

## Тема: ЭЛЕКТРОННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

1. Назначение и классификация электронных генераторов
2. Генераторы синусоидальных колебаний
3. Мультивибраторы

### 1. Назначение и классификация электронных генераторов

Генератором называется электронная схема, преобразующая постоянный ток источника питания в переменный ток определенной частоты и формы. Всякая генераторная схема имеет в своем составе активный элемент и частотно-избирательную систему.

В качестве активных элементов могут использоваться транзисторы, электронные лампы, интегральные усилители, туннельные диоды. Частотно-избирательная система, определяющая частоту колебаний, может представлять собой резонансный LC-контур либо другой резонирующий элемент, например кварц, или фазирующую RC-цепь.

Генераторы классифицируются по форме выходного напряжения (тока), частоте и способу управления.

В зависимости от формы выходного напряжения различают *генераторы гармонических (синусоидальных) колебаний* и *импульсные*, выходное напряжение которых изменяется по закону, отличному от синусоидального.

По частоте генерируемых сигналов генераторы подразделяются на *низкочастотные* (0,01...100 кГц), *высокочастотные* (0,1...100 мГц) и *сверхвысокочастотные* (свыше 100 мГц).

По способу управления генераторы бывают с *самовозбуждением (автогенераторы)* и *независимым возбуждением*. В автогенераторах режим устойчивых автоколебаний наступает при подключении схемы к источнику питания. В генераторах с независимым возбуждением режим колебаний возникает под действием внешнего управляющего сигнала.

324

Генераторы гармонических колебаний применяются в радиотехнике, в измерительных и регулирующих устройствах, на установках ультразвуковой обработки материалов.

Импульсные генераторы находят широкое применение в информационно-вычислительной технике в качестве задающих и тактирующих генераторов.

### 2. ГЕНЕРАТОРЫ СИНУСОИДАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Существует большое разнообразие генераторных схем как на дискретных элементах (транзисторах или электронных лампах), так и в виде готовых интегральных микросхем. Во всех случаях генератор имеет два элемента: усилитель и звено положительной ОС. В последнее время для построения генераторных схем широко используются операционные усилители.

Элементом, задающим частоту колебаний, служит LC- или RC-контур. Этот контур включается в выходную цепь усилителя.

Рассмотрим некоторые из схем.

**Генератор с LC-контуром.** Приведенная на рис. 17.1, а схема представляет собой однокаскадный усилитель на транзисторе VT, включенном по схеме ОЭ. Элементы схемы  $R_1, R_2, R_3, C_3$  предназначены для создания режима начального смещения и его температурной стабилизации. В коллекторную цепь транзистора включен параллельный колебательный контур на элементах  $L_K$  и  $C_K$ .

Функции положительной ОС выполняет обмотка  $L_B$ , подключенная к базе и эмиттеру транзистора через разделительный конденсатор  $C$ . Обмотка  $L_B$  имеет индуктивную связь с обмоткой  $L_K$ .

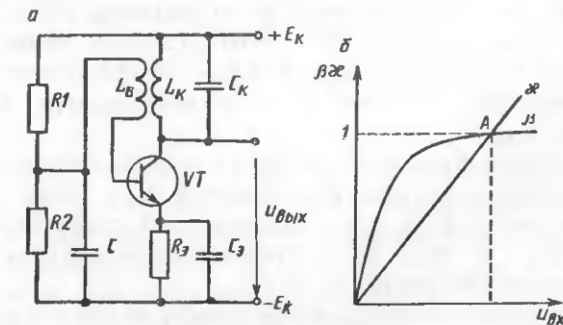


Рис. 17.1

Возбуждение колебаний осуществляется следующим образом.

При подключении схемы к источнику питания в частотно-избирательном контуре  $L_K C_K$  возникают свободные колебания с частотой

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{L_K C_K}.$$

Будет ли существовать бесконечно долго колебательный процесс в контуре  $L_K C_K$ , если отключить схему от источника питания? — а) да; б) нет.

Благодаря наличию индуктивной связи в обмотке  $L_B$  индуцируется напряжение с частотой  $f_0$ . Это напряжение, приложенное к эмиттерному переходу транзистора (активному элементу схемы), изменяет проводимость транзистора, что приводит к пульсации тока в главной цепи усилителя с частотой  $f_0$ .

