



Тема 18. Электронные генераторы и измерительные приборы

1. Общие сведения об электронных генераторах

Электронный генератор – это устройство, преобразующее электрическую энергию источника постоянного тока в энергию незатухающих электрических колебаний заданной формы и частоты.

Генераторы широко используются в электронике: в радиоприемниках и телевизорах, системах связи, компьютерах, промышленных системах управления и устройствах точного измерения времени.

Частота сигнала может изменяться от нескольких герц до многих миллионов герц. Выходное напряжение генератора может быть *синусоидальным, прямоугольным* или *пилообразным* в зависимости от типа генератора (рис. 18.1).

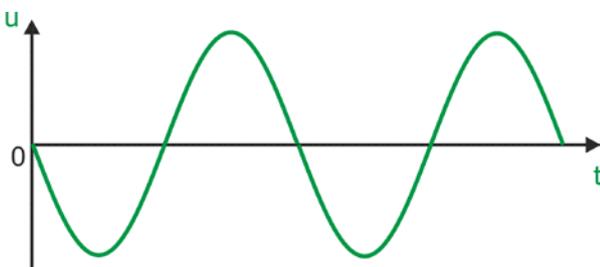


Рис. 18.1, а. Напряжение синусоидальной формы

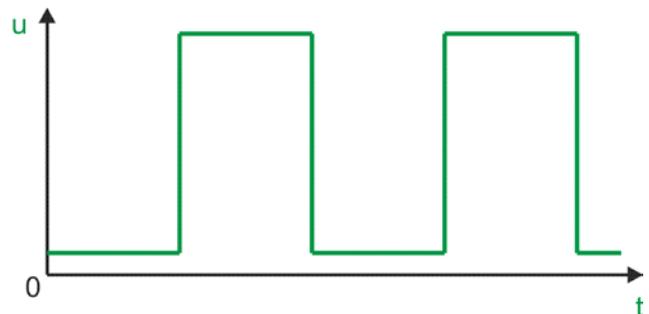


Рис. 18.1, б. Напряжение прямоугольной формы

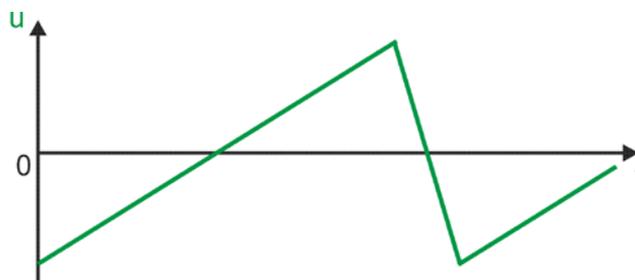


Рис. 18.1, в. Напряжение пилообразной формы

Когда колебательный контур возбуждается внешним источником постоянного тока, в нем возникают колебания. Эти колебания являются затухающими, поскольку активное сопротивление колебательного контура поглощает энергию тока. Для поддержания колебаний в колебательном контуре поглощенную энергию необходимо

восполнить. Это осуществляется с помощью положительной обратной связи. *Положительная обратная связь* - это подача в колебательный контур части выходного сигнала для поддержки колебаний. Сигнал обратной связи должен совпадать по фазе с сигналом в колебательном контуре.

На рис. 18.2 изображена блок-схема генератора.

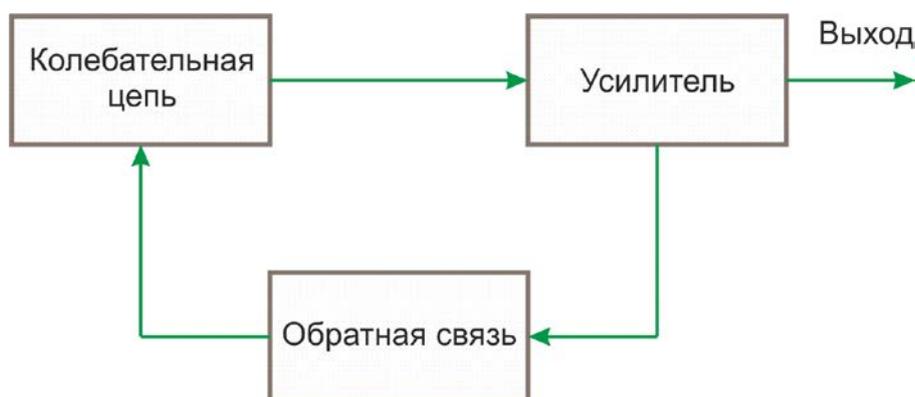


Рис. 18.2. Блок-схема электронного генератора

Генератор можно разбить на три части:

- LC -колебательный контур, который обычно является частотозадающей цепью генератора;
- усилитель, увеличивает амплитуду выходного сигнала колебательного контура;
- цепь обратной связи, подает необходимое количество энергии в колебательный контур для поддержки колебаний.

