

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт сервиса, туризма и дизайна (филиал) СКФУ в г.Пятигорске**

УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора по учебной работе

_____ М.В. Мартыненко
«__» _____ 2020 г.

Расчёт генератора синусоидального сигнала

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
К КУРСОВОЙ РАБОТЕ**

ПО ПРЕДМЕТУ «ОСНОВЫ РАДИОТЕХНИКИ»

Направление подготовки: 10.03.01 Информационная безопасность
Профиль подготовки: Комплексная защита объектов информатизации

Курсовая работа в 4 семестре

СОГЛАСОВАНО:

Зав. выпускающей кафедрой СУиИТ
_____ И.М. Першин
" __ " _____ 20__ г.

Директор инженерного факультета
_____ Э. Г. Янукян
" __ " _____ 20__ г.

Рассмотрено УМК инженерного факультета
" __ " _____ 20__ г.
протокол № _____
Председатель УМК

РАЗРАБОТАНО:

Доцент. кафедры Информационной
безопасности систем и технологий
_____ А. А. Бородинский
" __ " _____ 20__ г.

Старший преподаватель кафедры
Информационной безопасности систем и
технологий
_____ П. П. Мулкиджанян
" __ " _____ 20__ г.

Пятигорск
2020

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего профессионального образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт сервиса, туризма и дизайна (филиал) СКФУ в г.Пятигорске**

Доцент, к.т.н. Бородинский Алексей Андреевич
Ст. преп. Мулкиджанян Павел Погосович

Расчёт генератора синусоидального сигнала
**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
К КУРСОВОЙ РАБОТЕ**

ПО ПРЕДМЕТУ «ОСНОВЫ РАДИОТЕХНИКИ»

Направление подготовки: 10.03.01 Информационная безопасность
Профили подготовки: Комплексная защита объектов информатизации

Квалификация выпускника бакалавр

Пятигорск
2020

Содержание

1.	Введение	2
2.	Цели и задачи курсовой работы	2
3.	Тематика курсовых работ	2
4.	Содержание курсовой работы	3
5.	Структура пояснительная записки	3
6.	Требования к оформлению пояснительной записки	5
7.	Порядок выполнения и сдачи курсовой работы	6
8.	Список рекомендуемой литературы по теме курсовой работы	7
9.	Приложение	7

1. Введение

Методические указания по курсовой работе разработаны в соответствии с рабочей программой и предназначены для студентов специальности 10.03.01 Информационная безопасность. Курсовая работа базируется на материале, изложенном в курсах “Физика“, “Основы радиотехники”.

Курсовая работа является одной из форм работы студентов, при выполнении которой все решения принимаются самостоятельно. Роль руководителя курсовой работы при этом заключается в оценке принципиальных решений, методической помощи, контроле сроков и содержания работы.

В курсовой работе необходимо выполнить: анализ задания, выбор схемы генератора синусоидальных колебаний, расчёт избирательной цепочки (RC или LC) для заданной частоты, разработать модель на ЭВМ и провести этой модели анализ.

2. Цели и задачи курсовой работы

Задачей курсовой работы является комплексное решение вопросов при проектировании генератора синусоидальных колебаний. При этом студенты самостоятельно решают следующий круг вопросов:

- _ анализ существующих схем аналогичных устройств, выявление их достоинств и недостатков;
- _ выбор компонентов избирательной цепочки и расчёт их параметров;
- _ создание модели электронной схемы на ЭВМ;
- _ анализ на ЭВМ работы схемы в режиме переходных процессов;
- _ коррекция принципиальной схемы в случае получения результатов неудовлетворяющих заданию;

Выполнение курсовой работы по курсу “ Основы радиотехники” имеет своей целью закрепление теоретических знаний путём проведения расчётов электронных элементов, использования справочной литературы, ЕСКД и ГОСТов, а так приобретения опыта моделирования электронных схем на ПЭВМ.

3. Тематика курсовых работ

В качестве проектируемых предлагаются модификации известных устройств.

Темы курсовых работ:

- _ генератор синусоидальных колебаний низкой частоты с RC цепью обратной связи ;
- _ генератор синусоидальных колебаний высокой на основе LC колебательного контура с отводом от индуктивности ;
- _ генератор синусоидальных колебаний высокой на основе LC колебательного контура с отводом от конденсатора.

При формировании задания преподаватель кафедры определяет частоту рассчитываемого генератора для каждого студента индивидуально исходя из следующих соображений: частота НЧ генератора в звуковом диапазоне 0.3-3.4 кГц, ВЧ в диапазоне СВ-КВ 1-30 МГц.

4. Содержание курсовой работы

Курсовая работа состоит из пояснительной записки и графической части. Пояснительная записка представляет собой текстовый документ, выполняемый в соответствии с требованиями ЕСКД. Общий объем курсовой работы, включая графическую часть, должен составлять 10-15 листов формата А4. Графическая часть выполняется с использованием персонального компьютера и содержит три листа. На первом листе приводится структурная, на втором листе чертится принципиальная схема с перечнем элементов, а на третьем - временные диаграммы напряжений, характеризующие работу устройства в режиме переходных процессов, полученные в результате моделирования устройства.

5. Структура пояснительной записки

Пояснительная записка должна содержать следующие структурные элементы в приведённой последовательности:

- _ титульный лист;
- _ задание на курсовую работу;
- _ реферат;
- _ содержание;
- _ введение;
- _ основная часть;
- _ заключение;
- _ список использованной литературы;

Титульный лист

Титульный лист пояснительной записки содержит сведения о ВУЗе и кафедре, на которой выполняется курсовая работа, название темы и дисциплины, по которой выполняется работа, шифр пояснительной записки, а также сведения о студенте, разработавшем данный документ, его консультанте и годе выполнения. На титульном листе в соответствующих графах студент ставит свою подпись и дату сдачи пояснительной записки на проверку.

Задание на курсовую работу

Задание на курсовую работу может быть вписано также в стандартный бланк. Оно должно содержать сведения о вузе, кафедре, факультете и дисциплине, по которой выполняется курсовая работа, название её темы, сведения о студенте, выполнявшем проект, дате выдачи и плановом сроке выполнения работы, фамилию и инициалы руководителя проекта.

