

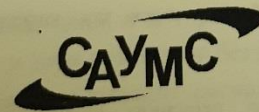
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»

Кафедра системного анализа и управления в медицинских
системах

133-2017

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторной работы № 4
по дисциплине «Электроника и микропроцессорная техника»
для студентов направления 12.03.04 «Биотехнические системы
и технологии» (профили «Биотехнические и медицинские
аппараты и системы», «Менеджмент и управление качеством
в здравоохранении») очной формы обучения



Воронеж 2017

Составители: канд. техн. наук Е.И. Новикова,
д-р техн. наук О.В. Родионов

УДК 621.38(07)
ББК 30я7

Методические указания к выполнению лабораторной работы № 4 по дисциплине «Электроника и микропроцессорная техника» для студентов направления 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии» (профили «Биотехнические и медицинские аппараты и системы», «Менеджмент и управление качеством в здравоохранении») очной формы обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. Е.И. Новикова, О.В. Родионов. Воронеж, 2017. 27 с.

Методические указания предназначены для подготовки, выполнения и защиты лабораторной работы «Построение модели генератора прямоугольных импульсов заданной частоты» по дисциплине «Электроника и микропроцессорная техника».

Табл. 1. Ил. 7. Библиогр.: 1 назв.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Е.Н. Коровин

Ответственный за выпуск зав. кафедрой д-р техн. наук,
проф. О.В. Родионов

Печатается по решению учебно-методического совета
Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный технический
университет», 2017

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ГЕНЕРАТОРА ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ ЗАДАННОЙ ЧАСТОТЫ

1. ЦЕЛЬ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Построение схемы релаксационного генератора с заданной частотой генерации.
2. Исследование зависимости частоты генерации от постоянной времени.

2. СОСТАВ ИСПОЛЪЗУЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Используемые программно-аппаратные средства: персональное ЭВМ класса IBM PC стандартной конфигурации, пакет Multisim.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

3.1. Общие сведения об автогенераторах

Электронные цепи, в которых периодические изменения напряжения и тока возникают без приложения к ним дополнительного периодического сигнала, называются *автономными автоколебательными цепями*, а устройства, выполненные на их основе, – *автогенераторами* или *генераторами колебаний* соответствующей формы. Эти цепи следует рассматривать как преобразователи энергии источника питания постоянного тока в энергию периодических электрических колебаний.

Автогенераторы можно разделить на генераторы импульсов и генераторы синусоидальных колебаний. Генераторы импульсов в зависимости от формы выходного напряжения делят на генераторы: напряжения прямоугольной формы (ГПН); напряжения экспоненциальной формы; линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН); напряжения треугольной формы; ступенчато изменяющегося напряжения; импульсов, вершина которых имеет колоколообразную форму (блокинг-генератор).

Генераторы синусоидальных колебаний классифицируют по типу колебательной системы и подразделяют на:

- LC-автогенераторы;
- RC-автогенераторы;
- генераторы с кварцевой стабилизацией частоты;
- генераторы с электромеханическими резонансными системами стабилизации частоты.

Для получения незатухающих колебаний во всех названных автогенераторах используются компоненты электроники, на вольт-амперных характеристиках которых имеется или создан с помощью цепи положительной ОС участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением. В большинстве автогенераторов используются электронные усилители с положительной обратной связью (ОС).

При положительной ОС фазовый сдвиг по петле усилитель – цепь обратной связи $\varphi_{пет}$ равен нулю и $K\beta \geq 1$, усилитель теряет устойчивость. Если в цепи усилителя или цепи ОС нет элемента, накапливающего электрическую энергию, то усилитель с положительной ОС превращается в триггер и

имеет устойчивые состояния.

При наличии в петле усилитель – цепь обратной связи элемента, накапливающего энергию, например, конденсатора, усилитель с положительной ОС не имеет ни одного устойчивого состояния и генерирует периодически изменяющееся напряжение. Генераторы импульсов, состоящие из широкополосных электронных усилителей, охваченных положительной обратной связью, глубина которой остается почти постоянной в широкой полосе частот, и имеющие в петле обратной связи элементы, накапливающие энергию, называются *мультивибраторами*.

Широкополосность цепи ОС является характерным признаком всех генераторов импульсов, причем во всех случаях на частоте $\omega \rightarrow 0$ выполняется условие $K\beta < 1$. В противном случае устройство превратится в триггер. Это условие свидетельствует о наличии накопителя энергии, уменьшающего петлевое усиление на низких или инфранизких частотах до уровня, при котором невозможно появление неустойчивого состояния в этой полосе частот и невозможности триггерного режима работы.