Таким образом, генератор - это схема с положительной обратной связью, которая использует постоянный ток для получения колебаний переменного тока.

2. Генераторы синусоидальных колебаний

Генераторы синусоидальных колебаний - это генераторы, которые генерируют напряжение синусоидальной формы. Они классифицируются согласно их частотозадающим компонентам. Тремя основными типами генераторов синусоидальных колебаний являются LC -генераторы, кварцевые генераторы и RC -генераторы.

LC -генераторы используют колебательный контур из конденсатора и катушки индуктивности, соединенных либо параллельно, либо последовательно, параметры которых определяют частоту колебаний.

Кварцевые генераторы подобны LC -генераторам, но обеспечивают более высокую стабильность колебаний.

LC -генераторы и кварцевые генераторы используются в диапазоне радиочастот. Они не подходят для применения на низких частотах. На низких частотах используются RC -генераторы, в которых для задания частоты колебаний используется резистивно-емкостная цепь.

Автогенераторы типа LC применяют в основном на частотах выше 20 кГц, так как для более низких частот конструкция таких колебательных контуров громоздка.

Основными типами LC -генераторов являются генератор Хартли и генератор Колпитца. На рис. 18.3, а изображен генератор Хартли. Величина обратной связи в этой схеме зависит от положения отвода катушки L_1 . Выходной сигнал снимается с катушки связи L_2 . На рис. 18.3, б изображен генератор Колпитца. Величина обратной связи в схеме Колпитца определяется отношением емкостей конденсаторов C_1 и

C_2 . Генератор Колпитца более стабилен, чем генератор Хартли, и более часто используется.

RC -генераторы применяют для задания синусоидальных колебаний на низких частотах. Простейшим RC -генератором синусоидальных колебаний является генератор с фазосдвигающей цепью.

Генератор с фазосдвигающей цепью — это обычный усилитель с фазосдвигающей RC -цепью обратной связи (рис. 18.4).

Переходные процессы в RC -цепях. Вместо колебательного контура в схеме включен резистор R_x , а положительная обратная связь осуществляется через фазовращательную цепь, состоящую из трех звеньев RC . Если выход данной схемы соединить непосредственно с входом, обеспечив при этом условия самовозбуждения, то генерируемые колебания не будут синусоидальными. Для того чтобы схема вырабатывала именно синусоидальные колебания, положительная обратная связь должна обеспечиваться только для одной определенной гармоники несинусоидальных колебаний. Эту функцию и выполняет фазовращательная цепь RC .

