

IIRE ФРЕТ

(повне найменування інституту, назва факультету)

КАФЕДРА РАДІОТЕХНІКИ

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка до магістерської роботи

(рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему РАДІОМАЯК ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ
ЩВІАКОСТІ І НАПРЯМКУ ПІДВОДНИХ ТЕЧІЙ

Виконав: студент 6 курсу, групи РІ-213.ес
спеціальності (напряму підготовки)

ОПН "РАДІОТЕХНІКА"

(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Мірки П.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник Черненко М.П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Касьян М.М.

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет ІТРЕ ФРЕТ
 Напрямок спеціальності Радіотехніки та телекомунікацій
 Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) Магістр
 Спеціальність 172 Телекомунікацій та радіотехніки
 (код і назва)
 Напрямок підготовки ОПМ Радіотехніка
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Шилова

“10” 12 2018 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Прізвище, ім'я, по батькові Павлу Миколайовичу
 Назва роботи Радіомаяк для вимірювання швидкості
й напрямку підводних течій
 Виконавець роботи Чирисбродов Михайло Петрович, к.т.н., доцент
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
 Визначено наказом вищого навчального закладу від “31” жовтня 2018 року № 305
 Термін подання студентом роботи 10 грудня 2018р.
 Вихідні дані до роботи Вихідна потужність - 4,9 Вт, коефіцієнт
зміщення спотворень - 10%, робочий діапазон частот 4-14 МГц,
напруга живлення - 24 В, частота модуляції - 1100 Гц, висота антени - 4 м.
Вимоги до висхідної швидкості роботи в водному середовищі
безпечна неспадковість сигналу калібрування 5.10⁻⁶
 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розв'язати)
 1. Приклади побудови радіомаяків
 2. Розробка функціональної схеми передавального тракту
 3. Електричний розрахунок елементів схеми
 4. Опис конструкції передатчика
 5. Техніко-експлуатаційні розрахунки
 6. Охорона праці
 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
 1. Презентація в Power Point
 2. Функціональна схема передавального тракту - 1 л. 3. Структурна схема навчальної системи - 1 л. 4. Принципова схема радіомаяка
 5. Розрахунок елементів на платі-паяці

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Прізвище, дата виконання завдання
Економічна частина	Остапенко В.В.	01.09	01.09
Охорона праці	Коробко О.В.		
Нормоконтроль	Мороз П.В.		
I-II розділи	Чирнаков М.П.		

7. Дата видачі завдання 03.09.18р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи
1.	Збір літератури	01.09-09.09
2.	Розробка структурної схеми системи	11.09-17.09
3.	Розробка та розрахунок функціональної схеми. Вибір елементної бази	20.09-21.09
4.	Виконання електричних розрахунків	01.10-14.10
5.	Розробка конструкції радіомаяка	15.10-21.10
6.	Виконання графічного матеріалу	22.10-04.11
7.	Виконання техніко-економічних розрахунків.	06.11-23.11
8.	Виконання частини "Охорона праці"	24.11-29.11
9.	Коректування доповідної частини	30.11-03.12
10.	Оформлення пояснювальної записки	04.12-09.12
11.	Підготовка презентації	10.12-11.12

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Мороз П.В.

(прізвище та ініціали)

Чирнаков М.П.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ОЗ:147страниц, 26рисунков, 13 таблиц, 31источник

Целью работы является разработка схемы и конструкции передающего тракта радиомаяка, работающего в навигационной системе измерения скорости и направления подводных течений в прибрежной акватории Черного моря.

Функциональная схема тракта содержит: задающий кварцевый автогенератор, умножитель частоты, согласующий каскад, усилитель мощности, генератор тональной посылки, генератор маркерного сигнала.

В ПЗ выполнен: обзор построения радиомаяков и навигационных систем, электрический расчет основных узлов передающего тракта. Разработана конструкция и печатная плата радиомаяка.

Выполненные технико-экономические расчёты показывают достаточную эффективность разработки, а также рассмотрены мероприятия по безопасности труда при производстве радиоэлектронной аппаратуры.

КВАРЦ, РЕЗОНАТОР, ФИЛЬТР, СОГЛАСОВАНИЕ, УСИЛИТЕЛЬ, МОЩНОСТЬ, АНТЕННА, ЧАСТОТА, МОДУЛЯЦИЯ, СИГНАЛ, ТОНАЛЬНЫЙ, МАРКЕРНЫЙ, ИСТОЧНИК, ПИТАНИЯ, АККУМУЛЯТОР

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ	7
ВВЕДЕНИЕ	9
1 ОБЗОР ПОСТРОЕНИЯ РАДИОМАЯКОВ И НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ	13
1.1 Радиомаяки	13
1.2 Методы определения местоположения системы «Глонасс»	20
1.3 Системы определения координат на основе разностно-дальномерного метода	30
1.4 Определение местоположения по доплеровскому сдвигу частоты..	34
1.5 Индивидуальный аварийный радиомаяк MR510.....	42
1.6 Аварийно-спасательный радиомаяк АРМ-406 АС1	44
1.7 Описание структурной схемы навигационной системы	49
2 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ.....	51
2.1 Описание функциональной схемы передающего тракта	51
2.2 Расчет функциональной схемы.....	55
2.3 Выбор элементной базы	58
3 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ЭЛЕМЕНТОВ СХЕМЫ	62
3.1 Расчет кварцевого автогенератора	62
3.2 Схема двухкаскадного усилителя мощности	69
3.3 Расчет генератора маркерного сигнала.....	83
3.4 Расчет генератора тональной посылки	87
4 ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРИБОРА	91
5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ	101
5.1 Оценка технического уровня проектируемого изделия.....	101
5.2 Расчет затрат на разработку и проектирование	103
5.3 Расчет себестоимости радиомаяка	104
5.3.1 Расчет материальных затрат	104
5.3.2 Расчет косвенных статей затрат	107
5.4 Расчет капитальных вложений	111

5.5 Расчет эксплуатационных расходов.....	112
5.6 Расчет годового экономического эффекта	113
6ОХРАНА ТРУДА И БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧС.....	116
6.1 Анализ потенциальных опасностей	116
6.2 Мероприятия по технике безопасности.....	117
6.3Мероприятия по обеспечению производственной санитарии и гигиены труда.....	118
6.4Мероприятия по пожарной безопасности	124
6.5Мероприятия по обеспечению безопасности в условиях воздействия СВЧ электромагнитных полей.....	126
6.6 Эргономические требования к рабочему месту.....	131
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	138
ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК.....	140
Приложение А.	143
Приложение Б	144

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

АГ	—	автогенератор
АИС	—	автоматизированная измерительная система
АМ	—	амплитудная модуляция
АСКД	—	автоматическая система контроля и диагностики
АРМ	—	автоматический радиомаяк
АС	—	абонентская станция
АЦП	—	аналого-цифровой преобразователь
БС	—	базовая станция
БФ	—	буферный усилитель
ВЧ	—	высокая частота
ГТИ	—	генератор тактовых импульсов
ГЧММС	—	гауссовская частотная модуляция с минимальным сдвигом
ЖКИ	—	жидкокристаллический индикатор
ИМС	—	интегральная микросхема
ИОН	—	источник опорного напряжения
КА	—	космический аппарат
КПП	—	коаксиально полосковый переход
МПЛ	—	микрораспределительная линия
НЧ	—	низкие частоты
ОЗУ	—	оперативное запоминающее устройство
ОЭ	—	схема с общим эмиттером
ПЗУ	—	постоянное запоминающее устройство
ПКИ	—	покупные комплектующие изделия
ПК	—	персональный компьютер
ПП	—	печатная плата
Р	—	радиомаяк, (радиобуй)

РЭА	–	радиоэлектронная аппаратура
РНС	–	радио навигационная станция (система)
СНС	–	станция навигационного слежения
СНиП	–	строительные нормы и правила
СОД	–	система сбора и обработки данных
СЦ	–	согласующая цепочка
УКВ	–	ультра короткие волны
УМ	–	усилитель мощности
УМН	–	умножитель частоты
ФГ	–	фильтр гармоник
ФНЧ	–	фильтр нижних частот
ЧМ	–	частотная модуляция

ВВЕДЕНИЕ

Течения морей и океанов обусловлены различными явлениями и имеют сложный характер. Их основные параметры, скорость и направление, меняются во времени в широком диапазоне периодов и длин. Измерение таких течений сопряжено с техническими трудностями и нередко осуществляются со значительными погрешностями, часто существенно превышающими полезный сигнал. Это вызвано не столько погрешностями самих приборов, сколько методами измерения течений. Данные измерений обрабатываются и анализируются, по ним делаются научные выводы об исследуемых явлениях, естественно, в этом случае неверные. При этом зачастую о недостатках в измерении течений не знают не только учёные, которые их анализируют и делают выводы, но и те, кто измеряет и их обрабатывает.

Обычно для измерения течений в фиксированных точках моря используются различные приборы с чувствительными к скорости потока воды (течениям) датчиками, конструктивные особенности которых позволяют разделить приборы на два вида: векторные и компонентные. Векторные приборы имеют отдельно датчики скорости и направления течений (вертушки ВММ, типа Экмана-Мерца, БПВ, ДИСК, Поток, Вектор-2). Компонентные приборы имеют датчики компонент скорости течений и датчики положения корпуса прибора относительно магнитного меридиана (АЦИТТ). По измерениям компонент скорости течения и положения прибора рассчитываются на ЭВМ все необходимые параметры течений: модуль, направление проекции на параллель и меридиан.

В режиме нормальной работы приборов (типа вертушек ВММ, БПВ, Диск, Поток, АЦИТТ) измеряется средняя за интервал времени между отсчётами скорость течения и практически мгновенное его направление. Обычно интервал времени между измерениями (дискретность отсчёта) принимается равным 15 – 60 мин. Однако, в реальных условиях приборы регистрируют не только исследуемые

течения, но и погрешности, вызываемые движением самого прибора, течениями ветровых волн и зыби и т.д. Часто влияние этих процессов бывает очень велико.

Вместе с тем, в реальной ситуации в море присутствуют высокочастотные течения, создаваемые ветровыми волнами и зыбью, период которых существенно меньше дискретности отсчётов. С одной стороны они вызывают движения буя и, соответственно, через движения троса передаются движениям прибора, с другой стороны, воздействуют непосредственно на сами приборы. Эти движения могут перемещать приборы неким сложным образом так, что их показания будут существенно отличаться от параметров исследуемых течений. Приборы могут перемещаться вместе с бумом и тросом, совершая вращательные и поступательные движения. В результате ими будет зарегистрирована величина, близкая к скорости движения приборов, а датчики направления течения регистрируют произвольные значения, так как моменты их срабатывания происходят при произвольном, “непредсказуемом” положении приборов. Движения буя через трос передаются приборам, установленным не только на верхних горизонтах, но и на значительной глубине. При этом дискретность отсчётов будет существенно больше периодов движения приборов. Чтобы исключить подобные погрешности в измерениях буй притапливают до глубины, куда не проникают движения ветровых волн и зыби, что составляет для океана $\sim 50 - 100$ м.

Измеритель течений Вектор-2. Разработчиком этого прибора, впрочем, как и АЦИТТа, является Р.А.Балакин. Прибор вертушечного типа, векторный. Он предназначен для продолжительных автономных измерений течений в океанах и морях с обычной буйковой станции. Ранее отмечались недостатки существующих векторных приборов, одним из которых является свойство приборов измерять среднюю за некоторый интервал времени скорость течения и в тоже время мгновенно направление, что приводит к большим погрешностям в измерении течений и потере информации. Прибор Вектор-2 исключает этот недостаток и достигается это за счёт того, что прибор имеет систему опроса датчиков скорости и направления течений с высокой частотой опроса, намного превышающей частоту пульсирующих движений буя и волн. По этим измерениям удаётся

исключить помехи создаваемые движениями прибора за счёт перемещения троса и воздействия ветровых волн и в “чистом” виде зафиксировать параметры течений.

Прибор выпускается серийно. При постановке прибора в море рекомендуется в некоторых случаях всё же притапливать буй и выводить приборы на глубину ниже проникновения ветровых волн и зыби. Объясняется это тем, что не во всех случаях существует возможность полностью исключить из показаний приборов погрешности, создаваемые движением буя и воздействием волн на прибор.

Радиостанции, служащие для ориентировки судов, называют радиомаяками. Радиомаяки передают специальные радиосигналы в определенном порядке и по расписанию. Дальность действия и место установки радиомаяков определяются навигационными условиями.

Радиомаяки кругового излучения обычно называют круговыми или ненаправленными. Их антенное устройство излучает радиоволны по всем направлениям равномерно. Эти радиомаяки передают специальные, заранее обусловленные сигналы. Их устанавливают в непосредственной близости от маяков, а также на плавучих маяках для облегчения радиоопределения и предотвращения ошибок при радиопеленговании. С этой же целью несколько круговых радиомаяков объединяют в навигационную группу. В этом случае они работают на одной и той же волне поочередно. Каждый радиомаяк имеет свои позывные сигналы, имеющие присущие данному радиомаяку тон.

Радиомаяки кругового излучения работают круглосуточно (без перерывов) по определенному расписанию либо по запросам судов, в зависимости от сложности условий плавания в местах их установки — частые туманы, оживленность судоходства и т. п., а также от ряда других причин.

Данный дипломный проект посвящен разработке радиомаяка для измерения скорости и направления движения подводных течений в акватории Черного моря с применением современной элементной базы. При проектировании радиомаяка

главной целью было простое схемотехническое решение для получения минимально возможной цены изделия.

1 ОБЗОР ПОСТРОЕНИЯ РАДИОМАЯКОВ И НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Построению приборов контроля основных параметров морских течений в периодической печати посвящено достаточное количество публикаций, в которых представлены различные приборы и методы измерений основных характеристик подводных течений. Рассмотрим кратко наиболее прогрессивные методы, имеющие хорошую точность измерений.

1.1 Радиомаяки

Радиостанции, служащие для ориентировки судов, называют радиомаяками. Радиомаяки передают специальные радиосигналы в определенном порядке и по расписанию. Дальность действия и место установки радиомаяков определяются навигационными и погодными условиями.

Радиомаяки кругового излучения обычно называют круговыми или ненаправленными. Их антенное устройство излучает радиоволны по всем направлениям равномерно. Эти радиомаяки передают специальные, заранее обусловленные сигналы. Их устанавливают в непосредственной близости от маяков, а также на плавучих маяках для облегчения определения и предотвращения ошибок при радиопеленговании. С этой же целью несколько круговых радиомаяков объединяют в навигационную группу. В этом случае они работают на одной и той же волне поочередно. Каждый радиомаяк имеет свои позывные сигналы, имеющие присущие данному радиомаяку тон.

Радиомаяки кругового излучения работают круглосуточно по определенному расписанию либо по запросам судов, в зависимости от сложности условий плавания в местах их установки, частые туманы, оживленность судоходства и т. п., а также от ряда других причин. Определение места судна по сигналам кругового радиомаяка производится судовым радиопеленгатором. С успехом используются радиомаяки в судовождении, предназначенные для

аэронавигации аэрорадиомаяки, установленные на побережье. Они имеют определенное положение, работают по определенному расписанию и обладают большой дальностью действия.

Створные, или курсовые, радиомаяки имеют антенное устройство, состоящее из двух неподвижных рамок, расположенных под углом друг к другу, и коммутатора для поочередного подключения рамок к передатчику. Такое устройство антенны позволяет работать радиомаяку по методу «коммутации переплетающимися сигналами». Створный радиомаяк узконаправленными пучками передает два сигнала, например, буквы А и Н. Пучки направлены так, что секторы слышимости А (*—) и Н (—*) частично накладываются друг на друга. В результате образуется равносигнальная зона, где слышимые с одинаковой силой звуки А и Н сливаются в одно сплошное тире (рис. 1.1). По обе стороны от равносигнальной зоны образуются двухсигнальные, в которых один из сигналов слышен сильнее другого. Поток сигналов направляется так, чтобы равносигнальная зона целиком помещалась в границах фарватера. Тогда при отклонении от середины фарватера и при приближении к его кромке судно переходит границу равносигнальной зоны, попадая в двухсигнальную. С этого момента наблюдатель начнет принимать с большей силой один из сигналов А или Н (в зависимости от направления отклонения).

Всенаправленные радиомаяки с веером вращающихся равносигнальных зон позволяют определить радиопеленг повышенной точности, без учета курса судна и на значительно большем расстоянии, чем круговые радиомаяки.

Во время работы такого радиомаяка в окружающем пространстве создается тире-точечная перемещающаяся диаграмма направленности излучения.

Определяют место судна по этому радиомаяку с помощью любого радиоприемника, отсчитывая передаваемые точки (или тире). Полученный таким способом ортодромический пеленг на судно от всенаправленного радиомаяка дает изолинию в виде дуги большого круга, пересекающей меридиан этого радиомаяка под углом, равным ортодромическому пеленгу.

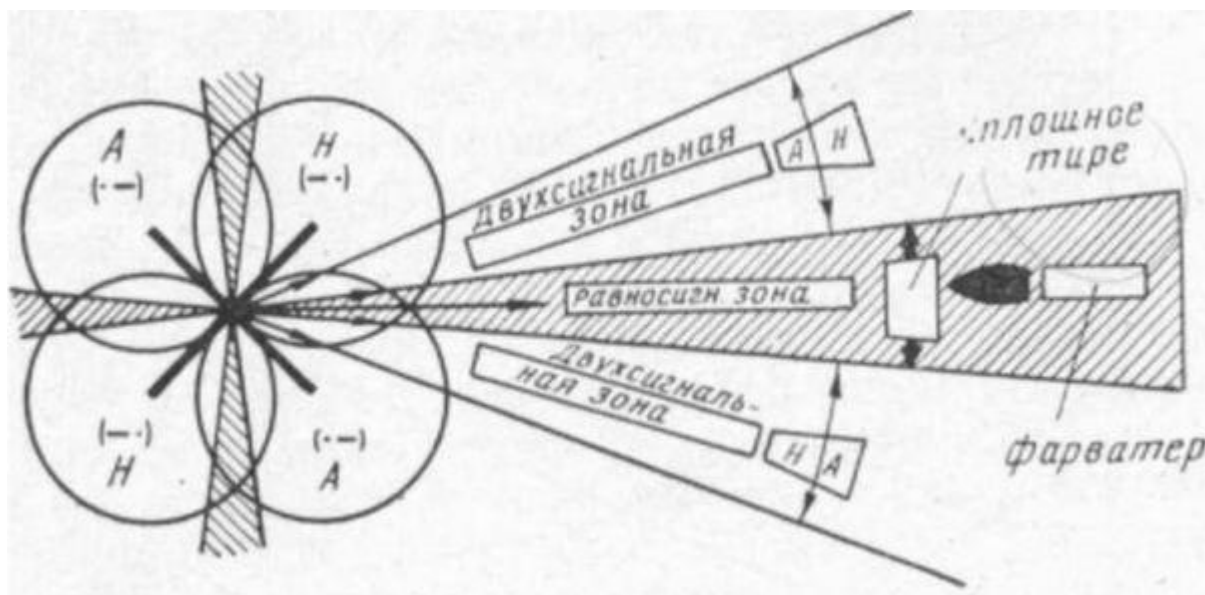


Рисунок 1.1 – Диаграмма работы створного радиомаяка

Существуют специальные карты изолиний, значительно облегчающие прокладку линий положения при определении места судна по всенаправленным радиомаякам (рис. 1.2). Сетки изолиний вычерчивают обычно на картах в меркаторской проекции (1) как правило, на таких картах нанесены различными цветами изолинии от двух – трех радиомаяков. Для облегчения работы границы секторов (для начального момента каждого цикла работы радиомаяка) отмечены утолщенными линиями. Каждый сектор имеет условную нумерацию. Внутри каждого сектора проведено несколько более тонких линий того же цвета, соответствующих числу сигналов, кратному 5, 10, 20 или 60, в зависимости от расстояний до радиомаяков. Кроме того, в каждом секторе показаны сигналы (точки или тире), которые наблюдатель должен услышать до прихода равносигнальной зоны. Линию положения на таких картах прокладывают следующим образом. Настроив приемник на частоту выбранного секторного радиомаяка, прослушивают его позывные и следующее за ними длинное тире, предназначенное для пеленгования секторного радиомаяка с помощью судового радиопеленгатора. После длинного тире наблюдатель услышит подачу специальных сигналов – точек или тире.



Рисунок 1.2 – Карта изолиний

При этом передача начнется с передачи точек, если судно находится в «секторе точек»; если судно находится в «секторе тире», то непосредственно после длинного тире будут прослушиваться короткие.