Чтобы процесс колебаний мог продолжаться бесконечно долго, необходимо соблюдение условия баланса фаз и баланса амплитуд.

Физический смысл условия баланса фаз заключается в том, что сигнал, поступающий по цепи ОС на базу транзистора, должен способствовать приращению тока в цепи коллектора. Математически это условие записывается следующим образом:  $\varphi_y + \varphi_{oc} = 2\pi n$ , где  $\varphi_y, \varphi_{oc}$  — фазовый сдвиг между входным и выходным сигналами соответственно для усилителя и звена ОС.

Условие баланса фаз обеспечивается путем выбора направления намотки катушки  $L_B$  (выбора начала и конца катушки).

Будет ли соблюдаться условие баланса фаз, если  $\varphi_y + \varphi_{oc} = 360^\circ$ ? — в) да; г) нет.

Сущность условия баланса амплитуд заключается в том, что численное приращение тока коллектора должно компенсировать потери энергии в активных сопротивлениях контура и звена ОС. Это условие записывается следующим образом:  $\beta k \geq 1$ , где  $\beta$  — коэффициент передачи транзистора по току, а  $k$  — коэффициент передачи звена ОС.

Из условия баланса амплитуд определяется коэффициент  $k$  (число витков  $W_B$  обмотки  $L_B$ ), если известен коэффициент  $\beta$ . При этом должно соблюдаться условие  $\beta \geq W_K / W_B$ , где  $W_K, W_B$  — соответственно число витков катушек индуктивности  $L_K$  и  $L_B$ .

Чтобы процесс колебаний осуществлялся с постоянной амплитудой напряжения (тока), коэффициент  $\beta$  должен

иметь нелинейную зависимость от входного сигнала (рис. 17.1, б).

Тогда при включении схемы будет  $\beta k > 1$ , что определяет условие самовозбуждения, а по мере нарастания выходного сигнала выражение  $\beta k \rightarrow 1$ . При  $\beta k = 1$  (точка А на рис. 17.1, б) наступает режим колебаний с постоянной амплитудой.

А будет ли оставаться стабильной частота колебаний? — д) да; е) нет.

Генераторы с LC-контуром предназначены для генерирования сигналов высокой частоты. Для частот ниже десятка килогерц они не применяются ввиду значительных габаритов и массы элементов.

**Генераторы с RC-контуром.** Эти схемы находят применение для генерирования сигналов низких частот (десятки килогерц и ниже).

На рис. 17.2 представлена одна из возможных схем на основе ОУ.

Положительная ОС в схеме выполнена по неинвертирующему входу на элементах  $R_1, R_2, C_1, C_2$ . Инвертирующий вход охвачен отрицательной ОС на элементах  $R_3, R_{oc}$ , которая служит для стабилизации работы схемы.

Особенность этой схемы в том, что условие баланса фаз по неинвертирующему входу осуществляется только на определенной частоте, называемой квазирезонансной. При значениях  $R_1 = R_2 = R$  и  $C_1 = C_2 = C$  квазирезонансная частота генерации определяется выражением

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}.$$

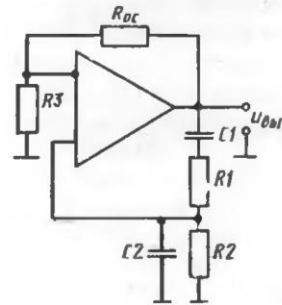


Рис. 17.2

Общим недостатком рассмотренных схем с LC- или RC-контуром является то, что параметры элементов контура могут изменяться, например, при изменении температуры. Поэтому частота генерируемых сигналов не является стабильной.

Когда нужна высокая стабильность частоты, то в схемах генераторов применяют кварцевые резонаторы, обладающие высокой стабильностью параметров.

К какому типу относятся рассмотренные генераторные схемы: ж) с самовозбуждением? з) с независимым возбуждением?

Ответы: б, в, е, ж.

1. Что такое генератор? 2. Какие типы генераторов бывают по способу возбуждения и форме выходного напряжения? 3. Какие элементы схемы определяют частоту колебаний? 4. Из каких основных звеньев состоит генератор? 5. Поясните принцип действия генератора гармонических колебаний с LC- и RC-контурами.