Генераторы синусоидального напряжения отличаются тем, что у них цепь обратной связи имеет резонансные свойства. Поэтому условия возникновения колебаний выполняются только на одной частоте, а не в полосе частот, как у генераторов импульсов. В качестве резонаторов, обеспечивающих получение резонансных свойств, используют LC-контур, RC-цепи определенного вида, кварцевые резонаторы, электромеханические колебательные системы и др.

Различают «мягкий» и «жесткий» режимы возбужде-

ния генераторов.

При *мягком* режиме петлевое усиление больше единицы ($|K\beta| > 1$) в момент включения напряжения питания. Тогда любые шумы или возмущения в системе, вызванные случайными факторами, усиливаются и через цепь обратной связи подаются на вход усилителя в фазе, совпадающей с фазой входного сигнала, причем величина этого дополнительного сигнала больше того возмущения, которое вызвало его появление. Соответственно увеличится выходное напряжение, что приведет к дальнейшему увеличению входного сигнала и т. д. В итоге случайно возникшее возмущение приведет к непрерывному нарастанию выходного сигнала, которое достигло бы бесконечного большого значения, если бы это было возможно. Однако при определенном уровне сигнала начинают проявляться нелинейные свойства электронного усилителя. Коэффициент усиления начинает уменьшаться с увеличением значения сигнала в системе. При выполнении условия $K\beta = 1$ амплитуда автоколебаний стабилизируется и автогенератор начинает давать колебания, имеющие постоянную амплитуду.

Жесткий режим возбуждения отличается от рассмотренного тем, что при нем для возникновения автоколебаний необходимо приложить к устройству дополнительный внешний сигнал, не меньший определенного значения. Это связано с особенностями нелинейности усилительного устройства.

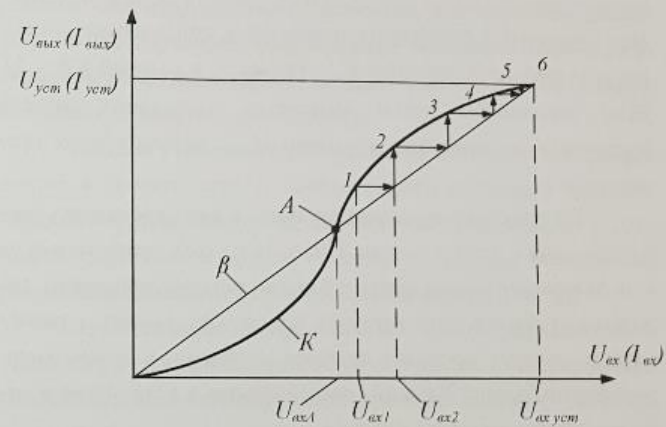


Рис. 1. Жесткий режим возникновения автоколебаний

В момент включения напряжения питания и отсутствия автоколебаний $K\beta < 1$. Поэтому они сами собой возникнуть не могут. Коэффициент усиления K зависит от амплитуды выходного сигнала. Поэтому если на вход усилителя подать дополнительный электрический сигнал, то при определенном его значении начнет выполняться условие $K\beta > 1$. При этом возникнут автоколебания, амплитуда которых будет нарастать и примет стационарное значение при $K\beta = 1$. Процесс возникновения колебаний поясняет рис. 1. При приложении входного сигнала, большего $U_{вхA}$, например $U_{вх1}$, он усиливается до напряжения, определяемого точкой 1, и снова подается на вход. Входное напряжение станет равным $U_{вх2}$. Выход-

ное напряжение будет определяться точками 2—6 и т. д. Процесс увеличения амплитуды прекратится при достижении выходным сигналом значения $U_{уст}$ (точка 6, в которой $K\beta = 1$). Если каким-либо путем амплитуду выходного сигнала уменьшить до значения, меньшего U_{exA} , автоколебания прекратятся.

На практике активные приборы в автогенераторах часто работают с отсечкой тока. Поэтому подход, основанный на использовании теории обратной связи, обычно применяют для пояснения физической картины процессов. Анализ и расчет автогенераторов проводят другими методами, в основе которых лежит баланс Энергий, рассеиваемых в устройстве и отбираемых от источника питания.

3.2. Генераторы напряжения прямоугольной формы

Генераторы напряжения прямоугольных форм часто называют *мультивибраторами*. Они относятся к классу релаксационных генераторов, т.е. генераторов, у которых изменения состояния отдельных активных приборов происходит в результате процесса регенерации.

3.2.1. Мультивибраторы

Мультивибраторы собираются на транзисторах и могут работать в различных режимах. В режиме автоколебаний частота колебаний определяется только параметрами схемы мультивибратора, в связи подбирают таким образом, чтобы

условия самовозбуждения сохранялись для широкого диапазона частот (при этом генерируются колебания целого ряда гармоник различных частот, которые в совокупности создают импульсы прямоугольной формы).

