового значения ($0,75V$), транзистор $Q2$ открывается и схема возвращается в состояние ожидания.

Триггер – система с двумя устойчивыми положениями равновесия (основной элемент ЭВМ). Это *модифицированный мультивибратор*: напряжение питания понижено так, что автоколебаний нет. Подбором параметров можно добиться двух устойчивых положений равновесия (1-ый транзистор открыт, 2-ой закрыт, или наоборот). Импульс входного напряжения перебрасывает триггер в другое состояние.



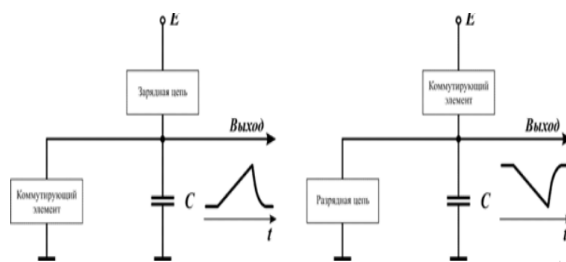
Генераторы пилообразных импульсов (ГПИ) являются одной из наиболее широко применяемых импульсных схем. Эти устройства необходимы для развертки сигналов в телевизионных и осциллографических трубках, преобразования аналоговых сигналов в число импульсов (АЦП) в измерительных и преобразовательных устройствах, формирования временного сдвига импульса в зависимости от величины входного сигнала в фазоимпульсных устройствах, широтно-импульсной модуляции сигналов в преобразовательной технике.

Линейно изменяющимся (или пилообразным) называется напряжение, которое в течение рабочей стадии T_p изменяется линейно от некоторого начального уровня U_0 до предельного значения U_1 , а затем в течение определенного промежутка времени, называемого временем восстановления T_v , возвращается к исходному значению. Для линейно изменяющегося напряжения характерно условие $T_p \gg T_v$.



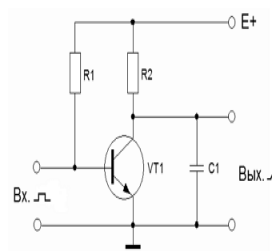
Независимо от практической реализации все типы ГПИ можно представить в виде единой эквивалентной схемы, основанной на применении интегрирующей **RC**-цепи совместно с ключом, осуществляющим периодическую коммутацию цепи. В течение рабочей стадии происходит процесс заряда или разряда конденсатора в цепи с относительно большим сопротивлением R , а в стадии восстановления - разряда или заряда конденсатора C в цепи с малым сопротивлением.

В схеме б) конденсатор заряжается через R_2 , а разряжается мгновенно через открытый транзистор. Лучшие параметры генератора обеспечивают зарядные (или разрядные) схемы с источниками (генераторами) тока. Ещё лучшие параметры обеспечивают генераторы пилообразного напряжения, в которых применяются обратные связи в зарядных (или разрядных) цепях. В схеме в) конденсатор C_1 заряжается постоянным током эмиттера, а разряжается с момента падения напряжения на базе через сопротивление R_2 с τ_p .

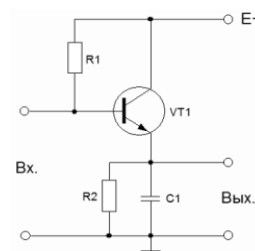


Схематическое изображение генераторов пилообразного напряжения: линейно-растущего (слева) и линейно-падающего (справа).

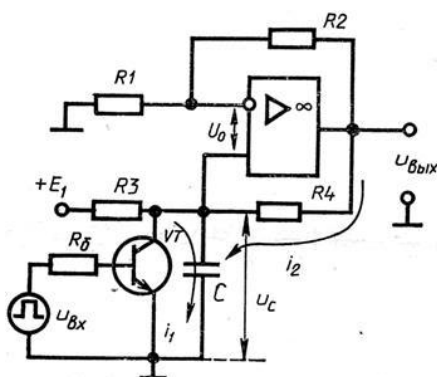
Рис. 2 а)



б)



в)



ГПН с повышенной линейностью. ГПН с малым значением коэффициента нелинейности ($\epsilon < 1\%$) и его незначительной зависимостью от сопротивления нагрузки создаются на основе интегральных ОУ. В ГПН на ОУ (рис.) высокая линейность пилообразного напряжения достигается действием положительной ОС в цепи зарядки конденсатора C .