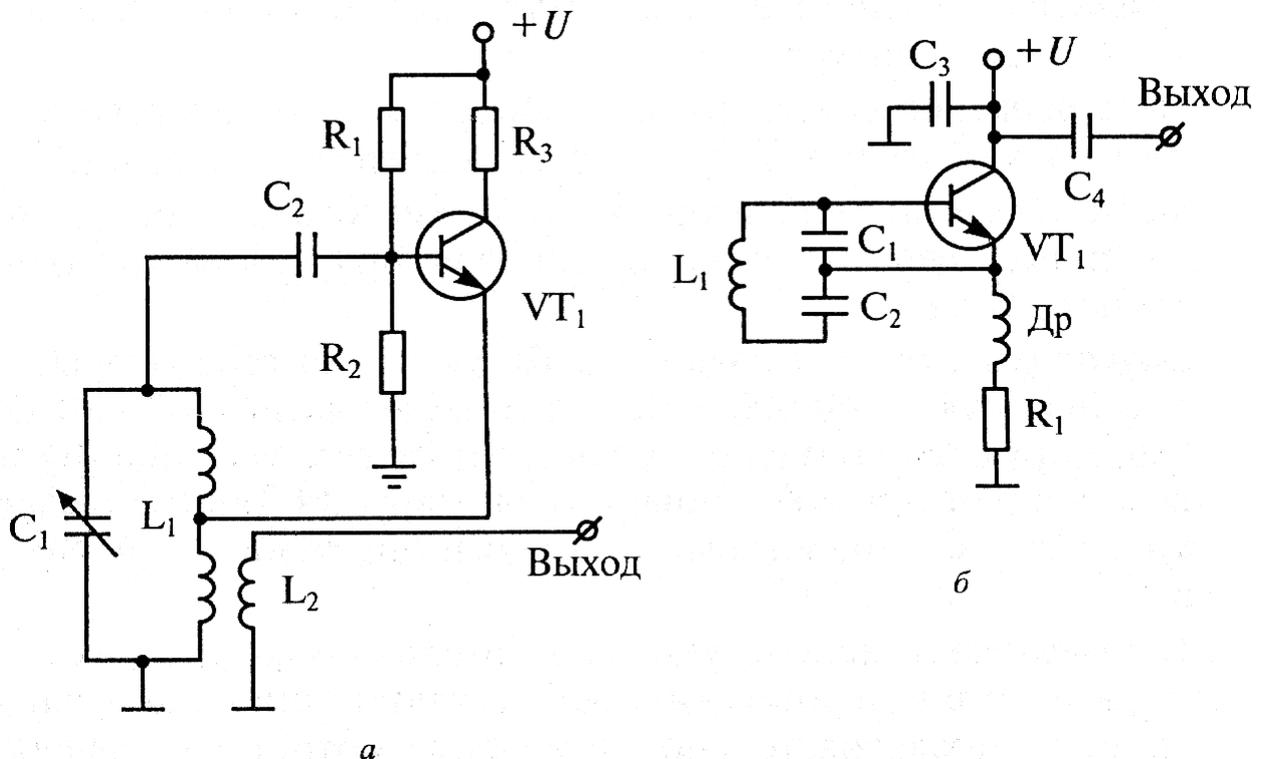


Рис. 18.3. Схемы основных типов LC -генераторов:
 а - генератор Хартли; б - генератор Колпитца

Параметры цепи должны быть выбраны так, чтобы при увеличении коллекторного тока и, следовательно, уменьшении потенциала коллектора потенциал базы (рис. 18.4) увеличивался. Иными словами, напряжения на коллекторе и на базе должны находиться в противофазе.

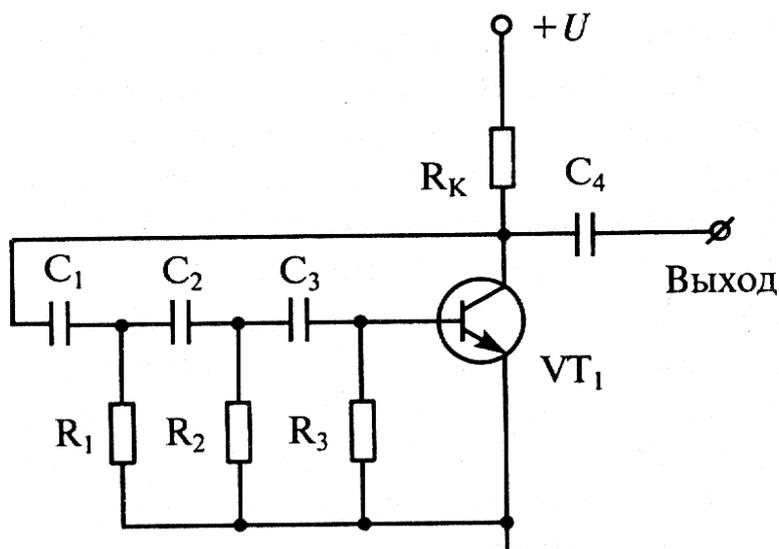


Рис. 18.4. Схема RC - генератора

Это означает сдвиг по фазе между U_{Rk} и U_{R1} на 60° , между U_{R1} и U_{R2} также на 60° и т. д. В итоге напряжение на R_3 , приложенное к участку база—эмиттер транзистора, окажется сдвинутым по отношению к U_K на 180° . Частота синусоидальных колебаний в схеме определяется параметрами цепи RC и при условии $C_1 = C_2 = C_3 = C$; $R_1 = R_2 = R_3 = R$ составит $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{6RC}}$.

Для выполнения условия баланса коэффициент усиления усилителя должен быть больше ослабления, вносимого фазовращательной цепью RC . Для схемы, приведенной на рис. 18.4, это ослабление равно 29.

Основное требование, предъявляемое к генератору, — это стабильность частоты и амплитуды его колебаний. Причинами нестабильной работы генераторов являются зависимости емкости и индуктивности от температуры, старение компонентов и изменение требований к нагрузке. Когда требуется высокая стабильность, используются *кварцевые генераторы*.

Кварц — это материал, который может преобразовывать механическую энергию в электрическую, когда к нему прикладывают давление, и электрическую энергию в механическую, когда к нему прикладывают напряжение. Когда к кристаллу кварца приложено переменное напряжение, кристалл начинает растягиваться и сжиматься, создавая механические колебания, частота которых соответствует частоте переменного напряжения.