Для определения линии положения судна достаточно точно подсчитать количество специальных сигналов (точек или тире), следующих после подачи длинного тире, до появления равносигнальной зоны. Если, например, до появления равносигнальной зоны было подсчитано 20 точек, то это означает, что судно находится в одном из «секторов тире» на изолинии, соответствующей 20 точкам. Остается лишь определить сектор нахождения судна, руководствуясь

счислимым местом или приближенным радиопеленгом. Прокладку линии положения, соответствующей числу принятых сигналов, производят непосредственно на карте изолиний. Для этого в районе счислимого места судна карандашом проводят от руки кривую линию, соответствующую числу принятых до равносигнальной зоны сигналов, интерполируя «на глаз», если это требуется. В результате нанесения изолиний от трех секторных радиомаяков на карте изолиний образуется небольшой треугольник от их пересечения. Центр такого треугольника принимают за обсервованное место судна, которое при необходимости можно перенести на путевую карту. Подсчитать точно количество сигналов до равносигнальной зоны невозможно, так как часть сигналов вблизи этой зоны «пропадает» (их не слышно). Для восстановления «потери» поступают следующим образом. Всего в течение каждого цикла работы радиомаяка наблюдатель смог бы (при отсутствии «потерь») услышать ровно 60 сигналов: часть до, часть после равносигнальной зоны. Таким образом, если подсчитывать сигналы не только до равносигнальной зоны, но и после нее до конца цикла, то можно определить общую «потерю» сигналов. Если к тому же считать, что «потери» точек и тире до и после равносигнальной зоны одинаковы, то делением общей «потери» пополам можно достаточно точно определить «потерю» сигналов до равносигнальной зоны.

Береговые радиопеленгаторные станции предназначены для определения пеленга по сигналу, излучаемому передатчиком с судна, запрашивающего пеленг. В этом случае ортодромический пеленг на судно от береговой радиопеленгаторной станции дает изолинию в виде дуги большого круга, как и в случае определения пеленга на судно от всенаправленного радиомаяка. Комбинированные радиомаяки представляют собой радиостанции, работающие синхронно с воздушными и подводными звуковыми излучателями.

Радиомаяк навигационный, передающая радиостанция, установленная в известном месте на земной поверхности или на движущемся объекте (например, самолёте-заправщике) и излучающая специальные радиосигналы, параметры которых связаны с направлением излучения. Принимая сигналы Р на борту

другого движущегося объекта (корабля, самолёта), можно определить направление на маяк (его **пеленг**). Р относят к угломерным (азимутальным) радионавигационным устройствам. В зависимости от того, ограничено или нет число направлений (курсов, зон), с которых может быть определён пеленг, различают Р направленного и всенаправленного действия. Для пеленгации простейшего направленного Р достаточно, как правило, иметь на самолёте или корабле обычный радиоприёмник с ненаправленной антенной. В зависимости от назначения Р делят на морские и авиационные; существуют также Р, рассчитанные на одновременное обслуживание и морских, и воздушных объектов.

Курсовые Р предназначены для задания определённых курсов в горизонтальной либо вертикальной плоскости. В первом случае Р обычно создаёт курсы (зоны), позволяющие ориентироваться на маяк или от него и т. о. выдерживать правильное направление движения объекта. Курсовые Р, предназначенные для задания летательным аппаратам направления снижения в вертикальной плоскости (**глиссады**) и называют глиссадными, позволяют правильно выдерживать траекторию движения летательного аппарата при его планировании перед посадкой.

Пеленговые Р дают возможность определять пеленг на маяк путём сравнения положения вращающейся диаграммы направленности его излучения в момент отсчёта пеленга с известным её положением в др. момент времени.

Маркерные Р используются для обозначения (маркировки) пунктов, важных в навигационном отношении (например, контрольных пунктов при заходе самолётов на посадку и при подходе судов к порту, пунктов излома маршрутов или фарватеров ит.д.); обычно у таких Р антенны – с узкой диаграммой направленности.

Р, работающие в диапазонах километровых и более длинных волн, имеют дальность действия до 500 км. Они обеспечивают точность пеленгации их с борта объекта $\sim 1\text{—}3^\circ$ (по азимуту). Всенаправленные Р, работающие в диапазонах дециметровых и сантиметровых волн, имеют дальность действия, практически

ограничиваемую прямой геометрической видимостью, и обеспечивают точность определения азимута до $0,1 - 0,25^\circ$.

К навигационным Р условно относят также передающие радиостанции с ненаправленным излучением и с отличительными для каждой из станций сигналами (позывными); они имеют навигационное назначение и получили название ненаправленных Р. Пеленгование ненаправленных Р на объекте ведётся с помощью бортового радиопеленгатора. В авиации подобные Р называют приводными радиостанциями. Кроме того, к ненаправленным Р условно относят и другие радиостанции с ненаправленным излучением, имеющие различные для каждой станции опознавательные признаки (фиксированные радиочастоты, специальные позывные сигналы) и используемые наряду с их прямым назначением в навигационных целях: вещательные радиостанции, радиоакустические маяки, радиобуи, радиолокационные маяки, аварийные радиомаяки.

Пеленгаторные радиомаяки предназначены для определения пеленга путём сравнения момента времени приёма сигнала вращающейся диаграммы направленности маяка с моментом времени, когда положение диаграммы направленности известно. Для такого измерения вращение диаграммы направленности должно быть строго синхронизировано, либо маяк должен излучать короткий всенаправленный сигнал при проходе ДН через нулевую отметку.

Маркерные радиомаяки имеют узкую постоянную ДН, ориентированную вертикально вверх, и используются для маркировки пунктов, важных в навигационном отношении (например, контрольных пунктов при заходе самолётов на посадку и при подходе судов к порту, пунктов излома маршрутов или фарватеров и т. д.).

Мобильные радиомаяки – местоположение мобильных маяков определяется относительно местоположения радиотехнических средств слежения, обнаружения, поиска.

1.2 Методы определения местоположения системы «Глонасс»

Новый вид услуг в системах мобильной спутниковой связи— это определение местоположения подвижных абонентов. Он необходим для сопровождения транспортных и грузовых перевозок (автомобильных, железнодорожных, морских и авиационных), отслеживания потерянного или угнанного транспорта, миграции животных и др.

Существуют два основных подхода к определению местоположения. Первый предполагает наличие у абонента стандартной навигационной аппаратуры, которая позволяет с заданной точностью определять координаты. Второй метод основан на определении координат по доплеровскому сдвигу частоты и не требует использования специальной навигационной аппаратуры. После вычисления, данные о местоположении по каналам спутниковой связи поступают в диспетчерский пункт.

Определение координат подвижного абонента может осуществляться с помощью стандартного навигационного GPS или GPS / "ГЛОНАСС" приемника, встроенного в его терминал. Устройство автономно и, как правило, работает с собственной миниатюрной антенной и вычисляет географические координаты и всемирное время (UTC) по навигационным сигналам систем GPS / "ГЛОНАСС". Однако в ряде терминалов навигационная антенна может быть совмещена со связной (система Inmarsat-C). Сбор данных может осуществляться как в обслуживаемом, так и в необслуживаемом режиме работы терминала.

Принцип определения местоположения объектов с использованием GPS / "ГЛОНАСС" приемников иллюстрируется рис.1.3. После того как навигационный приемник захватил сигнал, он автоматически приступает к формированию отчетов о координатах объекта, скорости и времени. Сопряжение навигационного приемника с абонентским терминалом осуществляется по стандартному интерфейсу RS-232. Этот метод наиболее пригоден для пользователей, которым необходима высокая точность определения местоположения (100 м и менее).

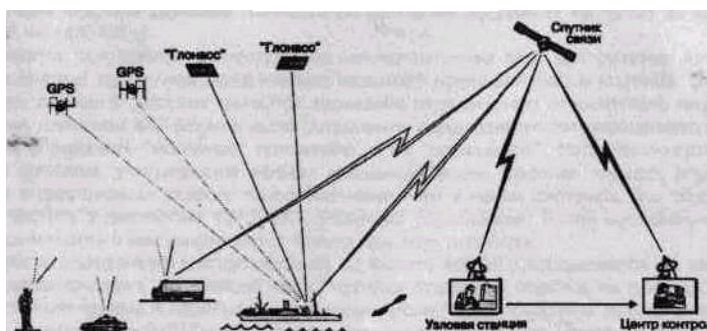


Рисунок 1.3 – Схема определения местоположения в системах спутниковой связи с использованием GPS / "ГЛОНАСС" приемников

К основным характеристикам GPS / "ГЛОНАСС" приемников относятся: количество каналов приема, скорость обновления навигационных данных, время навигационных вычислений, точность определения координат и надежность навигационных определений.

В современных навигационных GPS приемниках количество каналов равно 6 – 8, что позволяет отслеживать все спутники, находящиеся в зоне радиовидимости. Если число каналов меньше количества спутников, то автоматически выбирается наиболее их оптимальное сочетание. Скорость обновления навигационных данных обычно составляет примерно 1 с. Время обнаружения зависит от количества одновременно наблюдаемых спутников и режима определения местоположения.

Различают 2 режима определения местоположения 2D (двумерное) и 3D (пространственное). Для определения широты и долготы (высота считается известной) достаточно присутствие в зоне радиовидимости 3-х и более спутников. При этом время определения местоположения в режиме 2D обычно не превышает 2 мин. Для определения пространственных координат абонента требуется одновременное наличие в зоне радиовидимости не менее четырех КА, что гарантирует время обнаружения объекта не более 3 мин. Определение местоположения производится с точностью не хуже 100 м. Использование же комбинированных GPS / "Глонасс" приемников с обобщенным алгоритмом опре-

деления местоположения и применение стандартного C/A кода позволяет достичь более высокой точности: 15 – 20 м.

Приемник GPS сигналов состоит из приемного модуля и малогабаритной антенны с малошумящим усилителем. Приемный модуль выпускается также в виде отдельной платы, встраиваемой в терминал. Приемник включает в себя опорный генератор, синтезатор, микропроцессор и схемы последовательного интерфейса. Навигационные GPS устройства выпускаются также в виде автономных приемников со встроенными источниками питания.

Появление недорогих GPS-приемников позволило сделать процедуру определения местоположения простой и доступной. Это дало своеобразный импульс к развитию систем электронного картографирования. Зарубежные фирмы, такие как Ashtech, Trimble, Navigation, MagellanSystems и др. предлагают широкий выбор не только GPS приемников, но и соответствующих программных комплексов для электронного картографирования. В России зарубежные электронные картографические комплексы не получили широкого распространения из-за достаточно высокой цены и низкой степени детализации оцифрованных районов.

В навигационной системе Transit используются спутники, выводимые на полярную орбиту с высотой около 1000 км. На борту КА установлены эталоны частоты и времени, синхронизируемые с Земли по каналам телеуправления каждые 100мкс. Определение местоположения на подвижном объекте осуществляется по доплеровскому сдвигу частоты. Точность определения координат составляет около 300 м, погрешность синхронизации шкал времени не превышает ± 50 мкс.

Определение местоположения с помощью РНС Loran-C. Данные о местоположении могут быть получены также с помощью наземных РНС, таких как фазовой разностно-дальномерной РНС с частотной селекцией сигналов Десса, импульсно-фазовой разностно-дальномерной РНС Loran-C и других навигационных комплексов.

В ряде стран для определения местоположения применяется РНС Loran-C (система Omnitrac и др.). В Loran-C используется принцип определения местоположения, основанный на вычислении гиперболических линий положения с учетом разницы времени прихода сигналов. Диапазон рабочих частот РНС Loran-C: 90 – 110 кГц. Расчетная точность не превышает 0,25 нм (2 drms). Точность определения координат составляет 18 – 90 м и зависит от географического положения объекта. Надежность навигационных определений – 95 %. Рабочая зона РНС Loran-C ограничена (США и некоторые других страны).

В системах Omnitrac / Euteltrac используется метод автоматического определения местоположения ASPR (Automatic Satellite Position Reporting), предложенный компанией Qualcomm. С помощью специального навигационного КА (positioning satellite) осуществляется определение координат пользователя. Центральная станция передает информационные сигналы через связной спутник, а контрольные (навигационные) сигналы через второй спутник. Прежде чем начать сеанс связи мобильный терминал МСТ переориентирует антенну на навигационный спутник и определяет разницу во времени прихода сигналов от двух КА (Δt). Эти сведения включаются в навигационное сообщение и передаются по обратному каналу в центральную станцию (диспетчерский центр).

Оценка точности метода проводилась путем сопоставления полученных данных с информацией контрольного GPS приемника. Результаты показали, что основным фактором, определяющим точность, является угловое разнесение между навигационным и связным спутником. Было произведено 1000 измерений для различных типов рельефов местности в районе широт от 25° с.ш. (Сахара) до 70° с.ш. (Финляндия) и углов разнесения 9°, 6° и 3°.

Спутниковая навигационная система состоит из космического сегмента, сети наземных станций наблюдения за работой КА и пользовательского сегмента (навигационных приемников). Наземная сеть предназначена для обеспечения периодического контроля (не реже 1 – 2 раз в сутки) точности местоположения КА и их часов. К числу основных характеристик спутниковых навигационных систем, относятся точность и надежность определения координат.

Существует ряд факторов, описывающих степень неопределенности вычисления координат в зависимости от положения GPS спутника относительно GPS приемника. Этот параметр зависит от процедуры определения координат. В расчетах используют следующие стандартные составляющие фактора снижения точности.

Геометрический фактор снижения точности (GDOP). Описывает степень влияния неопределенности псевдо-дальности и показаний часов на неопределенность вычисления координат. Этот фактор зависит от положения спутника относительно GPS приемника и от смещения GPS часов.

Горизонтальный фактор снижения точности (HDOP). Фактор, описывающий степень влияния неопределенности в горизонтальной плоскости на определение координат.

Фактор снижения точности положения (PDOP). Безразмерный показатель, который описывает, как неопределенность псевдо-дальности влияет на определение координат.

Относительный фактор снижения точности (RDOP). Фактор снижения точности, нормализованный за период 60 с.

Временной фактор снижения точности (TDOP). Фактор, описывающий степень влияния неопределенности показаний часов на определение координат.

Вертикальный фактор снижения точности (VDOP). Фактор, описывающий степень влияния неопределенности в вертикальной плоскости на определение координат.

Погрешности, обусловленные режимом селективного доступа (S/A). Это ошибки искусственного происхождения, вносимые в сигнал на борту GPS спутников с целью загробления навигационных измерений. Величина погрешности из-за влияния этого фактора составляет примерно 30 м (СКО). В дифференциальном режиме погрешность селективного доступа компенсируется полностью.

Погрешности, обусловленные распространением радиоволн в ионосфере. Ионосферные задержки распространения сигналов, связанные с прохождением

через верхние слои атмосферы, приводят к ошибкам величиной 20 – 30 м днем и 3 – 6 м ночью. При использовании Р-кода эта составляющая устраняется измерениями на двух частотах. Хотя навигационное сообщение, передаваемое с борта спутников, и содержит параметры модели ионосферы, компенсация фактической задержки в лучшем случае составляет 50%.

Погрешности, обусловленные распространением радиоволн в тропосфере. Тропосферные задержки распространения сигналов возникают при прохождении через нижние слои атмосферы. Величина этих погрешностей не превышает 30 м.

Эфемеридные погрешности. Данный вид ошибок обусловлен расхождением между фактическим положением GPS спутника и его положением, рассчитанным по данным, навигационного сигнала, передаваемого с борта КА. Обычно такие погрешности не превышают 3 м. Одним из методов искусственного ухудшения точности системы является загробление данных о положении спутников.

Погрешности шкалы времени спутника. Этот вид погрешности обусловлен расхождением шкал времени различных спутников и полностью устраняется с помощью наземных станций слежения или за счет компенсации "ухода" шкалы времени в дифференциальном режиме определения местоположения.

Погрешности определения расстояния до спутника пользователем (URA). Этот вид ошибок определяется погрешностью, вносимой реальной точностью предсказания эфемерид и неточностью определения истинного времени. Данный показатель является статистическим и вычисляется для заданного спутника на протяжении определенного интервала времени. Этот вид ошибок некоррелирован с другими составляющими погрешностей. Величина ошибки обычно не превышает 10 м.

Одним из методов повышения точности определения местоположения объекта является метод с применением известного в радионавигации принципа дифференциальных навигационных измерений.

Дифференциальный режим DGPS (Differential GPS) дает возможность определить местоположение с точностью до 5 м в динамической навигационной обстановке и около 2 м – в стационарных условиях. Дифференциальный режим

реализуется с помощью контрольного GPS -приемника, располагаемого в пункте с известными координатами (так называемая опорная станция). Опорная станция должна располагаться в том же районе, что и пользователи и одновременно отслеживать те же GPS спутники. Сравнивая известные координаты с измеренными, контрольный GPS-приемник вырабатывает поправки, которые передаются потребителям по радиоканалу в заранее оговоренном формате. Потребитель использует их при решении навигационных задач для уточнения своих координат. Для каждого КА, сигналы которого поступают в приемник потребителя, поправка, полученная от опорной станции, суммируется с результатом измерения псевдо-дальности. Подлежащая внесению поправка $\Delta_{\text{сум}}$, вычисляется в виде:

$$\Delta_{\text{сум}} = \Delta_1 + \Delta_2 \cdot (t - \Delta_t), \quad (1.1)$$

где Δ_1 – поправка псевдодальности, передаваемая в сообщении;

Δ_2 – поправка псевдоскорости (скорости изменения поправки), передаваемая в сообщении;

t – время измерения приемником потребителя;

Δ_t – временная привязка поправки.

Дифференциальный метод наиболее эффективен, когда преобладающими погрешностями потребителя являются систематические ошибки, обусловленные внешними по отношению к приемнику причинами. Такая ситуация характерна для GPS.

Погрешности селективного доступа S/A и "уходы" шкалы времени компенсируются в дифференциальном режиме полностью. Погрешности вследствие задержек сигналов в атмосфере зависят от идентичности условий прохождения сигналов к опорной станции и потребителю и, следовательно, от расстояния между ними. Полностью компенсируются эти погрешности лишь при близком расположении опорной станции и потребителя. Эфемеридная погрешность также лучше компенсируется на небольших удалениях пользователя

от опорной станции. Поэтому рабочая зона опорной станции обычно ограничена радиусом 500 км.

Опорная станция включает измерительный датчик GPS с антенной, процессор данных, передатчик данных с антенной и аппаратуру сопряжения. В ней, как правило, применяют многоканальный приемник GPS, каждый канал которого отводится для отслеживания одного видимого спутника. Необходимость непрерывного отслеживания каждого КА СЗ обусловлена тем, что опорная станция должна «захватывать» данные спутниковых сообщений раньше, чем приемники пользователей.

Аппаратура потребителя включает: GPS приемник с антенной, процессор и радиоприемник с антенной для получения дифференциальных поправок с опорной станции. Процессор вносит поправки, принятые от опорной станции, в результаты измерений приемника GPS. Приемник может быть выполнен по одноканальной или многоканальной схеме.

Возможны два варианта контроля целостности системы, основанные на внутренних и внешних методах контроля. Внутренние методы предполагают использование данных навигационных датчиков, расположенных у потребителя, и избыточной информации для контроля целостности. У потребителя избыточная информация образуется благодаря приему навигационных сигналов от большего, чем минимально необходимо, числа спутников. Применяя специальные алгоритмы (в зависимости от объема избыточной информации), можно легко обнаружить и/или идентифицировать источник неправильной информации. В первом случае производится отбраковка полученных решений навигационных задач, во втором – отбраковка навигационных параметров, определенных по сигналам неисправного спутника.

Внешние методы контроля целостности предполагают создание сети станций для обеспечения контроля работоспособности СНС в реальном масштабе времени. Региональный вычислительный центр осуществляет обработку данных, получаемых от сети наземных станций слежения, и формирует сообщение о целостности системы. Доведение информации о целостности СНС GPS и

"Глонасс" в системе GNSS предполагается с помощью геостационарных спутников.

Процедура внешнего контроля является более сложной, т.к. требует создания наземной сети контроля. Однако такое решение задачи целостности позволяет получить более полную информацию о системе навигации. В частности, внешние методы контроля позволяют точно определять координаты КА в орбитальных группировках СНС GPS и "Глонасс", а также поправки для синхронизации временных шкал геостационарных спутников и спутников GPS / "Глонасс".

В системе GNSS предполагается, что навигационный сигнал будет содержать информацию о целостности (данные о состоянии неисправных спутников), и дифференциальные поправки для глобальной системы WAAS (WideAreaAugmentationSystem). Сообщение системы WAAS GPS содержит точные поправки для всех видимых спутников и другие необходимые для решения навигационных задач данные с точностями, соответствующими требованиям прецизионной посадки воздушных судов по категории 1.