Реферат

В реферате кратко излагаются сведения об объёме курсовой работы, количестве и характере иллюстраций, а также о количестве использованных источников; ключевые слова о разработанном устройстве, его характеристиках и параметрах, его особенностях. Указывается, что разработано и рассчитано автором, какие параметры получены. Реферат выполняется на листе формата А4 без рамки и основной надписи.

Содержание

В содержании приводятся все основные этапы выполнения курсовой работы с

конкретным указанием листов.

Введение

Введение кратко характеризует современное состояние электроники в целом и, в частности, в области разработки устройств по теме курсовой работы, назначение и область применения устройства.

Основная часть

В основной части раскрывается содержание основных проведённой работы по этапам разработки и моделирования электронного устройства.

Основная часть курсовой работы должна содержать следующие разделы:

- _ выбор и обоснование структурной и принципиальной схемы генератора;
- _ расчёт элементов устройства, выбор типов и номиналов отдельных элементов;
- _ моделирование схемы на ПЭВМ;
- _ анализ полученных результатов.

В первом разделе основной части курсовой работы описывается две-три структуры аналогичных устройств, известных из технической, учебной или патентной литературы, приводится анализ их недостатков и достоинств. На основе анализа обосновывается построение новой структуры, удовлетворяющей техническому заданию. Возможно логическое обоснование построения структурной схемы без анализа известных структур.

В качестве усилительных могут использоваться следующие усилительные элементы приведённые в таблице 1 и другие при наличии оснований выбора.

Вид элемента	Основные характеристики	Маркировка элемента
Биполярный транзистор	Биполярный транзистор малой мощности, высокой частоты, n-p-n проводимости	BC546 или КТ315
Полевой транзистор	Высокочастотный полевой транзистор с затвором на основе p-n-перехода и каналом n-типа	BF245 или КП303
Операционный усилитель	Операционный усилитель с высоким коэффициентом усиления напряжения	OP27 или К140УД25А

Таблица 1. Усилительные элементы.

Расчёт элементов устройства ведётся на основе знаний соответствующих курсов лекций, технической и справочной литературы. Предметом расчётов являются элементы задающие частоту генератора. Выходные характеристики транзистора КТ315 приведены в приложении.

Для моделирования могут использоваться программы Electronics Workbench (Multisim) или QUCS. Преимущество программы Qucs для студентов в том, что она распространяется по лицензии GPL, кроме этого в программу встроено руководство по быстрому освоению. Результаты моделирования проводятся графическом виде.

Четвёртый раздел посвящается анализу полученных результатов моделирования .

Заключение

В заключении пояснительной записки курсовой работы приводится оценка полученных результатов, их сравнение с техническим заданием.

Список использованной литературы

Список использованной литературы приводится после заключения и оформляется в соответствии с ГОСТ 7.32-91. Списку литературы должно предшествовать заглавие “Список использованных источников”. На все источники списка в тексте записки должны быть ссылки.

6. Требования к оформлению пояснительной записки

Пояснительная записка выполняется на листах формата А4 с применением печатающих и графических устройств вывода ЭВМ. Текст набирается в редакторе шрифтом Times New Roman. Рисунки выполняются в графических редакторах или от руки чертёжным инструментом.

Построение пояснительной записки

Текст пояснительной записки разделяют на разделы, указанные в пункте 5 настоящих методических указаний, и при необходимости на подразделы, пункты, подпункты. Разделы должны иметь порядковые номера, обозначенные арабскими цифрами без точки и записанные с абзацевого отступа. Каждый раздел пояснительной записки рекомендуется начинать с нового листа.

Изложение текста пояснительной записки

Полное наименование разработанного устройства на титульном листе, в основной надписи и при первом упоминании в тексте должно быть одинаковым. Наименования, используемые в тексте и на иллюстрациях, должны быть одинаковыми.

В тексте пояснительной записки должны применяться научно-технические термины, обозначения и определения, установленные соответствующими стандартами, а при их отсутствии - общепринятые в научно-технической литературе.

В тексте пояснительной записки не допускается:

- _ применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
- _ применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
- _ применять произвольные словообразования;
- _ сокращать обозначения единиц физических величин, если они употребляются без цифр, за исключением единиц физических величин в таблицах и в расшифровках буквенных обозначений, входящих в формулы и рисунки.

Условные буквенные обозначения или знаки должны соответствовать принятым в действующем законодательстве и государственных стандартах.

В тексте документа перед значением параметра дают его пояснение, например, “Ёмкость колебательного контура C_k ”.

При применении условных обозначений, не установленных действующими стандартами, их следует пояснять в тексте или в перечне обозначений.

В пояснительной записке следует применять стандартные единицы физических величин, их наименования и обозначения в соответствии с ГОСТ 8.417-2002. При этом применение разных систем обозначения физических величин не допускается.

В тексте числовые значения величин с обозначением единиц физических величин и единиц счета пишутся цифрами, а числа без обозначения единиц физических величин и единиц счета от единицы до девяти — словами. Числовые значения символов подставляют в том же порядке, что и символы в аналитической формуле.

Оформление рисунков

Количество рисунков должно быть достаточным для пояснения излагаемого текста. Рисунки располагают либо в тексте как можно ближе к их описанию, либо в конце текста. Иллюстрации должны быть выполнены в соответствии с требованиями ЕСКД и должны быть пронумерованы арабскими цифрами сквозной нумерацией. Если рисунок один, то он обозначается “Рисунок 1”.

Правила выполнения принципиальных схем

На принципиальной схеме изображают все электрические элементы, необходимые функционирования устройства и контроля заданных электрических процессов, и связи между ними,

Элементы на схеме изображают в виде условных графических обозначений (УГО), установленных в стандартах ЕСКД.

Каждый элемент должен иметь позиционное обозначение в соответствии с ГОСТ 2.710 – 81. Позиционные обозначения элементам присваиваются в пределах схемы. Порядковые номера должны быть присвоены в соответствии с последовательностью расположения элементов и устройств на схеме сверху вниз в направлении слева направо.

Позиционные обозначения проставляют на схеме рядом с УГО элементов и устройств с правой стороны или над ними.

Данные об элементах должны быть записаны в перечень элементов. При этом связь перечня с УГО элементов должна осуществляться через позиционные обозначения.

Шифровка курсовой работы

Согласно ЕСКД текстовые документы и чертежи должны иметь шифр, состоящий из 13 цифр и двух букв с цифрами или без них. В шифр закладываются сведения о производителе работ, содержании и назначении документа. После первых четырёх цифр и перед последними тремя ставится точка.