Каждое стабильное состояние мультивибратора сохраняется в течение строго определенного интервала времени. Мультивибратор постоянно переключается из одного устойчивого состояния в другое, генерируя на своих выходах периодические импульсы прямоугольной формы (рис. 2).

Мультивибратор представляет собой двухкаскадный усилитель с положительной обратной связью, генерирующий импульсы с большой крутизной фронтов. Благодаря положительной обратной связи схема работает как генератор в режиме самовозбуждения.

Период колебаний T и длительность каждого из двух устойчивых состояний t_1 и t_2 определяют следующим образом:

$$t_1 = 0,7R_3C_2;$$

$$t_2 = 0,7R_2C_1;$$

$$T = t_1 + t_2.$$

Если резисторы и конденсаторы в каждом плече схемы мультивибратора выбраны одинаковыми ($R_2 = R_3$, $C_1 = C_2$ и $R_1 = R_4$), то длительности импульсов t_1 и t_2 равны и мультивибратор носит название симметричного.

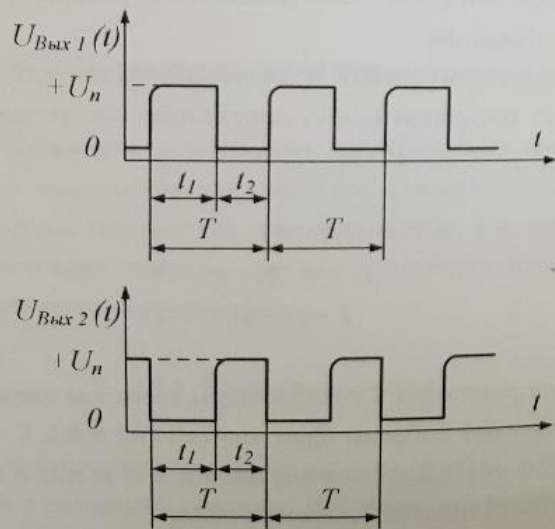
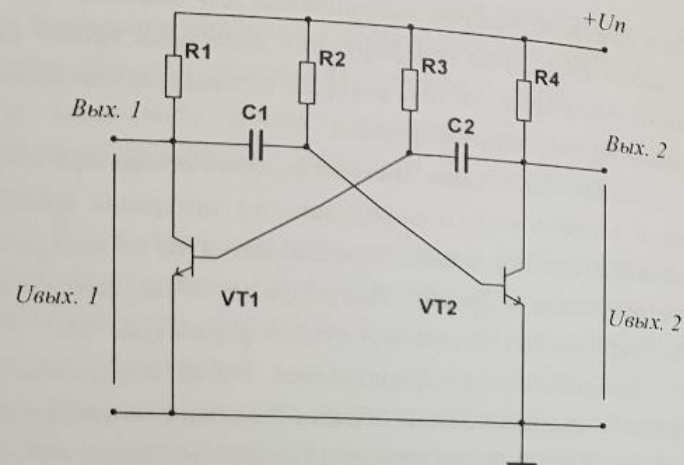


Рис. 2. Мультивибратор

Как правило, период T мультивибраторов на биполярных транзисторах выбирают таким образом, чтобы частота повторения импульсов $f = 1/T$ лежала бы в пределах от 100 Гц до 10 кГц.

3.2.2. Релаксационные генераторы

Очень простой генератор можно получить следующим образом: будем заряжать конденсатор через резистор (или источник тока), а затем, когда напряжение достигнет некоторого порогового значения, быстро его разрядим и начнем цикл сначала. С другой стороны, это можно сделать с помощью внешней цепи, обеспечивающей изменения полярности тока заряда при достижении некоторого порогового напряжения; следовательно, будут генерироваться колебания треугольной формы, а не пилообразные. Генераторы, построенные на этом принципе, известны под названием «релаксационные генераторы». Они просты и недороги и при умелом проектировании могут обеспечивать удовлетворительную стабильность по частоте. Раньше для создания релаксационных генераторов применялись устройства с отрицательным сопротивлением, такие, как однопереходные транзисторы или неоновые лампы, теперь предпочитают ОУ или специальные интегральные схемы таймеров. На рис. 3. показан классический релаксационный RC -генератор. Работает он просто: допустим, что при начальном включении питания выходной сигнал ОУ выходит на положительное насыщение (каким образом это произойдет – неважно). Конденсатор начинает заряжаться до напряжения $U+$ с постоянной времени, равной RC . Когда напряжение на

конденсаторе достигнет половины напряжения источника питания, ОУ переключается в состояние отрицательного насыщения и конденсатор начинает разряжаться до U_- с той же самой постоянной времени. Этот цикл повторяется бесконечно, с периодом $2,2 RC$, который не зависит от напряжения источника питания.

