ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет»
Кафедра систем информационной безопасности

110-2017

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторной работы «Формирование ЧМ колебаний в LC и кварцевых генераторах с помощью варикапов» по дисциплинам «Устройства генерирования и формирования радиосигналов» специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» и «Радиопередающие устройства» специальности 11.03.11 «Радиотехника» (бакалавры) направления «Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов» очной и заочной форм обучения

Воронеж 2017

Составитель канд. техн. наук М.И. Бочаров.

УДК 621.396.61

Методические указания к выполнению лабораторной работы «Формирование ЧМ колебаний в LC и кварцевых генераторах с помощью варикапов» по дисциплинам «Устройства генерирования и формирования радиосигналов» специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» и «Радиопередающие устройства» специальности 11.03.01 «Радиотехника» (бакалавры) направления «Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов» очной и заочной форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; Сост. М.И. Бочаров. Воронеж, 2017, 25 с.

В работе содержатся краткие теоретические сведения по методам построения формирователей радиосигналов, принципиальные схемы устройств, на основе которых осуществляется их реализация, а также домашнее и лабораторное задания, методические указания для их выполнения и необходимые справочные данные, а также контрольные вопросы для допуска к лабораторной работе и ее защиты.

Предназначено для студентов третьего курса очной и заочной форм обучения.

Табл.5 , Илл. 2, Библиогр.: 6 назв.

Рецензент д-р. техн. наук, цроф. А. В. Останков

Ответственный за выпуск зав. кафедрой СИБ д-р техн. наук, проф. А. Г. Остапенко.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета.

©ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2017

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАБОТЕ

1.1. Цель работы: изучить методы осуществления частотной модуляции в LC и кварцевых автогенераторах с помощью варакторов (варикапов). Приобрести навыки по схемотехническому анализу и расчету принципиальных схем частотно- модулированных генераторов; изучить методику построения основных характеристик формирователей частотно-модулированных сигналов; приобрести практические навыки по экспериментальному исследованию характеристик ЧМ генераторов на варикапах с параметрической и кварцевой стабилизацией частоты.

1.2.При выполнении лабораторной работы используются следующие приборы и оборудование: лабораторная установка, на переднюю панель которой выведены гнезда для подключения измерительной аппаратуры: измерителя модуляции; генератора сигналов низкочастотного; частотомера электронно-счетного, измерителя нелинейных искажений (осциллографа).

1.3. В качестве лабораторной установки используется стенд, в который вмонтированы формирователи радиосигналов, выполненные на основе LC и кварцевого автогенераторов. Частотная модуляция осуществляется с помощью варикапов.

На передней панели лабораторной установки имеется переключатель рода работы, через который подается напряжение питания на испытуемые формирователи сигналов: «ЧМ» – частотно-модулированный LC-генератор; «ЧМ КВ» – частотно-модулированный кварцевый генератор. Для снятия статических модуляционных характеристик исследуемых генераторов, а также для установления начального смещения на варикапах используются потенциометры с надписями «U_0 ЧМ» и «U_0 ЧМКВ». Напряжение смешения LCЧМ генератора

контролируется стрелочным вольтметром, расположенным на передней панели стенда. Два других прибора предназначены, соответственно, для измерения напряжения источника питания и постоянной составляющей тока коллектора исследуемого генератора. Для подачи модулирующего сигнала с низкочастотного генератора подключение частотомера и измерителя модуляции к испытуемому формирователю предусмотрены соответствующие гнезда. Напряжение смещения на варикапах кварцевого ЧМ генератора контролируется высокоомным вольтметром, подключаемым к гнездам «Uo КВ».

2. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

2.1. Изучить методы осуществления частотной модуляции с помощью барьерной емкости варакторов в LC и кварцевом генераторах, основные характеристики формирователей, определяющих качественные показатели формирователей радиосигналов.

2.2. Выполнить расчет параметров элементов принципиальной схемы исследуемых частотно-модулированных генераторов.

Исходные данные для определения элементов LC-автогенератора приведены в табл.1.

Таблица 1

Номер в-та	1	2	3	4	5	6	7	8
$f_Г$, МГц	20	20,5	21	21,5	22	22,5	23	24
ρ, Ом	100	150	200	250	300	125	175	180
$R_Н$, Ом	50	100	75	50	100	75	50	75
p	0,1	0,15	0,2	0,1	0,15	0,2	0,25	0,15
$K_{ОС}$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,55	0,65	0,85

Примечание 1: в табл. 1 приведены следующие обозначения: $f_Г$ – генерируемая частота; ρ – волновое сопротивление контура; $R_Н$ –сопротивление нагрузки; p – коэффициент включения варикапа; $K_{ОС}$ – коэффициент обратной связи автогенератора.

2.3.Произвести электрический расчет LC частотно-модулированного генератора: девиацию частоты, сдвиг средней частоты, коэффициент нелинейных искажений. Исходные данные приведены в табл.2.