Каждый кристалл кварца обладает собственной частотой колебаний, обусловленной его структурой и размерами. Если частота приложенного переменного напряжения совпадает с собственной частотой, колебания кристалла ярко выражены. Если частота приложенного переменного напряжения отличается от собственной частоты кварца, кристалл колеблется слабо. Собственная частота механических колебаний кристалла кварца практически не зависит от температуры, что делает его идеальным для использования в генераторах. В тех случаях, когда необходимо обеспечить очень высокую стабильность частоты колебаний, применяют термостатирование генератора (кварцевый резонатор помещают в термостат).

Для изготовления кварцевого резонатора на кристаллическую пластинку кварца наносятся металлические электроды, к которым прижимаются пружины для обеспечения электрического контакта. После этого кристалл помещается в металлический корпус.

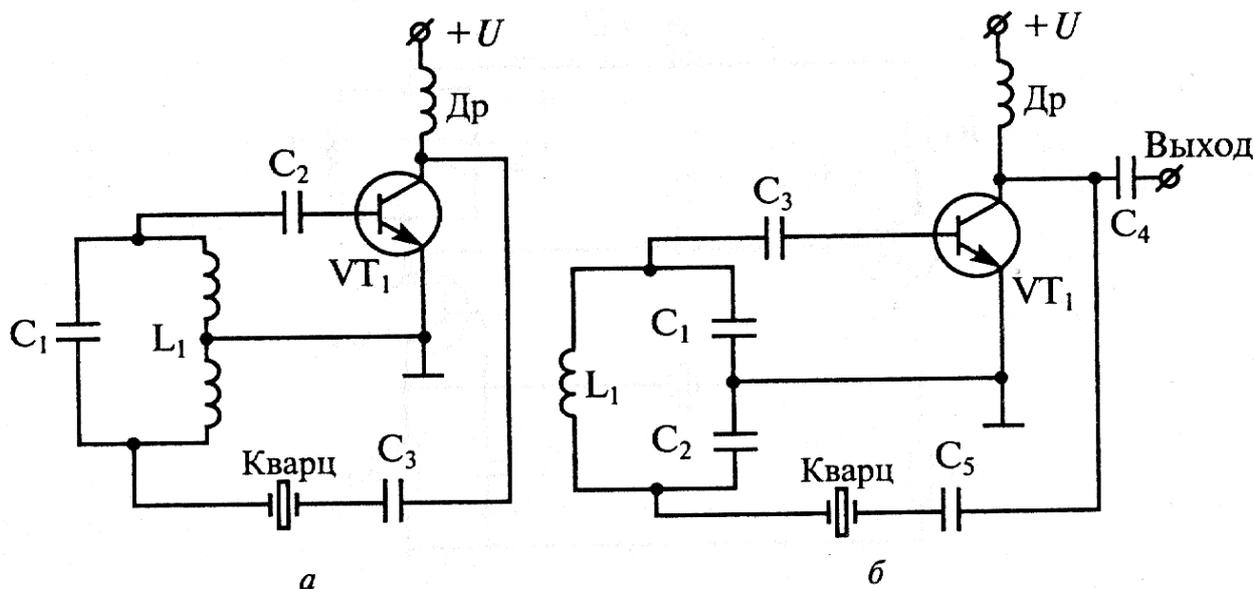


Рис. 18.5. Схемы кварцевых генераторов: а — Хартли; б — Колпитца

На рис. 18.5, а изображена схема кварцевого генератора Хартли с параллельной обратной связью. Кварц включен последовательно в цепь обратной связи.

Если частота колебательного контура отклоняется от частоты кварца, импеданс кварца увеличивается, уменьшая величину обратной связи с колебательным контуром.

Это позволяет колебательному контуру вернуться на частоту кварца.

На рис. 18.5, б изображен генератор Колпитца с кварцем, включенным так же, как и в генераторе Хартли.

Кварц управляет обратной связью с колебательным контуром.

3. Импульсные генераторы

Генераторы несинусоидальных колебаний применяют для создания периодических электрических сигналов произвольной формы (несинусоидальных импульсов), спектр которых не может быть выражен одним слагаемым типа $\cos(\omega t + \varphi)$. Примерами несинусоидальных колебаний могут служить колебания *прямоугольной*, *пилообразной* или *треугольной* формы (или комбинации этих форм). В основном в качестве генераторов несинусоидальных колебаний используют релаксационные генераторы. Релаксационный генератор запасает энергию в реактивной компоненте за одну фазу цикла колебаний и постепенно отдает ее в течение релаксационной фазы цикла. Релаксационными генераторами являются *блокинг-генераторы* и *мультивибраторы*. На рис. 18.6 изображена схема блокинг-генератора, названного так потому, что транзистор легко переводится в режим блокирования (запираания).