### 3. МУЛЬТИВИБРАТОРЫ

Мультивибратором называется генератор, вырабатывающий периодическую последовательность импульсов напряжения прямоугольной формы. Мультивибраторы используются как задающие генераторы управляющих импульсов в различных устройствах измерительной и вычислительной техники.

Основными параметрами выходного напряжения мультивибратора (рис. 17.3) являются:  $U_m$  — амплитуда импульса;  $T$  — период;  $t_n$  — длительность импульса;  $t_p$  — длительность паузы;  $Q = T/t_n$  — скважность.

Мультивибраторы выполняются с самовозбуждением и с независимым возбуждением. Во втором случае схема называется одновибратором или ждущим мультивибратором.

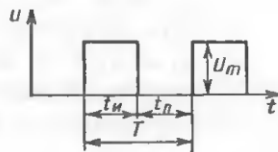


Рис. 17.3

Для построения мультивибраторов можно использовать транзисторы, логические элементы, усилители. В настоящее время для этой цели наиболее широко применяются ОУ в интегральном исполнении. Рассмотрим одну из таких схем (рис. 17.4, а).

В этой схеме используется свойство ОУ изменять полярность (знак) выходного напряжения при изменении потенциалов на входах, т. е. то же свойство, что и в схеме компаратора. В отличие от компаратора здесь ОУ охва-

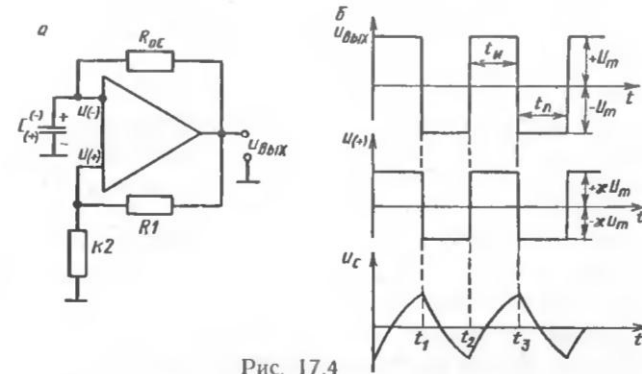


Рис. 17.4

чен положительной ОС по неинвертирующему входу посредством резисторов  $R_1$ ,  $R_2$  и отрицательной ОС по инвертирующему входу — с помощью резистора  $R_{oc}$ . К инвертирующему входу подключен также конденсатор  $C$ . Цепь из резистора  $R_{oc}$  и конденсатора  $C$  называется времязадающей.

Временные диаграммы, иллюстрирующие работу схемы, приведены на рис. 17.4, б. Покажем, что эта схема обладает автоколебательными свойствами.

Допустим, что в момент подключения схемы к источнику питания ( $t=0$ ) напряжение на выходе ОУ примет максимальное значение, равное напряжению источника питания, т. е.  $u_{вых} = U_m = U_{и.п.}$  (рис. 17.4, б). Тогда напряжение на его неинвертирующем входе будет положительное и равно  $u_{(+)} = \kappa U_m = \kappa U_{и.п.}$ , где  $\kappa = R_2 / (R_1 + R_2)$  — коэффициент передачи цепи положительной ОС.

Можно ли напряжение на неинвертирующем входе ОУ  $u_{(+)} = \kappa U_m$  считать опорным? — а) да; б) нет.

Напряжение на инвертирующем входе равно напряжению на конденсаторе  $C$  ( $u_{(-)} = u_c$ ) и нарастает по экспоненциальному закону.

Конденсатор заряжается по цепи  $+u_{вых}$ ,  $R_{oc}$ ,  $C$ , общая точка с постоянной времени  $\tau = R_{oc}C$ . Полярность напряжения на конденсаторе указана на рис. 17.4, а без скобок.

В момент времени  $t_1$  напряжение на конденсаторе  $C$  достигает значения напряжения на неинвертирующем входе и несколько превышает его. Тогда в силу свойств ОУ изменяется полярность выходного напряжения от уровня  $u_{вых} = +U_m$  до уровня  $u_{вых} = -U_m$ , а следовательно, меняется и напряжение на неинвертирующем входе и становится отрицательным  $u_{(+)} = -\kappa U_m$ .