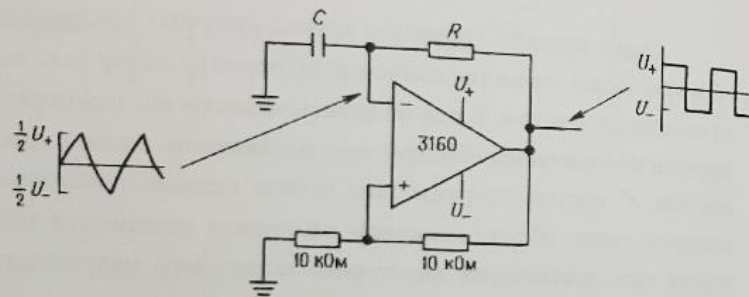


Рис. 3.

3.3. Генераторы напряжений экспоненциальной формы

Эти генераторы аналогичны рассмотренным. Отличие их заключается в том, что выходное напряжение снимается с времязадающего конденсатора C , на котором оно меняется по экспоненциальному закону.

3.4. Генераторы напряжения треугольной формы

Эти генераторы отличаются от рассмотренных только тем, что у них как зарядка, так и разрядка конденсатора осу-

ществляются токами, значения которых неизменны.

3.5. Генераторы ступенчато изменяющегося напряжения

Такие генераторы выполняют на основе цифроаналоговых преобразователей. Генераторы коротких импульсов, у которых вершина имеет форму, близкую к колоколообразной, выполняют на основе блокинг-генераторов. Они представляют собой мультивибраторы, в которых положительная обратная связь введена через импульсный трансформатор.

3.6. Ждущие генераторы

Заторможенными, или ждущими, генераторами называют колебательные устройства, которые под влиянием входного сигнала генерируют единичный импульс. Если импульс имеет прямоугольную форму, то такой генератор называется *одновибратором*.

Одновибраторы позволяют из импульсов любой формы и длительности получить импульс, имеющий строго постоянные длительность и величину.

Промышленность выпускает специальные микросхемы одновибраторов с расширенными функциональными возможностями, например, 155АГ1, 155АГ3, 564АГ3 и др.

3.7. Генераторы синусоидальных колебаний

Генераторы синусоидальных колебаний отличаются от релаксационных тем, что в их состав входят электрические

цепи или компоненты с резонансными свойствами. Благодаря им условия возникновения автоколебаний ($K\beta \geq 1, \varphi_{пет} = 0, 2\pi$) выполняются только в узкой полосе частот. Компоненты с резонансными свойствами или соответствующие резонансные цепи могут быть установлены в цепях межкаскадной связи усилителя или в цепях, создающих положительную или дополнительную отрицательную обратную связь. Причем параметры выбирают так, чтобы условия возникновения колебаний выполнялись только в узкой полосе частот при всех колебаниях параметров усилителя и цепи ОС.

В диапазонах низких, звуковых и радиочастот в качестве резонансных цепей и компонентов применяют RC -цепи, LC -контуры, кварцевые резонаторы, электромеханические колебательные системы.

Избирательные RC -цепи имеют сравнительно пологие амплитудно- и фазочастотную характеристики петлевого усиления (рис. 4 а). Поэтому, если $K\beta$ больше единицы даже на небольшую величину, условия возникновения автоколебаний выполняются в сравнительно широкой полосе частот Δf_{RC} . При этом форма выходного сигнала существенно отличается от синусоидальной. Поэтому у автогенераторов с резонансными RC -цепями, которые называют RC -генераторами, приходится вводить дополнительные цепи автоматического регулирования коэффициента усиления.

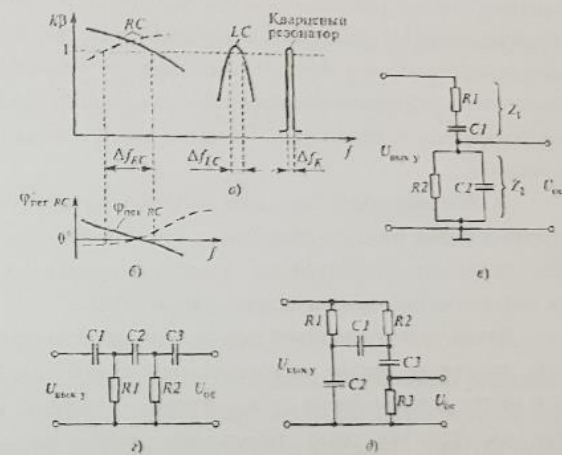


Рис. 4. Петлевое усиление при резонаторах фазных типов (а); фазочастотная характеристика петлевого усиления для резонансной RC -цепи (б); мост Вина (в); цепочечная фазосдвигающая цепь (г); мостовая фазосдвигающая цепь (д)