Таблица 2

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8
Варикап	КВ102А	КВ102Б	КВ102В	КВ110А	КВ110Б	КВ110В	КВ117А	КВ119А
$E_П$, В	12	9	15	12	9	15	12	15
$E_Т$, В	-7	-5	-8	-6	-5	-8	-6	-8
$f_Г$, МГц	22	20	24	21	23	23	21	22
$P_М$	0,1	0,15	0,2	0,1	0,15	0,2	0,1	0,2
U_F, В	1,5	0,5	2,0	1,0	1,0	2,0	1,5	1,5

Примечание 2: в табл. 2 введены следующие обозначения: $E_Т$ – напряжение смещения на варикапе; $P_М$ – коэффициент включения варикапа; U_F – амплитуда модулирующего сигнала.

2.4.Произвести расчет технических характеристик частотно-модулированного кварцевого автогенератора: девиации частоты, коэффициента нелинейных искажений, сдвига средней частоты.

Исходные данные для расчета приведены в табл. 3.

Таблица 3

Номер в-та	1	2	3	4	5	6	7	8
Варикап	КВ102А	КВ102Б	КВ102В	КВ110А	КВ110Б	КВС111А	КВ117А	КВС120А
f_1, МГц	11,31	11,32	11,33	11,31	11,32	11,33	11,31	11,33
$C_1 \cdot 10^{2-}$, пФ	2,0	1,5	1,0	2,5	1,5	2,0	2,5	1,0
U_F, В	2,0	1,5	1,0	1,5	2,0	1,0	2,0	2,0
E_T, В	-8	-7	-5	-6	-8	-5	-8	-7

Примечание 3: в табл. 3 обозначено: f_1 - частота последовательного резонанса кварцевого резонатора;C_1 - динамическая емкость кварцевого резонатора; Статическую емкость кварцевого резонатора Со при расчетах следует принять равной 2…8 пФ.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ

3.1. При выполнении п.2.1 необходимо ознакомиться с основными методами формирователя частотно-модулированного сигнала, приведенными в приложении 1 и [1…3]. При этом необходимо уяснить суть и назначение основных характеристик, используемых для оценки технических параметров частотного модулятора: статической модуляционной характеристики (СМХ), динамической модуляционной характеристики (ДМХ), частотно-динамической модуляционной характеристики (ЧДМХ), а также причин появления паразитной амплитудной модуляции (ПАМ) и паразитной частотной модуляции (ПЧМ).

3.2. При выполнении п.2.2 необходимо, с использованием теоретических сведений по частотной модуляции LC- автогенератора [2, 3] и кварцевого генератора с помощью варикапа [3.4], уяснить каким образом влияют параметры варикапа, колебательной системы LC-автогенератора и кварцевого резонатора на девиацию частоты и нелинейные искажения.

Кроме этого, необходимо сделать схемотехнический анализ принципиальных схем устройств, используемых в лабораторной установке, приведенных в приложении 2.

3.3. При выполнении п. 2.3 необходимо номиналы элементов контура LC- автогенератора определяются по расчетным соотношениям, приведенным в [3…5]. Для кварцевого ЧМ генератора в [3,4] и приложении 3.

3.4. При выполнении п. 2.4 и 2.5 необходимо определить: девиацию частоты Δf_m, коэффициент нелинейных искажений по второй гармонике K_{F2} и сдвиг центральной (несущей) частоты Δf_F по заданному типу варикапа (приложение 4) и кварцевых резонаторов (приложение 5).

Технические параметры частотно-модулированного LC-автогенератора с емкостной связью варикапа с контуром (рис. П3.1) для резкого p-n перехода с коэффициентом нелинейности $\gamma = 0.5$ определяются с помощью расчетных соотношений приведенных в приложении 2.

Известно несколько принципов построения схем кварцевых автогенераторов (приложение 3). На практике наибольшее распространение получила схема с кварцем в контуре [1…4], обладающая наибольшей управляемостью. Один из возможных вариантов схемы используется в лабораторной установке(приложение 3).

4. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

4.1. Ознакомиться с назначением органов управления лабораторной установки, с используемой измерительной аппаратурой на рабочем месте и ее техническими характеристиками. В отчете привести перечень необходимых для исследования приборов и их основные технические характеристики.

4.2. Определить среднюю частоту автоколебаний LC-автогенератора.

Переключатель рода работы поставить в положение «ЧМ». Частотомер подключить к гнездам «ЧМ» лабораторной установки.

Изменяя ручкой «U_0 ЧМ» напряжение смешения U_0 от минимального до максимального, определить минимальную f_{min} и максимальную f_{max} генерируемые частоты.

По полученным результатам найти среднюю частоту $f_0 = (f_{min} + f_{max})/2$ автоколебаний и соответствующее ей значение напряжения смещения $U_{0ср}$.

4.3. Снять статическую модуляционную характеристику $\Delta f=\varphi(U_0)$.