Условие блокирования определяется разрядом конденсатора C_1 , который заряжается через переход эмиттер-база транзистора VT_1 . Однако когда конденсатор C_1 заряжен, у него есть только один путь разряда — через резистор R_1 . Постоянная времени RC -цепочки из резистора R_1 и конденсатора C_1 определяет, как долго транзистор будет заперт (блокирован), а также частоту колебаний ($\gamma = \frac{1}{R_1 C_1}$). Такой блокинг-генератор выдает импульсы прямоугольной формы (рис. 18.6, а).

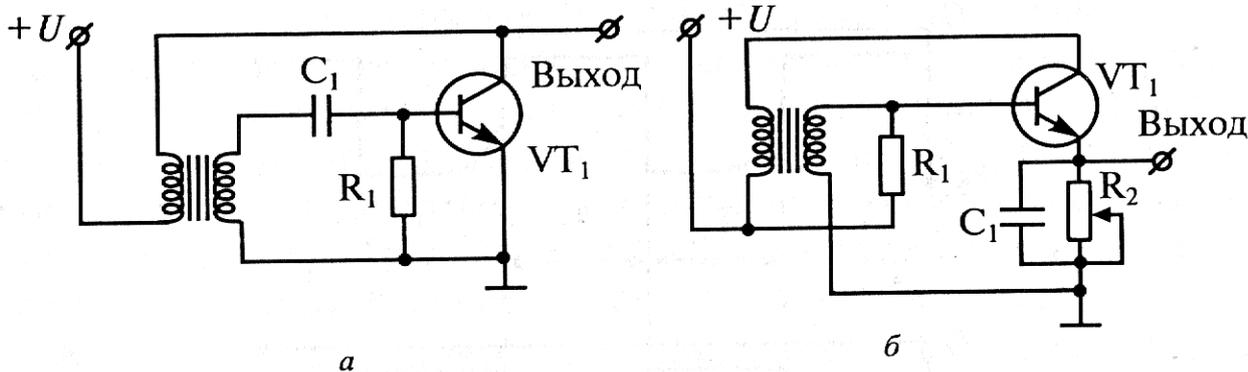


Рис. 18.6. Схемы блокинг-генераторов

Если выходное напряжение взять с RC -цепочки в эмиттерной цепи транзистора (рис. 18.6, б), то оно будет иметь пилообразную форму.

В этом случае частоту колебаний определяет цепочка R_2C_1 . На транзистор VT_1 , подано напряжение смещения в прямом направлении через резистор R_1 . Как только транзистор VT_1 начинает проводить, конденсатор C_1 быстро заряжается. Положительный потенциал на верхней обкладке конденсатора C_1 смещает эмиттерный переход в обратном направлении, запирая транзистор VT_1 . Конденсатор C_1 разряжается через резистор R_2 , образуя задний фронт пилообразного импульса. Когда конденсатор C_1 разряжается, транзистор VT_1 опять смещаемся в прямом направлении и начинает проводить, повторяя процесс.

Конденсатор C_1 и резистор R_2 определяют частоту колебаний. Сделав резистор R_2 переменным, можно изменять частоту колебаний, которая определяется со-

отношением $\gamma = \frac{1}{R_2C_1}$.

Мультивибратор представляет собой генератор несинусоидальных колебаний, близких по форме к прямоугольным. Такие колебания можно рассматривать как сумму большого числа простых гармонических колебаний (рис. 18.7). Отсюда и название «мультивибратор», или буквально «генератор множества простых колебаний».