Рис. Схема ГПН на базе интегрального ОУ

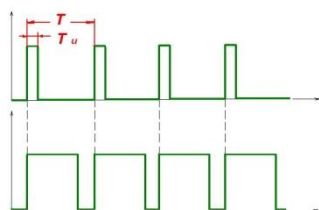
Во время положительного импульса транзистор VT открыт и конденсатор быстро разряжается через малое сопротивление насыщенного транзистора. В паузах между входными импульсами транзистор закрыт и конденсатор заряжается током i_1 от источника E_1 через резистор R_3 .

Напряжение u_C , образуемое на конденсаторе, поступает на неинвертирующий вход ОУ, работающего в линейном режиме с коэффициентом усиления по неинвертирующему входу $K_u^{(+)} = 1 + (R_2/R_1)$. В результате на выходе ОУ создается напряжение $u_{\text{вых}} = u_C K_u^{(+)}$, а на резисторе R_4 — напряжение, равное $u_{R4} = u_{\text{вых}} - u_C = u_C K_u^{(+)} - u_C = u_C R_2/R_1 = u_C K_u^{(-)}$. Напряжение $u_{R4} = u_C R_2/R_1$ создает ток i_2 , который протекает через конденсатор C в том же направлении, что и ток i_1 . Следовательно, ток зарядки конденсатора в паузах между входными импульсами

$$i_{C \text{ зар}} = i_1 + i_2.$$

По мере зарядки конденсатора ток i_1 уменьшается, а напряжения на конденсаторе и на выходе ОУ увеличиваются. Если $K_u^{(-)} = R_2/R_1 \gg 1$, то напряжение на резисторе R_4 и протекающий через него ток i_2 при увеличении u_C также увеличиваются. Увеличение тока i_2 при соответствующем подборе коэффициента усиления может полностью компенсировать уменьшение тока i_1 , и зарядка конденсатора будет происходить постоянным током, чем обеспечивается высокая линейность пилообразного напряжения.

Блокинг-генератор представляет собой однокаскадный релаксационный генератор кратковременных импульсов с сильной индуктивной положительной обратной связью, создаваемой импульсным трансформатором. Вырабатываемые блокинг-генератором импульсы имеют большую крутизну фронта и среза и по форме близки к прямоугольным. Длительность импульсов может быть в пределах от нескольких десятков наносекунд до нескольких сотен микросекунд. Обычно блокинг-генератор работает в режиме большой скважности — от нескольких сотен до десятков тысяч.



Блокинг-генератор может работать в автоколебательном режиме, режиме внешней синхронизации или в ждущем режиме. Схема с общей базой более стабильна по отношению к изменению параметров транзистора, а схема с общим эмиттером обеспечивает меньшую длительность фронта импульсов.