Изменяя напряжение смещения на варикапе с шагом 1…1.5 В, произвести измерения выходной частоты $f_{вых}$. Результаты измерений занести в табл. 3.

Таблица 3

Uo, В							
$f_{вых}$, кГц							
Δf, кГц							

По полученным результатам определить значения $\Delta f=f_{вых}-f_0$, которые также занести в табл. 3. Построить график зависимости $\Delta f=\varphi(U_0)$. По полученной зависимости

определить: линейный участок СМХ, напряжение смещения $U_{0ср}$, соответствующее середине линейного участка; напряжения смещения Uo_{min} и Uo_{max}, соответствующие появлению загибов на СМХ.

4.4. Снять динамическую модуляционную характеристику $\Delta f_д = \psi(U_F)$.

К гнездам «ЗГ» лабораторной установки подключить генератор сигналов низкочастотный, а к ее выходным зажимам – измеритель частотной девиации. К выходу измерителя девиации подключить осциллограф или измеритель нелинейных искажений для контроля качества модуляции.

Установить на лимбе низкочастотного (звукового) генератора частоту F=1000 Гц, а напряжение смещения на варикапе испытуемого генератора, $U_0=E_т$, соответствующее значению, полученному в п.4.3. Изменяя уровень напряжения на выходе низкочастотного генератора от нуля до значения, соответствующего появлению нелинейных искажений синусоидального сигнала (около двух вольт), наблюдаемого на экране осциллографа. По искажению формы синусоиды (при использовании измерителя нелинейных искажений его искажения должны составлять 5…10 %), произвести замеры величины девиации частоты. Всего должно быть проведено 7…10 замеров. Результаты измерений занести в табл.4.

Таблица4

U_F							
$\Delta f_д$, кГц							

С использованием полученных результатов построить зависимость $\Delta f_д = \psi(U_F)$. По полученным данным определить максимально допустимую амплитуду U_{Fmax} звукового сигнала, при которой появляются нелинейные искажения на ДМХ.

4.5. Снять частотно -динамическую модуляционную характеристику $\Delta f_д = \gamma(F)$.

Установить амплитуду сигнала на выходе генератора звуковых частот $U_F=0{,}5U_{Fmax}$. Изменяя звуковую частоту в пределах от 50 Гц до 10…20 кГц и поддерживая U_F = const, снять зависимость девиации от частоты модулирующего сигнала. Полученные данные занести в табл.5.

Таблица 5

F, кГц							
$\Delta f_д$, кГц							

Построить график ЧДМХ.

4.6. Определить смещение центральной частоты генератора при модуляции.

К гнездам «ЧМ» лабораторной установки подключить частотомер (низкочастотный генератор остается подключенным к гнездам «ЗГ»).

Измерить центральную частоту исследуемого генератора при следующих значениях управляющего сигнала:

1. $U_F=0$ (при отсутствии управляющего сигнала на входе модулятора);

2. $U_F=0{,}5U_{Fmax}$.

Смещение центральной частоты находится с помощью выражения:

$$\Delta f_F = f_0' - f_0'', \qquad (9)$$

где f_0' - значение центральной частоты, измеренное при $U_F=0$; f_0'' - значение центральной частоты, измеренное при $U_F=0{,}5U_{Fmax}$.

4.7. Определить уровень паразитной ЧМ исследуемого генератора.

Уровень ПЧМ определяется при отключении генератора звуковых частот от лабораторного стенда по методике п. 4.5, но при отсутствии модулирующего сигнала ($U_F=0$, низкочастотный генератор отключен).

Подключить измеритель девиации к выходу формирователя. Индикатор измерителя модуляции показывает величину паразитной частотной модуляции.

4.8. Определить уровень паразитной АМ исследуемого генератора.

Уровень ПАМ определяется по методике п. 4.7 (U_F=0), но при подключенном низкочастотном генераторе и при U_F=0,5U_{Fmax} При этом измеритель модуляции должен измерять амплитудную модуляцию – положение «АМ» (на индикаторе измерителя модуляции высвечиваются «%»).

4.9. Снять основные характеристики и определить технические параметры частотно-модулированного кварцевого генератора.

Измерения проводить по методике п 4.2 – 4.8. При этом СМХ следует снимать при любом положении переключателя корректирующей цепочки (R10, L2).

ДМХ и частотно-динамическую модуляционную характеристику снимать только при отключенной корректирующей цепочке R10, L2 от кварцевого резонатора.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Принципиальные схемы исследуемых модуляторов (рис.П2.1 и рис.П3.1).

2. Результаты расчетов выполненных в соответствии п. 3.2,3.3 и 3..4 домашнего задания.

3. Таблицы и графики экспериментальных исследований.

4. Краткие выводы по проделанной работе, содержащие сопоставление результатов расчета и эксперимента, а также анализ полученных результатов по каждому выполненному пункту лабораторного задания..

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

А. Вопросы для допуска к выполнению лабораторной работы.

