**Реферат**

На тему: **«СХЕМЫ АВТОГЕНЕРАТОРОВ. ОБЩИЙ ПРИНЦИП** **СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ»**

**Содержание**

1. Схемы автогенераторов

2. Задача стабилизации частоты автогенератора

#### Библиографический список

**1. Схемы автогенераторов**

#### Автогенератор с автотрансформаторной обратной связью

Схема генератора представлена на рисунке 1



Рис. 1 Автогенератор с автотрансформаторной ОС

В этой схеме индуктивность *L*БЭ по переменному току включена между базой и эмиттером, индуктивность *L*КЭ – между коллектором и эмиттером, а емкость *С*К – между коллектором и базой. Таким образом, правило построения индуктивной трехточки выполнено и, значит, выполняется фазовое условие самовозбуждения. Конденсатор *С*Б предотвращает непосредственную связь источника *Е*К с базой транзистора по постоянному току. Конденсатор *С*БЛ шунтирует источник питания по переменному току, исключая потери энергии на его внутреннем сопротивлении. Конденсатор *С*Р разделяет генератор и его нагрузку по постоянному току.

Амплитудное условие самовозбуждения достигается выбором



где *К*РЕЗ = *S p*2*R*Э0 – коэффициент усиления на резонансной частоте контура;

*S* – крутизна проходной характеристики в рабочей точке, определяемой величиной начального смещения на эмиттерном переходе;



– коэффициент включения контура в коллекторную цепь;

*R*Э0 = *Q* – резонансное сопротивление контура.

Коэффициент обратной связи на резонансной частоте

(8.43)



Это же соотношение можно получить, используя выражения (8.40) и (8.41), полученные для обобщенной схемы трехточечного автогенератора



Частота генерируемых колебаний определяется из уравнения баланса фаз *S* + ОС + *Z* = 0.

Если *S* = 180, ОС = 180, то *Z* = 0 и частота генератора

(8.44)



При рассмотрении схемы не учитывались паразитные параметры – междуэлектродные емкости и инерционность усилительного элемента. Поэтому коэффициент обратной связи оказался независимым от частоты, что справедливо при относительно невысоких частотах (в половину меньших граничной частоты транзистора). С повышением частоты схема замещения автогенератора усложняется, и коэффициент обратной связи должен рассматриваться с учетом перечисленных факторов.

Амплитуда генерируемых колебаний определяется из уравнения баланса амплитуд



Регулировка амплитуды колебаний производится изменением величины коэффициента обратной связи , т. е. точки подключения эмиттера к контуру по переменному току. Кроме того, для осуществления плавной регулировки необходимо, чтобы контурная катушка имела не менее 20 витков и однослойную намотку.

Достоинства схемы заключаются в возможности применения в диапазоне весьма высоких радиочастот (УКВ).

Недостатком автогенератора является невозможность заземлить ротор конденсатора переменной емкости.

#### Автогенератор с емкостной обратной связью

Схема генератора представлена на рисунке 2

В этой схеме контур составлен из элементов *L*K, *C*КЭ, *С*БЭ, причем между базой и эмиттером включена емкость *С*БЭ, между коллектором и эмиттером – емкость *С*КЭ, а между коллектором и базой – индуктивность *L*К, значит правило построения емкостной трехточки выполнено, чем гарантировано выполнение фазового условия самовозбуждения.



Рис. 2 Автогенератор с емкостной обратной связью

Последовательное питание коллекторной цепи в емкостной трехточке реализовать не удается ввиду того, что нет пути протекания постоянному току через контур. Поэтому применено параллельное питание, включающее элементы фильтра *С*БЛ, *С*Р1 и *L*ДР.

Амплитудное условие самовозбуждения достигается выбором



где *К*РЕЗ = *S p*2*R*Э0 – коэффициент усиления на резонансной частоте контура;

*S* – крутизна проходной характеристики в рабочей точке, определяемой величиной начального смещения на эмиттерном переходе, обеспечиваемым базовым делителем *R*Б1, *R*Б2;



– коэффициент включения контура в коллекторную цепь;

*R*Э0 = *Q* – резонансное сопротивление контура.

Коэффициент обратной связи на резонансной частоте контура



Частота генерируемых колебаний определяется из уравнения баланса фаз, и пока транзистор можно считать безынерционным, примерно равна резонансной частоте контура



где



Для регулировки частоты колебаний ставится конденсатор переменной емкости *С*К параллельно катушке контура, тогда



Амплитуда генерируемых колебаний определяется из уравнения баланса амплитуд



Регулировка амплитуды колебаний осуществляется изменением величины , т. е. изменением емкостей *С*БЭ, либо *С*КЭ. Катушка контура не должна иметь отводов (должна быть многослойной или с малым числом витков).