Одной из самых первых была предложена низкоорбитальная спутниковая навигационная система Transit, использующая КА, выводимые на полярную орбиту высотой около 1000 км. На борту спутника установлены эталоны частоты и времени, синхронизируемые с Земли по каналам телеуправления каждые 100 мкс, а на наземной станции – приемный индикатор. Определение местоположения на подвижном объекте осуществляется по доплеровскому сдвигу частоты. Точность определения координат составляет около 4 м (по другим данным в наихудшем случае 300 м), погрешность синхронизации шкал времени не превышает ± 50 мкс.

Система Transit не нашла широкого применения в коммерческих системах из-за сложности абонентского оборудования и его высокой стоимости. Основные характеристики системы приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1 – Основные характеристики существующих систем спутниковой навигации и РНС дальнего и сверхдальнего действия

Тип РНС	Количество станций	Диапазон частот, МГц	Дальность, км	Точность (СКО), м
Transit	10	399 – 988	Глобальная	4...300
"Цикада"	4	150 – 400	Глобальная	80 – 120
Omega	8	0,01 – 0,014	11000	3600
"Альфа"	3(5)	0,12 – 0,017	12000	2300 – 7600
Loran-C	3 – 4	0,09 – 0,1	900 – 2200	90 – 460
"Чайка"	3 – 4	0,1	1500 – 1800	100 – 700
Десса	3 – 4	0,07 - 0,13	320	90 – 1500

Система Omega относится к наземным гиперболическим радионавигационным системам. Низкочастотная навигационная система Omega находится в эксплуатации свыше 20 лет. Принцип определения местоположения основан на так называемой гиперболической навигации. В диапазоне 10-14 кГц два передатчика излучают высокостабильные (около 10^{-12}) синхронные сигналы на одной частоте. Радиоволны на этих частотах отражаются от самых нижних слоев ионосферы и поэтому в меньшей степени подвержены затуханию в ионосфере (ослабление 3 дБ на 1000 км), однако фаза волны очень чувствительна к высоте отражений.

Приемник измеряет разность фаз сигналов от навигационных передатчиков и строит семейство гипербол. Подвижный объект всегда может определить свое местоположение, если не теряет способность слежения за сигналами навигационных передатчиков. Фаза волны зависит от высоты отражающих слоев ионосферы, а поэтому сезонные и суточные вариации могут быть скомпенсированы. Точность определения местоположения - не хуже двух

морских миль, однако на высоких широтах и в полярных районах, где могут возникать внезапные фазовые аномалии, точность снижается до 7 мор.миль.

В России разработана РНС аналогичного назначения "Альфа".

Система Loran-C – импульсно-фазовая разностно-дальномерная система работает на частотах около 100 кГц. На этих частотах поглощение радиоволн в ионосфере может быть значительным, особенно при больших углах падения.

Система Loran-C относится к классу гиперболических систем, хотя и основана на измерении не фазы, а задержки импульсов, принимаемых от цепочки передающих станций. В каждой цепочке одна из станций является ведущей, а остальные – ведомые. Все они точно синхронизируются. Приемник измеряет точность прихода импульсов с точностью 0,1мкс, и, если используется земная волна, местоположение может определяться с точностью 150 м на расстояниях до 1500 км (на море). В общем случае сигнал представляет собой сумму земной волны и сигналов, отраженных один или несколько раз от ионосферы. На расстояниях свыше 2000 км ионосферная волна преобладает и точность будет зависеть от состояния ионосферы. Испытания показали, что в отдельных случаях могут возникнуть ошибки в несколько километров. Таким образом, даже при идеальных условиях система Loran-C не будет иметь точность, которую обеспечивают спутниковые системы GPS/"Глонасс". На сегодняшний день навигационная система Loran-C имеет в мире 34 цепи, охватывающие территорию США, Северной Европы и прилегающих морских районов в северном полушарии. Приемниками Loran-C оснащены отдельные образцы терминалов американской системы Omnitrac.

1.3 Системы определения координат на основе разностно-дальномерного метода

В системах связи, используется для определения координат метод, получивший название метод автоматического вычисления положения спутника ASPR (AutomaticSatellitePositionReporting). Согласно ASPR определение

координат объекта производится триангуляционным методом между связным КА, дополнительным КА (названных авторами проекта навигационным спутником - positioning satellite) и мобильным терминалом. При этом основные (информационные) сигналы передаются центральной станцией через связной КА, а контрольные (навигационные) сигналы – через второй КА. Прежде чем начать сеанс связи, мобильный терминал автоматически переориентирует свою антенну на навигационный спутник. Встроенное в терминал устройство определяет разницу времени прихода сигналов от двух КА (Δt) и включает эти данные в состав навигационного сообщения, которое передается по обратному каналу на наземную центральную станцию (диспетчерский центр).

В настоящее время Европейским космическим агентством накоплен большой статистический материал по оценкам точности определения местоположения с использованием системы Euteltracs. Всего было произведено более 1000 измерений для различных типов рельефов местности в разных широтных районах от 25°с.ш. (Сахара) до 70°с.ш. (Финляндия) и при различных углах разнесения (3°, 6° и 9°). Оценка точности определения координат контролировалась путем сопоставления вычисленных навигационных данных с параметрами, определенными с помощью контрольного GPS приемника и мелкомасштабной карты. Результаты исследований показали, что основным фактором, определяющим точность, является угловое разнесение между навигационным и связным спутниками.

Принцип определения координат автоматических радиомаяков в системе "ЭЛИКОН-СТИР-М" основан на использовании дальномерно-доплеровского метода. Региональная станция (РС) излучает пилот-сигнал на частоте f_1 который принимает КА и ретранслирует его на частоте f_2 . Пилот-сигнал принимают все автоматические радиомаяки (АРМ), находящиеся в зоне радиовидимости КА. По принятому сигналу на АРМ осуществляется синхронизация местного опорного генератора и формируется временная развертка. В заданный момент времени (отсчитывается по таймеру) АРМ излучает ответный сигнал, который привязан по частоте и времени к принятому сигналу, т.е., по существу, АРМ ретранслирует в

обратном направлении принятый пилот-сигнал. Включение в режим передачи происходит только в том случае, если доплеровская поправка принимаемого радиомаяком сигнала имеет "разрешенное" для данного АРМ значение. Значение доплеровской поправки передается в составе ответного сигнала. Принятые на КА сигналы всех АРМ ретранслируются на РС. В качестве опорного используется пилот-сигнал, принимаемый после его ретрансляции на КА. Измеренная разность между фазами опорного сигнала и фазой принятых сигналов позволяет определить дальность, а измеренное значение доплеровской поправки - радиальную скорость.

Основными составляющими ошибок измерения радиальной скорости являются шумовые ошибки и ионосферная погрешность. Шумовая ошибка измерения радиальной скорости рассчитывается по соотношению :

$$\sigma_{D_{ш}} = \frac{c}{2F} \sqrt{\frac{\Delta F}{H}} \frac{1}{T_{изм}} , \quad (1.2)$$

где c – скорость света;

ΔF – шумовая полоса системы ФАПЧ в наземном измерительном комплексе РС;

H – эквивалентный энергетический потенциал радиоизмерений в линии АРМ – КА – РС;

$T_{изм}$ – время измерений.

На основании выражения погрешность шумовой ошибки равна $\delta D_{ш} = 3,5$ см/с. Ионосферная погрешность измерения радиальной скорости может быть получена на основании результатов навигационной системы Transit. На частоте 400 МГц в год максимальной солнечной активности для КА с высотой 1000 км ее величина не превышала 1 м/с. В диапазонах частот (L и S), используемых в системе "Электрон-СТИР" величина ионосферной погрешности не превышает 0,26 м/с.

Аппаратурные погрешности за счет уходов частоты задающего генератора за время измерения пренебрежимо малы.

Шумовая ошибка измерения дальности определяется из выражения

$$\sigma_{Dш} = \frac{c}{2} K_p \sqrt{\frac{1}{2HT_{изм}}} \frac{1}{2\pi F_{шт}}, \quad (1.3)$$

где k_p – коэффициент, учитывающий неидеальность реального измерителя, $k_p = 2$; $F_{шт}$ – частота модуляции точной шкалы измерителя дальности (в расчетах принимается равной 511 кГц).

Аппаратурная погрешность из-за нестабильности суммарной задержки сигнала в приемо-передающих трактах АРМ и БРТК может быть принята равной $\delta\tau_{ап} = 500$ нс, а составляющая ошибки по дальности определяется в виде $\delta D_{ап} = \delta\tau_{ап} \cdot c / 2 = 75$ м. Суммарная ошибка измерения радиальной скорости или дальности определяется из выражения:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\sum_i \delta_i^2}, \quad (1.4)$$

где δ_i – погрешность измерения радиальной скорости / дальности.

Результаты расчетов суммарных составляющих погрешностей измерения радиальной скорости и дальности в системе "Электрон – СТИР – М" сведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Погрешности измерения радиальной скорости и дальности

Вид погрешности	Ошибка измерения радиальной скорости, м/с	Ошибка измерения дальности, м
Шумовая ошибка	0,035	3,5
Ионосферная погрешность	0,26	2,5
Погрешность за счет дискретности счетчиков измерителей частоты	0,05	—
Нестабильность суммарной аппаратурной задержки	—	75
Суммарная ошибка	0,3	77

Как видно из таблицы, основным фактором, определяющим точность измерения радиальной скорости, является ионосферная ошибка, а при определении дальности – нестабильность аппаратной задержки, возникающей в приемопередающих трактах АРМ и БРТК. Учитывая большую неопределенность в оценке величины аппаратной задержки, она должна составлять не менее 150 м.

Не останавливаясь на подробных расчетных соотношениях для вычисления погрешности определения местонахождения АРМ на основании полученных выше значений ошибок по скорости (0,3 м/с) и дальности (150 м) для высоты орбиты $H = 1000$ км и наклонной дальности $S = 2500$ км приведем расчетные погрешности определения координат при сделанных выше допущениях. Они составят: 172 м по широте и 64 м по долготу.

1.4 Определение местоположения по доплеровскому сдвигу частоты

Существующие автономные навигационные приемники или встраиваемая в спутниковый терминал навигационная платы GPS / "Глонасс" позволяют повысить оперативность и точность определения координат, однако их использование приводит к увеличению энергопотребления и усложнению абонентского оборудования. Сегодня комплект навигационной аппаратуры стоит практически не дешевле, чем портативный спутниковый терминал.

В то же время анализ существующих потребностей показывает, что далеко не всем им нужна столь высокая точность, какую обеспечивают GPS / "Глонасс" приемники. Для решения многих задач достаточно упрощенных навигационных устройств, какими фактически являются связанные терминалы, радиомаяки, радиобуи.

И, наконец, определение координат потребителя даже с невысокой точностью играет важную роль в системах персональной спутниковой связи с портативными терминалами типа "телефонная трубка", что необходимо для организации глобального роуминга.

Одной из характерных особенностей систем связи на базе низкоорбитальных КА (без прогнозирования траекторий их движения) является большая начальная неопределенность по частоте и времени прихода сигналов. Вследствие того, что положение спутника во время движения по орбите динамически изменяется относительно терминала пользователя, то это приводит к возникновению так называемого эффекта Доплера или доплеровскому сдвигу частоты. Если при движении по геостационарной орбите теоретически влиянием эффекта Доплера можно пренебречь (для реальных КА относительный сдвиг частоты не превышает $\Delta F_{\text{дmax}} = \pm 10^{-8} \cdot f_0$, (где f_0 частота передаваемых сигналов), то с понижением высоты значение доплеровского сдвига возрастает и на низких орбитах высотой 800 – 1500 км его величина приближенно равна:

$$\Delta F_{\text{дmax}} = \pm (1,8-2,4) \cdot 10^{-5} \cdot f_0.$$

На практике учет влияния эффекта Доплера носит двоякий характер. С одной стороны, возникновение доплеровского сдвига приводит к большой начальной неопределенности по частоте, что усложняет абонентскую аппаратуру за счет применения специальных методов компенсации доплеровского сдвига.

С другой стороны, знание характера изменения доплеровской кривой позволяет вычислить радиальную скорость движения низкоорбитального КА а следовательно, и расстояние от него до объекта. Этой информации при определенных условиях достаточно для определения местоположения абонентов несколько меньшей точностью, чем в системах навигации специального назначения, но вполне приемлемой для ряда потребителей.

Точность доплеровского метода определения дальности до КА зависит не только от вида доплеровской кривой (чем больше крутизна, тем выше точность), но и от количества КА в орбитальной группировке и высоты орбиты. К снижению точности измерений приводит нестабильность частоты генераторов, которые установлены на борту КА и объекте.

Таким образом, метод определения местоположения с помощью низкоорбитальных спутников связи не приводит к усложнению аппаратуры, а

обеспечивается только за счет оснащения терминала дополнительным программным обеспечением. Для определения положения объекта по доплеровскому сдвигу частоты наибольшее применение получили два метода: дифференциальный и интегральный.

При дифференциальном методе измеряется минимальное расстояние R_0 до КА в момент t_0 перехода доплеровской кривой $F_d(t)$ через нуль. В этом случае значение доплеровского сдвига и его производной определяется зависимостью:

$$F_d(t) = -\frac{V_0^2 t}{\lambda \sqrt{R_0^2 + V_0^2 t^2}} \approx -\frac{V_0^2 t}{\lambda R_0}, \quad (1.5)$$

где λ – длина волны,

V_0 – скорость движения КА в момент t_0 .

Момент t_0 , определяется как время, при котором доплеровский сдвиг равен нулю, т.е. когда соблюдается равенство:

$$F_d(t) = -\frac{V_0^2}{\lambda \cdot R_0}. \quad (1.6)$$

Из (1.6) видно, что по измеренному доплеровскому сдвигу и известным параметрам λ и V_0 можно легко найти требуемое расстояние R_0 . При этом объект будет находится в плоскости, перпендикулярной орбите на пересечении двух сферических поверхностей, одна из которых проводится радиусом R_0 с КА в центре (точка минимального расстояния до объекта), а вторая определяется геоцентрической высотой объекта.

При интегральном доплеровском методе на объекте производится интегрирование доплеровского сдвига $F_d(t)$ за время измерения $(t_2 - t_1)$. Действительно:

$$\int_{t_1}^{t_2} F_d(t) dt = -\frac{\Delta R}{\lambda R_0}. \quad (1.7)$$

При интегральном методе объект будет находиться в точке пересечения двух гиперболоидов, фокусы которых совпадают с положениями КА в моменты измерения времени t_1 и t_2 со сферической поверхностью, определяемой высотой объекта. Данный метод обеспечивает более высокую точность измерений, так как при интегрировании флуктуации, обусловленные кратковременной нестабильностью частоты, усредняются.

Наиболее простые навигационные устройства, такие как спутниковые радиомаяки, предназначены для обнаружения и определения местоположения судов и самолетов, потерпевших аварию, т.е. определение местоположения по сигналам аварийных радиомаяков. Они применяются в системах "Коспас-Сарсат", ARGOS (Франция), "Курс" (Россия). Система "Коспас-Сарсат" состоит из двух подсистем обнаружения сигналов бедствия:

- первая обеспечивает работу через прозрачный ретранслятор на частоте 121,5 (243) МГц, выделенной МСЭ в качестве аварийной для авиационной подвижной службы;

- вторая обеспечивает работу через регенеративный ретранслятор в диапазоне частот 406,0-406,1 МГц, выделенном специально для сбора данных с аварийных радиомаяков (в этом диапазоне радиомаяк излучает не только координаты объекта, но и дополнительную информацию, содержащую сведения о самом объекте). Местоположение излучающих радиомаяков и радиобуев также определяется спутниковой системой автоматически с использованием эффекта Доплера. Обеспечиваемая точность определения координат - не более 20 км на рабочей частоте 121,5 МГц и 5 км в случае излучения на частоте 406 МГц. Достаточно низкая точность определения координат в первом случае обусловлена большой нестабильностью частоты генераторов, особенно в радиомаяках старого поколения.

Определение места катастрофы с помощью этих систем осуществляется следующим образом. Радиомаяки или радиобуи обычно находятся в выключенном состоянии и срабатывают лишь в момент бедствия. После этого они начинают с заданной периодичностью посылать аварийные сообщения в эфир на

одной из указанных выше частот. На входе ретранслятора частоты разных излучающих маяков случайным образом сдвинуты друг относительно друга вследствие различного доплеровского сдвига от произвольно расположенных на поверхности Земли объектов. Любой из низкоорбитальных спутников "Коспас" или "Сарсат" может обнаружить их и ретранслировать на наземные станции приема и обработки информации. Наземная станция обрабатывает аварийные сообщения, разделяя сигналы от разных радиомаяков по частоте, которая для разных объектов является неодинаковой вследствие различного доплеровского сдвига. На основании полученных со спутника данных строится доплеровская кривая. Поскольку траектория движения КА на наземной станции точно известна, то координаты объекта легко вычисляются путем решения системы навигационных уравнений. Для достижения необходимой точности расчетов для радиомаяков на частоте 121,5 МГц требуется не менее двух вычислительных итераций, т.е. неоднозначность в них разрешается только при двух проходах КА над объектом.

При приеме посылок аварийных радиомаяков в диапазоне 406 МГц бортовая аппаратура осуществляет демодуляцию входных сигналов, производит измерение входной частоты и определяет доплеровский сдвиг. Кроме того, из сигналов радиомаяков извлекается информационное сообщение. Затем выделенная информация привязывается ко времени и производится ее преобразование в цифровую форму со скоростью 2,4 кбит/с. Сформированные сообщения накапливаются и хранятся в бортовом ЗУ для последующей передачи на Землю в режиме глобального оповещения. Если в процессе сброса информации из памяти КА на Землю принимается сигнал другого аварийного радиомаяка, то сброс данных на Землю прерывается с тем, чтобы вновь принятый сигнал мог быть обработан, и результат его обработки включен в состав информативного кадра.

Вероятность определения местоположения на частоте 406 МГц определяется как вероятность обнаружения и декодирования, по крайней мере. Четырех отдельных посылок за один проход спутника. При этом на станции

приема и обработки информации может быть построена доплеровская кривая за один проход КА над объектом.

Как известно, доплеровское определение местоположения дает два решения для каждого радиомаяка: истинное и зеркально отраженное относительно наземной проекции траектории движения КА. Эта неоднозначность устраняется с помощью расчетов, учитывающих эффект вращения Земли.

В многоспутниковых системах связи, построенных на базе низкоорбитальных КА, вычисление координат объекта может выполняться непосредственно в абонентском оборудовании (терминале) или наземной станции сопряжения (диспетчерском пункте).

При определении координат непосредственно у потребителя, используются расчеты, основанные на измерении дальности до КА по принимаемому сигналу при его пролете в зоне радиовидимости абонента и эфемеридная информация, которая периодически передается с борта КА по служебному каналу (эфемериды формируются средствами бортовой автономной навигационной системы спутника связи). На основе полученных баллистических данных производится расчет траектории движения КА и определяется его текущее положение. Зная координаты КА и доплеровский сдвиг, с помощью дифференциального или интегрального методов определяются координаты объекта.

Если в зоне радиовидимости объекта виден только один КА, то для решения навигационной задачи достаточно четырех измерений, сделанных с заданным интервалом времени во время его пролета над объектом. Точность вычислений может быть повышена, если измерение доплеровского сдвига производится от нескольких КА или одновременно на нескольких частотах.

Результаты навигационных измерений могут быть использованы непосредственно потребителем или в автоматическом режиме с заданной периодичностью (например, 1 раз в 30 мин) передаваться по каналу спутниковой связи в диспетчерский центр.

Определение координат на наземной станции осуществляется лишь в случае, если на борту КА используется прозрачный ретранслятор (без обработки

информации на борту). Возможны два метода: пассивный и активный (запрос с активным ответом). При пассивном методе наземная станция принимает сигналы от абонентского терминала и измеряет доплеровский сдвиг. Поскольку доплеровский сдвиг в линиях связи "Земля-спутник" и "спутник-Земля" изменяется независимо, т.е. его частота может принимать не только различные значения, но и иметь противоположный знак, то для устранения этой неопределенности необходимо, чтобы на наземной станции были не только точно известны ее географические координаты и текущее положение КА, но и точное время. В этом случае возможно вычисление доплеровской кривой на каждом участке линии, а следовательно, однозначное определение координат объекта.