6.1. Нарисуйте функциональную схему формирования ЧМ сигнала прямым методом и поясните принцип осуществления ЧМ.

6.2. Какая модуляция называется угловой? Как связаны девиация частоты и индекс угловой модуляции с параметрами модулирующего сигнала: а) при ЧМ, б) при ФМ?

6.3. Приведите функциональную схему формирователя ЧМ сигнала реализованного по косвенному методу. В чем принципиальное отличие этого метода от прямого?

6.4. Какой из методов прямой или косвенный обеспечивает более высокие качественные показатели ЧМ?

6.5. Как изменяется мощность боковых составляющих ЧМ сигнала при изменении индекса модуляции?

6.6. Какие преимущества использования варакторов, работающих в барьерном режиме, в качестве управителя частоты?

6.7. Как ВФХ варикапа (с резким и сверхрезким p-n переходами) влияет на качественные характеристики ЧМ - генератора?

6.8. Приведите функциональную схему косвенного метода получения ЧМ из ФМ. Какие достоинства косвенного метода получения ЧМ из ФМ?

6.9. Нарисуйте типовые статические модуляционные характеристики LC и кварцевого ЧМ генераторов. Поясните как с помощью СМХ выбрать оптимальный режим работы модулятора.

6.10. Какова причина возникновения нелинейных искажений при формировании радиосигнала с угловой модуляцией.

6.11. Что такое динамическая модуляционная характеристика? Как экспериментально снять ДМХ?

6.12. Какие измерительные приборы целесообразно использовать для при измерении девиации частоты, нестабильности частоты и нелинейных искажений?

6.13. Изобразите примерный вид динамической модуляционной характеристики LC и кварцевого ЧМ генераторов. Поясните, как экспериментально снимаются эти зависимости при выполнении лабораторной работы.

6.14. Какая характеристика называется частотно-динамической модуляционной характеристикой? Как экспериментально определяется ЧДМХ?

Б. Вопросы для защиты лабораторной работы.

6.15. Как влияет коэффициент нелинейности ВФХ варикапа на уровень нелинейных искажений?

6.16. Почему для осуществления ЧМ широко применяется схема кварцевого автогенератора с резонатором в контуре?

6.17. Почему при осуществлении ЧМ более целесообразным является последовательное, а не параллельное подключение варикапа к кварцевому резонатору (рис.П3.1)?

6.18. Какой тип управляемой реактивности (индуктивной или емкостной) предпочтительней для управления частотой кварцевых автогенераторов?

6.19. Как зависит девиация частоты кварцевого ЧМ генератора от отношения динамической емкости кварцевого резонатора C_1 к его статической емкости C_0?

6.20. Как выбрать параметры кварцевого резонатора для получения максимальной девиации частоты?

6.21. Выполните схемотехнический анализ принципиальной схемы LC ЧМ (рис.П2.1), включающий

определение элементов ее эквивалентной схемы, цепи питания и смещения и правления и их взаимное соединение.

6.22. Назовите основные методы уменьшения нелинейных искажений при ЧМ и поясните их сущность.

6.23. Для какой цели в схеме автогенератора рис. П2.1 параллельно кварцевому резонатору подключен резистор R7? Цепочка L2, R10?

6.24. Какие элементы принципиальной схемы ЧМ генераторов (рис.П2.1 и , рис.П3.1) и почему влияют на завал АЧХ в области нижних частот? В области верхних частот?

6.25. Поясните смысл понятия крутизны модуляционной характеристики ЧМ генератора. Как экспериментально можно определить ее величину?

6.26. Почему в процессе модуляции автогенератора происходит сдвиг центральной частоты? Уменьшается (увеличивается) ли при этом центральная частота?

6.27. Как реализовать формирователь сигнала с дискретной ЧМ?

6.28. Как практически определить ширину полосы частот, занимаемой ЧМ сигналом?

6.29. Как практически определить вид угловой модуляции (ЧМ или ФМ)?

6.30. Чем обусловлено смещение центральной частоты на выходе формирователя ЧМ сигнала, в котором модуляция осуществляется с помощью варикапа?

6.31. Какой тип варактора (с резким или свехрезким p-n- переходами) целесообразно использовать для осуществления ЧМ?

6.32. Выполните схемотехнический анализ принципиальной ЧМ кварцевого генератора (рис. П3.1), включающий определение элементов его эквивалентной схемы, цепей питания, смещения и управления, а также их взаимное соединение.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ О УГЛОВОЙ МОДУЛЯЦИИ

Различают два основных метода получения угловой модуляции в передатчиках: На промежуточной частоте с последующим умножением или преобразованием частоты; на выходной частоте, что характерно для передатчиков на малой мощности и некоторых типов СВЧ передатчиков [2].

Выбор методов формирования зависит от требований предъявляемых передатчику с угловой модуляцией по допустимым нелинейным искажениям и стабильности частоты. Во многих случаях для обеспечения требуемого индекса модуляции используются умножители частоты.