Ввиду того что, кафедра не имеет собственного шифра, как исполнителя проектно-конструкторских работ, при оформлении курсовой работы принимаем следующие упрощения: Первая позиция условное обозначение группы (П-ИНБ-б-о-141)(9 элементов), следующие две цифры являются последними из номера зачётной книжки студента. Следующие две цифры предназначены для нумерации графических изображений работы

Буквенные обозначения, проставляемые после цифровой части шифра, означают:

ПЗ - пояснительная записка;

Э2 - схема функциональная;

Э3 - схема электрическая принципиальная;

ПЭ - перечень элементов к схеме Э3.

7. Порядок выполнения и сдачи курсовой работы

Задание на курсовую работу выдаётся консультантом - преподавателем кафедры.

При выдаче задания со студентами проводится вводная беседа о целях и задачах курсовой работы, порядке выполнения и защиты, указываются пособия и технические материалы, которые студенты могут использовать при проектировании.

Выполненный и оформленный проект сдаётся на проверку консультанту за 3-5 дней до защиты. После исправления замечаний проект подписывается консультантом и может быть допущен к защите.

8. Список рекомендуемой литературы по теме курсовой работы

1. Основы электроники , радиотехники и связи. Учебное пособие для вузов/ А.Д. Гуменюк , В. И. Журавлев , Ю. И. Мартюшев и др. ; Под ред. Г. Д. Петрухина . - 2-е изд. стереотип. - М. : Горячая линия - Телеком, 2015 . - 480 с.: ил.

2. Радиотехнические цепи и сигналы. Компьютеризированный курс: учебное пособие / В. И. Каганов. - 3-е изд. , перераб. и доп. - М. ФОРУМ: ИНФРА-М. 2014 -432с. (Высшее образование. Бакалавриат.)

9. Приложение.

9.1. Теоретические основы работы генераторов синусоидальных колебаний

Краткий обзор генераторов.

Генератор – устройства, предназначенные для создания периодических электрических колебаний. Генераторы делятся на автогенераторы и генераторы с внешним возбуждением.

Автогенератор – источник электромагнитных колебаний, в котором возбуждаются самопроизвольно без внешнего воздействия.

Генераторами с внешним возбуждением называют усилители мощности в передатчиках. В отличие от усилителей мощности, рассмотренных в главе 5, которые не содержали фильтрующих цепей – колебательных контуров на выходе усилителей, генератор с внешним возбуждением имеет на выходе либо один колебательный контур, либо связанные контуры для фильтрации колебаний и выделения нужных спектральных составляющих колебаний. Активный нелинейный элемент – транзистор или электровакуумная лампа – работает в таком усилителе в режиме с отсечкой тока – режиме класса АВ или В – для получения малой величины постоянной составляющей тока через активный элемент, малой мощности питания и высокого КПД.

По форме генерируемых колебаний генераторы делятся на два класса: генераторы гармонических колебаний и генераторы негармонических колебаний.

Гармонические колебания нужны в первую очередь как несущие колебания при передаче информации, негармонические колебания используются, например, для создания импульсов с целью обработки информации в ЭВМ или развертки изображения в телевизионных системах.

Генераторы гармонических колебаний часто содержат колебательные LC контура, резонансная частота которых определяется формулой Томсона $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$.

Эти генераторы называются генераторами томсоновского типа. Частота колебаний такого генератора близка к резонансной частоте контура.

Однако иногда генераторы гармонических колебаний, как и все генераторы негармонических колебаний, не содержат колебательных контуров. В этом случае период колебаний генератора негармонических колебаний определяется временем установления (временем релаксации) равновесия в линейных цепях генератора. Поэтому иногда эти генераторы называются релаксационными генераторами.

Структурная схема автогенератора изображена на рис. 1. Она содержит источник питания – источник постоянного напряжения, активный нелинейный элемент – как правило, транзистор или электровакуумную лампу, линейную цепь, в частности, контур LC в генераторах томсоновского типа, RC цепь во многих релаксационных генераторах и сопротивление нагрузки.

Линейная цепь, в основном, определяет частоту колебаний автогенератора. Незначительное влияние на частоту колебаний оказывают емкости активного элемента.

Активный элемент регулирует поступление энергии от источника питания к линейной цепи и определяет амплитуду колебаний.

Если бы линейная цепь не имела потерь, как, например, идеальный LC контур, то колебания в такой системе могли бы существовать бесконечно, они бы не затухали. Но во всех реальных системах такие потери есть. К линейной цепи можно отнести и сопротивление нагрузки R_H , на котором выделяется интересующая нас мощность колебаний. В случае гармонических колебаний она равна $P_H = \frac{U_M^2}{2R_H}$ (U_M – амплитуда колебаний). Для существования незатухающих колебаний – колебаний с постоянной амплитудой U_M – необходимо скомпенсировать потери энергии колебаний в системе, характеризуемые в первую очередь P_n .

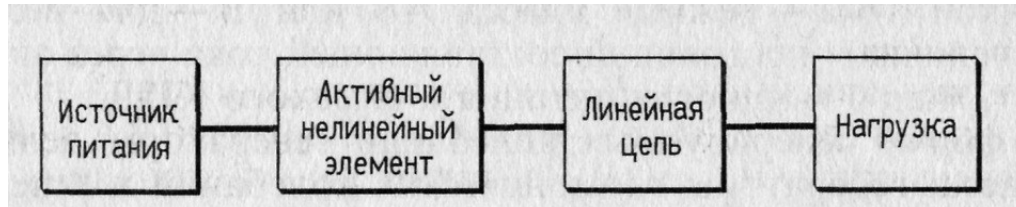


Рис. 1 Структурная схема автогенератора

Эта компенсация потерь энергии осуществляется с помощью активного нелинейного элемента, который вводит в систему дополнительную энергию, характеризуемую $P_{аз}$. Зависимость $P_{аз}(U_M^2)$ для всех активных элементов нелинейна и описывается одной из двух кривых $P_{аз1}$ или $P_{аз2}$, изображенных на рис. 2. На этом же рисунке изображена линейная зависимость $P_H = \frac{U_M^2}{2R_H}$ относительно квадрата амплитуды напряжения U_M по оси абсцисс. Для простоты предполагается, что других потерь в системе нет. В точках пересечения зависимостей $P_{аз}$ и P_H имеет место баланс энергии – равенство поступающей в систему энергии, характеризуемой $P_{аз}$, и теряемой в нагрузке P_H :

$$P_{аз} = P_H$$

Эти точки характеризуют состояния равновесия системы. Возможны два состояния равновесия – устойчивое и неустойчивое.