При использовании метода "запрос с активным ответом" наземная станция посылает запросные сигналы на частоте f_1 , которые ретранслируются всем наземным объектам. Терминалы пользователя принимают запросные сигналы и переретранслируют их на разных частотах или в разных временных интервалах. На наземной станции измеряется время запаздывания Δt ответных сигналов относительно запросных. Достаточно трех измерений Δt_1 , Δt_2 и Δt_3 , сделанных через разные КА или через один КА, но в смещенные моменты времени, чтобы вычислить координаты потребителя. Объект будет находиться в точке пересечения трех сфер с КА в их центрах. При таком способе точность вычисления координат повышается, но на это затрачивается часть пропускной способности системы, необходимой для передачи избыточной (служебной) информации.

С помощью наземной станции можно достаточно точно определить координаты объекта, если в зоне радиовидимости находятся одновременно не менее двух КА. В этом случае оценивается разность прихода во времени одного и того же сигнала по двум различным путям. Наличие в зоне одновременно нескольких КА позволяет организовать разнесенный прием через разные спутники, а следовательно, повысить надежность связи (как это реализовано в системе Globalstar).

Если в зоне радиовидимости присутствует только один спутник, то на наземной станции также существует возможность однозначного определения координат потребителя. Для этого производят несколько последовательных отсчетов дальности и их накапливают по мере движения КА на орбите.

Возможность определения местоположения по собственным сигналам низкоорбитальных КА предусмотрена в системах Orbcomm, Globalstar, Iridium и др. Достигаемая точность определения координат обычно не превышает 0,3 – 1 км и зависит от таких факторов, как количество наблюдаемых КА, точности вычисления параметров КА, продолжительности связи и других.

При связи с одним КА определение местоположения обеспечивается с точностью не менее 10 км. Если же в зоне радиовидимости находятся одновременно два КА (и угол между ними не менее 22°), то с вероятностью 0,95 менее чем за 10 сек. координаты абонента вычисляются с точностью не хуже 300 м (Globalstar). Точность определения местоположения при пассивном методе не превышает 0,5 – 1 км. Данные по точности навигационных определений для низкоорбитальных систем Orbcomm и Globalstar приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Точности автономного определения местоположения по собственным сигналам низкоорбитальных КА

Название системы	Рабочая частота, МГц	Число одновременно наблюдаемых спутников		
		1	2	3
Globalstar	2483,5 – 2500	1600 м (1 мин) 400 м (4 мин)	200-300 м (4 мин)	–
Orbcomm	137 – 138 /	1100 м (7 мин)	725 м (24 мин)	650 м (41 мин)
	400,1	371 м (7 мин)	262 м (24 мин)	214 м (41 мин)
	137 – 138 / 400,1	37 м (7 мин)	26 м (24 мин)	21 м (41 мин)

Определение координат подвижных абонентов принципиально возможно и в системах со средневысотными КА. При периоде обращения 6 часов максимальный доплеровский сдвиг для систем с высотой орбиты 10350 км (Odyssey, ICO) составляет $\Delta F_{\text{д макс}} = \pm 6 \cdot 10^{-6} f_0$. Количество КА в системах на

средних высотах достаточно, чтобы наблюдать созвездие из двух или трех спутников под большими рабочими углами видимости. При этом обеспечивается точность определения местоположения не хуже 15 км (по данным системы Odyssey).

Следует отметить, что появление недорогих GPS приемников позволило сделать процедуру определения местоположения простой и доступной не только для персональных пользователей ряда рассмотренных систем, но и большого числа пользователей. В системном плане указанная тенденция внедрения малогабаритных терминалов определения местоположения дала своеобразный импульс к развитию систем электронного картографирования. Зарубежные фирмы, такие как Ashtech, TrimbleNavigation, MagellanSystems и др. предлагают широкий выбор не только GPS-приемников, но и соответствующих программных продуктов, ориентированных на создание электронных карт. Однако в России зарубежные электронные картографические комплексы не получили широкого распространения из-за достаточно высокой цены и низкой степени детализации оцифрованных географических районов России и стран СНГ.

1.5 Индивидуальный аварийный радиомаяк MR510

MR510, соответствующий самым последним нормам системы «Cospas-Sarsat», является прочным, многоплатформенным индивидуальным аварийным радиомаяком, предназначенным для использования в вооруженных силах, а также необходимым инструментом при поисково-спасательных операциях за счет своих исключительных характеристик эксплуатации и безопасности, высокой точности и сокращенного времени определения местоположения (менее 5 минут совместно с системой «Cospas-Sarsat») (рис.1.4). Внутренние УКВ/ УВЧ / GPS антенны обеспечивают применение устройства как автономного радиомаяка. Внешние УКВ / УВЧ / GPS антенны используются для спасательных жилетов или плотов.



Рисунок 1.4 – Внешний вид радиомаяка MR510

Во включенном состоянии устройство осуществляет передачу прерывистого переменного тонального радиосигнала бедствия в международном аварийном УКВ / УВЧ диапазоне частот, с одновременной передачей сообщений на частоте спутника «Cospas-Sarsat» (СНГ), обеспечивая обнаружение и определение точного местоположения в любой точке мира. Наличие дополнительного режима голосовой связи позволяет терпящему бедствие лицу поддерживать связь со спасательными командами в УКВ / УВЧ частот.

Данный индивидуальный аварийный приводной радиомаяк класса I способен успешно функционировать в любых условиях, в том числе после длительного хранения или при воздействии на него агрессивной морской среды. Гарантированное время работы радиомаяка составляет более 24 часов при температуре от $+55^{\circ}$ до -40°C , при этом он является водонепроницаемым на глубинах до 10 метров.

Предусмотрена как ручная, так и автоматическая активация радиомаяка при помощи спускового шнура, расположенного на катапультируемом сиденье. При погружения в воду радиомаяк активируется также автоматически. MR510 можно без труда использовать в полной темноте, одной рукой и даже рукой в перчатке. Устройство встроенного контроля позволяет проводить быструю и несложную проверку радиомаяка в течение гарантированных 24 часов работы.

Классы маяка по классификации СНГ: Класс I ($+55^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$) или класс II

(+55°C – 20°C).

Внутренние антенны: Комбинированная УКВ / УВЧ антенна и встроенная GPS-антенна. Внешние антенны: Высокоэффективная УКВ / УВЧ антенна и GPS-антенна для спасательного жилета.

Режим маяка: маяк 121.5, 243 и 406.037 МГц.

Передача речевых сообщений: Дуплексная односторонняя, на УКВ / УВЧ.

Аккумулятор: Литиевый, срок службы – более 5 лет.

Специальные принадлежности: Антенны для спасательных жилетов компании Becker.

Активация: Ручная или автоматическая, от датчика воды или спусковым шнуром.

Устройство встроенного контроля: 100% проверка работы всех функций после запуска.

Соответствие требованиям: STANAG 7007, технические требования C/S T.001.

1.6 Аварийно-спасательный радиомаяк АРМ-406 АС1

Аварийно-спасательный радиомаяк АРМ-406 АС1 предназначен для передачи информации через космические спутники системы КОСПАС-САРСАТ от терпящих бедствие воздушных судов, а также для обеспечения привода поисково-спасательных команд к месту аварии. Аварийно-спасательный радиомаяк устанавливается внутри воздушного судна с возможностью быстрого доступа к нему для использования в аварийной обстановке (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Внешний вид АРМ – 406 АС1

Технические характеристики АРМ-406АС1:

- период излучения посылок, $50 \pm 5\%$ с;
- длительность посылки излучения, $440 \pm 1\%$ мс;
- несущая частота ПРД-406, $406,025 \pm 0,002$ МГц;
- долговременная нестабильность частоты (в течение 5 лет с учетом начальной установки) не более $\pm 0,005$ МГц;
- кратковременная относительная нестабильность частоты за время единичного измерения 0,1 сек не более, 2×10^{-9} ;
- среднее отклонение за 1 мин не более, $\pm 1 \times 10^{-9}$;
- среднеквадратическое значение отклонения частоты от линейного дрейфа, не более, 3×10^{-9} ;
- выходная мощность ПРД-406 на нагрузке 50 Ом при КСВН $< 1,25$, Вт 5 ± 2 дБ;
- время выхода генератора на режим нормального функционирования не

более, 15 мин.;

- время нарастания мощности от уровня 1 – 0% до 90%, не более, 5 мс;
- время передачи немодулированной несущей ПРД - 406 в начале каждой посылки, мс $160 \pm 1\%$;
- модуляция фазовая телеграфия, индекс модуляции, рад $1,1 \pm 0,1$;
- длительность фронта и среза модулирующего сигнала, не менее, 50 мкс;
- длительность фронта и среза модулирующего сигнала, не более, 250 мкс;
- тактовая частота сообщения, 400 ± 4 Гц;
- несущая частота ПРД-121, $121,5 \pm 0,006$ МГц;
- нестабильность несущей частоты 5×10^{-5} ;
- выходная мощность ПРД-121 на нагрузке 50 Ом, не менее, 50 мВт;
- модуляция-амплитудная сигналом звуковой частоты, изменяющимся в диапазоне, $1600 \div 300$ Гц;
- коэффициент модуляции, не менее, 85 %;
- изменение частоты звукового сигнала не менее, 70 Гц;
- частота повторения звукового сигнала, $2 \div 4$ Гц;
- скважность в пределах, $33 \div 55$ %;
- радиомаяк АРМ-406АС1 автоматически отключает режим излучения передатчика ПРД-406, если в результате неисправности время непрерывного излучения превысит, 45 сек;
- время непрерывной работы радиомаяка АРМ-406АС1А от одного комплекта БАП в диапазоне рабочих температур для ПРД-406 не менее, 24 час;
- время непрерывной работы радиомаяка АРМ-406АС1А от одного комплекта БАП в диапазоне рабочих температур для ПРД-121 не менее, 48 час;
- ток, потребляемый АРМ-406АС1 в режиме излучения ПРД-406, не более 1,2 А;
- ток, потребляемый АРМ-406АС1 в режиме излучения ПРД-121, не более 100 мА;
- назначенный ресурс АРМ-406АС1 — 30000 летных часов в течение назначенного срока службы 15 лет, в том числе срок хранения в складских

помещениях 15 лет;

– масса АРМ-406АС1, не более, 2,7 кг.

Радиомаяк представляет собой моноблок АС1, вставленный в металлический кожух (1), рис. 1.6. Моноблок АС1 содержит передающий модуль ПМ-АС1 с двухчастотной передающей штыревой антенной АНТ-АРМ (3) и (4), и блок автономного питания АРМ-043 (2).



Рисунок 1.6 – Конструкция блоков АРМ - 406

Передающий модуль ПМ-АС1 включает:

- плату передатчиков;
- плату программно-временного устройства (ПВУ);
- плату управления.

Плата передатчиков формирует два высокочастотных сигнала: 406,025 МГц и 121,5 МГц.

Частота 406,025 МГц формируется в кольце ФАПЧ управляемым генератором с частотой 203,0125 МГц, синхронизируемого высокостабильным кварцевым генератором. Сигнал управляемого генератора модулируется по фазе кодированным информационным сообщением с последующим выделением из частоты управляемого генератора 2-й гармоники и после усилителя мощности через согласующие элементы подается на вход антенны.

Частота передатчика 121,5 МГц формируется кварцевым генератором с последующим двухкаскадным усилением. Амплитудная модуляция осуществляется в выходном каскаде усилителя мощности, выход которого через согласующие элементы также подается на вход антенны. Плата программно-временного устройства (ПВУ), реализованная на микропроцессоре, и выполняет следующие функции:

- обеспечивает функционирование радиомаяка в двух режимах — режиме встроенного контроля и рабочем режиме;
- формирует управляющие сигналы и сигналы модуляции для работы двухчастотного передатчика;
- вырабатывает световой сигнал индикации;
- отключает сигнал платы передатчика ПРД-406, если непрерывное излучение сигнала на частоте 406,025 МГц длится более 45с;
- кодирует информационную посылку, идентифицирующую каждый радиомаяк на принадлежность к конкретному потребителю, с последующей проверкой этого сообщения.

Кодирование и перекодирование радиомаяка осуществляется на заводе-изготовителе согласно документу C/S G.005 «Положение по кодированию и регистрации аварийных радиомаяков системы КОСПАС-САРСАТ, предназначенных для эксплуатации на воздушных судах».

Передающая гибкая штыревая антенна АНТ-АРМ предназначена для излучения радиосигналов на двух частотах: 121,5 МГц и 406,025 МГц.

В штатной ситуации гибкая штыревая антенна располагается в пазу моноблока АС1 параллельно основанию (находится в «транспортном» положении). В случае аварийной ситуации гибкая штыревая антенна извлекается из паза и устанавливается в вертикальное положение.

Конструктивно платы передающего модуля ПМ-АС1 размещены в металлическом корпусе, в который вмонтированы:

- розетка соединительного разъема для подключения блока автономного питания АРМ-043;
- тумблер «ВКЛ-ВЫКЛ-КОНТР»/«ON-OFF-TEST» для переключения режимов работ радиомаяка;
- светодиод «ИЗЛ», индицирующий работу радиомаяка;
- в/ч разъем для внутренней передающей штыревой антенны.

На торцевой поверхности корпуса установлен разъем «ПРОГР», используемый при кодировании радиомаяка на заводе-изготовителе. При эксплуатации разъем не используется и закрыт герметичной заглушкой.

Блок автономного питания АРМ-043 обеспечивает передающий модуль ПМ-АС1 постоянным напряжением питания + 14,6В.

Моноблок АС1 представляет собой единую конструкцию, в которой электрическое соединение модуля ПМ-АС1 и модуля АРМ-043 осуществляется посредством соединительного разъема, вилка и розетка которого вмонтированы в соприкасающиеся поверхности этих модулей. Модуль блока автономного питания крепится на передающем модуле четырьмя винтами.

1.7 Описание структурной схемы навигационной системы

По итогам проведенного обзора сформировалось представление о навигационной системе для определения параметров подводных течений минимальной стоимости. На рис.1.7 показана структурная схема навигационной системы. Работа с несколькими радиомаяками организована на разных частотах в

диапазоне частот 407 – 410 МГц. Всего приемное устройство может обслуживать до 10 радиомаяков.

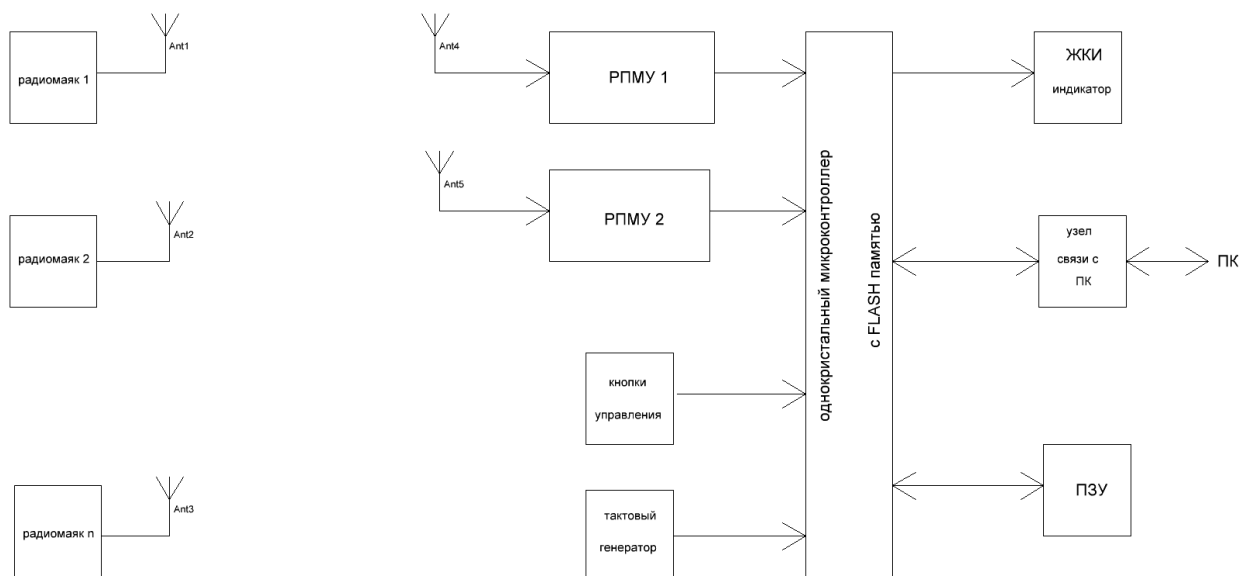


Рисунок 1.7 – Структурная схема навигационной системы

Структурная схема содержит следующие блоки:

- двухканальное радиоприемное устройство с двумя антеннами всенаправленной и узконаправленной РПМУ 1 и РПМУ 2;
- однокристальный микроконтроллер с FLASH памятью;
- кнопки выбора и задания режима работы;
- тактовый генератор, синхронизирующий работу всей системы;
- ЖКИ индикатор для визуализации полученных результатов;
- узел связи с компьютером;
- ПЗУ, постоянное запоминающее устройство в котором хранится карта данного района.

Микроконтроллер осуществляет обработку, поступающей информации от приемных устройств и выполняет вычисление координат радиомаяков, и скорости и направления подводных течений.

Узел связи с ПК предназначен для программирования МК для выполнения заданного алгоритма обработки поступающей информации.

2 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ

2.1 Описание функциональной схемы передающего тракта

Функциональная схема передающего тракта приведена на рис.2.1. Схема отличается минимальным количеством узлов и элементов. Исходя из технического задания, в котором необходимо спроектировать передатчик радиомаяка с частотной модуляцией, с относительной нестабильностью частоты 10^{-6} и полосой модулирующего сигнала от 1000 Гц до 1200 Гц, структурная схема представлена на рисунке 2.1.

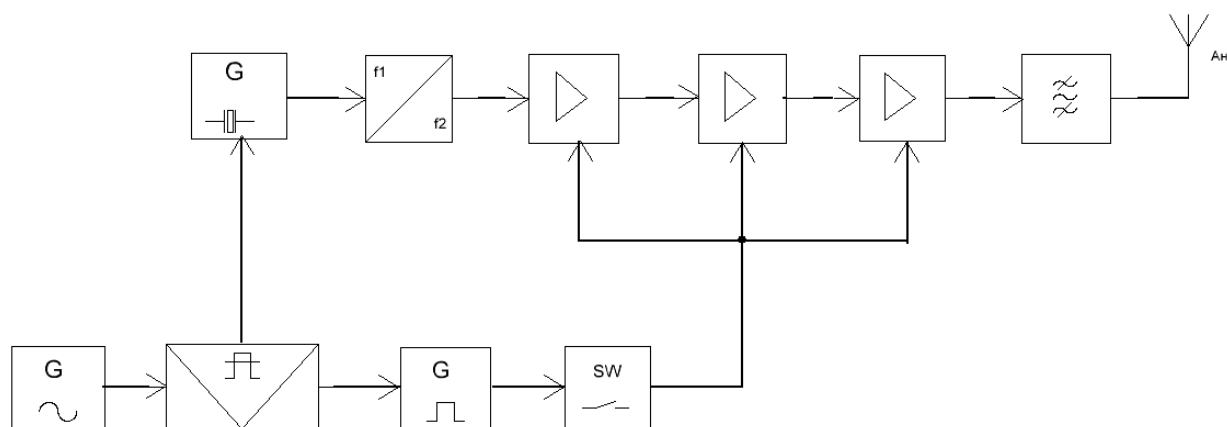


Рисунок 2.1 – Функциональная схема передающего тракта радиомаяка

В качестве задающего кварцевого генератора будет использоваться кварцевый автогенератор, построенный по 3-х точечной схеме. Кварцевый резонатор включен между базой и эмиттером транзистора. Такая схема генератора имеет ряд преимуществ:

- обеспечивается высокая стабильность частоты;
- генератор имеет склонность возбуждения на высших гармониках, $n = 9$;
- частоту генератора можно менять в достаточно широком диапазоне путем смены только кварцевого резонатора.

Тракт ВЧ построен по схеме прямого преобразования частоты кварцевого автогенератора до частотного диапазона выходного каскада, который определен ТЗ. Для получения высокостабильных колебаний частоту автогенератора следует принимать в диапазоне 10 – 50 МГц, а доведение частоты передатчика до заданного диапазона получаем с помощью дополнительного умножения частот. Каскад УМ обеспечивает требуемую выходную мощность передатчика $P_{\text{вых}}$.

Генератор Г1 вырабатывает сигнал тональной посылки с частотой 1100 Гц, генератор Г2 вырабатывает маркерный сигнал, с периодом 3 мин. и управляет коммутационным устройством, отключая усилитель мощности от источника питания.