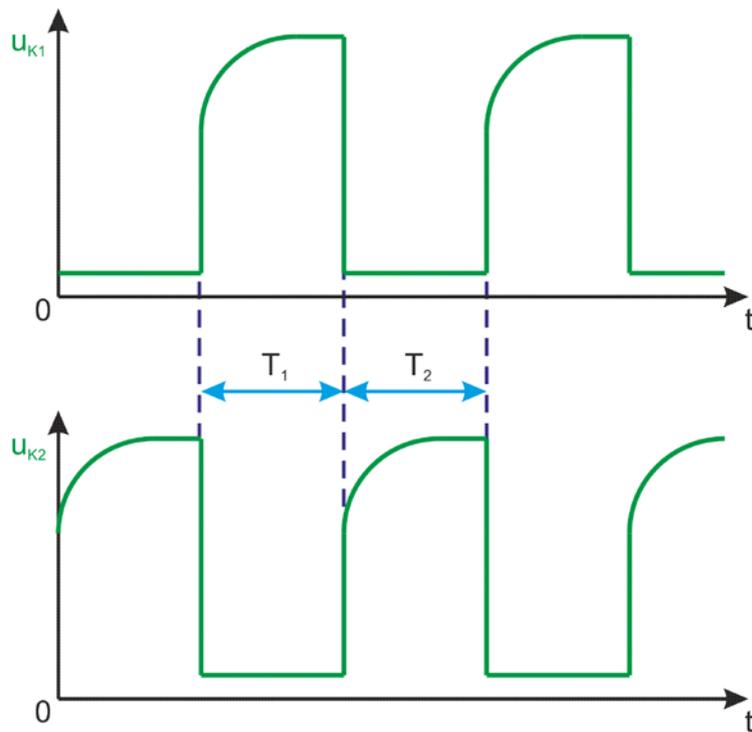


Рис. 18.7. Графики напряжений на коллекторах симметричного мультивибратора

Мультивибраторы (рис. 18.8) широко используют в импульсной технике, в ЭВМ и устройствах автоматики в качестве пусковых или переключающих устройств.

Различают три режима работы мультивибраторов: автоколебательный, синхронизации и ждущий.

Рассмотрим симметричный мультивибратор, работающий в режиме автоколебаний (рис. 18.8).

При подключении данной схемы к источнику питания E_K возникает режим неустойчивого равновесия, так как, несмотря на симметрию схемы, в любой момент может нарушиться равенство коллекторных токов.

Если, например, несколько увеличится ток i_{K1} , то это приведет к уменьшению потенциала на коллекторе Т1. А так как напряжение на конденсаторе C_1 не может измениться мгновенно, то отрицательный скачок напряжения на коллекторе Т1, передается на участок база-эмиттер транзистора Т2. Это вызовет уменьшение тока коллектора i_{K2} и, следовательно, повышение потенциала коллектора Т2. Повышение потенциала коллектора Т2 через конденсатор C_2 передается на базу Т1, и ток i_{K1} еще больше увеличивается и т. д. Данный процесс нарастает лавинообразно, тем более, что скачки напряжения на базах увеличиваются за счет усилительного действия транзисторов. В итоге транзистор Т2 окажется запертым, а потенциал его коллектора практически равным E_K . Транзистор Т1 будет полностью открыт и насыщен, а потенциал на его коллекторе — близким к нулю (см. рис. 18.7).