С момента времени  $t_1$  начинается процесс перезарядки конденсатора через резистор  $R_{oc}$  и выход ОУ. Полярность напряжения на конденсаторе на рис. 17.4, а указана в скобках. И когда напряжение на конденсаторе снизится до уровня ниже  $u_{(+)} = -\kappa U_m$  (момент времени  $t_2$ ), снова изменится полярность выходного напряжения, но уже от уровня  $-U_m$  до уровня  $+U_m$ . Далее процесс будет повторяться.

Рассмотренная схема называется симметричной. В симметричной схеме продолжительность положительного импульса равна продолжительности отрицательного и определяется параметрами времязадающей цепи, т. е.

$$t_n = t_p = CR_{oc} \ln(1 + 2R_2/R_1).$$

Как изменится продолжительность импульса, если увеличить коэффициент  $\kappa$ ? — в)  $t_n$  увеличится? г)  $t_n$  уменьшится?

Если требуется получить положительный и отрицательный импульсы разной продолжительности (несимметричный мультивибратор), то в цепь ОС включают параллельно два резистора через диодные ключи (рис. 17.5).

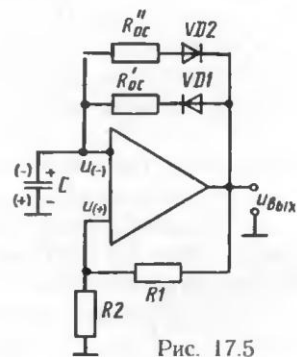


Рис. 17.5

В схеме на рис. 17.5 зарядка конденсатора с полярностью  $+$ ,  $-$  осуществляется по цепи:  $R'_{oc}$ ,  $VD_1$ , а с полярностью  $(-)$ ,  $(+)$  по цепи:  $R''_{oc}$ ,  $VD_2$ .

Если  $R'_{oc} > R''_{oc}$ , то каково будет соотношение между продолжительностью импульса и паузы? — д)  $t_n > t_p$ ; е)  $t_n < t_p$ .

Схема одновибратора приведена на рис. 17.6, а, а временные диаграммы, поясняющие принцип его действия, даны на рис. 17.6, б. От схемы симметричного мультивибратора данная схема отличается тем, что парал-

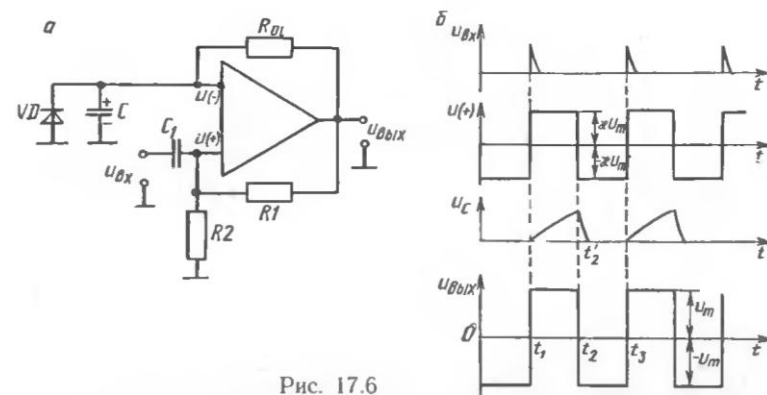


Рис. 17.6

лельно конденсатору включен диод  $VD$ . При отсутствии внешнего управляющего импульса по неинвертирующему входу схема обладает устойчивым состоянием (интервал времени  $0 - t_1$  рис. 17.6, б). Для этого режима  $u_{вых} = -U_m$ ,  $u_{(+)} = -\kappa U_m$ ,  $u_c = u_{(-)} = 0$ .

С приходом кратковременного внешнего управляющего импульса на неинвертирующий вход его потенциал станет положительным  $u_{(+)} > 0$ , и ОУ перейдет в новое состояние:  $u_{вых} = +U_m$ ,  $u_{(+)} = \kappa U_m$  (момент  $t_1$ ). Это состояние будет неустойчивым, потому что с момента  $t_1$  начинается зарядка конденсатора по цепи  $R_{oc}$ ,  $C$ , общая точка с полярностью, указанной на рис. 17.6, а. В процессе зарядки конденсатора напряжение на инвертирующем входе возрастает и в момент  $t_2$ , когда  $u_c = u_{(-)} > \kappa U_m$ , ОУ возвращается в исходное состояние:  $u_{вых} = -U_m$ ,  $u_{(+)} = -\kappa U_m$ .