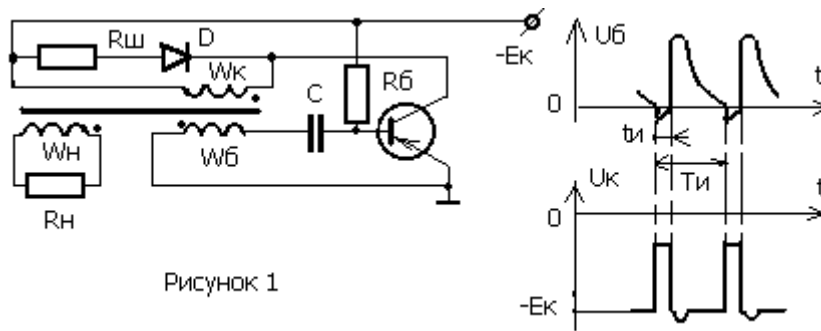
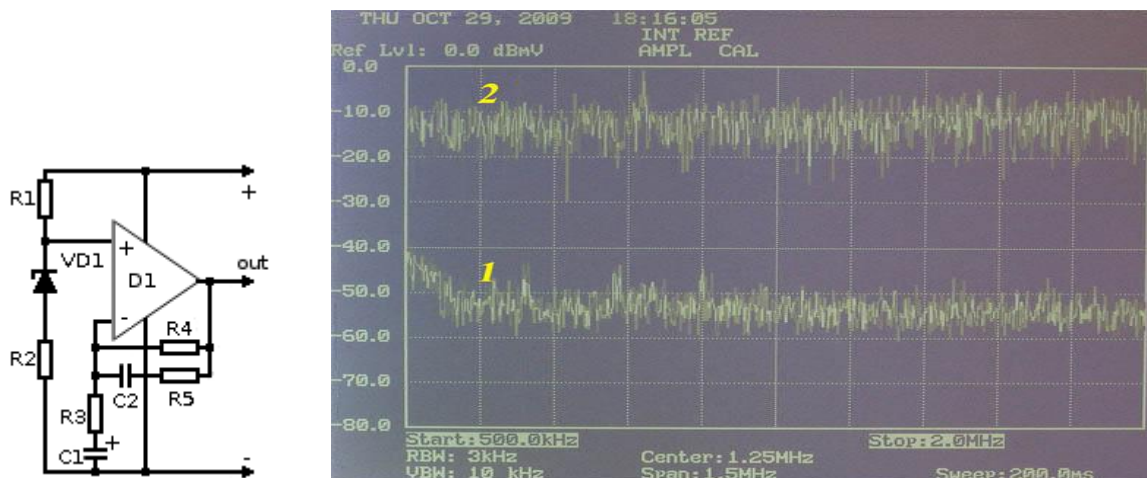


Рисунок 1

В первой стадии, занимающей большую часть периода колебаний, транзистор заперт, конденсатор C имеет $+$ на базе и медленно разряжается через большое сопротивление резистора R_b , транзистор заперт. Когда напряжение на базе U_b достигнет примерно «нулевого» уровня, транзистор отпирается и через коллекторную обмотку трансформатора W_k начинает протекать ток. Отрицательное напряжение, возникшее в базовой обмотке с противофазным включением, приведет к дальнейшему увеличению коллекторного тока и тем самым – к дальнейшему увеличению отрицательного напряжения на базе и т.д. Развивается лавинообразный процесс увеличения коллекторного тока и напряжения на базе U_b – транзистор отпирается. Это **прямой блокинг** – процесс, который происходит очень быстро, и за это время напряжение на конденсаторе и энергия магнитного поля в сердечнике трансформатора практически не изменяются. Формируется фронт импульса, а транзистор переходит в режим насыщения, утрачивает свои усилительные свойства, положительная обратная связь нарушается. Начинается процесс формирования вершины импульса, во время которого рассеиваются неосновные носители, накопленные в базе, а конденсатор $(-)$ разряжается базовым током. Когда напряжение на базе достигнет активного уровня, транзистор выходит из режима насыщения, восстанавливаются его усилительные свойства. Уменьшение тока базы вызывает уменьшение коллекторного тока. Вновь возникает лавинообразный процесс (**обратный блокинг**) в результате которого транзистор запирается, формируя спад импульса.

Генератор шума. Особенность сигнала такого генератора в его хаотической форме и сравнительно широком диапазоне частот — от сотен герц до десятков мегагерц.

Источник шума (в диапазоне 10 Гц – 30 МГц) - стабилитрон с током через стабилитрон около 2% от минимального тока стабилизации. Усилитель – ОУ. $C1$ ограничивает усиление снизу частотного диапазона, $C2$ – сверху (исключает возможность самовозбуждения). Резисторы $R3$, $R4$ обеспечивают усиление ($R4=1M$, $R3=1k$, $K_u=1000$).



«**Цифровой**» шум представляет собой временной случайный процесс, близкий по своим свойствам к процессу физических шумов. Цифровая последовательность двоичных символов представляет собой последовательность прямоугольных импульсов псевдослучайной длительности с псевдослучайными интервалами между ними. Для получения шумового цифрового сигнала в качестве источника шума применяется генератор псевдослучайной последовательности

(ПСП), основой построения которого являются регистры сдвига с обратными связями на сумматорах по модулю 2. Период повторения всей последовательности значительно превышает наибольший интервал между импульсами.