Модулирующий каскад состоит из варикапа, подключенного к кварцевому резонатору через корректирующую индуктивность. Модулирующий сигнал вырабатывает генератор тональной посылки $G_{\text{тп}}$. Генератор импульсов G генерирует маркерный импульс длительностью t_m . Умножение частоты осуществляется в автогенераторе путем включения в эмиттерную цепь фильтра, настроенного на n -ю гармонику коллекторного тока транзистора. Далее следует согласующий каскад с небольшим усилением с местной отрицательной обратной связью. Выходной усилитель мощности имеет два каскада, построенные по схеме с общим эмиттером без смещения по постоянному току. Между выходом усилителя мощности и антенной находится ФНЧ, выполняющий роль согласующего устройства. Напряжение питания на усилительные каскады подается через ключ SW , и во время паузы между маркерными сигналами питание на усилители не подается, что приводит к снижению среднего значения потребляемого тока радиомаяком от аккумулятора.

Частотная модуляция обеспечивает постоянство девиации частоты $\Delta\omega_d$ в полосе модулируемых частот, при этом индекс частотной модуляции

$$M = \Delta\omega_d / \Omega. \quad (2.1)$$

Исходя, из этого рассчитаем необходимый коэффициент умножения частоты, чтобы обеспечить требуемую девиацию частоты:

$$N = \Delta f_d / \Delta f_{др} = 1100 / 120 = 9,1. \quad (2.2)$$

Формула (2.3) описывает уровень сигнала в приемнике (PR) относительно выходной мощности передатчика (PT), расстояния (R) и коэффициентов усиления антенн ($G_{пер}$ и $G_{прм}$). Разность между мощностью полученного сигнала (P_c) и чувствительностью приемника называется энергетическим запасом или защитной полосой. Для реалистической оценки бюджета канала и ожидаемого расстояния, помимо потерь, предсказанных Фриисом, должны быть приняты во внимание дополнительные потери. Теоретическая дальность связи равна расстоянию, на котором канал работает на уровне сигнала, равном уровню чувствительности приемника.

Реализовать умножитель частоты с коэффициентом умножения $N = 9$, возможно, но он будет вносить сильные искажения. Следовательно, необходим какой-то способ уменьшения коэффициента умножения.

Умножители частоты в передатчиках используются для повышения частоты колебаний в целое число раз, а также и для увеличения индекса модуляции при частотной или фазовой модуляции. Транзисторные умножители частоты строятся по схемам генераторов с внешним возбуждением, но выходной контур настроен на n -гармонику частоты возбуждения, а режим работы активного элемента выбирают таким образом, чтобы получить максимальные полезную мощность и к.п.д. В проектируемом передатчике необходимо будет использовать умножитель частоты с кратностью умножения $n = 9$.

Выходную мощность радиопередатчика формирует каскад усилителя мощности. В диапазоне высоких частот обычно используют транзисторный усилитель мощности по схеме с общим эмиттером, т.к. это обеспечивает наилучшую устойчивость работы. В состав усилителя мощности входят активный элемент, согласующие цепи, цепи питания и смещения. Чтобы обеспечить максимальный к.п.д и максимальную мощность необходима произвести расчет

усилителя мощности в оптимальном режиме. Для реализации такого режима необходимо правильно спроектировать внешние цепи усилителя – питания, смещения и согласования.

Усилители необходимы, чтобы обеспечить требуемую мощность возбуждения каскадов, следующих за ними. Их необходимость определяется схемами реализации всех каскадов.

Согласующие цепи делятся на входные, выходные и межкаскадные.

Входная согласующая цепь преобразует входное сопротивление активного элемента в сопротивление возбуждения (сопротивление необходимое для нормальной работы возбудителя) при этом от возбудителя передается максимальная мощность. Так же входная согласующая цепь играет роль фильтра, обеспечивающего гармоническую форму напряжения или тока на входе активного элемента.

Выходная согласующая цепь преобразует сопротивление нагрузки усилителя в критическое сопротивление на выходных электродах активного элемента, которое требуется для получения оптимального режима работы усилителя. Также выходная цепь применяется для фильтрации выходного напряжения активного элемента от высших гармонических составляющих.

Межкаскадные согласующие цепи применяются в многокаскадных радиопередатчиках для преобразования входного сопротивления АЭ последующего каскада в оптимальное сопротивление на выходных электродах АЭ предыдущего каскада.

В диапазоне ультракоротких волн используется очень большое количество разнообразных антенн направленных и ненаправленных. Для обеспечения работы антенны в диапазоне частот необходимо использоваться антенно – согласующее устройство, связь с которым осуществляется фидером. Фидер предназначен для передачи высокочастотной энергии от источника к нагрузке. Исходя из технического задания, в качестве фидера может использоваться коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 Ом, например, РК – 50 – 13.

2.2 Расчет функциональной схемы

Проведем расчет основных внешних характеристик радиомаяка, обеспечивающих результаты достаточной точности для практической эксплуатации.

Используем известную формулу для мощности передатчика для определения расстояния для радиосистем в открытой среде и свободном пространстве.

$$P_{\text{пер}} = (4 \cdot \pi \cdot R_{\text{макс}})^2 \cdot \frac{\gamma_{\text{вх}} \cdot \Delta f_{\text{эф}} \cdot L_{\text{тр}} \cdot P_{\text{швх}}}{G_{\text{пер}} \cdot K_{\text{исп}} \cdot G_{\text{прм}}}, (2.3)$$

где $R_{\text{макс}}$ – максимальное расстояние трассы ВЧ сигнала;

$\gamma_{\text{вх}}$ – требуемое соотношение сигнал/шум на входе детектора для достижения порога ЧМ детектора;

$\Delta f_{\text{эф}}$ – эффективная ширина полосы пропускания линейной части приемника;

$L_{\text{тр}}$ – суммарные потери сигнала на трассе в атмосфере;

$P_{\text{швх}}$ – мощность теплового шума на входе приемника;

$G_{\text{пер}}$ – коэффициент усиления передающей антенны;

$G_{\text{прм}}$ – коэффициент усиления приемной антенны;

$K_{\text{исп}}$ – коэффициент использования приемной антенны;

$P_{\text{пер}}$ – требуемая мощность передатчика.

Подставляя следующие параметры системы, $P_{\text{пер}} = 4,9$ Вт, $\gamma_{\text{вх}} = 16$ дБ = 40, $\Delta f_{\text{эф}} = 1,4 \cdot 1100 = 1500$ Гц, $L_{\text{тр}} = 41$ дБ = 12500, $P_{\text{швх}} = k_0 \cdot T_0 = 1,38 \cdot 10^{-23} = 4,14 \cdot 10^{-21}$, $G_{\text{пер}} = 1,5$, $G_{\text{прм}} = 10$, $K_{\text{исп}} = 0,8$, и решая относительно $R_{\text{макс}}$ получим значение максимальной дальности трассы $R_{\text{макс}} = 350$ км.

Определим выходную мощность оконечного каскада усилителя мощности

$$P_{\text{вых}} = \frac{P_{\text{н}}}{\eta_{\text{вкс}} \cdot \eta_{\text{к}}} (2.4)$$

где $P_{\text{н}} = 4,9$ Вт – полезная мощность в антенне;

$\eta_{\text{вкс}} = 0,9$ – КПД выходной колебательной системы, фильтра гармоник;

$\eta_{\text{к}} = 0,8$ – КПД выходного транзистора;

$$P_{\text{вых}} = \frac{4,9}{0,95 \cdot 0,8} = 5,5 \text{ Вт}$$

Выходное сопротивление УМ принимаем равным стандартному значению $R_0 = 50 \text{ Ом}$.

Задаемся ориентировочно мощностью автогенератора $P_{\text{аг}} = 0,1 \text{ мВт}$.

Ориентировочное значение коэффициента усиления УМ на рабочей частоте

$$K_{\text{Р рас}} = P_{\text{вых}} / P_{\text{аг}} = 5,5 / 0,0001 = 55000. \quad (2.5)$$

Большинство современных транзисторов на частотах 500 МГц имеют коэффициент усиления по мощности порядка $G_{\text{р}} = 15 - 25 \text{ дБ}$. Распределим коэффициенты усиления следующим образом $G_{\text{р1}} = 10 \text{ дБ}$, $G_{\text{р2}} = 15 \text{ дБ}$, $G_{\text{р3}} = 25 \text{ дБ}$. Оконечный каскад имеет $G_{\text{р1}} = 10 \text{ дБ}$, предоконечный каскад имеет $G_{\text{р2}} = 15 \text{ дБ}$, согласующий каскад имеет самое большое усиление $G_{\text{р3}} = 25 \text{ дБ}$.

Ориентировочно, требуемое значение суммарного коэффициента усиления по мощности транзисторов

$$K_{\text{Р треб}} = G_{\text{р1}} + G_{\text{р2}} + G_{\text{р3}} = 10 + 15 + 25 = 50 \text{ дБ}. \quad (2.6)$$

Определим требуемый суммарный коэффициент усиления по мощности усилительного тракта с учетом потерь сигнала в элементах согласующих цепей $\eta_1 = \eta_2 = \eta_3 = 0,95$, $\eta_{\text{ф}} = 0,55$.

$$K_{\text{Р}\Sigma \text{ треб}} = K_{\text{Р треб}} / \eta_1 / \eta_2 / \eta_3 / \eta_{\text{ф}} = 100000 / 0,47 = 212766, \quad (2.7)$$

где η_1 – согласующая цепь между окончным каскадом и предоконечным;

η_1 – согласующая цепь между предоконечным каскадом и согласующим;

η_1 – согласующая цепь между согласующим каскадом и фильтром;

$\eta_{\text{ф}}$ – потери в фильтре умножения частоты.

Определим выходную мощность автогенератора:

$$P_{AG} = P_{\text{вых}} / K_{P\Sigma \text{ треб}} = 5,5 / 212766 = 0,000025 \text{ Вт.} \quad (2.8)$$

Прямое затухание согласующей цепи:

$$L_{\text{сц}} = 10 \cdot Lg(1/\eta_{\text{сц}}) = 10 \cdot Lg(1/0,95) = 0,22 \text{ дБ.} \quad (2.9)$$

Выбираем значение коэффициента умножения частоты $K_{\text{умн}} = 9$, который обеспечивается настройкой фильтра на 9-ю гармонику кварцевого автогенератора.

Передачик работает на фиксированной частоте заданного диапазона. Эта частота определяется значением частоты кварцевого резонатора.

Определим граничные частоты кварцевых резонаторов для заданного диапазона: $f_{\text{max}} = 409 \text{ МГц}$, $f_{\text{min}} = 407 \text{ МГц}$.

$$f_{\text{KB min}} = f_{\text{min}} / K_{\text{умн}} = 407 / 9 = 45,222 \text{ МГц,} \quad (2.10)$$

$$f_{\text{KB max}} = f_{\text{max}} / K_{\text{умн}} = 409 / 9 = 45,444 \text{ МГц.} \quad (2.11)$$

Для средней частоты диапазона частотный план передатчика имеет следующий вид: автогенератор имеет частоту 45,333 МГц и усилительный тракт имеет частоту 408 МГц.

Таким образом требование к частоте модулирующего сигнала:

$$\Delta\Omega_{AG} = \Delta\Omega_{\text{вых}} / K_{\text{умн}} = 1100 / 9 = 120 \text{ Гц.} \quad (2.12)$$

Рассчитаем параметры антенны. В качестве антенны применим штыревую узкополосную антенну, длиной не менее $\lambda/4$.

Определим среднюю длину волны:

$$\lambda_0 = c / f_0 = 3 \cdot 10^8 / 408 \cdot 10^6 = 0,735 \text{ м.} \quad (2.13)$$

Выбираем длину антенны несимметричного вибратора $l_a = 0,435 \text{ м}$.

Сопротивление излучения для короткого штыря:

$$R_{\Sigma 0} = 80\pi^2 \cdot (l/\lambda)^2. \quad (2.14)$$

Полагая $R_{\Sigma 0} = 50 \text{ Ом}$, определим требуемую длину штыря:

$$l = \sqrt{50 \cdot \lambda / 80 \cdot \pi^2} = 0,251 \lambda. \quad (2.15)$$

Соотношение длительности импульса сигнала к длительности паузы принимаем равное 10. Это резко повысит энергетические показатели и снизит постоянный ток потребления.

Для успешной работы демодуляторов приемника и обработки принимаемых сигналов задаемся длительностью импульса $t_{\text{имп}} = 200 \text{ мс}$, длительность паузы $t_{\text{паз}} = 20 \text{ с}$.

Скважность сигнала управления:

$$Q = T/t_{\text{имп}} = (t_{\text{имп}} + t_{\text{паз}})/t_{\text{имп}} = (0,2 + 20) / 0,2 = 101. \quad (2.16)$$

2.3 Выбор элементной базы

Данная схема отличается простотой реализации схемотехнических решений и применением современной элементной базы, которая заметно влияет на технические характеристики всего передатчика в целом.

Основным требованием для применения активных элементов являются: частотные свойства, величины обратных токов, допустимые электрические параметры и высокая надежность транзисторов.

В состав схемы передатчика входят: выходной фильтр гармоник (ФГ), усилитель мощности (УМ), частотный модулятор (ЧМ), задающий автогенератор с кварцевой стабилизацией частоты (Г), генератор тональной посылки (Г1), генератор маркерного сигнала (Г2) и электронного ключа, подающего напряжение питания на выходные каскады передатчика УМ.

Выбор скважности импульсной последовательности обусловлен стремлением уменьшить ток потребления передатчиком.

Питание передатчика осуществляется от серебряно-цинкового аккумулятора. Для долговременной работы радиомаяка выбрана достаточно большая величина скважности сигналов.

Выбор современной элементной базы при выбранной функциональной схеме заметно влияет на технические характеристики всего передающего тракта в целом.

Ввиду применения фильтрации перед усилителем мощности в ВЧ тракте передатчика предъявляются повышенные требования к линейности характеристик ВЧ транзисторов.

Таким требованиям удовлетворяют следующие типы транзисторов:

КТ944А, 2Т950А, 2Т951А – В, 2Т955А, КТ956А, КТ957А, КТ964А, КТ967А.

Эти транзисторы коэффициент комбинационных составляющих МЗ и М5 на уровне – 28...– 40 дБ.

Для повышения эффективности работы транзисторов при эксплуатации следует выбирать рабочие режимы с коэффициентом нагрузки по напряжению и мощности в пределах 0,7...0,8.

Для ВЧ транзисторов, предназначенных для работы на согласованную нагрузку при настройке необходимо принять меры, исключающие возможность работы транзистора на рассогласованную нагрузку. Если полностью это исключить возможно, то настройку следует осуществлять при пониженном напряжении питания или пониженной мощности возбуждения, а при выборе типа транзистора для оконечного каскада следует учесть такой параметр. Как степень рассогласования нагрузки в течение 1с.

Большинство ВЧ транзисторов имеет величину этого параметра 25...30.

Для мощных ВЧ транзисторов, работающих, как правило, при больших рассеиваемых мощностях, особенно существенным является выделение тепла, защиты от тепловых перегрузок и применении эффективных методов отвода тепла от транзисторов. Для решения этих задач имеется параметр $R_{\text{т п-к}}$ – тепловое сопротивление переход – корпус.

В маломощных каскадах применим ВЧ транзисторы высокого качества, с очень малыми обратными токами коллектора $I_{кбо} = 0,05 \dots 0,1$ мкА, с достаточно максимальным значением I_k доп, для обеспечения высокого динамического диапазона, высоким значением предельной частоты $f_T > 500 \dots 1000$ МГц и малым $K_{ш}$, что позволяет получить невысокое изменение входного импульса транзистора в рабочем диапазоне частот.

Этим требованиям в полной мере отвечают маломощные СВЧ транзисторы следующих типов: КТ368Б, КТ363А, КТ399А, КТ3102Б, КТ3107Б, КТ369А – 9, имеющие малые обратные токи и малый коэффициент шума $K_{ш} < 2$, большое значение предельной частоты $f_T > 1$ ГГц.

Для усилительного тракта применим современные транзисторы зарубежного производства, а именно фирмы Philips серий BLT, BFR, BFG, BLV, например транзисторы типов BLT50 – 61, BLT 11-13, BLV 98 – 99, BFR 91.

Эти транзисторы обеспечивают значительный динамический диапазон по входному сигналу, имеют малые обратные токи и достаточно высокие значения предельной частоты усиления, порядка 3 – 8 ГГц.

В ВЧ схемах в зависимости от типа конструкции используются конденсаторы постоянной и переменной емкости предназначенные для относительно низкочастотных цепей, если они сохраняют свойство сосредоточенных элементов в ВЧ и СВЧ диапазонах. Наиболее подходящими для печатных конструкций ВЧ плат являются конденсаторы типов К10-9, К10-17, К10-42, К10-43, К10-44, представляющие собой миниатюрные керамические параллелепипеды, торцы которых металлизированы и облужены, они имеют минимальные потери и не имеют индуктивных элементов. Эти конденсаторы с помощью пайки крепятся к контактными площадкам платы.

Конденсаторы К10-42 имеют номиналы 1...22 пФ с допуском $\pm 0,25$ пФ и ТКЕ группы М47, рабочее напряжение 50 В.

Конденсаторы К10-43, К10-44 имеют номиналы от 22 пФ до 0,047 мкФ с допуском $\pm 1\%$, $\pm 2\%$, $\pm 5\%$ и ТКЕ группы МПО, рабочее напряжение 25В.

Наиболее употребляемыми резисторами для ВЧ схем диапазона до 100 МГц являются резисторы С2-23, С2-10, СВЧ резисторы С6-3, С6-4.

Эти резисторы выпускаются с малой мощностью рассеивания 0,025...0,5 Вт и имеют номинальное значение от 10 Ом до 1МОм, припаиваются к контактным площадкам за выводы или за колпачки. Резисторы С6-3 (ОЖО.467.110ТУ) имеются баночные выводы и предназначены для поверхностного монтажа.

Для построения генератора маркерного сигнала применим интегральный таймер серии 555, отличающийся простотой схемной реализации, минимум навесных элементов, достаточной стабильностью генерируемых длительностей в очень широких пределах от единиц микросекунд до нескольких десятков минут.

Применение коммутационных элементов ограничивается требованиями к переходному сопротивлению ключа во включенном состоянии $R_{отк}$.

В тех устройствах, где требования к величине $R_{отк}$ не влияют существенным образом на характеристики, применим электронные коммутаторы.

В устройствах, где коммутационные элементы участвуют в цепях прохождения ВЧ токов, применим герконовые реле РЛ-1, РЭС-55А, РЭС-65А, способные работать при управлении непосредственно от микросхем, они имеют минимальные значения индуктивности обмоток, достаточное быстродействие и гарантированное качество переключения.

Их конструкция вполне согласуется с требованиями печатного монтажа с целью получения минимальных искажений сигналов и рассогласований.

3 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ СХЕМЫ

3.1 Схема кварцевого автогенератора

Схема задающего автогенератора изображена на рисунке 3.1, рабочая частота автогенератора зависит от диапазона работы маяка. При работе навигационной системы с несколькими радиомаяками, работающими одновременно, каждый маяк имеет свою частоту, определяемую кварцевым резонатором. Средняя частота рабочего диапазона системы составляет 408 МГц. Эта частота получается выделением 9-й гармоники частоты задающего генератора узкополосным фильтром Z1, Z2.