При этом конденсатор быстро разряжается до нуля (интервал времени  $t_2 - t_2'$ ) по цепи  $R_{oc}$ , выход ОУ. Это состояние будет устойчивым до тех пор, пока не появится очередной управляющий импульс.

Ответы: а, в, д.

? 1. Что такое мультивибратор? 2. Где применяются мультивибраторы? 3. На каких элементах выполняются мультивибраторы? 4. В чем отличие симметричного мультивибратора от несимметричного? 5. От каких элементов схемы зависит продолжительность импульсов в схеме мультивибратора на ОУ? 6. Чем отличается одновибратор от мультивибратора?

### 12.5. Генераторы синусоидальных колебаний

Генератор электрических колебаний – это нелинейное устройство, преобразующее энергию источника постоянного тока в энергию колебаний. Генераторы широко используются в электронике: в радиоприемниках и телевизорах, в сис-

Глава 12. Основы электроники

319

темах связи, компьютерах, промышленных системах управления и устройствах точного измерения времени.

Генератор – это электрическая цепь, которая генерирует периодический сигнал переменного тока. 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.

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. 12.34 изображена блок-схема генератора. Генератор можно разбить на три части. Частотоподающей цепью генератора обычно является  $LC$  колебательный контур. Усилитель увеличивает амплитуду выходного сигнала колеба-



Рис. 12.34

тельного контура. Цепь обратной связи подает необходимое количество энергии в колебательный контур для поддержки колебаний. Таким образом, генератор – это схема с обратной связью, которая использует постоянный ток для получения колебаний переменного тока.

Генераторы синусоидальных колебаний – это генераторы, которые генерируют напряжение синусоидальной формы. Они классифицируются согласно их частотоподающим 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.

#### 12.5.1. $LC$ генераторы

Основными типами  $LC$  генераторов являются генератор Хартли и генератор Колпитца. На рис. 12.35 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. 12.36 изображен генератор Колпитца. Величина обратной связи в схеме Колпитца оп-

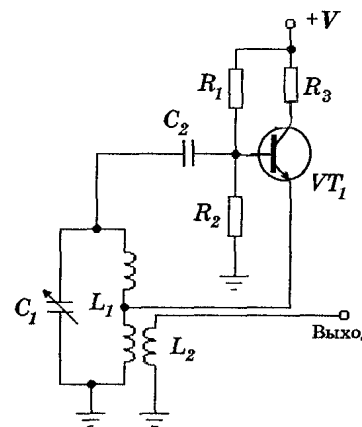


Рис. 12.35

ределяется отношением емкостей конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$ . Генератор Колпитца более стабилен, чем генератор Хартли, и более часто используется.

### 12.5.2. Кварцевые генераторы

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 ста-

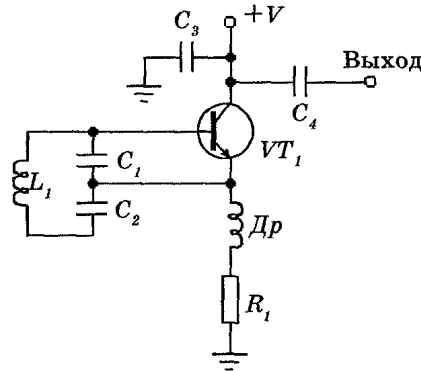


Рис. 12.36

бильность 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. На рис. 12.37 показано схематическое обозначение кварца.



Рис. 12.37

На рис. 12.38 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.

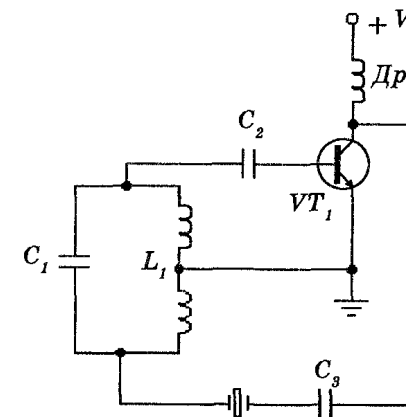


Рис. 12.38



На рис. 12.39 изображен генератор Колпитца с кварцем, включенным так же, как и в генераторе Хартли. Кварц управляет обратной связью с колебательным контуром.