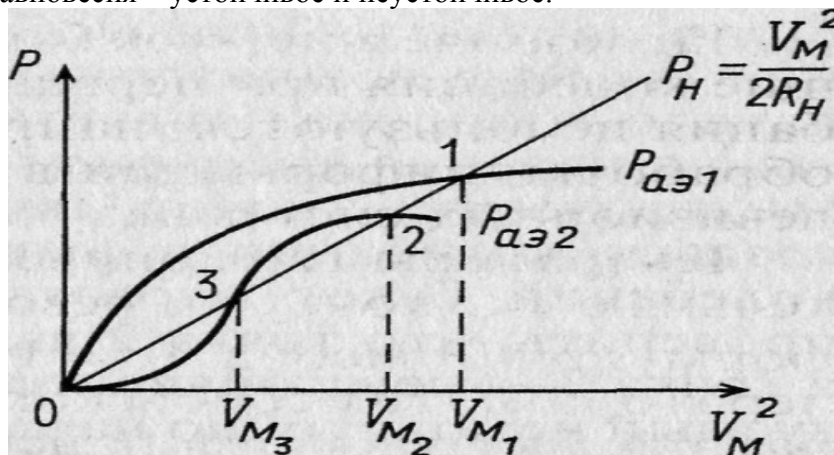


Рис. 2
Кривые зависимости
дополнительной энергии
 $P_{аз}(U_M^2)$ и $P_H(U_M^2)$

При включении автогенератора гармонические колебания в нем отсутствуют и $U_m = 0$. Однако в автогенераторе существуют флуктуации токов и напряжений, связанных с хаотичным движением электронов и дырок. Под действием флуктуации появляются малые колебания в системе, которые могут либо нарастать, либо затухать. Для зависимости $P_{аз1}$ (рис. 2.) при малых U_m вводимая в систему энергия превышает рассеиваемую ($P_{аз1} > P_H$) и амплитуда колебаний в автогенераторе будет нарастать, пока не достигнет значения U_{m1} . Дальнейший рост U_m приведет к тому, что мощность потерь превысит мощность $P_{аз1}$, и колебания в системе

будут затухать до значения U_{m1} , если же они уменьшатся до значения, меньшего U_{m1} , то окажется, что $P_{a2} > P_n$ и амплитуда колебаний в системе снова будет расти до значения U_{m1} . Поэтому точка I является точкой устойчивого равновесия, а начало координат $U_m = 0$ – неустойчивого.

Режим самовозбуждения автогенератора, характеризуемый монотонно нарастающей зависимостью P_{a2} , называется мягким режимом. Колебания в этом режиме с течением времени растут от нуля из-за наличия флуктуации в системе и достигают стационарного значения U_{m1} .

Если же зависимость P_{a2} является немонотонно нарастающей функцией (рис. 2.), то могут быть две точки 2 и 3 пересечения зависимостей P_{a2} и P_n , а также начала координат. Пока амплитуда колебаний в системе меньше U_{m3} , эти колебания будут затухать. Таким образом, стационарные колебания в данной системе возникнуть под действием флуктуации не могут – начало координат является точкой устойчивого равновесия. Для возникновения стационарных колебаний в такой системе нужен электрический толчок, надо подать внешний импульс, который создаст колебания с амплитудой $U_m > U_{m3}$. Амплитуда таких колебаний будет нарастать и достигнет значения U_{m2} . Легко проверить, что точка 2 является точкой устойчивого равновесия, а точка 3 – неустойчивого. Такой режим возбуждения, характеризуемый немонотонно нарастающей зависимостью P_{a2} , называется жестким режимом. Он характеризуется большим КПД, чем в случае мягкого режима, но для запуска генератора нужен внешний импульс.

Наибольшее распространение в настоящее время получили автогенераторы на активных трехполосниках: полупроводниковых и электровакуумных приборах. Эти автогенераторы можно рассматривать как усилители с положительной обратной связью.

В зависимости от активного элемента различают транзисторные и диодные автогенераторы. Идея создания транзисторного автогенератора основана на том, чтобы обеспечить режим транзистора приблизительно такой же, как в усилителе мощности. При этом на вход транзистора подаются колебания не от внешнего источника, а из собственного резонатора через цепь обратной связи.

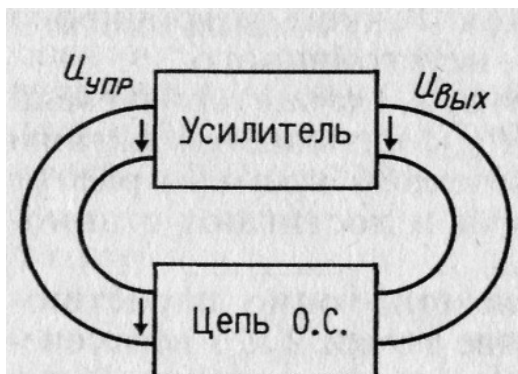
Диодные автогенераторы обеспечивают стационарные колебания за счет специфических процессов в генераторных диодах, обратная связь здесь осуществляется автоматически без применения специальных элементов.

Условие баланса амплитуд и фаз в автогенераторе

Если в усилителе с последовательной обратной связью выполняется условие

$$\dot{K} \dot{\beta} = 1, \quad (1)$$

то $K_{oc} = \frac{U_{выхm}}{U_{вхm}} = \frac{K}{1 - \beta K} \rightarrow \infty$ и усилитель превращается в автогенератор, т.е. в устройство, на входе которого имеется переменное напряжение со стационарной (не зависящей от времени амплитудой) $U_{выхm}$ конечной величины на определенной частоте при отсутствии напряжения $U_{вхm}$ той же частоты на входе устройства. В этом случае автогенератор можно представить в виде замкнутого кольца, состоящего из усилителя и цепи обратной связи (рис. 3).



$$\begin{aligned} \dot{K} &= \dot{K} \vee e^{j\varphi_k} = K e^{j\varphi_k} \\ \beta \vee e^{j\varphi_\beta} &= \beta e^{j\varphi_\beta} \\ \dot{\beta} &= \square \end{aligned} \quad (2)$$

Рис. 3
Цепь обратной связи

В (2) φ_{\uparrow} – это изменение фазы сигнала при прохождении цепи обратной связи, иначе говоря – набег фазы в цепи обратной связи, φ_{κ} – набег фазы в усилителе. С учетом (2) выражение (1) можно переписать в виде:

$$K\beta e^{j(\varphi_{\kappa} + \varphi_{\beta})} = 1$$

Последнее равенство выполняется тогда и только тогда, когда

1) $K\uparrow = 1$; (3)

2) $\varphi_{\uparrow} + \varphi_{\kappa} = 2\pi n$ (4)

Соотношение (3) называют условием баланса амплитуд, (4) – условием баланса фаз, т.е., используя такую терминологию, можно сказать – чтобы усилитель превратился в генератор, необходимо выполнение двух условий:

1) условия баланса амплитуд;

2) условия баланса фаз.