Достоинства схемы заключаются в возможности плавной регулировки амплитуды колебаний и использовании автогенератора в диапазоне весьма высоких радиочастот (КВ и УКВ).

Недостатками являются необходимость применения параллельного питания коллекторной цепи и невозможности заземления ротора конденсатора переменной емкости *С*К.

#### RC-генераторы

*RC*-генератором называют генератор гармонических колебаний, в котором вместо колебательной системы, содержащей элементы *L* и *С*, применяется резистивно-емкостная цепь (*RC*-цепь), обладающая частотной избирательностью.

Исключение из схемы катушек индуктивности позволяет существенно уменьшить габариты и массу генератора, особенно на низких частотах, так как с понижением частоты резко увеличиваются размеры катушек индуктивности. Важным достоинством *RC*-генераторов по сравнению с *LC*-генераторами является возможность их изготовления по интегральной технологии. Однако *RC*-генераторы имеют низкую стабильность частоты генерируемых колебаний, обусловленную низкой добротностью *RC*-цепей, а также плохую форму колебаний в силу плохой фильтрации высших гармоник в спектре выходного колебания.

*RC*-генераторы могут работать в широком диапазоне частот (от долей герца до десятков мегагерц), однако нашли применение в аппаратуре связи и измерительной технике преимущественно на низких частотах.

Основы теории *RC*-генераторов были разработаны советскими учеными В. П. Асеевым, К. Ф. Теодорчиком, Э. О. Сааковым, В. Г. Криксуновым и др.

*RC*-генератор обычно включает в себя широкополосный усилитель, выполненный на лампе, транзисторе или интегральной схеме и *RC*-цепь обратной связи, обладающую избирательными свойствами и определяющую частоту колебаний. Усилитель компенсирует потери энергии в пассивных элементах и обеспечивает выполнение амплитудного условия самовозбуждения. Цепь обратной связи обеспечивает выполнение фазового условия самовозбуждения только на одной частоте. По виду цепи обратной связи *RC*-генераторы делятся на две группы:

1. с нулевым фазовым сдвигом в цепи обратной связи;
2. со сдвигом фазы в цепи обратной связи на 180.

Для улучшения формы генерируемых колебаний в *RC*-генераторах применяют элементы, обладающие нелинейностью, которые ограничивают нарастание амплитуды колебаний. Параметры такого элемента изменяются в зависимости от амплитуды колебаний, а не от их мгновенных значений (терморезистор, сопротивление которого зависит от степени нагрева проходящим через него током). При таком ограничении форма колебаний не меняется, они остаются гармоническими и в стационарном режиме.

Рассмотрим оба типа *RC*-автогенераторов.

Автогенератор со сдвигом фазы на 180 в цепи обратной связи.

Такой автогенератор еще называют автогенератором с трехзвенной цепью *RC*.

В схемах *RC*-генераторов со сдвигом фазы в цепи обратной связи на 180 используются усилители, инвертирующие фазу входного напряжения. В качестве такого усилителя может, например, использоваться операционный усилитель с инвертирующим входом, однокаскадный усилитель или многокаскадный усилитель с нечетным числом инвертирующих каскадов.

Для того, чтобы выполнялось уравнение баланса фаз, цепь обратной связи должна обеспечить фазовый сдвиг ОС = 180.

Для обоснования структуры цепи обратной связи воспроизведем фазочастотные характеристики простейших *RC*-звеньев (рис. 3,4).



Рис. 3 Вариант *RC*-звена и его ФЧХ



Рис. 4 Вариант *RC*-звена и его ФЧХ

Из графиков видно, что одно простейшее *RC*-звено вносит сдвиг фаз, не превышающий 90. Поэтому сдвиг по фазе величиной 180 можно осуществить путем каскадного соединения трех элементарных *RC*-звеньев (рис.5).



Рис. 5 Схемы и ФЧХ трехзвенных *RC*-цепей

Элементы *RC*-цепи рассчитываются так, чтобы на частоте генерации получить сдвиг фаз 180. Один из вариантов генератора с трехзвенной цепью *RC* показан на рисунке 6



Рис. 6 Генератор с трехзвенной цепью *RC*

Генератор состоит из резистивного усилителя на транзисторе и цепи обратной связи. Однокаскадный усилитель с общим эмиттером осуществляет сдвиг фазы между напряжением на коллекторе и базе К = 180. Следовательно, для выполнения баланса фаз цепь обратной связи должна обеспечивать на частоте генерируемых колебаний ОС = 180.