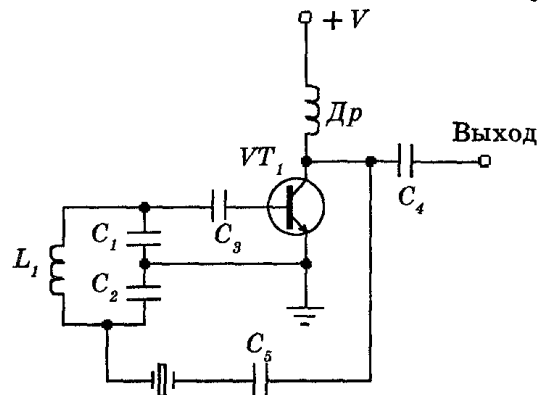


Рис. 12.39

На рис. 12.40 изображен генератор Пирса. Эта схема подобна генератору Колпитца, за исключением того, что катушка индуктивности в колебательном контуре заменена кварцем. Эта схема очень популярна, поскольку в ней не используются катушки индуктивности. Кварц управляет импедансом колебательного контура, что определяет величину обратной связи и стабилизирует генератор.

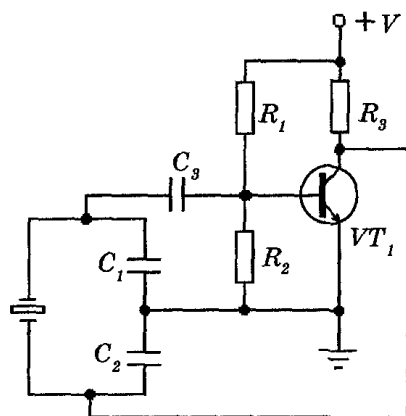


Рис. 12.40

Верхний предел частоты основного резонанса кристалла кварца составляет около 25 МГц. Однако в аппаратуре связи необходимы стабильные генераторы более высоких частот. Для этого требуется обеспечить работу кварцевых резонаторов на их гармонических частотах. Обычно используются нечетные гармоники (третья и пятая).

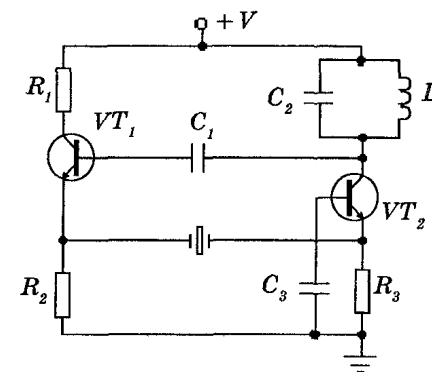


Рис. 12.41

В таких случаях используют генератор Батлера, изображенный на рис. 12.41. Схема собрана на двух транзисторах и использует колебательный контур и кварц для задания и стабилизации частоты колебаний. Колебательный контур должен быть настроен на частоту основного резонанса кварца или на частоту одной из его гармоник. Преимущество генератора Батлера в том, что к кварцу приложено небольшое напряжение, что уменьшает его механические деформации.

### 12.5.3. RC генераторы

RC генераторы используют для задания частоты резистивно-емкостную цепь. Простейшим RC генератором синусоидальных колебаний является генератор с фазосдвигающей цепью.

Генератор с фазосдвигающей цепью – это обычный усилитель с фазосдвигающей RC цепью обратной связи (рис. 12.42).

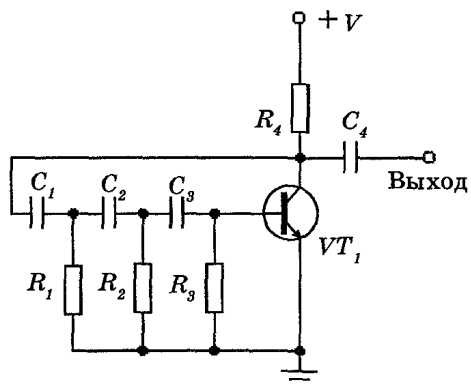


Рис. 12.42

Обратная связь должна сдвигать фазу сигнала на  $180^\circ$ . Так как емкостное сопротивление изменяется при изменении частоты, то эта компонента чувствительна к частоте. Стабильность улучшается при уменьшении величины фазового сдвига на каждой  $RC$  цепочке. Однако на комбинации  $RC$  цепочек имеют место потери мощности. Для компенсации этих потерь транзистор должен иметь достаточно высокий коэффициент усиления.