Исследуем подробнее условие баланса амплитуд. Соотношение (1) можно записать в виде:

$$i_{\text{вых}\square} \cdot \frac{\dot{U}_{\text{вых}M}}{\dot{U}_{\text{упр}M}} = 1$$

$$\frac{\dot{U}_{\square}}{\dot{U}_{\text{вх}M}} \quad , \quad \text{т.е.} \quad \dot{U}_{\text{вх}M} = \dot{U}_{\text{упр}M}$$

Суть работы автогенератора состоит в следующем: сигнал, $\dot{U}_{\text{упр}M}$ пройдя через усилитель, увеличивается до величины $\dot{U}_{\text{вых}M}$; часть его, пройдя через цепь обратной связи, ослабляется до U_{oc} , это напряжение поступает на вход усилителя; при устойчивой работе автогенератора возвратившийся на вход автогенератора сигнал (U_{oc}) равен исходному ($U_{\text{упр}M}$), так как общие потери в замкнутом кольце рис. 3. компенсируются в активной части (в усилителе) за счет имеющихся источников энергии.

Если $K\uparrow > 1$, то при этом $U_{ocM} > U_{\text{упр}M}$, и возвратившийся на вход усилителя сигнал (U_{ocM}) больше исходного ($U_{\text{упр}M}$), т.е. за 1 цикл сигнал, проходя все кольцо автогенератора, увеличивает свою амплитуду; увеличивая таким образом свою амплитуду за каждый цикл, сигнал, казалось бы, должен достигнуть бесконечно большой амплитуды и мощности, но это находится в противоречии с законом сохранения энергии, так как энергия и мощность источника питания автогенератора конечна, т. е. в автогенераторе должен быть механизм, ограничивающий нарастание амплитуды сигнала. Ограничение амплитуды происходит благодаря нелинейным свойствам активного элемента – зависимости амплитуды выходного напряжения $u_{\text{вых}}$ от входного $u_{\text{вх}}$, что определяет зависимость коэффициента усиления усилителя, входящего в автогенератор, от управляющего напряжения. Существуют два вида зависимости $K(U_{\text{упр}M})$, которые изображены на рис. 4. (а, б). Если рабочая точка выбрана на линейном участке управляющей характеристики транзистора (для полевого транзистора $i_c(u_m)$, для биполярного $i_k(u_{бэ})$), то с ростом сигнала зависимость $K(U_{\text{упр}M})$ соответствует рис. 4а. Этот режим характеризуется большой постоянной составляющей тока I_0 , протекающего через транзистор, большой мощностью питания $P_o = E_n I_0$ и малым КПД —

$= P_n / E_n \cdot I_0$. При больших амплитудах $U_{упр.м}$ коэффициент усиления $|K| = \frac{U_{вых.м}}{U_{упр.м}}$ иногда называется средним коэффициентом усиления.

При выборе рабочей точки вблизи нуля зависимость $K(U_{упр.м})$ соответствует рис. 4б. Этот режим характеризуется малым значением постоянной составляющей тока, протекающего через транзистор, меньшей мощностью электропитания и большим КПД $\approx 50\%$. Если зависимость $K(U_{упр.м})$ имеет вид, приведенный на рис. 4а, то генератор работает в мягком режиме, если $K(U_{упр.м})$ имеет вид, приведенный на рис. 4б, то генератор работает в жестком режиме.

Условие баланса амплитуд определяет амплитуду колебаний в автогенераторе.

Если выполняется условие баланса фаз (4), то это означает, что сигнал, прошедший усилитель, возвращается через цепь обратной связи на вход усилителя в фазе с исходным сигналом, в итоге управляющее напряжение возрастает, ток через активный элемент возрастает, мощность сигнала на выходе также возрастает, т.е. сигнал как бы сам себя «подталкивает». Обычно баланс фаз выполняется только на определенной частоте, которая и является частотой колебаний в автогенераторе. Поэтому условие баланса фаз позволяет найти эту частоту.

Понятие о стабилизации частоты автогенераторов

Изменение частоты ω колебаний автогенератора определяет его нестабильность частоты $\omega_{ген.}$. Причинами изменений частоты могут быть внутренние шумы в автогенераторе, например, шумы транзисторов и резисторов в транзисторных автогенераторах. Шумы определяют кратковременную нестабильность частоты. Для уменьшения кратковременной нестабильности надо выбирать транзисторы с малым уровнем шумов. Другими причинами изменений частоты могут быть изменения питающих напряжений и температуры. Эти причины определяют долговременную нестабильность частоты. Для уменьшения долговременной нестабильности необходима стабилизация питающих напряжений и температуры, в частности использование термостатов – устройств, поддерживающих постоянную температуру. И кратковременная и долговременная нестабильности тем меньше, чем выше добротность колебательной системы генератора. В обычных контурах с сосредоточенными катушками индуктивности и конденсаторами удается получить добротность в несколько сотен, в диэлектрических резонаторах – в несколько тысяч и десятков тысяч, в кварцевых резонаторах – до миллиона, в сверхпроводящих резонаторах – около миллиарда.

9.2 Выбор электросхемы автогенератора

Для наших условий наиболее подходящей является схема транзисторного усилителя с фиксированным напряжением базы и эмиттерной стабилизацией.

Этот выбор обусловлен тем, что необходим усилитель небольшой мощности с заданной частотой. По данным требованиям подходит усилители, построенные на биполярных и полевых транзисторах. Преимущество полевых транзисторов и операционных усилителей перед биполярными большие входные сопротивления и коэффициенты усиления, однако, у полевых транзисторов большой коэффициент шума, а у операционных усилителей чересчур малая выходная мощность, следовательно, необходим дополнительный усилитель.