Для гарантированного возбуждения автогенератора при любых колебаниях параметров усилителя и цепи ОС петлевое усиление приходится брать несколько большим, чем единица. С нарастанием амплитуды коэффициент усиления автоматически уменьшается. В момент, когда $K\beta=1$, происходит стабилизация амплитуды колебаний. Для уменьшения нелинейных искажений формы выходного сигнала цепь автоматического изменения амплитуды должна быть инерционной. Однако на

практике с целью упрощения широко используют нелинейные элементы, которые уменьшают значение K после достижения амплитудой колебаний определенного значения. При этом наблюдаются некоторые искажения формы выходного напряжения [коэффициент гармоник K_r не менее долей – нескольких процентов].

В RC -генераторах выходное напряжение практически повторяет форму тока, создаваемого усилителем. Поэтому они не могут работать с отсечкой тока и имеют сравнительно плохие энергетические характеристики (малый КПД).

Для RC -автогенераторов характерны: простота в реализации, дешевизна; низкие массогабаритные показатели; диапазон частот автоколебаний от долей герца – до нескольких сотен килогерца; невысокая стабильность частоты, меньшая, чем у LC -генераторов; существенные искажения формы автоколебаний ($K_r > 0,5\%$).

Некоторые из широко применяемых в автогенераторах RC -цепей приведены на рис. 4 в, г, д. Их обычно включают в цепь обратной связи электронных усилителей, например ОУ. Так, например, при использовании моста Вина (рис. 4 в) его коэффициент передачи:

$$\beta = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}, \quad (1)$$

где $Z_1 = R_1 + \frac{1}{j\omega C_1}$, $Z_2 = \frac{R_2}{1 + j\omega C_2 R_2}$.

Если $R_1 = R_2 = R$ и $C_1 = C_2 = C$, то (1) примет вид:

$$\beta = \frac{1}{3 + j(\omega CR - \frac{1}{\omega CR})}. \quad (2)$$

Коэффициент β будет вещественным на частоте ω_0 , определяемой из уравнения

$$\omega_0 CR - \frac{1}{\omega_0 CR} = 0, \quad (3)$$

откуда частота автоколебаний

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}. \quad (4)$$

Так как на этой частоте $\beta = \frac{1}{3}$, то для выполнения условия $K\beta = 1$ усилитель должен иметь коэффициент усиления 3.

Фазосдвигающая цепь, имеющая лестничную структуру (рис. 4 г), вносит 180-градусный фазовый сдвиг на частоте автоколебаний. Поэтому ее подключают к инвертирующему входу ОУ и получают $\varphi_{нем} = 0$.

Аналогично выполняются RC -автогенераторы с фазосдвигающими цепями другого типа (рис. 4 д).

Область применения этих генераторов колебаний – устройства, работающие в диапазоне частот доли герц – сотни килогерц, в которых к точности и стабильности частоты не предъявляются жесткие требования (нестабильность частоты порядка долей – нескольких процентов).

Генераторы LC -типа имеют сравнительно высокую стабильность частоты колебаний, устойчиво работают при значительных изменениях параметров транзисторов, обеспечивают получение колебаний, имеющих малый коэффициент гармоник. К недостаткам их относятся трудности изготовле-

ния высокостабильных температурно-независимых индуктивностей, а также высокая стоимость и громоздкость последних. Особенно это проявляется при создании автогенераторов диапазона инфранизких частот, в которых даже при применении высококачественных ферромагнитных сердечников габаритные размеры, масса и стоимость получаются большими.

В генераторе LC -типа форма выходного напряжения весьма близка к гармонической. Это обусловлено хорошими фильтрующими свойствами колебательного LC -контура. Они, как правило, работают с «отсечкой» тока активных приборов усилителя. Соответственно форма выходного тока усилителя резко отличается от синусоидальной. При этом в начальный момент возникновения автоколебаний $|K\beta| \gg 1$, что обеспечивает устойчивую работу автогенератора даже при значительных изменениях параметров элементов. Для самовозбуждения генератора LC -типа также необходимо наличие положительной обратной связи.

Сущность самовозбуждения заключается в следующем. При включении источника питания конденсатор колебательного контура, включенного чаще всего в коллекторную цепь транзистора, заряжается. В контуре возникают затухающие автоколебания, причем часть тока (напряжения) этих колебаний подается на управляющие электроды активного прибора, образуя положительную обратную связь. Это приводит к пополнению энергии LC -контура. Автоколебания превращаются в незатухающие. Частота автоколебаний в первом приближении определяется резонансной частотой LC -контура:

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Многочисленные схемы автогенераторов LC -типа различаются в основном схемами введения сигнала обратной связи и способами подключения к усилителю колебательного контура.