Ширину спектра ЧМ колебания можно оценить по известному соотношению

$$2\Delta F=2F(1+M+\sqrt{M}) , \qquad (П1.1)$$

где F - частота модулирующего сигнала; $M = \Delta f_д/F$ - индекс модуляции; $\Delta f_д$ - девиация частоты.

При частотной модуляции девиация частоты должна изменяться в соответствии с изменением амплитуды модулирующего сигнала.

Рассмотрим основные методы получения ЧМ. Условно их можно разделить на 4 группы: Прямые (непосредственное получение ЧМ в модулируемом автогенераторе); Косвенные (преобразование ФМ в ЧМ); Цифровые (получение ЧМ в цифровых частотных модуляторах, где модулирующий сигнал управляет коэффициентом деления делителя частоты); Комбинированные (сочетание прямых и косвенных методов).

Прямая частотная модуляция осуществляется изменением параметров с помощью варакторов (варикапов), варикондов, реактивного транзистора, нелинейные индуктивности, железо итриевого граната (на частотах от нескольких сотен мегагерц до десятков гигагерц); В диодных генераторах (на линейно диоде, ЛПД, диодах Ганна) путем изменения напряжения смещения на диоде.

Цифровые методы получения ЧМ применяются на сравнительно низких модулирующих частотах, так как с ростом частоты увеличиваются нелинейные искажения, обусловленные квантованием модулирующего сигнала. Главное достоинство цифровых методов высокая стабильность средней частоты.

При комбинированных методах в ЧМ колебании широкий спектр модулирующего сигнала разделяют с помощью фильтров нижних и верхних частот на 2 части: низкочастотную и высокочастотную. И затем низкочастотная часть спектра осуществляется прямым методом, а высокочастотная косвенным методом.

В передатчиках радиорелейной и космической связи с ЧМ предъявляются высокие требования по линейности модуляционных характеристик при девиации частоты десять мегагерц и более. В этом случае используется прямой метод формирования ЧМ реализованный в LC –автогенераторах с помощью варакторов. Однако ЧМ LC – автогенераторы не позволяют получить без дополнительных мер приемлемые параметры ЧМ колебания: По нелинейным искажениям, нестабильность средней частоты и широкополосности. В таких случаях приходится использовать косвенный метод получения ЧМ с увеличением девиации частоты путем многократного умножения частоты, что приводит к увеличению шумов, либо прямой метод с использованием методов линеаризации модуляционных характеристик и использования систем автоподстройки.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

РАСЧЕТ ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННОГО LC-ГЕНЕРАТОРА

Расчет формирователя радиосигнала с угловой модуляцией начинается с выбора метода получения угловой модуляции. В современных системах радиосвязи получил прямой метод получения ЧМ .Принципиальные схемы исследуемого генератора приведена на рис.П2.1.

1. Требования к формирователям радиосигналов определенны соответствующими ГОСТ. Расчет начинается с анализа исходных данных, которые включают следующие основные параметры:

- диапазон модулирующих частот $F_{min} \cdots F_{max}$;
- индекс модуляции или девиации частоты;
- допустимый коэффициент нелинейных искажений;
- нестабильность центральной, средней частоты;
- уровень паразитной амплитудной модуляции.

2. После проведенного анализа выбирается схема частотно -модулированного генератора и тип управителя частоты. Среди большого разнообразия схем формирователей ЧМ колебания, наилучшие результаты, как правило достигаются в схеме LC автогенератора с емкостной обратной связью и дополнительным конденсатором (схема Клаппа) с заземленным выходным электродом (коллектором).

Основу лабораторной установки составляют LC ЧМ генератор (рис. П2.1).

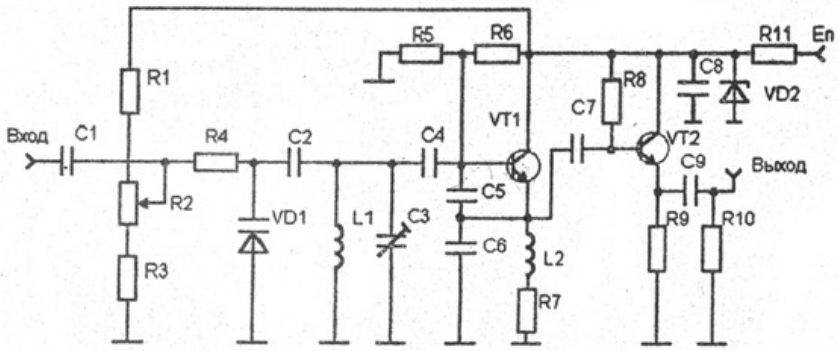

Рис.П2.1.Принципиальная схема частотно-модулированного LC генератора

LC автогенератор собран на транзисторе VT1 по схеме с емкостной обратной связью (C5) и дополнительным конденсатором (C4) с заземленным коллектором. Элементы L1, C3, C4, C5 и C6 образуют колебательную систему автогенератора. Заземление коллектора осуществляется блокировочным конденсатором C8, имеющим малое сопротивление для РЧ. С помощью резисторов R5 и R6 с параметрического стабилизатора напряжения (R11, VD2) на базу транзистора VT1 подается отпирающее смещение для обеспечения режима мягкого возбуждения. После самовозбуждения возникшая постоянная составляющая тока эмиттера создает на резисторе R7 напряжение автосмещения, которое при увеличении времени переходного процесса возрастает, что приводит к уменьшению напряжения смещения на транзисторе и, соответственно, приводит к установлению стационарного режима и обеспечивает его жесткость.