Проведем анализ цепи обратной связи, для чего составим систему уравнений по методу контурных токов.



Решая полученную систему относительно коэффициента обратной связи , получим выражение



Из выражения следует, что фазовый сдвиг 180 получается в том случае, когда будет вещественной и отрицательной величиной, т. е.



,



следовательно, генерация возможна на частоте



На этой частоте модуль коэффициента обратной связи



Это означает, что для возбуждения автоколебаний коэффициент усилителя должен быть больше 29.

Выходное напряжение генератора обычно снимают с коллектора транзистора. Для получения колебаний гармонической формы в цепь эмиттера включен терморезистор *R*Т с положительным температурным коэффициентом сопротивления. При увеличении амплитуды колебаний сопротивление *R*Т возрастает и увеличивается глубина отрицательной обратной связи в усилителе по переменному току, соответственно, падает коэффициент усиления. Когда наступает стационарный режим колебаний (*К* = 1), усилитель остается линейным и искажения формы коллекторного тока не происходит.

Автогенератор с нулевым фазовым сдвигом в цепи обратной связи.

Характерной особенностью схем *RC*-генераторов с нулевым фазовым сдвигом в цепи обратной связи является использование в них усилителей, не инвертирующих фазу входного сигнала. В качестве такого усилителя может, например, использоваться операционный усилитель с неинвертирующим входом или многокаскадный усилитель с четным числом инвертирующих каскадов. Рассмотрим некоторые возможные варианты цепей обратной связи, обеспечивающих нулевой фазовый сдвиг (рис. 7).



Рис. 7 Варианты цепей ОС, обеспечивающие нулевой фазовый сдвиг

Они состоят из двух звеньев, одно из которых представляет *RС*-звено с положительным фазовым сдвигом, а второе – с отрицательным сдвигом фазы. В результате сложения ФЧХ на определенной частоте (частоте генерации) можно получить фазовый сдвиг, равный нулю.

На практике наиболее часто в качестве избирательной цепи с нулевым фазовым сдвигом применяют фазобалансный мост, или по-другому мост Вина (рис. 7 в), применение которого показано в схеме *RC*-генератора с нулевым фазовым сдвигом, выполненного на операционном усилителе (рис. 8).



Рис. 8 *RC*-генератор с нулевым фазовым сдвигом в цепи ОС

В этой схеме напряжение с выхода усилителя подается на его неинвертирующий вход через цепь обратной связи, образованную элементами моста Вина *R*1*C*1 и *R* 2*C*2. Резистивная цепочка *RR*Т образует еще одну обратную связь – отрицательную, которая предназначена для ограничения нарастания амплитуды колебаний и сохранения их гармонической формы. Напряжение отрицательной обратной связи поступает на инвертирующий вход операционного усилителя. Терморезистор *R*Т должен иметь отрицательный температурный коэффициент сопротивления.

Коэффициент передачи цепи обратной связи



должен быть вещественной и положительной величиной, а это возможно при выполнении равенства



Отсюда определяется частота генерируемых колебаний. Если *R*1 = *R*2 =*R*, *C*1 = *C*2 = *C*, то



Амплитудное условие самовозбуждения на частоте 0 требует выполнения неравенства



При равенстве *R*1 = *R*2 = *R* и *C*1 = *C*2 = *C* коэффициент усиления *К* > 3.

Частоту колебаний можно изменять путем изменения сопротивлений *R* или емкостей конденсаторов *С*, входящих в состав моста Вина, а амплитуда колебаний регулируется сопротивлением *R*.

Основное преимущество *RC*-генераторов перед *LC*-генераторами заключается в том, что первые легче реализовать для низких частот. Например, если в схеме генератора с нулевым фазовым сдвигом в цепи обратной связи (рис. 8) *R*1 = *R*2 = 1 МОм, *C*1 = *C*2 = 1 мкФ, то генерируемая частота

.



Чтобы получить такую же частоту в *LC*-генераторе, потребовалась бы индуктивность *L* = 1016 Гн при *С* = 1 мкФ, что трудно осуществить.