Для количественной оценки устойчивости автоколебаний часто вводят коэффициент регенерации. Это безразмерный коэффициент, характеризующий режим работ автогенератора и показывающий, во сколько раз можно уменьшить добротность Q колебательной системы по сравнению с ее исходным значением, чтобы автогенератор оказался на границе срыва колебаний:

$$Q = \frac{X_L}{R},$$

где X_L – реактивное сопротивление индуктивности контура;

R – эквивалентное активное сопротивление контура, включающее и сопротивление активного элемента, шунтирующего его.

В низкочастотных автогенераторах коэффициент регенерации обычно не менее 1,5...3.

Следует отметить, что в транзисторных генераторах источник возбуждающих колебаний имеет, как правило, малое внутреннее сопротивление. Следовательно, в цепи базы протекает ток несинусоидальной формы, а напряжение база – эмиттер остается синусоидальным.

Хорошие энергетические показатели у генератора мо-

гут быть получены только при работе с «отсечкой тока». При этом считается, что наилучшие энергетические характеристики имеют место при $\theta = 50 \div 70^\circ$. В то же время для возникновения автоколебаний необходимо, чтобы $\theta \approx 90^\circ$. В противном случае до возникновения автоколебаний на базе транзистора будет только запирающее напряжение и без воздействия дополнительного внешнего опирающегося напряжения («жесткий» режим возбуждения) автоколебания не возникнут.

При «мягком» режиме возбуждения на базу должно быть подано отпирающее напряжение 0,3...0,5 В. При возникновении автоколебаний смещение должно автоматически изменяться от амплитуды колебаний до получения нужного угла отсечки θ . Здесь нетрудно увидеть взаимосвязь с рассмотренным выше положением о необходимости введения цепи, изменяющей смещения до получения $|K\beta| = 1$.

Заданную частоту колебаний можно получить при разных значениях индуктивности L и емкости C , так как она определяется их произведением. Однако увеличение емкости конденсатора C приводит к уменьшению индуктивности, что существенно снижает добротность контура.

Уменьшение добротности может привести к искажениям формы автоколебаний и появлению дополнительной неустойчивости частот. Для предотвращения этого добротность колебательного контура берут не менее 30...70.

Перестройку частоты автоколебаний осуществляют изменением емкости конденсатора, включенного в колебательный контур. При этом добротность контура изменяется, что может вызвать изменение режима работы автогенератора. Изменение емкости обычно производят механическим путем.

Иногда вместо конденсатора, определяющего частоту колебаний, включают варикап и, меняя приложенное к нему дополнительное постоянное напряжение, изменяют резонансную частоту контура. В этом случае перестройка частоты осуществляется электрическим путем за счет изменения барьерной емкости варикапа. Относительная неустойчивость частоты у автогенераторов $10^{-3} \dots 10^{-5}$.

3.8. Генераторы с кварцевыми резонаторами и электромеханическими резонансными системами

Их обычно применяют на повышенных частотах, когда требуется получить колебания известной и стабильной частоты. В них роль цепи, обладающей резонансными свойствами, выполняет или кварцевый резонатор, или электромеханический фильтр.

Кварцевый резонатор является высокодобротным фильтром, частотные свойства которого определяются геометрическими размерами и типом колебаний его пластины.

В электромеханических фильтрах используют резонансные свойства механической колебательной системы, выполненной специальным образом.

Рассматриваемые генераторы значительно сложнее и дороже в изготовлении, чем LC - и RC -генераторы. Однако при создании прецизионных преобразовательных устройств обойтись без них часто не удается.

Применение кварцевых резонаторов позволяет обеспечить относительное изменение частоты, не превышающее $10^{-6} \dots 10^{-9}$, что на несколько порядков лучше соответ-

вующих параметров LC- и RC-автогенераторов.

Для изготовления кварцевых резонаторов используют природный или искусственный монокристаллический кварц. Так как монокристалл кварца является анизотропным телом, то свойства резонатора зависят от ориентации вырезанной пластины относительно его кристаллографических осей. В настоящее время используют различные виды срезов. Благодаря этому удастся удовлетворить многочисленные противоречивые требования, предъявляемые к рассматриваемым резонаторам.

В кристаллическом кварце существуют прямой и обратный пьезоэлектрические эффекты. *Прямой пьезоэффект* характеризуется тем, что при приложении к пластине механического напряжения на обкладках появляется электрический заряд, пропорциональный приложенному напряжению. *Обратный пьезоэффект* сводится к тому, что приложенное к пластине электрическое напряжение (созданное электрическое поляризующее поле) приводит к возникновению механических напряжений, изменяющих форму и размеры пластины.