Частотная модуляция в этом устройстве осуществляется с помощью варикапа VD1, связанного с колебательным контуром конденсатором связи C2. Смещение на варикап подается через резистивный делитель R1, R2 и R3.

Напряжение смещения на варикапе регулируется потенциометром R2. Управляющее (модулирующее) напряжение на вход устройства поступает через блокировочный конденсатор С1. Резистор R4 устраняет шунтирующее действие источника управляющего сигнала на варикап.

Кроме ЧМ- автогенератора, исследуемое устройство содержит буферный усилитель, собранный на транзисторе VT2 по схеме с общим коллектором, имеющим большое входное и малое выходное сопротивления. Это позволяет устранить шунтирующее действие малого сопротивления внешней нагрузки на работу автогенератора и измерительной аппаратуры с малым входным сопротивлением (50 Ом).

3. Далее осуществляется выбор управителя частоты. Как следует из выше изложенного во многих практических случаях целесообразно использовать барьерные режимы работы . При этом варикап должен иметь вольт фарадную характеристику (ВФХ) с резким законом изменения емкости p-n перехода (коэффициент нелинейности ВФХ равен 0.5)

Кроме этого из-за нелинейности ВФХ варикапа уровень нелинейных искажений и сдвиг центральной частоты получается достаточно высокими, что обусловлено особенностями ВФХ варакторов, что компенсирует четные гармоники нелинейных искажений и уменьшает значение сдвига центральной частоты.

Для достижения наибольшей линейности статической модуляционной характеристики (СМХ) необходимо использовать встречно-последовательное включение варикапов в контур автогенератора.

4. Проводится расчет параметров элементов принципиальной схемы автогенератора (рис.П2.1). Электрический расчет автогенератора включает:

- выбор типа транзистора;
- выбор режима работы АЭ и расчет его параметра;

- энергетический расчет АЭ;

- расчет параметров элементов генераторной части принципиальной схемы;

- расчет параметров элементов цепей смещения и питания.

Расчетные соотношения приведены в [3…5].

5. Расчет модулятора.

- Уточняем схему подключения контура автогенератора к частотному модулятору и определяем параметры выбранного типа варикапа: значение начальной емкости, добротность и допустимые напряжения;

-определяем относительную девиацию частоты;

-определяем изменение емкости контура автогенератора для получения заданной девиации частоты;

-определяем коэффициент включения варикапа p_m.

-выбираем напряжение смещения E_T в пределах от -5 до -10 вольт с целью обеспечения наименьших нелинейных искажений. И определяем среднее значение емкости варикапа $C_{в0} = \sqrt{C_{в\,max} \cdot C_{в\,min}}$;

-определяем сопротивления делителя напряжения задающего начальное смещение на варикапе. Из условия $R_д = E_п / I_д$, где $E_п$ - напряжение питания; $I_д = (100 \cdots 1000) I_{обр}$, где $I_{обр}$ - обратный ток варикапа в рабочей точке.

6. Расчет девиации частоты осуществляется с помощью выражения:

$$\Delta f_m = \frac{0{,}25 P_m^2 f_0 C_{B0} U_F}{(C_\Sigma + P_m C_{B0}) | E_T + E' |}, \qquad (П1.2)$$

где f_0 - средняя частота; U_F - амплитуда управляющего сигнала; C_Σ - эквивалентная (суммарная емкость контура АГ); E' - напряжение отсечки.

Коэффициент нелинейных искажений по второй гармонике:

$$K_{F2} = \frac{0{,}5\Delta f_m\left(P_m^{-1} + C_\Sigma/\left(P_m^2 C_{B0}\right)\right)}{f_0}. \qquad (П1.3)$$

Сдвиг центральной частоты:

$$\Delta f_F = \frac{-0{,}5\Delta f_m^2\left(P_m^{-1} + C_\Sigma/\left(P_m^2 C_{B0}\right)\right)}{f_0}. \qquad (П1.4)$$

Для уменьшения нелинейных искажений варикап следует выбирать либо с резким, либо со сверхрезким p-n переходами ($\gamma \geq 1$). Это следует из соотношений, приведенных в [2]: девиация частоты, обусловленная основной частотой модуляции F с ростом коэффициента нелинейности γ растет быстрее по сравнению с девиацией частоты ее гармоник и прежде всего для частоты 2F.