В *RC*-генераторах можно, изменяя одновременно величины емкостей *С*1 и *С*2, получить более широкий диапазон перестройки частоты, чем это имеет место в *LC*-генераторах. Для *LC*-генераторов



в то время как для *RC*-генераторов, при *С*1 = *С*2



К недостаткам *RC*-генераторов следует отнести тот факт, что на относительно высоких частотах они труднее реализуются, чем *LC*-генераторы. Действительно, величину емкости нельзя снизить меньше емкости монтажа, а уменьшение сопротивлений резисторов приводит к падению коэффициента усиления, что затрудняет выполнение амплитудного условия самовозбуждения.

Перечисленные достоинства и недостатки *RC*-генераторов обусловили их применение в низкочастотном диапазоне с большим коэффициентом перекрытия по частоте.

**2. Задача стабилизации частоты автогенераторов**

Стабильность частоты автогенератора является одной из важнейших его характеристик, которая в значительной степени определяет надежность работы системы связи. В частности, высокая степень постоянства частоты обеспечивает возможность вхождения в связь без предварительного поиска корреспондента и ведение связи без подстройки.

Изменение частоты под воздействием различных дестабилизирующих факторов называется нестабильностью частоты.

Различают абсолютную нестабильность частоты, равную абсолютному значению отклонения частоты от её номинального значения



и относительную нестабильность, выражаемую отношением

,



где *f* – текущее (реальное) значение частоты;

*f*НОМ – номинальное ( заданное) значение частоты.

Современная техника стабилизации частоты дает возможность достаточно просто обеспечить относительную нестабильность до 10-4–10-5. Широко распространены автогенераторы, имеющие Δ*f* / *f*НОМ = 10-7–10-8, а предельные возможности в настоящее время достигают 10-16.

Вычислим 00, имея в виду, что 0 = 1/ задается параметрами избирательной системы автогенератора (колебательным контуром). Полный дифференциал от 0 как функции двух переменных (*С* и *L*) равен



Заменяя дифференциалы приращениями, получим окончательно:



Знак "минус" в формуле означает, что увеличение (положительное приращение) индуктивности или емкости вызывает уменьшение частоты 0.

Для обеспечения требуемой стабильности частоты необходимо применять комплекс специальных мер, направленных на ослабление влияния дестабилизирующих факторов на частоту колебаний автогенераторов:

* параметрическая стабилизация – выбор схемы автогенератора и расчет элементов, позволяющих стабилизировать режимы работы транзистора (лампы);
* термостабилизация – выбор элементов автогенератора с малыми температурными изменениями параметров; помещение колебательной системы или автогенератора в целом в термостат и т. д.;
* термокомпенсация – выбор элементов *L* и *С*, имеющих температурные коэффициенты противоположных знаков и взаимно компенсирующимися отклонениями *L* и *С*; при термокомпенсации вводится температурный коэффициент частоты



определяемый через температурные коэффициенты индуктивности *L* и емкости *С*. Если элементы контура *L* и *С* выбраны так, что у них *L* и *С* равны по величине и противоположны по знаку, то *f* = 0, т. е. исключается влияние температуры на частоту генерируемых колебаний;

* кварцевая стабилизация частоты, основанная на использовании высокодобротных кварцевых резонаторов, что позволяет обеспечить долговременную стабильность частоты порядка 10-6. При этом генераторы, содержащие в своем составе кварцевый резонатор выделяются в отдельную группу кварцевых генераторов;
* стабилизация напряжения источников питания;
* автоматическая стабилизация рабочего режима активных приборов, преследующая цель уменьшить влияние разброса параметров активных приборов на стабильность частоты;
* применение специальных схем автогенераторов, позволяющих уменьшить влияние нестабильности нагрузки на частоту генерируемых колебаний, например, двухконтурные генераторы с электронной связью между контурами. Принцип их работы прост. Задающий частоту генератор собран на внутренней (входной) части электронного прибора, затем эти колебания усиливаются и выделяются внешним (выходным) колебательным контуром, настроенным на частоту внутреннего. Этим обеспечивается электронная связь между контурами и исключается влияние внешнего контура на частоту генерируемых колебаний внутренним контуром.

Один из вариантов такого автогенератора приведен на рисунке 8.57.



Рис. 9 Двухконтурный автогенератор с электронной связью

Современные требования, предъявляемые к стабильности частоты автогенераторов, постоянно растут. В связи с этим необходимо применять комплекс вышеперечисленных мер по стабилизации частоты, чтобы обеспечить заданные требования.

**Библиографический список**

1. Богданов Н. Г., Лисичкин В. Г. Основы радиотехники и электроники. Часть 8, 2000г..

2. Никольский И. Н., Хопов В. Б., Варокосин Н. П., Григорьев В. А., Колесников А. А. Нелинейные радиотехнические устройства связи, 1972.