### 12.6. Генераторы колебаний специальной формы

Генераторы несинусоидальных колебаний применяют для создания периодических электрических сигналов произвольной формы (несинусоидальных), 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 в течение одной фазы цикла

колебаний и постепенно отдает ее в течение релаксационной фазы цикла.

Релаксационными генераторами являются блокинг-генераторы и мультивибраторы. На рис. 12.43 изображена схема блокинг-генератора.

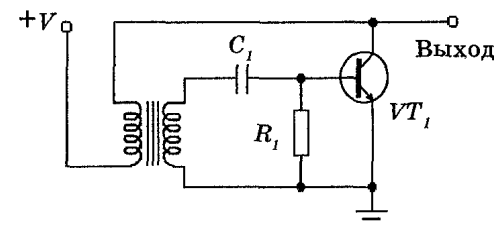


Рис. 12.43

Причиной названия является то, что транзистор легко переводится в режим блокирования (запираания). Условие блокирования определяется разрядом конденсатора  $C_1$ . Конденсатор  $C_1$  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 определяет частоту колебаний ( $\nu = 1 / R_1 C_1$ ). Такой блокинг-генератор выдает импульсы прямоугольной формы.

Если выходное напряжение взять с  $RC$  цепочки в эмиттерной цепи транзистора, то оно будет иметь пилообразную форму (рис. 12.44).

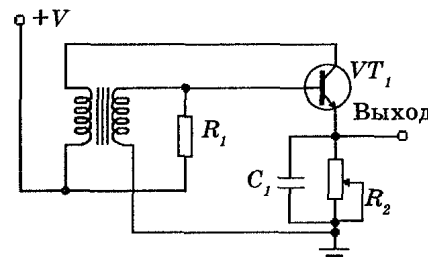


Рис. 12.44

В этом случае частоту колебаний определяет цепочка  $R_2 C_1$ . 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 смещается 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 соотношением  $\nu = 1 / R_2 C_1$ .

*Мультивибратор* – это релаксационный генератор, который может находиться в одном из двух временно стабильных состояний и может быстро переключаться из одного состояния в другое.

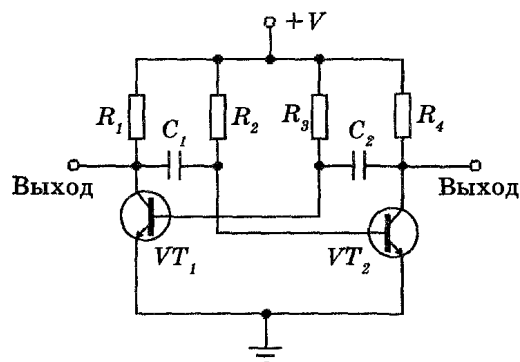


Рис. 12.45

На рис. 12.45 изображена основная схема автоколебательного мультивибратора. Основой генератора являются два каскада, связанных между собой таким образом, что на вход каждого каскада подается сигнал с выхода другого каскада. Когда один каскад открыт, другой каскад заперт до тех пор, пока эти условия не поменяются местами. Цепь самовозбуждается благодаря наличию положительной обратной связи. Частота колебаний определяется параметрами цепи связи ( $\nu = 0,7 / R_2 C_1 = 0,7 / R_3 C_2$ ).

§ 20.5. МУЛЬТИВИБРАТОР

Мультивибратор представляет собой генератор несинусоидальных колебаний, близких по форме к прямоугольным.

Такие колебания можно рассматривать как сумму большого числа простых гармонических колебаний. Отсюда и название «мультивибратор» или буквально «генератор множества простых колебаний».