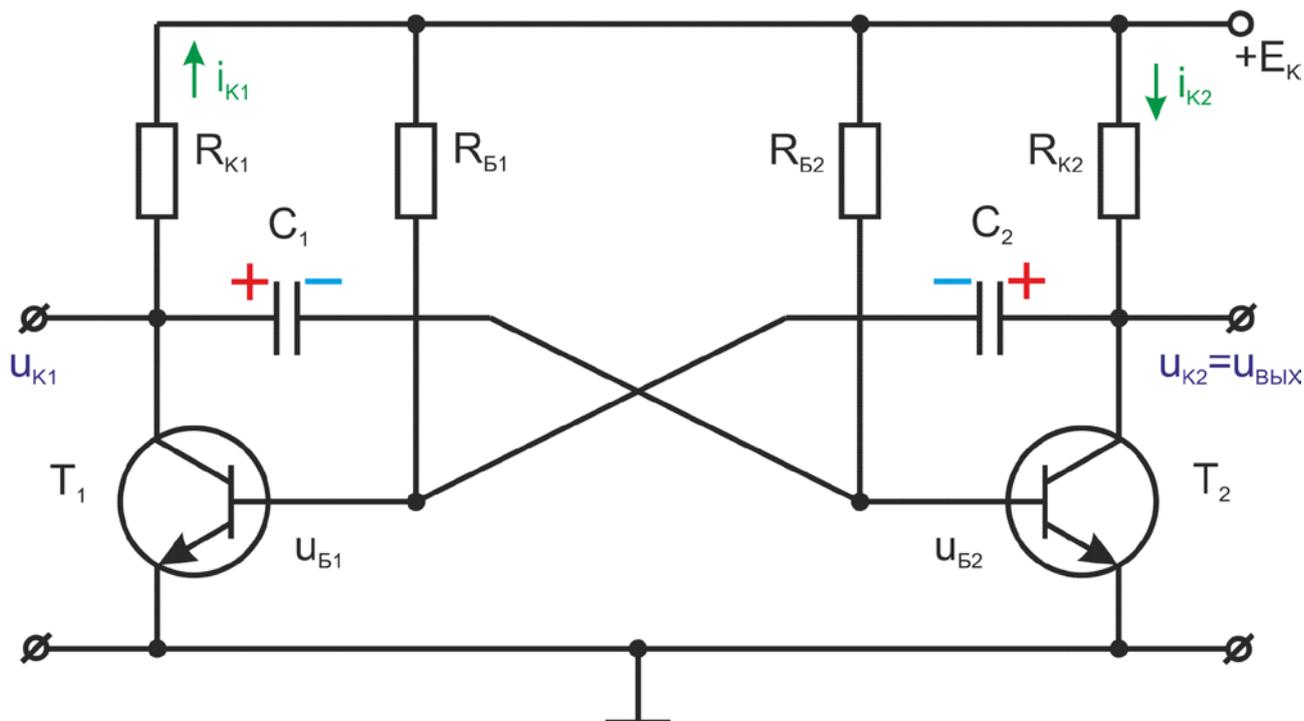


Рис. 18.8. Схема симметричного транзисторного мультивибратора

В исходном состоянии (до опрокидывания схемы) конденсаторы C_1 и C_2 были заряжены с полярностью, показанной на схеме рис. 18.8, до напряжения $E_K - i_K R_K$.

Во время опрокидывания схемы напряжение на конденсаторах не успевает измениться. После опрокидывания схемы конденсатор C_2 относительно быстро заряжается до напряжения E_K по цепи: $+E_K, R_{K2}, C_2$, переход эмиттер-база открытого Т1, $-E_K$. Конденсатор C_1 после запираания Т2, перезаряжается по цепи: $+E_K, R_{B2}, C_1, T1, -E_K$. Фактически через резистор R_{B2} в первый момент проходит ток под действием $2E_K$ и, следовательно, к участку база-эмиттер Т2, приложено напряжение $-E_K$, надежно запирающее Т2. При медленной перезарядке C_1 ток уменьшается, напряжение на R_{B2} падает и, когда $U_{C1} = 0$, напряжение на участке база-эмиттер Т2 близко к нулю. Транзистор Т2 открывается, потенциал его коллектора начинает падать, что приводит к падению потенциала базы Т1 и увеличению потенциала его коллектора, а следовательно, и потенциала базы Т2. Таким образом, возникает новый лавинообразный процесс и схема снова опрокидывается. При этом Т2 открыт и насыщен, Т1 заперт. После опрокидывания конденсатор C_1 быстро заряжается через R_{K1} до напряжения E_K , а C_2 начинает медленно перезаряжаться аналогично перезарядке C_1 . Процессам, происходящим в схеме, соответствуют графики напряжений, приведенные на рис. 18.7.

4. Электронный осциллограф

Электронный осциллограф — это прибор, который служит для записи и визуальных наблюдений электрических сигналов, меняющихся по времени, а также для измерения электрического напряжения, частоты, временных интервалов.

Рассмотрим работу осциллографа, используемого для визуального наблюдения переменного напряжения (рис. 18.9).

В осциллографах применяют трубки с электростатическим управлением. Так как любой периодически изменяющийся сигнал, как правило, изображается с помощью временной диаграммы, необходимо обеспечить временную характеристику (ось времени) на экране осциллографа. Это можно осуществить горизонтальной разверткой луча, происходящей с постоянной скоростью, для чего на горизонтально отклоняющие пластины трубки X—X через усилитель 7 подают напряжение пилообразной формы.

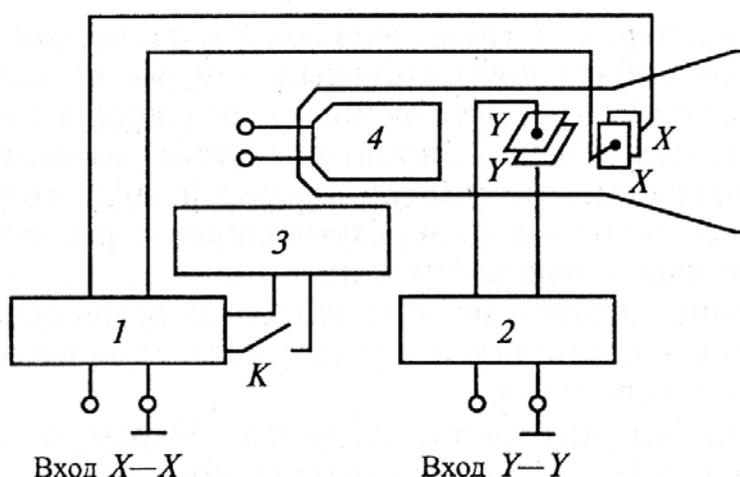


Рис. 18.9. Упрощенная структурная схема электронного осциллографа:

1 — усилитель; 2 — вход осциллографа; 3 — генератор пилообразного напряжения; 4 — электронная пушка

В начальный момент времени между пластинами действует напряжение $-U_0$, смещающее световое пятно в левую часть экрана. Затем напряжение между пластинами X—X начинает линейно нарастать, и световое пятно совершает равномерное движение слева направо. Это перемещение называется прямым ходом луча и происходит за время $T_{пр}$.