Существует три вида схем применимых для биполярного транзистора:

- с общим эмиттером;
- с общей базой;
- с общим коллектором.

Наиболее приемлема схема с общим эмиттером, так как она имеет наиболее высокий КПД и выходную мощность (коэффициент усиления по напряжению). Самое широкое

применение в радиоэлектронике получила транзисторная схема усилителя с фиксированным напряжением на базе и эмиттерной стабилизацией. Это объясняется тем, что она обладает наилучшими выходными параметрами, за счет эмиттерной стабилизации точка покоя (при изменениях температуры) более стабильна, нежели в усилителях другого типа. Также произведя расчет схемы для определенного транзистора, в последующем его можно заменить транзистором того же типа без замены других элементов.

Усилитель с эмиттерной стабилизацией и фиксированным напряжением на базе схемы с общим эмиттером. Включение с общим эмиттером обеспечивает усиление, как тока, так и напряжения сигнала. Усиление мощности в таком включении наибольшее, но сильно изменяется при изменении режима работы, температуры и замене транзисторов. Входное сопротивление транзистора при включении с общим эмиттером значительно выше, чем при включении с общей базой, и лежит в пределах от нескольких Ом (для мощных транзисторов) до тысяч Ом (для маломощных). При увеличении сопротивления нагрузки входное сопротивление уменьшается. Входное сопротивление ниже, чем при включении с общей базой, и уменьшается при увеличении сопротивления источника сигнала.

При применении схем эмиттерной стабилизацией обеспечивается более высокая стабильность рабочей точки. Стабилизация рабочей точки транзистора необходима вследствие того, что имеется большой разброс статических характеристик транзисторов для разных образцов и зависимость их формы от температуры. Простейшим методом стабилизации рабочей точки является введение отрицательно обратной связи по постоянному току, чтобы изменения входного напряжения или тока, вызванные обратной связью, противодействовали влиянию дестабилизирующих факторов, сдвигающих рабочую точку в выходной цепи.

Действие обратной связи объясняется следующим образом. При увеличении, например, из-за роста температуры тока коллектора покоя $I_{к0}$ возрастает ток эмиттера покоя $I_{э0}$ и падение напряжения на резисторе, поскольку $U_{эп} = I_{эп} \cdot R_{э}$. Так как напряжение между базой и землей (база – земля) $U_{бз}$ фиксировано базовым делителем R_1, R_2 , и $U_{бэ} = U_{б0} + U_{э0}$, то с увеличением напряжения $U_{э0}$ уменьшается напряжение $U_{б0}$. Это приведет к прикрыванию транзистора, уменьшению тока базы покоя $I_{б0}$, и, следовательно, снижению тока коллектора покоя $I_{к0}$. Тем самым производится компенсация первоначального увеличения тока коллектора покоя.

Включение резистора $R_{э}$ в цепь эмиттера изменяет работу каскада и при усилении переменного сигнала. Переменный ток эмиттера создает на резисторе $R_{э}$ падение напряжения $U_{э} = I_{э} \cdot R_{э}$, которое уменьшает усиливаемое напряжение подводимое к базе транзистора, ведь $U_{бэ} = U_{вх} - U_{э}$, при этом снижается и коэффициент усиления каскада, поскольку действует ООС по переменному току. Для её исключения резистор $R_{э}$ шунтируют конденсатором $C_{э}$ достаточно большой ёмкости.

9.3 Обоснование выбора транзистора

Основные причины изменения частоты генерации f_c при вариации режима работы транзистора являются изменения его емкости и фазового угла φ_s . Чем больше φ_s , тем сильнее сказывается воздействие дестабилизирующего фактора на генерируемую частоту. Поэтому в АГ используются транзисторы, у которых на частоте генерации еще незаметно проявления инерционных свойств. Для этого достаточно, чтобы f_c была в диапазоне $(0, 1..0,3) f_s$, где f_s – граничная частота транзистора по крутизне.

В АГ для повышения стабильности транзистор должен работать в облегченном режиме, поэтому $U_{пит}$ и I_k нужно выбирать из условий:

$$I_k \leq (0,2..0,4) I_{k \max} \quad U_{пит} = U_{кз} \leq (0,3..0,5) U_{кз \max}$$

При выборе I_k нужно учитывать, что завышение ведет к сильной зависимости от параметров транзистора, а снижение ведет к снижению отношения сигнал/шум, появлению паразитных амплитуд и фаз модуляции.

9. 4. Генераторы синусоидальных колебаний

Генераторы синусоидальных колебаний – это генераторы, вырабатывающие 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 контура определяют частоту колебаний.

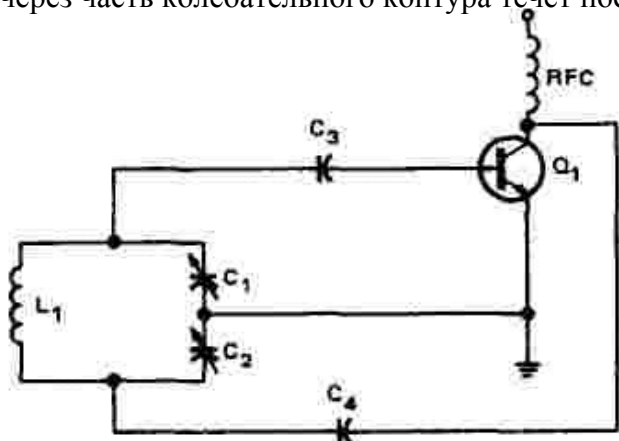
Кварцевые генераторы подобны LC генераторам, но обеспечивают более высокую стабильность колебаний. LC генераторы и кварцевые генераторы используются в диапазоне радиочастот. Они не подходят для применения на низких частотах.

Для применения на этих частотах используются RC генераторы, имеющие резистивно-емкостную цепь для задания частоты колебаний.

Тремя основными типами LC генераторов являются генератор Хартли, генератор Колпитца и генератор Клаппа. На рисках изображены два основных типа генератора Хартли.

Катушка с отводом в колебательном контуре указывает, что эти цепи являются *генераторами Хартли*.