Возможные виды механических колебаний кварцевой пластины представлены на рис. 5. Чаще всего используют колебания сжатия-растяжения (рис. 5 а), изгиба (рис. 5 б), кручения (рис. 5 в, г), сдвига по контуру (рис. 5 д), сдвига по толщине (рис. 5 г). Эти колебания возможны как на основной резонансной частоте кварца, определяемой его геометрическими размерами и видом среза, так и на различных гармониках, кратных этой частоте.

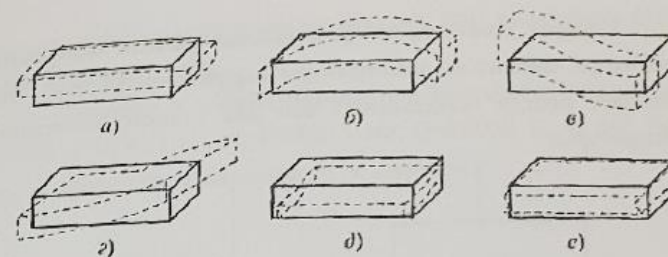


Рис. 5. Виды колебаний кварцевых элементов:
а – сжатие-растяжение; б – изгиб; в, г – кручения;
д – сдвиг по контуру, е – сдвиг по толщине

Прежде чем вырезанная пластина кварца превратится в резонатор, она проходит ряд сложных технологических операций. Поэтому под *кварцевым резонатором* или просто *кварцем* в дальнейшем будем подразумевать законченное устройство, способное совершать резонансные колебания под действием электрического поля соответствующей частоты и содержащее кварцевый элемент, электроды и кварцедержатели.

Для проведения электрических расчетов кварцевый резонатор обычно представляют в виде эквивалентных схем, показанных на рис. 6 а, б. Параметры элементов, входящих в эквивалентную схему, зависят от вида колебаний, размеров электродов и пластин кварца. Конденсатор характеризует емкость пьезоэлемента и его держателей. L, C, R характеризуют параметры пьезоэлемента, которые обуславливают строго определенную частоту его колебаний.

Следует заметить, что резонансная частота кварцевого резонатора зависит от температуры окружающей среды, что позволяет иногда использовать его для точного измерения температуры.

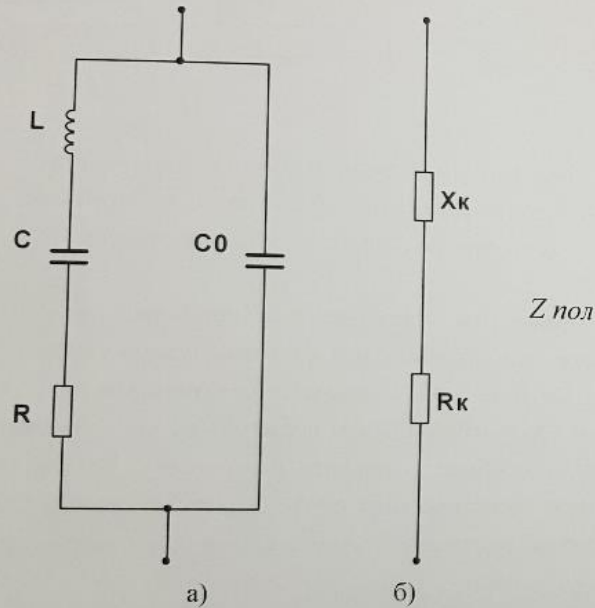


Рис. 6. Эквивалентная схема кварцевого резонатора

В прецизионных автогенераторах, работающих на определенной частоте, это явление относится к числу вредных и для уменьшения его влияния кварц термостабилизируют или вакуумируют.

Таким образом, кварцевый резонатор имеет стабильные параметры элементов, входящих в эквивалентную схему и

определяющих генерируемую частоту при включении его в цепь автогенератора.

Типовые значения параметров кварцевого резонатора: $L=100$ мГн; $R=100$ Ом; $C=0,015$ пФ; $Q=25000$; $C_0=5$ пФ. Полное сопротивление кварцевого резонатора

$$Z_{пол} = Z_1 || Z_2, \quad (5)$$

где $Z_1 = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}$; $Z_2 = \frac{1}{j\omega C_0}$.

Преобразовав значения Z_1 и Z_2 , получим

$$Z_{пол} = \frac{\omega RC + j(\omega^2 LC - 1)}{j[R\omega^2 CC_0 + j(\omega^3 LC C_0 - \omega C_0 - \omega C)]}. \quad (6)$$

Если считать, что значение R достаточно мало и им можно пренебречь, то

$$Z_{пол} \approx \frac{j}{\omega} \left[\frac{\omega^2 LC - 1}{C + C_0 - \omega^3 LC C_0} \right]. \quad (7)$$

Из этого уравнения видно, что существуют одна частота, на которой $Z_{пол} \rightarrow 0$, и частота, на которой $Z_{пол} \rightarrow \infty$. Условие $Z_{пол} \rightarrow 0$ определяет последовательный резонанс, а условие $Z_{пол} \rightarrow \infty$ – параллельный. Частота *последовательного* резонанса зависит только от определенных параметров резонатора – L и C , а частота *параллельного* – также от менее стабильной межэлектродной емкости C_0 .