В момент времени, когда развертывающее напряжение достигает максимума, происходит резкий спад напряжения до значения $-U_0$, и электронный луч совершает обратный ход за время $T_{обр}$. При этом трубка автоматически запирается. Затем процесс медленного нарастания повторяется снова и т. д. В результате послесвечения люминофора на экране трубки появляется горизонтальная светящаяся линия, служащая осью времени.

Если теперь на вход осциллографа Y—Y подавать какое-нибудь периодически изменяющееся напряжение, например синусоидальное, то после усиления это напряжение прикладывается к вертикально отклоняющим пластинам Y—Y (рис. 18.9). Это вызовет отклонение луча в вертикальном направлении сначала вверх, а затем вниз и т. д.

В результате одновременного действия полей на электронный луч полей развертывающего и исследуемого сигналов на экране возникает временная развертка

последнего (в рассматриваемом случае это будет синусоида) (рис. 18.10). Для получения устойчивого изображения необходимо, чтобы отношение периодов пилообразного напряжения и изучаемого сигнала составляло целое число.

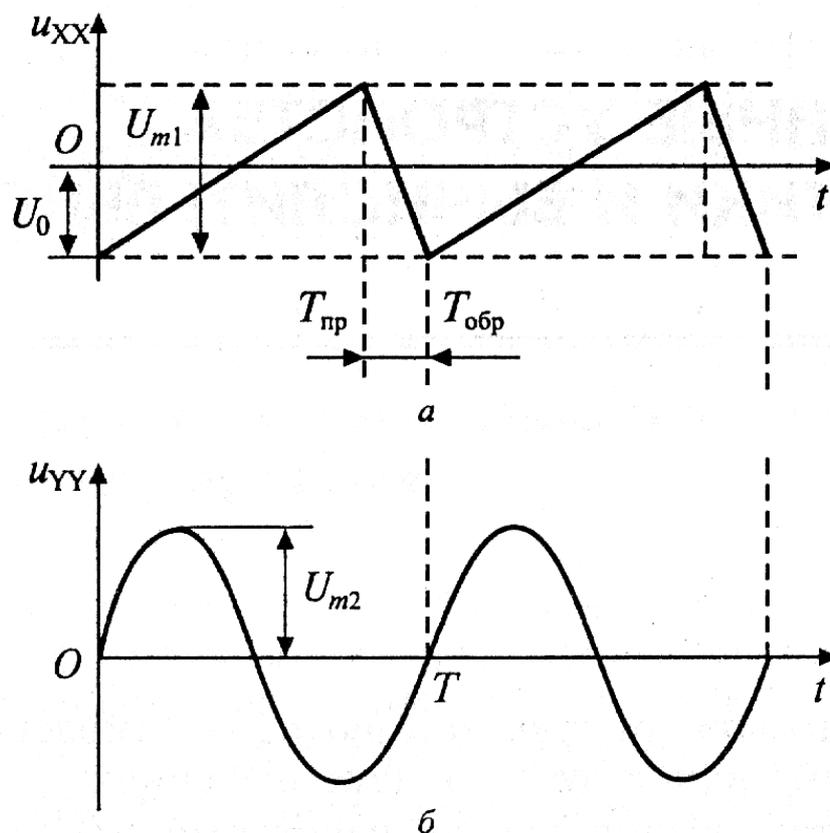


Рис. 18.10. Напряжение развёртки (а) и исследуемое осциллографом напряжение (б)

Для измерения частоты периодического сигнала, подаваемого на вход $Y-Y$, на вход $X-X$ подают синусоидальное напряжение, снимаемое с генератора стандартных сигналов. При этом генератор пилообразного напряжения от усилителя 1 отключают. Если, например, оба сигнала - и изучаемый, и стандартный синусоидальный - имеют одинаковую амплитуду, то при сдвиге фазы между ними, равном $\frac{\pi}{2}$, и равенстве частот на экране появится окружность.

Следовательно, частота исследуемого сигнала равна частоте стандартного, отсчитываемого по шкале генератора стандартных сигналов.

Контрольные вопросы

1. Что такое генератор?
2. Нарисуйте блок-схему генератора.
3. В каких случаях используют кварцевые генераторы?
4. Что такое мультивибратор?
5. Как работает электронный осциллограф?