Чтобы частотная модуляция не сопровождалась паразитной амплитудной модуляцией, сумма амплитуд высокочастотного U_f и модулирующего U_F сигналов должна быть меньше напряжения смещения на варикапе:

$$U_f + U_F < |E_T|, \qquad (П1.5)$$

что необходимо для обеспечения барьерного режима работы p-n перехода. С этой целью, а также для уменьшения влияния варикапа на стабильность частоты автогенератора, необходимо выбирать варикап с возможно большей добротностью.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ОСЕБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ЧАСТОТНО - МОДУЛИРОВАННЫХ КВАРЦЕВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Известно несколько принципов построения схем кварцевых автогенераторов. На практике наибольшее распространение получила схема с кварцем в контуре [1,2,4], обладающая наибольшей управляемостью. Один из возможных вариантов схемы кварцевого ЧМ генератора и используемого в лабораторной установке приведен на рис. П3.1.

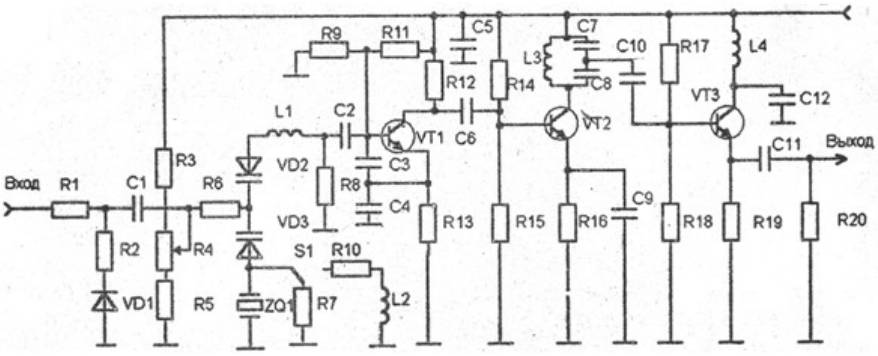

Рис.П3.1. Принципиальная схема кварцевого ЧМ генератора

Задающий генератор в этой схеме выполнен на транзисторе VT1 по схеме с резонатором ZQ1 в LC- контуре, образованным элементами L1, C2, C3 и C4 и заземленным коллектором по ВЧ (конденсатор C5). Управление частотой автогенератора осуществляется двумя варикапами VD2 и VD3, включенными встречно-последовательно для увеличения девиации частоты и уменьшения нелинейных искажений. Резистор R7 шунтирует кварцевый резонатор, что исключает возникновение паразитных колебаний за счет емкости Co резонатора. В схему введена и корректирующая цепочка R10, L2 для линеализации модуляционной характеристики.

Для уменьшения нелинейных искажений служит также и корректирующая цепочка RI, R2 и VD1. Буферный усилитель представляет двухкаскадный усилитель. Первый каскад собран на транзисторе VT2 по схеме с общим эмиттером, а второй - по схеме с общим коллектором, что позволяет получить достаточно высокий уровень сигнала (около 1 вольта) на выходе формирователя на нагрузке R10=50 Ом.

Возможности изменения частоты кварцевого автогенератора определяются разносом Δf между частотами последовательного и параллельного резонансов кварцевого резонатора, определяемого из соотношения [2]

$$\frac{\Delta f}{f_1} \approx 0{,}5C_1/C_0.. \qquad \text{(П3.1)}$$

Экспериментально установлено, что относительное изменение частоты возможно в пределах до $0{,}3\Delta f/f_1$, а абсолютное изменение составляет (2...3)10^{-4} частоты f_1.

Для этой схемы при условии компенсации статической емкости компенсирующей индуктивностью и для варикапа с резким переходом девиация частоты, основные характеристики определяются выражениями:

$$\Delta f_m = \frac{0{,}25 f_1 C_1 U_F}{C_{B0}|E_T + E|}, \qquad \text{(П3.2)}$$

где f_1- частота последовательного резонанса; C_1 - динамическая емкость варикапа.

Коэффициент нелинейных искажений по второй гармонике

$$K_{F2} = \frac{0{,}5\Delta f_m C_{B0}}{f_1 C_1}; \qquad \text{(П3.3)}$$

$$\Delta f_F = \frac{0{,}5\Delta f_m^2 C_{B0}}{f_0 C_1}. \qquad \text{(П3.4}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВАРИКАПОВ

Тип варикапа	Емкость $C_в$ при E=-4 В, пФ	Добротность $Q_в$ при E=-4 В	Максимально допустимое обратное напряжение $U_{обр}$, В	Максимальный обратный ток $I_{обр}$, мкА
КВ102А	14…23	40	40	1
КВ102Б	19…30	40	40	1
КВ102В	25…40	40	40	1
КВ117А	26,4…39,6	180	25	1
КВ117Б	26,4…39,6	150	25	5
КВ110А	12…18	300	45	1
КВ110Б	14,4…21,6	300	45	1
КВ110В	17,6…26,4	300	45	1
КВ119А	42…63	100	10	1
КВС111А	36,3	200	30	1
КВС120А	280..320	100	32	