Частоту кварцевого резонатора можно менять в небольших пределах. Для этого последовательно с ним включа-

ют конденсатор C_1 , емкость которого значительно больше емкости C_0 . Изменение частоты можно оценить с помощью уравнения:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{C}{2(C_0 + C_1)} \quad (8)$$

Принципы, положенные в основу создания кварцевых автогенераторов, остаются теми же, что и для LC-генераторов. Их можно выполнять по схемам, использующим как последовательный, так и параллельный резонансы в электрической цепи. На практике используются оба вида резонансов.

Возможно также регулировать частоту, на которой возбуждается кварцевый резонатор, включением последовательно или параллельно с ним реактивных сопротивлений.

Кварцевые генераторы широко используются в многочисленных цифровых устройствах измерительной техники, автоматики и радиотехники, когда нужно получить повышенную точность и стабильность частоты.

Кварцевые резонаторы успешно работают в полосе частот от 73 Гц до многих десятков мегагерц.

4. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

1. Создать принципиальную схему релаксационного генератора в графическом редакторе Multisim согласно рис. 7.
2. Рассчитать и установить параметры элементов схемы с учетом выбранной по номеру компьютера величины частоты генератора f_g (см. таблицу).

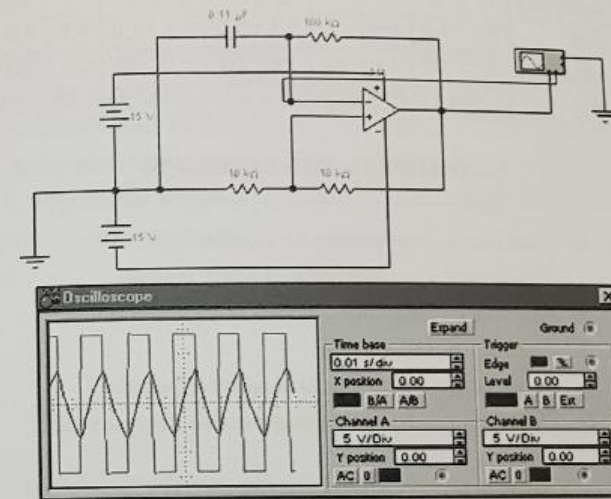


Рис. 7.

3. Измерить полученную частоту генерации.
4. Изменить полученную частоту генерации в 2,5; 5 и 10 раз, изменяя соответствующие параметры элементов схемы.
5. Полученные данные занести в таблицу и построить графики зависимости частоты от постоянной времени (расчетные и экспериментальные).
6. Сделать выводы о проделанной работе.
7. Оформить отчет.

| | | | | | | | | | | |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| № варианта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| f_g , кГц | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 5,0 |
| № варианта | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| f_g , кГц | 0,75 | 1,25 | 1,75 | 2,25 | 2,75 | 3,25 | 3,75 | 4,25 | 4,75 | 5,25 |

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Генератор электрических колебаний?
2. Приведите классификацию генераторов.
3. Что такое генератор с самовозбуждением?
4. Кварцевый генератор?
5. Генераторы напряжения заданной формы?
6. Принцип работы релаксационного генератора?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новикова Е.И. Основы электроники и микропроцессорной техники [Текст]: учеб. пособие / Е.И. Новикова, О.В. Родионов. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2012. – 178 с.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| 1. Цель лабораторной работы..... | 1 |
| 2. Состав используемого оборудования..... | 1 |
| 3. Теоретическое введение..... | 1 |
| 4. Лабораторное задание..... | 25 |
| 5. Контрольные вопросы..... | 26 |
| Библиографический список..... | 26 |

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторной работы № 4
по дисциплине «Электроника и микропроцессорная техника»
для студентов направления 12.03.04 «Биотехнические системы
и технологии» (профили «Биотехнические и медицинские
аппараты и системы», «Менеджмент и управление качеством
в здравоохранении») очной формы обучения

Составители:

Новикова Екатерина Ивановна

Родионов Олег Валериевич

В авторской редакции

Подписано в печать 28.12.2017.

Формат 60x84/16. Бумага для множительных аппаратов.

Усл. печ. л. 1,9. Уч.-изд. л. 1,7. Тираж 21 экз.

Зак. № 234.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет»

394026 Воронеж, Московский просп., 14

Участок оперативный полиграфии издательства ВГТУ

394026 Воронеж, Московский просп., 14