Недостатком генератора Хартли с последовательной обратной связью является то, что через часть колебательного контура течет постоянный ток. В генераторе Хартли с параллельной обратной связью постоянный ток в колебательный контур не поступает, так как в цепь обратной связи включен конденсатор.



Генератор Колпитца похож на генератор Хартли с параллельной обратной связью, за исключением того, что катушка с отводом заменена двумя конденсаторами. Генератор Колпитца стабильнее, чем генератор Хартли и чаще используется.

Генератор Колпитца похож на генератор Хартли с параллельной обратной связью, за исключением того, что катушка с отводом заменена двумя конденсаторами. Генератор Колпитца стабильнее, чем генератор Хартли и чаще используется.

Рис. 4 Генератор Колпитца

Генератор Клаппа является разновидностью генератора Колпитца.

Основным отличием является добавление конденсатора, включенного последовательно с индуктивностью в колебательный контур. Этот конденсатор позволяет изменять частоту генератора.

Изменения температуры, старение компонентов и изменение требований к нагрузке служит причиной нестабильности генераторов. Если требуется высокая стабильность параметров генерируемого сигнала, используются *кварцевые генераторы*.

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

Кварцы обладают собственной частотой колебаний, обусловленной их структурой. 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. Частота механических колебаний кристалла кварца является величиной постоянной, что делает его идеальным для использования в генераторах. В качестве генераторных кристаллов кроме кварца

используются также турмалин и сегнетова соль. Сегнетова соль наиболее электрически активна, но легко разрушается. Турмалин имеет наименьшую электрическую активность, но большую прочность. Кварц лучше всего подходит для использования в генераторах: он имеет хорошую электрическую активность, достаточно прочен и поэтому чаще всего используется в качестве генераторного кристалла.

Кристаллическая пластинка размещается между двумя металлическими пластинами, которые прижимаются пружинами для того, чтобы обеспечить электрический контакт этих пластин с кристаллом. После этого кристалл помещается в металлический корпус. На рисунке изображено схематическое обозначение кристалла. На схемах кристаллы обозначаются буквами Y и XTAL

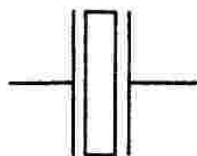


Рис. 5 Схемное обозначение кварца

На рисунке 6а изображена схема *генератора Хартли* с параллельной обратной связью с добавлением кварца.

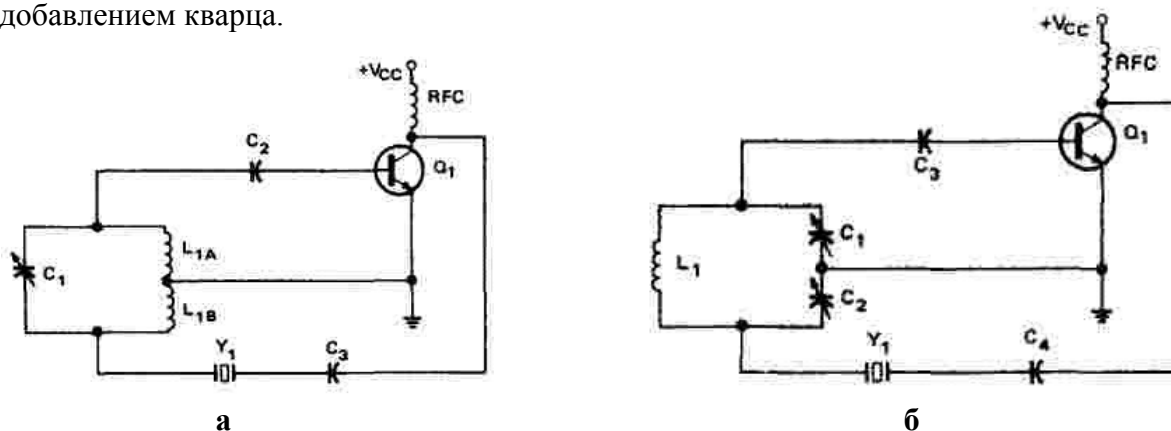


Рис. 6 Генераторы Хартли и Колпитца

Кварц включен последовательно в цепь обратной связи. Если частота колебательного контура отклоняется от частоты кварца, импеданс кварца увеличивается, уменьшая глубину обратной связи. Это приводит к изменению частоты колебательного контура.

На рисунке 6б изображен *генератор Колпитца* с кварцем, включенным так же как и в генераторе Хартли. Кварц управляет величиной обратной связи. Колебательный LC контур может быть настроен на частоту кварца.

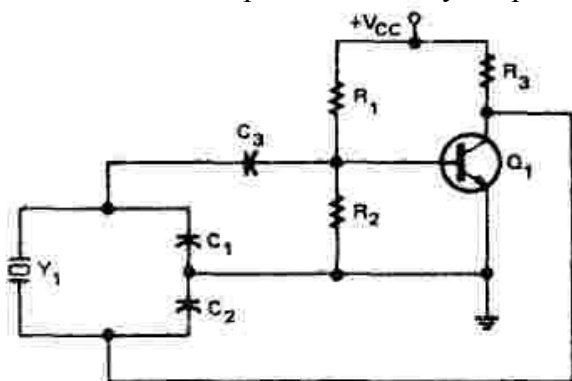


Рис. 7 Генератор Пирса

На рисунке 7 изображен *генератор Пирса*, схема подобна генератору Колпитца, за исключением того, что катушка индуктивности в колебательном контуре заменена кварцем. Кварц управляет импедансом колебательного контура, что определяет величину обратной связи и стабилизирует генератор.

На рисунке 8 изображен генератор Батлера, схема собрана на двух транзисторах, использует колебательный контур и кварц для определения и стабилизации частоты колебаний. Колебательный контур должен быть настроен на частоту кварца, в противном случае генератор не будет работать. Преимущество генератора Батлера в том, что к кварцу приложено небольшое напряжение, уменьшающее его механические деформации. Заменяя элементы колебательного контура, генератор можно заставить работать на частоте одной из гармоник кварца.

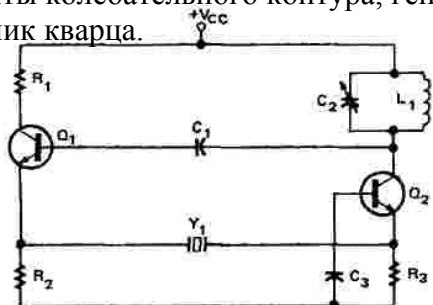


Рис.8 Схема генератор Батлера.