Мультивибраторы 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. 20.11). При подключении данной схемы к источнику питания  $E_k$

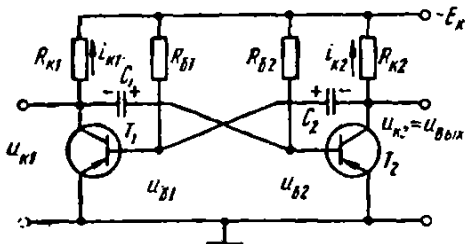


Рис. 20.11. Схема симметричного транзисторного мультивибратора

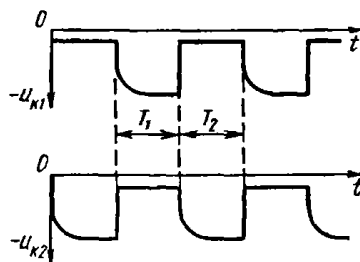


Рис. 20.12. Графики напряжений на коллекторах симметричного мультивибратора

возникает режим неустойчивого равновесия, так как, несмотря на симметрию схемы, в любой момент может нарушиться равенство коллекторных токов.

Если, например, несколько уменьшится ток  $i_{к1}$ , то это приведет к уменьшению потенциала на коллекторе  $T_1$ . А так как напряжение на конденсаторе  $C_1$  не может измениться мгновенно, то отрицательный скачок напряжения на коллекторе  $T_1$  передается на участок база — эмиттер транзистора  $T_2$ . Это вызовет увеличение тока коллектора  $i_{к2}$  и, следовательно, повышение потенциала коллектора  $T_2$ . Повышение потенциала коллектора  $T_2$  через конденсатор  $C_2$  передается на базу  $T_1$  и ток  $i_{к1}$  еще больше уменьшается и т. д. Данный процесс нарастает лавинообразно, тем более что

скачки напряжения на базах увеличиваются за счет усилительного действия транзисторов. В итоге транзистор  $T_1$  окажется запертым, а потенциал его коллектора практически равным  $-E_k$ . Транзистор  $T_2$  будет полностью открыт и насыщен, а потенциал на его коллекторе — близким к нулю.

В исходном состоянии (до опрокидывания схемы) конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  были заряжены с полярностью, показанной на схеме рис. 20.11, до напряжения  $-E_k + R_k i_{к}$ . Во время опрокидывания схемы напряжения на конденсаторах не успевают измениться. После опрокидывания схемы конденсатор  $C_1$  относительно быстро заряжается до напряжения  $E_k$  по цепи:  $+E_k$ , переход эмиттер — база открытого  $T_2$ ,  $C_1$ ,  $R_{к1}$ ,  $-E_k$ . Конденсатор  $C_2$  после запираания  $T_1$  перезаряжается по цепи:  $+E_k$ ,  $T_2$ ,  $C_2$ ,  $R_{б1}$ ,  $-E_k$ . Фактически через резистор  $R_б$  в первый момент проходит ток под действием  $2E_k$  и, следовательно, к участку база — эмиттер  $T_1$  приложено напряжение  $+E_k$ , надежно запирающее  $T_1$ . При медленной перезарядке  $C_2$  ток уменьшается, напряжение на  $R_{б1}$  падает и, когда  $u_{с2} \approx 0$ , напряжение на участке база — эмиттер  $T_1$  близко к нулю. Транзистор  $T_1$  открывается, потенциал его коллектора начинает расти, что приводит к росту потенциала базы  $T_2$  и уменьшению потенциала его коллектора, а следовательно, и потенциала базы  $T_1$ . Таким образом, возникает новый лавинообразный процесс и схема снова опрокидывается. При этом  $T_1$  открыт и насыщен,  $T_2$  заперт. После опрокидывания конденсатор  $C_2$  быстро заряжается через  $R_{к2}$  до напряжения  $E_k$ , а  $C_1$  начинает медленно перезаряжаться аналогично перезарядке  $C_2$ . Процессам, происходящим в схеме, соответствуют графики напряжений, приведенные на рис. 20.12.

Карточка № 20.4 (322)  
Мультивибратор

Каким должно быть соотношение между сопротивлениями $R_б$ и $R_к$ для нормальной работы схемы, приведенной на рис. 20.11?	$R_б > R_к$	34
	$R_б \approx R_к$	13
	$R_б < R_к$	24
Какими параметрами схемы симметричного мультивибратора определяется длительность импульсов на коллекторах транзистора?	Постоянной времени зарядки $\tau_с = R_к C$	96
	Постоянной времени перезарядки $\tau_п = R_б C$	52