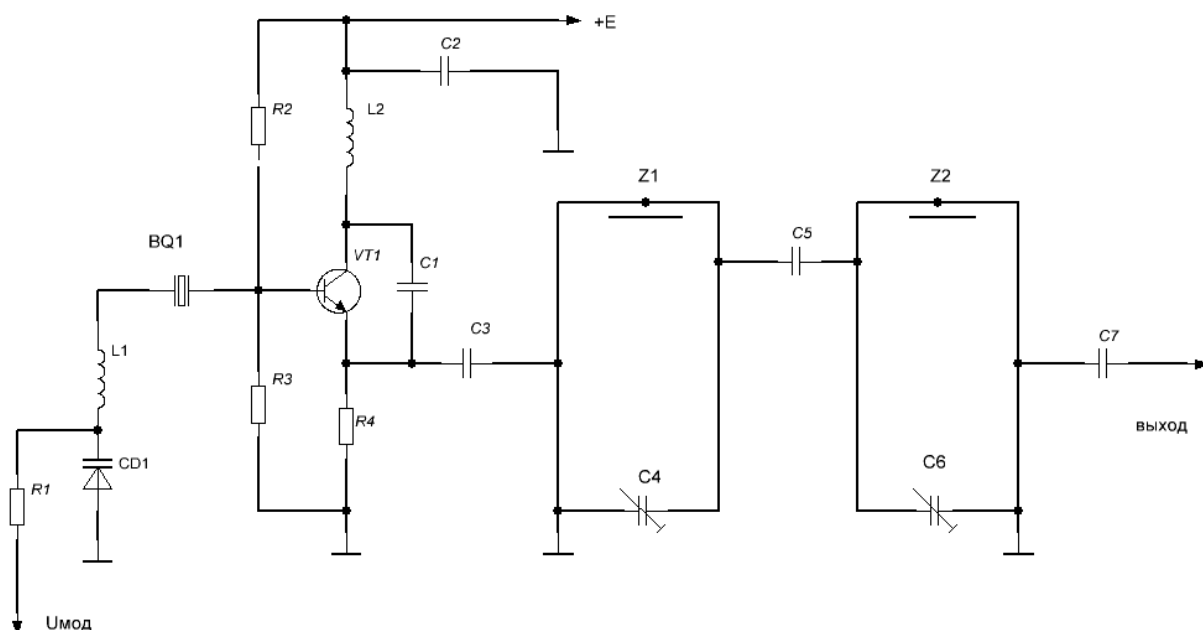


Рисунок 3.1– Кварцевый автогенератор,
схема электрическая принципиальная

Автогенератор представляет собой трехточечную схему, которая образована транзистором VT1, кварцевым резонатором BQ1, и конденсаторами C1, C3 и частично входной емкостью фильтра Z1, Z2, выполненного на микрополосковых линиях. Применим СВЧ транзистор с большой граничной частотой и небольшим

значением максимального тока коллектора, типа BFR91A. Резисторы R2, R3, R4 обеспечивают внешнее и автоматическое смещение для транзистора по постоянному току. Конденсатор C2 служит для блокировки коллекторной нагрузки по переменному току на рабочей частоте, что исключает отрицательную обратную связь. Индуктивность L1 включена для уменьшения влияния варикапа на добротность кварцевого резонатора. Индуктивность L2 выполняет функцию коллекторной нагрузки транзистора. Варикап VD1 осуществляет частотную модуляцию сигналом тональной посылки.

Транзистор BFR91A имеет следующие параметры: $U_{кб} = 20$ В, $U_{кэ} = 12$, $U_{эб} = 2$ В, $I_k = 50$ мА, $P_k = 300$ мВт, $T_{макс} = 150$ °С, $I_{кэс} = 10$ мкА, $I_{кб0} = 0,1$ мкА, $I_{эб0} = 10$ мкА, $h_{21э} = 40 - 150$, $f_T = 6$ ГГц, $C_{кб} = 0,4$ пФ, $C_{кэ} = 0,3$ пФ, $C_{эб} = 1,5$ пФ, $K_{ш} = 1,6$ дБ, $G_{ус} = 14$ дБ, $L_э = 0,55$ нГн, $L_б = 0,47$ нГн, $L_k = 0,31$ нГн, $r_б = 45$ Ом, $r_э = 5,2$ Ом, $U_{кэнас} = 0,4$ В, $S = 0,5$ сим, $U_{бэотс} = 0,65$ В.

Задаёмся значением постоянной составляющей коллекторного тока $I_{к0}$, напряжением между коллектором и эмиттером $U_{кэ}$ и напряжением на эмиттере $U_э$ исходя из рекомендаций, изложенных в [33] $I_{к0} = (3 \dots 10)$ мА, $U_{кэ} = (3 \dots 10)$ В и $U_э = (2 \dots 3)$ В. Принимаем значения $I_{к0} = 5$ мА, $U_{кэ} = 5$ В и $U_э = 2$ В.

Рассчитываем сопротивление автосмещения в эмиттерной цепи

$$R4 = U_э / I_{к0} = 2 / 5 \cdot 10^{-3} = 400 \text{ Ом.} \quad (3.1)$$

Выбираем номинальное значение сопротивления $R4 = 430$ Ом.

Напряжение питания автогенератора $E_{п} = 9$ В. Это напряжение обеспечивает стабилизатор напряжения, выполненный на микросхеме DA1, LM7809P, выходной ток которой составляет величину $1 \text{ А} > I_{потр}$.

Определяем ток базы

$$I_{б0} = I_{к0} / \beta_0 = 5 \cdot 10^{-3} / 90 = 55 \text{ мкА,} \quad (3.2)$$

где $\beta_0 = 90$, среднее значение коэффициента передачи тока транзистора.

Задаём ток делителя напряжения цепи фиксированного смещения базы.

$$I_{ДЕЛ} = (10 \dots 20) \cdot I_{б0} = 10 \cdot 55 \cdot 10^{-6} = 550 \text{ мкА.} \quad (3.3)$$

Определяем сопротивление делителя напряжения R_2 и R_3 .

$$R_{\text{ДЕЛ}} = R_2 + R_3 = E_{\Pi} / I_{\text{ДЕЛ}} = 9 / 550 \cdot 10^{-6} = 16 \text{ кОм.} \quad (3.4)$$

Определим напряжение смещения на базе транзистора.

$$U_B = U_{\text{Э}} + U_{\text{бэотс}} = 2 + 0,65 = 2,65 \text{ В.} \quad (3.5)$$

Найдем значения сопротивлений R_1 и R_2 .

$$R_3 = U_B / I_{\text{ДЕЛ}} = 2,65 / 550 \cdot 10^{-6} = 5,4 \text{ кОм,} \quad (3.6)$$

$$R_2 = R_{\text{ДЕЛ}} - R_1 = 16 - 5,1 = 11 \text{ кОм,}$$

Принимаем номинальные значения сопротивлений $R_2 = 11 \text{ кОм,}$
 $R_3 = 5,1 \text{ кОм.}$

Угол отсечки коллекторного тока принимаем равный 100° , коэффициенты разложения косинусоидального импульса $\cos(\theta) = -0,174$, $\alpha_0(\theta) = 0,35$, $\alpha_1(\theta) = 0,52$, $\gamma_0(\theta) = 0,411$, $\gamma_1(\theta) = 0,611$.

Выбор величины угла обусловлен сохранением высокой стабильности частоты и наличием высших гармоник в коллекторном токе.

Определяем крутизну транзистора:

$$S = \frac{\beta_0}{r'_B + \beta_0 r_{\text{Э}}}, \quad (3.7)$$

где $r'_B = 45 \text{ Ом}$ – высокочастотное сопротивление базы;

$r_{\text{Э}}$ – сопротивление эмиттерного перехода, $r_{\text{Э}} = 26 / I_{K0} = 26 / 5 = 5,2 \text{ Ом.}$

$$S = 90 / (45 + 90 \cdot 5,2) = 175 \text{ мА/В.}$$

Определим управляющее сопротивление:

$$R_y = 1 / S \cdot \gamma_0(\theta) = 1 / 175 \cdot 10^{-3} \cdot 0,61 = 14 \text{ Ом.} \quad (3.8)$$

Зададим коэффициент обратной связи автогенератора

$$K'_{oc} = C1 / C2 = 0,5. \quad (3.9)$$

Выбираем кварцевый резонатор типа РК49ПГ, имеющий следующие параметры: $R_{кв} = 60 \text{ Ом}$, $L_{кв} = 0,001 \text{ Гн}$, $C_{кв} = 1,25 \cdot 10^{-2} \text{ пФ}$, $C0 = 5 \text{ пФ}$, $f = 45,3 \text{ МГц}$, $P_{квдоп} = 10 \text{ мВт}$, $\alpha_{кр} = 1 \cdot 10^{-6}$.

Величина управляющего сопротивления устанавливает соотношение между емкостными элементами схемы

$$R_y = X_1 \cdot X_2 / R_{кв}, \quad (3.10)$$

где $X_1 = 1 / \omega / C_1$, реактивное сопротивление конденсатора, включенного между коллектором и эмиттером;

$X_2 = 1 / \omega / C$, реактивное сопротивление, включенное между базой и эмиттером, кварцевый резонатор и входная емкость транзистора (рис. 3.2)

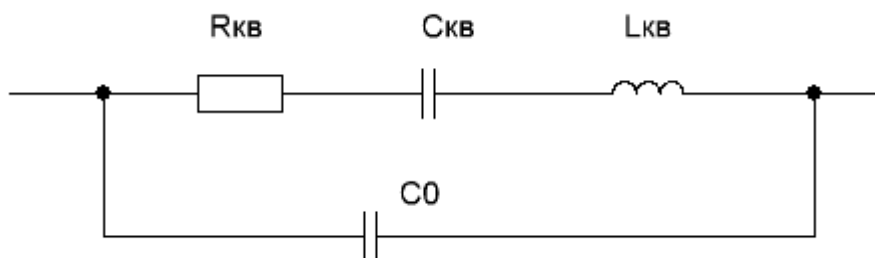


Рисунок 3.2 – Эквивалентная схема кварцевого резонатора

Вычислим реактивное сопротивление емкости $C1$.

$$X_1 = \sqrt{\frac{R_y \cdot R_{кв}}{K_{св}}} = \sqrt{\frac{14 \cdot 60}{0,5}} = 41 \text{ Ом}. \quad (3.11)$$

Найдем емкость конденсаторов $C1$ и $C3$

$$C1 = 1 / \omega_{кв} / X_1 = 1 / 2 \cdot \pi \cdot 45,3 \cdot 10^6 \cdot 41 = 85 \text{ пФ}. \quad (3.12)$$

Вычислим ёмкость блокировочного конденсатора.

$$C2 = (10...50) = 50 / 2 \cdot \pi \cdot 45,3 \cdot 10^6 \cdot = 30,6 \text{ нФ.} \quad (3.13)$$

Рассчитаем индуктивность дросселя коллекторной нагрузки.

$$L2 = (20...30) \frac{X_1}{\omega_{кв}} = 20 \cdot 41 / 2 \cdot \pi \cdot 45,3 \cdot 10^6 = 2,9 \text{ мкГн.} \quad (3.14)$$

Вычисляем амплитуду импульса коллекторного тока.

$$I_{км} = I_{к0} / \alpha_0(\theta) = 5 \cdot 10^{-3} / 0,35 = 14 \text{ мА.} \quad (3.15)$$

Проверяем условие $I_{км} < I_{кмаксдоп}$, $14 < 100$.

Определяем амплитуду первой гармоники коллекторного тока.

$$I_{к1} = \alpha_1(\theta) \cdot I_{км} = 0,52 \cdot 14 \cdot 10^{-3} = 7,5 \text{ мА.} \quad (3.16)$$

Рассчитываем амплитуду напряжения на базе транзистора.

$$U_{бм} = I_{к1} \cdot R_y = 7,5 \cdot 10^{-3} \cdot 14 = 0,1 \text{ В.} \quad (3.17)$$

Вычисляем модуль коэффициента обратной связи.

$$|K_{oc}| = \frac{X_1}{\sqrt{X_1^2 + R_{кв}^2}} = \frac{41}{\sqrt{41^2 + 60^2}} = 0,54. \quad (3.18)$$

Находим амплитуду напряжения на коллекторе.

$$U_{км} = \frac{U_{мб}}{|K_{oc}|} = 0,1 / 0,54 = 0,2 \text{ В.} \quad (3.19)$$

Определяем мощность, потребляемую от источника коллекторной цепью.

$$P_0 = I_{к0} \cdot U_{кэ} = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 9 = 45 \text{ мВт.} \quad (3.20)$$

Мощность, рассеиваемая кварцевым резонатором.

$$P_{\text{кв}} = 0,5 \cdot (U_{\text{бм}} / X_1)^2 \cdot R_{\text{кв}} = 0,5 \cdot (0,1 / 41)^2 \cdot 60 = 0,18 \text{ мВт} . \quad (3.21)$$

Выходная мощность, выделяемая на сопротивлении нагрузки R_4 .

$$P_{\text{вых}} = 0,5 \cdot I_{\text{к1}}^2 \cdot R_4 = 0,012 \text{ Вт} = 12 \text{ мВт} . \quad (3.22)$$

Проверяем условие $P_{\text{кв}} < P_{\text{кв доп}}$, где $P_{\text{кв доп}}$ — допустимая мощность, рассеиваемая на кварцевом резонаторе $0,18 \text{ мВт} < 10 \text{ мВт}$.

Мощность, рассеиваемая транзистором.

$$P_{\text{к}} = P_0 - P_{\text{кв}} = 45 - 0,18 = 44,8 \text{ мВт} . \quad (3.23)$$

Проверяем условие $P_{\text{к}} < P_{\text{к доп}}$, где $P_{\text{к доп}}$ — допустимая мощность, рассеиваемая транзистором, $44,8 \text{ мВт} < 300 \text{ мВт}$.

Найдем к.п.д. автогенератора.

$$\eta = P_{\text{вых}} / P_0 = (12 / 45) \cdot 100\% = 26 \% . \quad (3.24)$$

Рассчитаем параметры и характеристики частотной модуляции. Выбираем варикап с минимальной начальной емкостью и невысоким значением управляющего напряжения $C_{\text{ном}}$. единицы пФ и $U_{\text{упр}} < 9 \text{ В}$. Применим варикап типа ВВ143, имеющий следующие параметры: $C_{\text{ном}} = 6 \text{ пФ}$, $U_{\text{обр}} = 8 \text{ В}$, $Q = 600$, $f = 50 \text{ МГц}$, $K_c = 1,8$, $U_1 = 1 \text{ В}$, $U_2 = 8 \text{ В}$, $I_{\text{обр}} = 0,2 \text{ мкА}$, $\alpha_v = 1 \cdot 10^{-4} 1/^\circ\text{C}$, $n = 0,5$

Частота тональной посылки составляет 1100 Гц . Относительная девиация частоты с учетом последующего умножения равняется.

$$\Delta f / f_1 = \Omega / K_{\text{умн}} / f = 1100 / 9 / 45,3 \cdot 10^6 = 2,67 \cdot 10^{-6} . \quad (3.25)$$

Параметры выбранного кварцевого резонатора должны обеспечивать выполнение следующего неравенства.

$$f_1 \gg (3 - 4) \cdot \Delta f \cdot 10^3 / (\gamma - 1), \quad (3.26)$$

где Δf девиация частоты;

$f_1 = 45,3 \cdot 10^6$ Гц, частота последовательного резонанса кварцевого резонатора;

$\gamma = \alpha_T / \alpha_{KB}$, коэффициент ухудшения частоты, $\alpha_{KB} = 1 \cdot 10^{-6}$. принимаем $\gamma = 5$;
 $\alpha_T = 0,5 \cdot 10^{-5}$, относительный температурный коэффициент автогенератора.

Условие (3.26) выполняется $4 \cdot 120 \cdot 1000 / (5 - 1) = 0,12$ МГц $\ll 45,3$ МГц.

Отношение динамической емкости резонатора к статической емкости.

$$m = C_{KB} / C_0 = 0,0125 / 5 = 2,5 \cdot 10^{-3}. \quad (3.27)$$

Необходимая относительная начальная расстройка.

$$\nu = \frac{m}{2} - \frac{1}{(K_\Omega / \Delta f / f_1)} - \frac{1}{(\alpha_B / 4 \cdot (\gamma - 1) \cdot \alpha_{KB})}, \quad (3.28)$$

где $K_\Omega = 0,1$, коэффициент нелинейных искажений;

$\alpha_B = 1 \cdot 10^{-4}$ 1/ °С, относительный температурный коэффициент емкости используемого варикапа;

$$\nu = 0,00247.$$

Коэффициент включения емкости варикапа.

$$p_B = \frac{(2 \cdot \nu - m)^2 \cdot \alpha_B}{2 \cdot m \cdot (1 - \nu) \cdot \alpha_{KB}}, \quad (3.29)$$

$$P_B = (2 \cdot 0,00247 - 0,0025)^2 \cdot 1 \cdot 10^{-4} / (2 \cdot 0,0025 \cdot (1 - 0,00247) \cdot 1 \cdot 10^{-6}) = 0,12.$$

Емкость варикапа в рабочей точке.

$$C_{\text{во}} = P_{\text{в}} \cdot C_0 = 0,12 \cdot 6 = 0,72 \text{ пФ.} \quad (3.30)$$

Индуктивность в цепи управления резонатором.

$$L = n \cdot L_{\text{кв}}, \quad (3.31)$$

где $n = m/p_{\text{в}} + 2 \cdot \nu m / (2 \cdot \nu - m) = 0,0025 / 0,12 + 2 \cdot 0,00247 \cdot 0,0025 / (2 \cdot 0,00247 - 0,0025) = 0,03$.

$$L_1 = n \cdot L_{\text{кв}} = 0,03 \cdot 0,001 = 300 \text{ мкГн.} \quad (3.32)$$

Относительная амплитуда модулирующего напряжения.

$$A_{\text{м}} = 4 \cdot \Delta f \cdot m \cdot \nu \cdot p_{\text{в}} / f_1 / (2 \cdot \nu - m) = 0,558. \quad (3.33)$$

Амплитуда модулирующего напряжения.

$$U_{\Omega} = A_{\text{м}} \cdot \Delta U_0 = 0,558 \cdot 7 = 4 \text{ В,} \quad (3.34)$$

где $\Delta U_0 = U_2 - U_1$, перепад модулирующего напряжения генератора тональной посылки, $\Delta U_0 = 8 - 1 = 7 \text{ В}$.

Резистор, ограничивающий обратный ток через варикап.

$$R_1 \geq U_{\Omega} / I_{\text{обр}} = 7 / 0,2 \cdot 10^{-6} = 35 \text{ кОм.} \quad (3.35)$$

3.2 Схема двухкаскадного усилителя мощности

В качестве активного элемента в конечном каскаде усилителя мощности будет использоваться биполярный транзистор BLT53 т. к. он обеспечивает требуемую выходную мощность и может работать на требуемой частоте. Параметры транзистора приведены в ПРИЛОЖЕНИИ Б.

Схема окончного и предоконечного каскадов усилителя мощности приведена на рис. 3.3.

Назначение элементов схемы окончного и предоконечного каскадов выходного усилителя мощности.

$R1$ и $R2$ – используются как развязывающие элементы по цепи питания, обеспечивают также ограничение и поддержание стабильности постоянной составляющей тока коллекторов. $C3$ – разделительная емкость между каскадами.

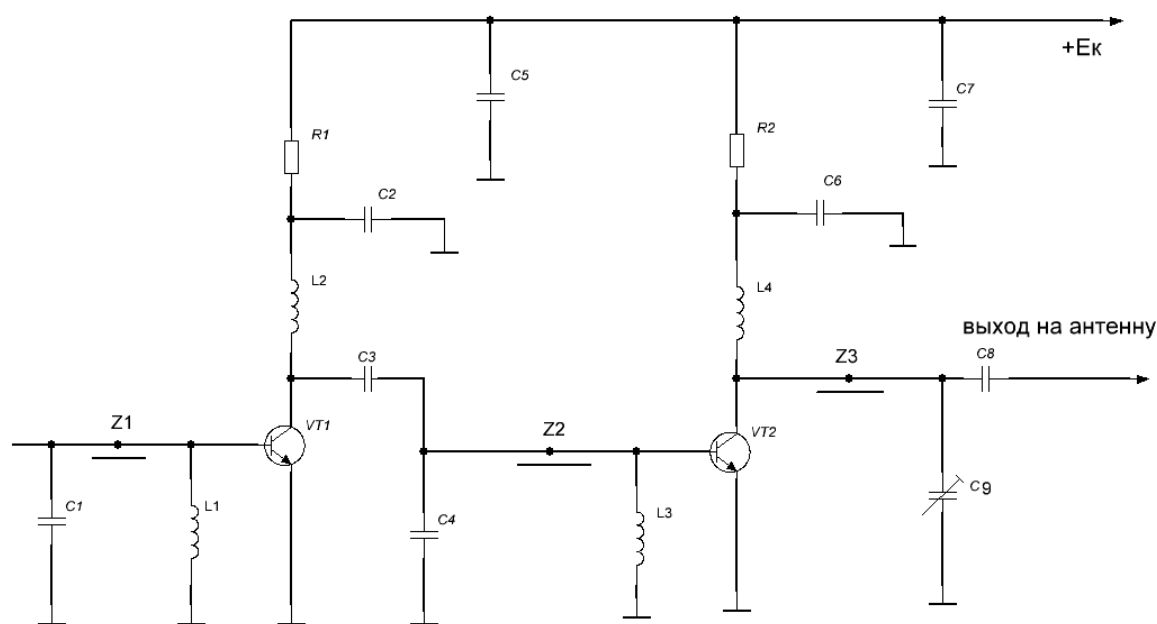


Рисунок 3.3 – Схема окончного и предоконечного каскадов усилителя мощности

Конденсаторы $C2$, $C5$, $C6$, $C7$ – блокировочные емкости по цепи питания.