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

СПРАВОЧНЫЕ ДАНЫЕ КВАРЦОВЫХ РЕЗОНАТОРОВ

Диапазон частот, кГц	Срез пьезоэле мента	Тип резона-тора	R_1, Ом	δ, 10^{-3}	$(C_1/C_0)\cdot 10^3$	$Q_{кр}\cdot$
1…2	АТ	В	150…50	4…0,5	2…1,5	150…10
	АТ	Г	300…100	8…1	2…1,5	70…350
	ИТ	В	250…120	12…2,5	0,6…0,4	200…10
2…8	АТ	В	25…5	1,5…0,3	2…1,5	400…20
	АТ	Г	75…15	4…1	2…1,5	
	БТ	В	50…10	2,5…0,6	0,7…0,5	800…30
	БТ	Г	150…20	7…1,2	0,7…0,5	300…12
	ИТ	В	40…8	3…1	0,6…0,4	450…20
	РТ	В	180…40	7…3	0,15…0,1	1000…3
8…30	АТ	В	12…3	2,5…1	5…3,5	80…400
	АТ	Г	40…10	8…1,5	5…3,5	50…100
	БТ	В	25…6	4…1,5	1,8…1,5	200…80
	БТ	Г	60…25	10…3	1,8…1,5	100…20
	ИТ	В	30…6	6…2	1,65…1,2	100…40
	РТ	В	100…20	15…5	0,3…0,2	200…10

Примечание. В - вакуумные, Г - герметизированные; АТ, БТ - резонаторы толщинно-сдвиговых колебаний; ИТ - резонаторы изгибо-толщинных колебаний; РТ- резонаторы-термостаты; R_1 - динамическое сопротивление КР; $\delta=2\pi f_1 R_1 C_0$; $Q_н$, - добротность динамической ветви кварцевого резонатора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Генерирование колебаний и формирование радиосигналов [Текст]: учебник для вузов/ В.Н.Кулешов, Н.Н. Удалов, В.М. Богачев и др.; под. ред. В.Н. Кулешова и Н.Н. Удалова.- М.: Издат. дом МЭИ, 2008.- 416 с.

2. Радиопередающие устройства[Текст]: учебник для вузов/ В.В. Шахгильдян, В.Б. Козырев, А.А. Ляховкин и др.; под ред. В.В. Шахгильдяна. – М.: Радио и связь, 2003.-560 с.

3. Шумилин, М.С. Проектирование транзисторных каскадов передатчиков [Текст] / М.С.Шумилин, В.Б.Власов, В.А. Власов. – М.: Радио и связь, 1987. – 320 с.

4. Ворона, В.А. Радиопередающие устройства. Основы теории расчета [Текст]. В.А. Ворона – М.: Горячая линия – Телеком. 2007. – 384 с.

5. Бочаров М.И. Построение и расчет схем автогенераторов[Текст]: учеб. пособие.- Воронеж. ВГТУ, 2007. – 157 с.

6. Справочная книга радиолюбителя-конструктора[Текст]: в 2-х кн. /Р.Т.Варфоломеев, В.Я.Замятин, Л.М. Капчинский и др./ Под ред. Н.И.Чистякова .- М.: Радио и связь, 1993. Кн. 2.

СОДЕРЖАНИЕ

1.Общие указания по работе…….....1
2. Домашнее задание …….....2
3.Методические указания по выполнению домашнего задания …….....4
4.Лабораторное задание…….6
5.Содержание отчета……..9
6.Контрольные вопросы……...10
Приложение 1.Краткие теоретические сведения о угловой модуляции…….. …..... 13
Приложение 2.Расчет частотно-модулированного LC-генератора….....15
Приложение 3.Особенности построения частотно-модулированных кварцевых генераторов……..20
Приложение 4.Электрические параметры варикапов……...22
Приложение 5.Справочные данные кварцевых резонаторов...23
Библиографический список ……24

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторной работы «Формирование ЧМ колебаний в LC и кварцевых генераторах с помощью варикапов» по дисциплинам «Устройства генерирования и формирования радиосигналов» специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» и « Радиопередающие устройства» специальности 11.03.01 «Радиотехника» (бакалавры) направления «Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов» очной и заочной форм обучения

Составитель

Бочаров Михаил Иванович

В авторской редакции подписано в печать14.09.2017.
Формат 90х84/16 бумага для множительных аппаратов.
Усл. печ. л.1.7. Уч.-изд. л. 1.5. Тираж 50 экз. «С»
Зак. №

ФГБОУ ВО, «Воронежский государственный технический университет»
394026 Воронеж, Московский просп. 14