RC генераторы используют для задания частоты резистивно-емкостную цепь. Существуют два основных типа RC генераторов синусоидальных колебаний: генератор с фазосдвигающей цепью и генератор на основе моста Вина.

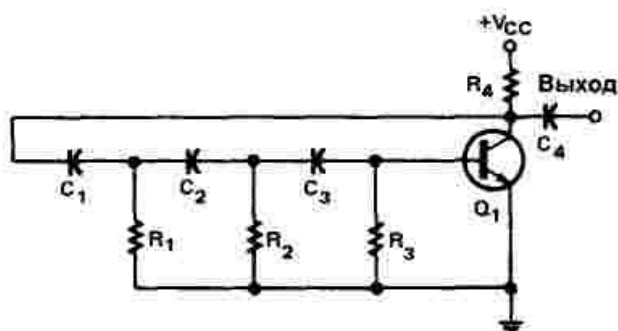


Рис.8 Генератор с фазосдвигающей цепью

Генератор с фазосдвигающей цепью – это обычный усилитель с фазосдвигающей RC цепью обратной связи. Он изображен на рис. 8.

Обратная связь должна сдвигать фазу сигнала на 180 градусов. 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. Транзистор должен иметь достаточно высокий коэффициент усиления для компенсации этих потерь.

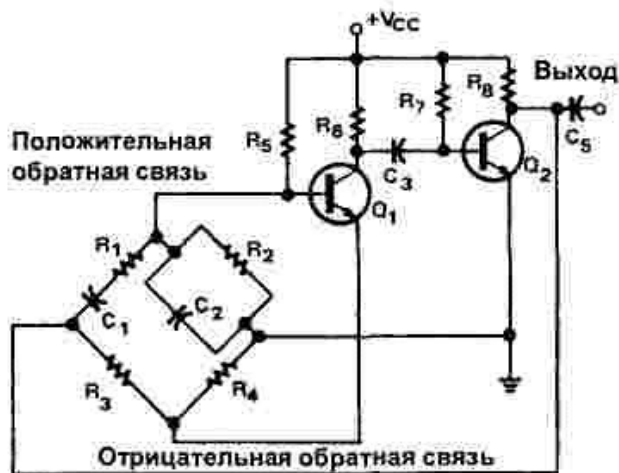


Рис. 9 Генератор на основе моста Вина

Генератор на основе моста Вина – это двухкаскадный усилитель с цепью опережения-запаздывания и делителем напряжения. Он изображен на Рис.9

Цепь опережения-запаздывания состоит из последовательной (R_1C_1) цепочки и параллельной (R_2C_2) цепочки. Схема называется цепью опережения-запаздывания, потому что выходное напряжение на некоторых частотах опережает входное напряжение по фазе, а на некоторых частотах отстает от него.

На резонансной частоте сдвиг фаз равен нулю и выходное напряжение максимально. Резисторы R_3 и R_4 образуют цепь делителя напряжения, используемого для отрицательной обратной связи. Положительная обратная связь подается на базу, а отрицательная обратная связь на эмиттер генераторного транзистора Q_1 . Выход транзистора Q_1 через емкость связан с базой транзистора Q_2 , который усиливает напряжение и сдвигает его по фазе на 180 градусов. Выход транзистора Q_2 связан с мостовой цепью.

На рисунке 10 изображен мостовой генератор Вина на интегральной микросхеме.

Инвертирующий и неинвертирующий входы операционного усилителя идеальны для использования в генераторе на основе моста Вина. Усиление операционного усилителя высокое, что компенсирует все потери в цепи.

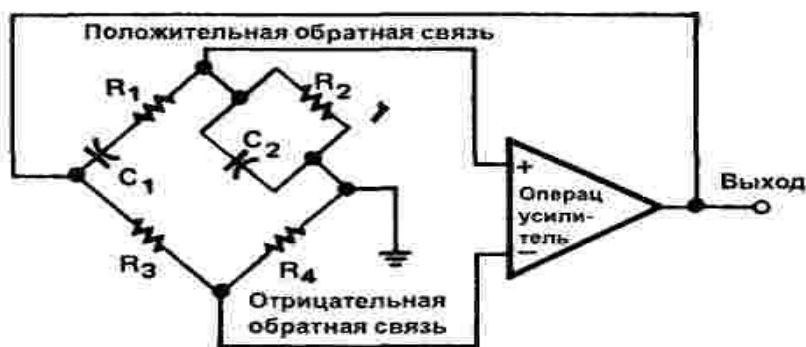


Рис. 10 Мостовой генератор Вина на интегральной микросхеме.

9.5 Характеристики транзистора КТ315

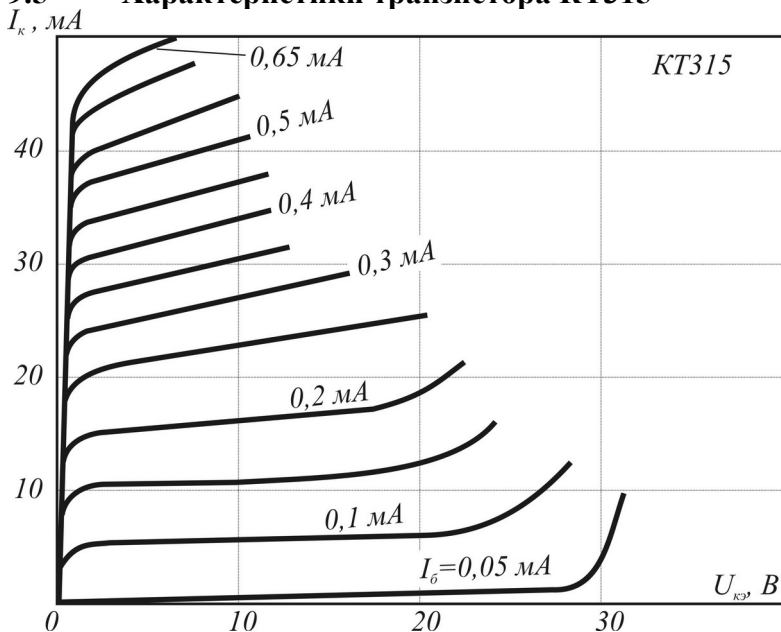


Рис 11. Выходные характеристики транзистора КТ315 А-Г.