$L2$ и $L4$ – индуктивные нагрузки коллекторов транзисторов $VT1$ и $VT2$.

Элементы $C1$, $L1$ и $Z1$ – входная согласующая цепь для транзистора $VT1$. $C4$, $L3$ и $Z2$ – согласующая цепь между каскадами. $C8$, $C9$ и $Z3$ – выходная согласующая цепь между выходным каскадом и антенной. Выходной транзистор выбран с хорошим запасом по мощности $P_{\text{вых}} = 30$ Вт, коэффициент нагрузки транзистора по мощности составляет $K_{\text{тр}} = 0,17$. Напряжение источника питания: $E_{\text{к}} = 12,6$ В. Угол отсечки коллекторного тока принимаем равный 90° для обоих каскадов. Расчет рабочего режима проведем по методике, изложенной в [11].

Найдем амплитуду импульсов первой гармоники коллекторного напряжения

$$U_{к1кр} = E_k \cdot (0,5 + 0,5 \cdot \sqrt{1 - \frac{8 \cdot r_{нас} \cdot P_{1ном}}{\alpha_1(\theta) \cdot E_k^2}}), \quad (3.36)$$

где $r_{нас}$ – сопротивление насыщения транзистора, $r_{нас} = 0,25 \text{ Ом}$;

$P_{1ном}$ – номинальное значение выходной мощности транзистора VT2, $P_{1ном} = 5,5 \text{ Вт}$;

$\alpha_1(\theta)$ – коэффициент разложения косинусоидальной импульсной последовательности, $\alpha_1(\theta) = 0,5$;

E_k – напряжение питания усилителя мощности.

Определим амплитуду импульсов первой гармоники коллекторного тока, $U_{к1кр} = 12,1 \text{ В}$.

$$I_{к1} = 2 \cdot P_{1ном} / U_{к1кр} = 2 \cdot 5,5 / 12,1 = 0,91 \text{ А}. \quad (3.37)$$

Рассчитаем постоянный ток, потребляемый коллекторной цепью транзистора VT2, $\alpha_0(\theta) = 0,319$.

$$I_{к0} = \alpha_0(\theta) / \alpha_1(\theta) \cdot I_{к1} = 0,319 / 0,5 \cdot 0,91 = 0,58 \text{ А}. \quad (3.38)$$

Рассчитаем амплитуду коллекторного тока.

$$I_{кмакс} = I_{к0} / \alpha_0(\theta) = 0,58 / 0,319 = 1,81 \text{ А}, \quad I_{кмакс} < I_{кдоп} = 7,5 \text{ А}. \quad (3.39)$$

Определим мощность, потребляемую от источника питания.

$$P_{0макс} = P_{0ном} = E_k \cdot I_{к0} = 12,6 \cdot 0,58 = 7,3 \text{ Вт}. \quad (3.40)$$

Найдем к.п.д. усилителя.

$$\eta = P_{1ном} / P_{0ном} = 0,76.$$

Найдем максимальное значение мощности, рассеиваемое на коллекторе транзистора.

$$P_{\text{кмакс}} = P_{0\text{ном}} - P_{1\text{мин}} = P_{0\text{ном}} - P_{1\text{ном}} \cdot K_{\text{бв}} = 7,3 - 5,5 \cdot 0,85 = 2,62 \text{ Вт}, \quad (3.41)$$

где $K_{\text{бв}}$ – коэффициент бегущей волны в тракте выходного каскада, $K_{\text{бв}} = 0,85$.

Рассчитаем эквивалентное сопротивление коллекторной нагрузки транзистора.

$$R_{\text{экв ном}} = U_{\text{к1кр}} / I_{\text{к1}} = 12,1 / 0,91 = 13,3 \text{ Ом}. \quad (3.42)$$

Определим коэффициент, показывающий во сколько раз увеличивается входная емкость транзистора за счет паразитной емкости коллекторного перехода.

$$\chi = 1 + \gamma_1(\theta) \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_T \cdot C_K \cdot R_{\text{экв ном}} = 1 + 0,5 \cdot 6,28 \cdot 3,9 \cdot 1,2 \cdot 13,3 = 1,2. \quad (3.43)$$

Найдем амплитуду первой гармоники тока базы с учетом тока через емкость C_K .

$$I_{\text{бм}} = \chi \cdot \frac{\sqrt{1 + (h_{21э} \cdot \frac{f}{f_T})^2}}{h_{21э} \cdot \gamma_1(\theta)} \cdot I_{\text{к1}} = 1,2 \cdot \frac{\sqrt{1 + (40 \cdot 0,408 / 3,9)^2}}{40 \cdot 0,5} = 0,15 \text{ А}. \quad (3.44)$$

Определим значение амплитуды напряжения на эмиттерном переходе.

$$U_{\text{эбмакс}} = [-I_{\text{бм}} \cdot \frac{(1 + \cos \theta) \cdot R_{\text{б}}}{\sqrt{1 + (h_{21э} \cdot \frac{f}{f_T})^2}} + E_{\text{отс}}] = < U_{\text{эбдоп}} = 3 \text{ В}. \quad (3.45)$$

Постоянная составляющая базового тока.

$$I_{\text{б0}} = I_{\text{к0}} / h_{21э} = 0,58 / 40 = 0,014 \text{ А}. \quad (3.46)$$

Постоянная составляющая тока эмиттера.

$$I_{\text{э0}} = I_{\text{б0}} + I_{\text{к0}} = 0,014 + 0,58 = 0,59 \text{ А}. \quad (3.47)$$

Напряжение смещения по постоянному току на базе транзистора отсутствует.

Найдем входной импеданс транзистора.

Входная индуктивность в схеме с общим эмиттером.

$$L_{\text{ВХОЭ}} = L_{\text{б}} + L_{\text{э}} / \chi = 3,1 \cdot 10^{-9} + 2,2 \cdot 10^{-9} / 1,2 = 4,6 \cdot 10^{-9} \text{ Гн.} \quad (3.48)$$

Активная составляющая входного сопротивления в схеме с общим эмиттером.

$$\Gamma_{\text{ВХОЭ}} = 1 / \chi \cdot [\chi \cdot r_{\text{б}} + r_{\text{э}} + \gamma_1(\theta) \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_{\text{T}} \cdot L_{\text{э}}] = 1/1,2 \cdot [1,2 \cdot 2,5 + 0,045 + 0,5 \cdot 6,28 \cdot 3,9 \cdot 10^9 \cdot 2,2 \cdot 10^{-9}] = 26,9 \text{ Ом.} \quad (3.49)$$

$$R_{\text{ВХОЭ}} = 1 / \chi \cdot [r_{\text{б}} + (1 + \gamma_1(\theta) \cdot h_{21\text{э}}) \cdot r_{\text{э}}] + r_{\text{ВХОЭ}} = 1/1,2 \cdot [2,5 + (1 + 0,5 \cdot 40) \cdot 0,045] + 26,9 = 32,1 \text{ Ом.} \quad (3.50)$$

Емкостная составляющая входного сопротивления в схеме с общим эмиттером.

$$C_{\text{ВХОЭ}} = \frac{h_{21\text{э}}}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{T}} \cdot R_{\text{ВХОЭ}}} = 40 / (6,28 \cdot 3,9 \cdot 10^9 \cdot 32,1) = 0,05 \cdot 10^{-9} = 50 \text{ пФ.} \quad (3.51)$$

Активная и реактивная составляющие входного сопротивления транзистора.

$$r_{\text{ВХ}} = \Gamma_{\text{ВХОЭ}} + \frac{R_{\text{ВХОЭ}}}{1 + \left(h_{21\text{э}} \cdot \frac{f}{f_{\text{T}}} \right)^2} = 26,9 + 32,1 / (1 + (40 \cdot 0,408 / 3,9)^2) = 28,6 \text{ Ом.} \quad (3.52)$$

$$x_{\text{ВХ}} = 2 \cdot \pi \cdot f_{\text{T}} \cdot L_{\text{ВХОЭ}} - R_{\text{ВХОЭ}} \cdot h_{21\text{э}} \cdot \frac{f}{f_{\text{T}}} / (1 + (h_{21\text{э}} \cdot \frac{f}{f_{\text{T}}})^2) = 6,28 \cdot 3,9 \cdot 10^9 \cdot 4,6 \cdot 10^{-9} - 32,1 \cdot 4,18 / 18,5 = 105,4 \text{ Ом.} \quad (3.53)$$

Рассчитаем входную мощность, требуемую для обеспечения заданной выходной мощности.

$$P_{\text{вх}} = 0,5 \cdot I_{\text{бм}}^2 \cdot r_{\text{вх}} = 0,5 \cdot 0,15^2 \cdot 28,6 = 0,32 \text{ Вт.} \quad (3.54)$$

Найдем коэффициент передачи по мощности выходного каскада.

$$K_p = P_{\text{ном}} / P_{\text{вх}} = 5,5 / 0,32 = 17. \quad (3.55)$$

Переходим к расчету предоконечного каскада. Методика расчета сохраняется, по формулам (3.1 – 3.20), представим только численные значения результатов расчета. Применим для предоконечного каскада СВЧ транзистор средней мощности последующим соотношениям:

$$P_{\text{к}} \geq 0,5 \text{ Вт, } U_{\text{кбдоп}} \geq 15 \text{ В, } U_{\text{кэдоп}} \geq 15 \text{ В, } I_{\text{кмакс}} \geq 0,2 \text{ А, } f_{\text{т}} \geq 1500 \text{ МГц.}$$

$P_{\text{ном}}$ – номинальное значение выходной мощности транзистора VT1, $P_{\text{ном}} = 0,4 \text{ Вт} \cong P_{\text{вх2}}$.

Поставленным требованиям удовлетворяют следующие типы биполярных транзисторов 2SC3357, BFT93, BFS17A, BFG540W, BFR96TS, BFR193, 2SC1420, 2SC1422. Выбираем транзистор с большим значением тока коллектора, BFR96TS, имеющий следующие параметры: $U_{\text{кб}} = 20 \text{ В, } U_{\text{кэ}} = 15 \text{ В, } U_{\text{эб}} = 2,5 \text{ В, } I_{\text{к}} = 200 \text{ мА, } P_{\text{к}} = 700 \text{ мВт, } T_{\text{макс}} = 175 \text{ }^\circ\text{С, } I_{\text{кэс}} = 100 \text{ мкА, } I_{\text{кб0}} = 0,1 \text{ мкА, } I_{\text{эб0}} = 10 \text{ мкА, } h_{21\text{э}} = 25 - 80, f_{\text{т}} = 5 \text{ ГГц, } C_{\text{кб}} = 0,84 \text{ пФ, } C_{\text{кэ}} = 0,4 \text{ пФ, } C_{\text{эб}} = 3,5 \text{ пФ, } K_{\text{ш}} = 3,3 \text{ дБ, } G_{\text{yc}} = 11,5 \text{ дБ, } L_{\text{э}} = 2,2 \text{ нГн, } L_{\text{б}} = 2,6 \text{ нГн, } L_{\text{к}} = 1,2 \text{ нГн, } r_{\text{б}} = 5 \text{ Ом, } r_{\text{э}} = 0,4 \text{ Ом.}$

Численные значения результатов энергетического расчета каскада, формулы (3.4 – 3.20):

$$U_{\text{к1кр}} = 8,1 \text{ В, } I_{\text{к1}} = 0,13 \text{ А, } I_{\text{к0}} = 0,08 \text{ А, } I_{\text{кмакс}} = 0,26 \text{ А, } P_{0\text{макс}} = 0,72 \text{ Вт, } \eta = 0,55, P_{\text{кмакс}} = 0,06 \text{ Вт, } R_{\text{кэкв}} = 62 \text{ Ом, } \chi = 1,75, I_{\text{бм}} = 0,038 \text{ А, } I_{\text{б0}} = 0,0033 \text{ А, } I_{\text{э0}} = 0,083 \text{ А, } L_{\text{вхоэ}} = 3,8 \text{ нГн, } r_{\text{вхоэ}} = 43 \text{ Ом, } R_{\text{вхоэ}} = 48 \text{ Ом, } C_{\text{вхоэ}} = 26 \text{ пФ, } r_{\text{вх}} = 47 \text{ Ом, } x_{\text{вх}} = 105,5 \text{ Ом, } P_{\text{вх}} = 0,034 \text{ Вт, } K_p = 11,7.$$

Цепь питания обоих каскадов содержит развязывающие резисторы R1, R2 и блокировочные конденсаторы C2, C5, C6, C7. Благодаря блокировочным элементам исключаются потери высокочастотной мощности в источнике питания, и устраняется нежелательная связь между каскадами через источник питания.

В качестве схемы цепи питания выберем параллельную схему, когда источник питания, активный элемент и выходная цепь включены параллельно. Определим емкость блокировочного и разделительного конденсаторов

Рассчитаем сопротивление развязывающих резисторов из условия:

$$R_1 = U_{\phi} / I_{\Sigma 0} = 3,6 / 0,083 = 43 \text{ Ом}, \quad R_2 = 2,6 / 0,59 = 4,4 \text{ Ом}, \quad (3.56)$$

где $U_{\phi} = 3,6 \text{ В}$, падение напряжения на сопротивлениях фильтра по цепи протекания постоянных составляющих токов эмиттеров.

Определим емкость блокировочных конденсаторов. Реактивное сопротивление конденсаторов C5, C7 $X_{\text{бл1}} = 1 / 50 \cdot R_2$, $X_{\text{бл2}} = 1 / 50 \cdot R_{\text{эквмин}}$.

$$C5 = C7 = 1 / \omega / X_{\text{бл1}} = \frac{1}{6,28 \cdot 408 \cdot 10^6 \cdot 0,1} = 3,9 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}. \quad (3.57)$$

$$C2 = C6 = 1 / \omega / X_{\text{бл2}} = \frac{1}{6,28 \cdot 408 \cdot 10^6 \cdot 0,3} = 1,310^{-9} \text{ Ф}. \quad (3.58)$$

Определим индуктивности коллекторных нагрузок транзисторов VT1 и VT2 L_H из условия:

$$L_H = R_{\text{кэкв}} / \omega, \quad (3.59)$$

$$L2 = 1,3 \text{ нГн}, \quad L4 = 24 \text{ нГн}.$$

Рассчитаем согласующие межкаскадные цепи.

В качестве согласующих элементов применим резонаторы на микрополосковых линиях Z_p (рис. 3.4).

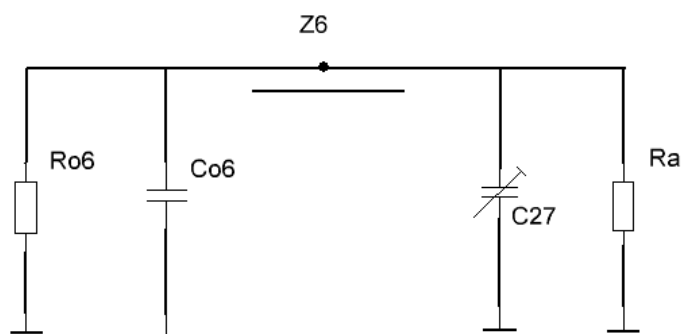


Рисунок 3.4 – Эквивалентная схема согласующей цепи между оконечным каскадом и антенной

Элементы R_{06} и C_{06} отражают выходное сопротивление и выходную емкость выходного каскада УМ на транзисторе VT6. Элементы Z_6 и C_{27} образуют Г-образную согласующую цепь. Сопротивление R_a отображает входное сопротивление антенны, которая является четвертьволновым диполем и имеет $R_a = 37,5$ Ом.

Волновое сопротивление микрополоскового резонатора определяется следующим выражением:

$$\rho = \sqrt{R_{\text{ВЫХ}} \cdot R_{\text{ВХ}}}, \quad (3.60)$$

где $R_{\text{ВЫХ}}$ – выходное сопротивление источника сигнала;

$R_{\text{ВХ}}$ – входное сопротивление нагрузки.

Для оконечного каскада $R_{06} = R_{\text{ЭКВ}} = 13$ Ом, получим $\rho_6 = 22$ Ома. Расчет геометрических характеристик МПЛ приводится в разделе 4, таблица 4.1.

Приведем формулы для расчета значений реактивных элементов обобщенной П-образной эквивалентной схемы:

$$|X_{C1}| = \frac{R_1}{\sqrt{\frac{R_1}{R_0} - 1}}, \quad (3.61)$$

$$|X_{C2}| = \frac{R_2}{\sqrt{\frac{R_2}{R_0} - 1}}, \quad (3.62)$$

$$|X_L| = R_0 \cdot \left(\sqrt{\frac{R_1}{R_0}} - 1 + \sqrt{\frac{R_2}{R_0}} - 1 \right), \quad (3.63)$$

где R_1 – выходное сопротивление источника сигнала;

R_2 – входное сопротивление нагрузки;

$$R_0 = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2), \quad R_0 < R_1, \quad R_0 < R_2.$$

Результаты расчета $X_{C06} = 21,8 \text{ Ом}$, $X_{C27} = 22 \text{ Ом}$, $X_L = 22 \text{ Ом}$, $R_0 = 9,6 \text{ Ом}$, индуктивность резонатора $L = 8,6 \text{ нГн}$, емкость конденсатора $C27 = 17 \text{ пФ}$, $C_{\text{вых}} = 18 \text{ пФ}$.

Емкость разделительных конденсаторов определяется выражением (рис. 3.5)

$$C_p \geq \frac{1}{\omega \cdot (R_{\text{вых}} + R_{\text{вх}})}, \quad (3.64)$$

где $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f_p$, значение нижней границы рабочего диапазона частот сигнала;

$R_{\text{вых}}$ – выходное сопротивление источника сигнала;

$R_{\text{вх}}$ – входное сопротивление нагрузки.

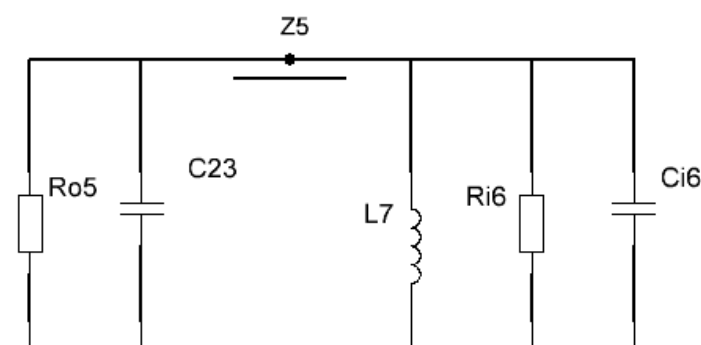


Рисунок 3.5 – Схема согласующей цепи между предоконечным и оконечным каскадами

Для оконечного каскада $R_{i6} = 28,6$, входное сопротивление оконечного каскада, для предоконечного каскада выходное сопротивление $R_{o5} = R_{\text{экв}} / 2 = 62/2 = 31 \text{ Ом}$, тогда значение разделительной емкости $C22 = 7 \text{ пФ}$ (рис. 3.6).

Пользуясь формулами (3.25) – (3.28) получим следующие результаты:

$R_0 = 19,3 \text{ Ом}$, $X_{C23} = 42 \text{ Ом}$, $X_{CBX6} = 40,8 \text{ Ом}$, $X_L = 42 \text{ Ом}$, $L_{Z5} = 16 \text{ нГн}$, $C23 = 9,2 \text{ пФ}$, $C_{BX} = 10 \text{ пФ}$, $X_{L7} = 23,5 \text{ Ом}$, $L7 = 9,2 \text{ нГн}$.

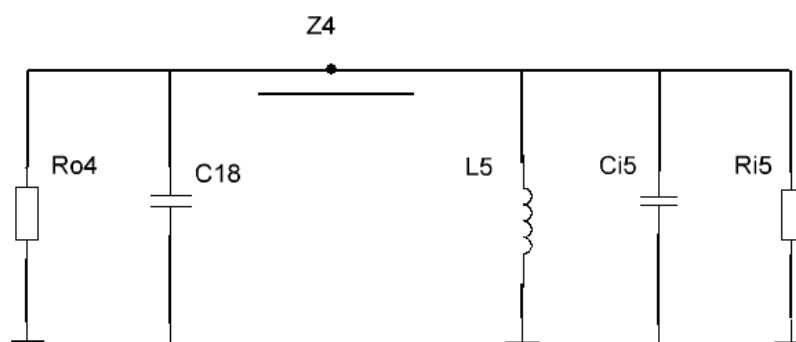


Рисунок 3.6 – Эквивалентная схема согласующей цепи между предоконечным каскадом и согласующим каскадом

Пользуясь формулами (3.25) – (3.28) получим следующие результаты:

$R_0 = 39,5 \text{ Ом}$, $X_{C18} = 107 \text{ Ом}$, $X_{CBX5} = 104 \text{ Ом}$, $X_L = 108 \text{ Ом}$, $L_{Z4} = 42 \text{ нГн}$,

$X_{L5} = 22,6 \text{ Ом}$, $L5 = 9 \text{ нГн}$, $C18 = 3,7 \text{ пФ}$.

Проведем энергетический расчет согласующего каскада и его элементов.

Каскад имеет смещение по постоянному току. Обеспечить требуемое напряжение смещения с помощью фиксированного смещения нецелесообразно, поскольку изменение входной мощности приведет к отклонению режима работы транзистора по постоянному току от оптимального.

Для стабилизации режима работы транзистора применяют комбинированное смещение, при этом к базе транзистора необходимо подвести постоянное напряжение превышающее напряжение отсечки и обеспечить автосмещение с помощью RC элементов в цепи эмиттера транзистора VT1.

Каскад работает при малом уровне выходной мощности менее 30 мВт и это позволяет снизить напряжение питания до уровня 5 – 6 В. Проведем распределение напряжения источника напряжения питания между отдельными

элементами схемы, фильтр по питанию, цепь коллектора, цепь эмиттерной стабилизации режима. Принимаем следующие соотношения напряжений.

$$E_{и} = \Delta U_{\phi} + \Delta U_{к} + \Delta U_{э}, \quad (3.65)$$

где $\Delta U_{\phi} = 0,25 \cdot E_{и}$, падение напряжения фильтра по питанию;

$\Delta U_{к} = 0,4 \cdot E_{и}$, падение напряжения по цепи коллектора транзистора;

$\Delta U_{э} = 0,35 \cdot E_{и}$, падение напряжения на сопротивлении эмиттерной цепи.

Схема согласующего каскада усилителя мощности приведена на рис. 3.7.

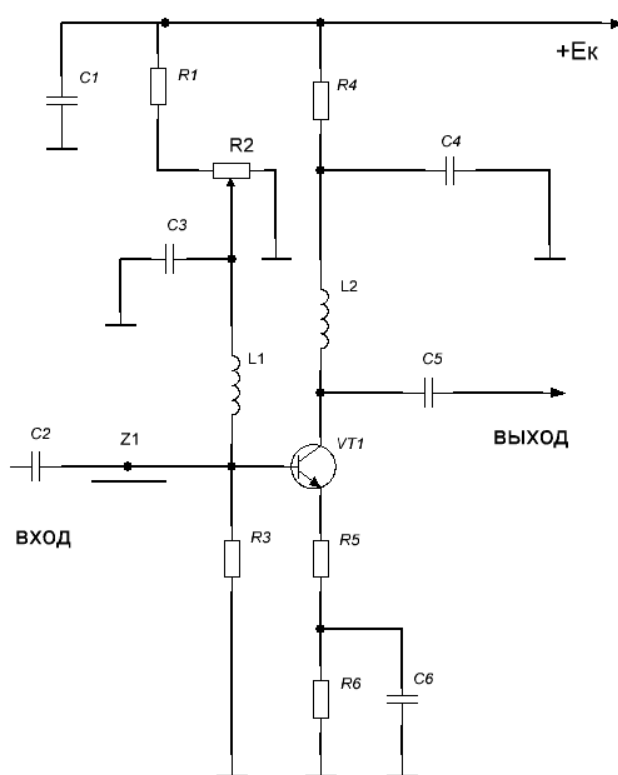


Рисунок 3.7 – Схема согласующего каскада УМ

Назначение элементов схемы согласующего каскада усилителя мощности.

Резисторы R1, R2 и R3 используются как делитель напряжения для обеспечения фиксированного смещения, R5 и R6 обеспечивают автосмещение и корректируют частотную характеристику, резистор R4 обеспечивает развязку каскада по цепи питания. C2 и C5 – разделительные емкости; C1, C3, C4 – блокировочные емкости; L1 – блокировочная индуктивность; L2 – нагрузка

коллектора; Z_1 – входная согласующая цепь. Угол отсечки коллекторного тока принимаем равный 100° , коэффициенты разложения косинусоидального импульса $\cos(\theta) = -0,174$, $\alpha_0(\theta) = 0,35$, $\alpha_1(\theta) = 0,52$, $\gamma_0(\theta) = 0,411$, $\gamma_1(\theta) = 0,611$.

Выходная мощность, которую должен отдавать каскад составляет $1,25 \cdot P_{\text{вхпок}} = 42,5$ мВт. Амплитуда 1-й гармоники напряжения $U_{k1} = 0,4 \cdot E_{\text{и}} = 5$ В. Вычислим 1-ю гармонику тока коллектора транзистора VT1 по формуле (3.2).

$$I_{k1} = 2 \cdot 42,5 / 5 = 17 \text{ мА.}$$

Применим транзистор типа BFR193, имеющий следующие параметры:

$U_{кб} = 20$ В, $U_{кэ} = 20$ В, $U_{эб} = 2$ В, $I_k = 80$ мА, $P_k = 580$ мВт, $T_{\text{макс}} = 150$ °С, $I_{кэс} = 100$ мкА, $I_{кб0} = 0,1$ мкА, $I_{эб0} = 10$ мкА, $h_{21э} = 50 - 200$, $f_T = 8$ ГГц, $C_{кб} = 0,68$ пФ, $C_{кэ} = 0,24$ пФ, $C_{эб} = 1,8$ пФ, $K_{ш} = 1,3$ дБ, $I_b = 10$ мА, $G_{yc} = 14,5$ дБ, $L_{э} = 0,62$ нГн, $L_b = 0,51$ нГн, $L_k = 0,43$ нГн, $r_b = 15$ Ом, $r_э = 1,8$ Ом.

Подставляя численные данные в формулы (3.3) – (3.20), получим следующие результаты: $U_{k1кр} = 5$ В, $I_{k1} = 0,017$ А, $I_{k0} = 0,012$ А, $I_{k\text{макс}} = 0,034$ А, $P_{0\text{макс}} = 0,1$ Вт, $\eta = 0,43$, $P_{k\text{макс}} = 0,0425$ Вт, $R_{кэкб} = 294$ Ом, $\chi = 1,6$, $I_{бм} = 0,0019$ А, $I_{б0} = 0,00012$ А, $I_{э0} = 0,0122$ А, $L_{\text{вхоэ}} = 0,9$ нГн, $r_{\text{вхоэ}} = 44,8$ Ом, $R_{\text{вхоэ}} = 121$ Ом, $C_{\text{вхоэ}} = 16$ пФ, $r_{\text{вх}} = 49,5$ Ом, $x_{\text{вх}} = 22$ Ом, $P_{\text{вх}} = 0,09$ мВт, $K_p = 1111 = 30$ дБ.

Рассчитаем выходное сопротивление транзистора

$$R_{экб} = U_{k1} / I_{k1} = 5 / 0,017 = 294 \text{ Ом.} \quad (3.66)$$

Определим коэффициент показывающий во сколько раз увеличивается входная емкость транзистора за счет паразитной емкости коллекторного перехода

$$\chi = 1 + \gamma_1(\theta) \omega_{cp} C_k R_k = 1 + 0,61 \cdot 2\pi \cdot 8 \cdot 10^9 \cdot 0,68 \cdot 10^{-12} \cdot 294 = 1,6. \quad (3.67)$$

Найдем амплитуду первой гармоники тока базы.

$$I_{бм} = \chi \cdot \sqrt{1 + (h_{21э} \cdot f / f_T)^2} \cdot \frac{I_{k1}}{h_{21э} \cdot \gamma_1(\theta)} = 0,0019 \text{ А.} \quad (3.68)$$

Уточним значение входного импеданса транзистора, так как формулы (3.13) – (3.18) не учитывают включение в цепь эмиттера резистора R_3 , значительно повышающего входное сопротивление каскада, $r_{вх} = 8822 \text{ Ом}$.

Суммарное сопротивление в цепи эмиттера составляет $R_{\Sigma\epsilon} = 350 \text{ Ом}$. Разделим его на два следующим образом, $R_{\epsilon 1} = 130 \text{ Ом}$ и $R_{\epsilon 2} = 220 \text{ Ом}$. Тогда в формулах (3.14), (3.15) следует считать суммарное сопротивление $R_{\epsilon 1} + r_3$.

Блокировочный конденсатор в цепи эмиттера

$$C_3 = h_{213} / (2 \cdot \pi \cdot f \cdot R_{\epsilon 2}) = 100 / (6,28 \cdot 408 \cdot 10^6 \cdot 220) = 200 \text{ пФ}. \quad (3.69)$$

Задаемся величиной тока базового делителя

$$I_{\text{дел}} - 10 \cdot I_{\text{б0}} = 10 \cdot 0,12 \cdot 10^{-3} = 1,2 \text{ мА}. \quad (3.70)$$

Общее сопротивление делителя

$$R_{\text{дел}} = E_{\text{и}} / I_{\text{дел}} = 12,6 / 0,12 \cdot 10^{-3} = 10 \text{ кОм}. \quad (3.71)$$

Так как, $R_{\text{дел}}$ равно сумме сопротивлений резисторов R_1 и R_2 , принимаем значения резисторов $R_1 = 1 \text{ кОм}$, $R_2 = 10 \text{ кОм}$, подстроечный резистор.

Сопротивление резистора в цепи базы, если напряжение на эмиттере составляет величину $U_{\epsilon 0} = \Delta U_{\epsilon} = 0,35 \cdot E_{\text{и}} = 4,4 \text{ В}$

$$R_3 = (U_{\epsilon 0} + U_{\text{отс}}) / I_{\text{дел}} = (4,4 + 0,75) / 1,2 = 4,3 \text{ кОм}. \quad (3.72)$$

Индуктивность в цепи базы

$$L_1 = r_{\text{вх}} / 2 \cdot \pi \cdot f = 8822 / 6,28 / 408 \cdot 10^6 = 3,4 \text{ мкГн}. \quad (3.73)$$

Индуктивность в цепи коллектора

$$L_2 = R_{\epsilon \text{кв}} / 2 \cdot \pi \cdot f = 294 / 6,28 / 408 \cdot 10^6 = 0,11 \text{ мкГн}. \quad (3.74)$$

Емкость разделительного конденсатора определяется по формуле (3.64) и его величина составляет 1,5 пФ.

Цепь питания содержит источник постоянного напряжения и блокировочные элементы. Благодаря блокировочным элементам исключаются потери высокочастотной мощности в источнике питания, и устраняется нежелательная связь между каскадами через источник питания.

Сопротивление резистора R4 фильтра по питанию

$$R_{\phi} = \Delta U_{\phi} / I_{k0} = 3,15 / 0,012 = 260 \text{ Ом.} \quad (3.75)$$

Определим емкость блокировочных конденсаторов

$$C_{\text{бл}} \geq \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_{\text{бл}}}, \quad (3.76)$$

где $X_{\text{бл}} = R_{\text{экв}} / 100$, реактивное сопротивление блокировочного конденсатора.

Конденсаторы $C1 = C3 = C4 = C_{\text{бл}} = 1500 \text{ пФ}$.

Рассчитаем согласующую цепь между автогенератором и согласующим каскадом (рис. 3.8). Она состоит из последовательного соединения разделительного конденсатора C2 и отрезка микрополосковой линии Z3. Схема согласующей цепи представлена на рис. 3.7. C_k , R_k – эквивалентные параметры выходного фильтра автогенератора, $C_{\text{вх}}$, $R_{\text{вх}}$ – емкость и сопротивление на входе согласующего каскада. $C_k = 1 \text{ пФ}$, $R_k = 100 \text{ Ом}$, $C_{\text{вх}} = 16 \text{ пФ}$, $R_{\text{вх}} = 8822 \text{ Ом}$. Модуль входной реактивности составляет величину $|X_{\text{вх}}| = 25 \text{ Ом}$.

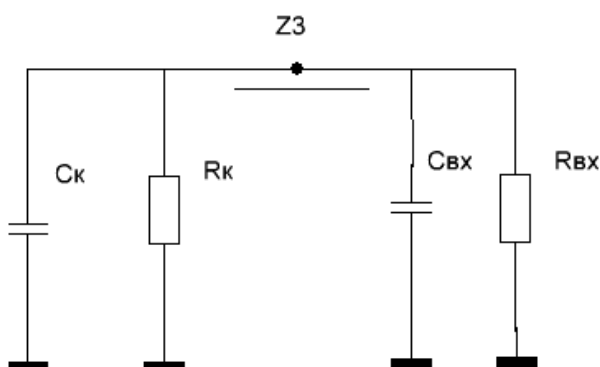


Рисунок 3.8 – Эквивалентная схема согласующей цепи между согласующим каскадом и автогенератором

Принимаем номинальное значение сопротивления резистора

$R1 = 1 \text{ кОм} \pm 5 \%$, тип RC01, $R2 = 10 \text{ кОм} \pm 5 \%$, тип RC01, $R3 = 4,3 \text{ кОм} \pm 5 \%$, тип RC01, $R4 = 270 \text{ Ом} \pm 5 \%$, тип RC01, $R5 = 130 \text{ Ом} \pm 5 \%$, тип RC01.

Принимаем номинальное значение $C1 = 4700 \text{ пФ} \pm 10 \%$, тип X7R, $C2 = C5 = 10 \text{ пФ} \pm 10 \%$, тип X7R, $C4 = 1,5 \text{ нФ} \pm 10 \%$, тип X7R, $C6 = 200 \text{ пФ} \pm 10 \%$, тип X7R.

3.3 Расчет генератора маркерного сигнала

Схема генератора маркерного сигнала построена с применением интегрального таймера, микросхема NE555 (рис. 3.9). Данная микросхема позволяет получать импульсы длительностью от единиц микросекунд до десятков минут. Выходной ток может достигать 200 мА, потребляемый – на 3 – 6 мА больше. Напряжение питания может изменяться от 4,5 до 18 вольт. При этом точность таймера практически не зависит от изменения напряжения питания и составляет 1% от расчетного. Дрейф составляет 0,1 %/вольт, а температурный дрейф – 0,005%/С. Таймеры серии xx555 популярны и просты в использовании и зачастую применяются для синхронизации временных интервалов от 1 мкс до часов или частот от 1 МГц до 100 кГц.

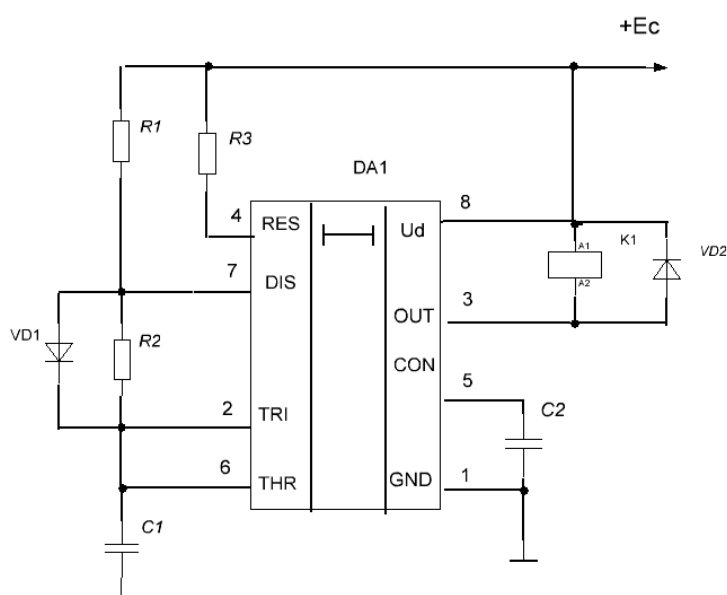


Рисунок 3.9 – Схема генератора на таймере NE555

В режиме временной задержки или моностабильном режиме заданный интервал регулируется одним внешним компонентом (резистором и конденсатором). В астабильном режиме работы частоту и коэффициент заполнения можно изменять независимо друг от друга двумя внешними резисторами и конденсатором (рис. 3.10).

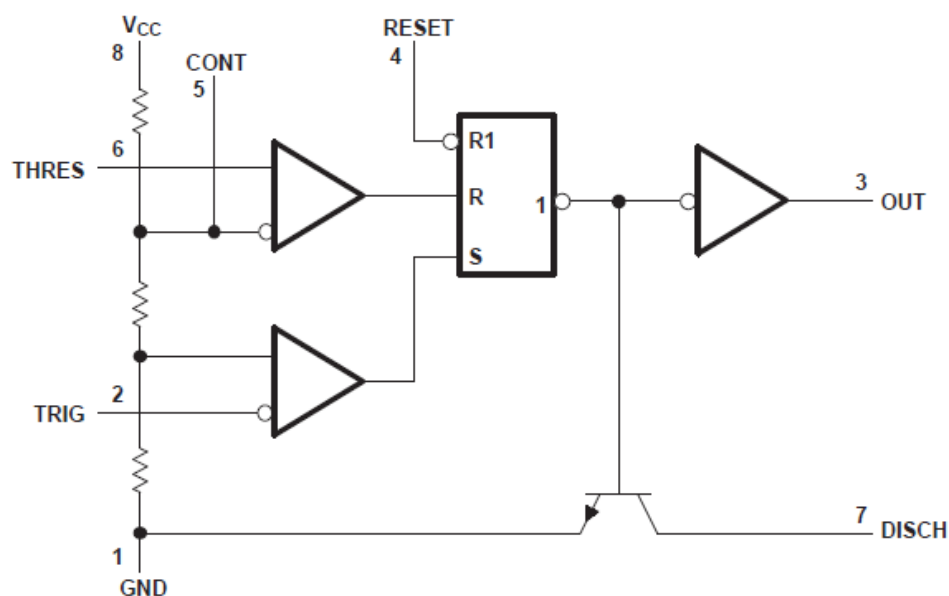


Рисунок 3.10 – Функциональная схема микросхемы

Микросхема может работать в двух режимах: моностабильном и астабильном. Для работы в астабильном режиме схема включения показана на рис. 3.10, а на рис. 3.11 показаны временные диаграммы работы в этом режиме. Нагрузкой таймера является реле, которое осуществляет коммутацию напряжения питания

Приведем обозначение и описание выводов микросхемы.

1 GND, вывод «земля», который подключается к минусу питания и к общему проводу схемы.

2 TRIG, вход компаратора K2. При подаче на этот вход импульса низкого уровня (не более $1/3 V_{CC}$) таймер запускается и на выходе устанавливается напряжение высокого уровня на время, которое определяется внешним

сопротивлением R ($R_a + R_b$, см. функциональную схему) и конденсатором C – это так называемый режим моностабильного мультивибратора. Входной импульс может быть как прямоугольным, так и синусоидальным. Главное, чтобы по длительности он был короче, чем время заряда конденсатора C . Если же входной импульс по длительности все-таки превысит это время, то выход микросхемы будет оставаться в состоянии высокого уровня до тех пор, пока на входе не установится опять высокий уровень. Ток, потребляемый входом, не превышает 500нА .

3OUT, выход, напряжение этого вывода меняется вместе с напряжением питания и равно $V_{\text{пит}} - 1,7\text{ В}$ (высокий уровень на выходе). При низком уровне выходное напряжение равно примерно $0,25\text{ В}$ (при напряжении питания $+5\text{В}$). Переключение между состояниями низкий – высокий уровень происходит приблизительно за 100 нс .

4 RESET, при подаче на этот вывод напряжения низкого уровня (не более $0,7\text{ В}$) происходит сброс выхода в состояние низкого уровня не зависимо от того, в каком режиме находится таймер на данный момент. Входное напряжение не зависит от величины напряжения питания – это TTL-совместимый вход. Для предотвращения случайных сбросов этот вывод настоятельно рекомендуется подключить к плюсу питания желательно через подтягивающий резистор.

5 CONTR, этот вывод позволяет получить доступ к опорному напряжению компаратора K1, которое равно $2/3 V_{\text{пит}}$. Обычно, этот вывод не используется. Однако его использование может весьма существенно расширить возможности управления таймером. Все дело в том, что подачей напряжения на этот вывод можно управлять длительностью выходных импульсов таймера. Подаваемое напряжение на этот вход в режиме моностабильного мультивибратора может составлять от 45% до 90% напряжения питания. А в режиме мультивибратора от $1,7\text{ В}$ до напряжения питания. При этом мы получаем ЧМ (FM) модулированный сигнал на выходе. Если же этот вывод таки не используется, то его рекомендуется подключить к общему проводу через конденсатор $0,01\text{мкФ}$ (10нФ) для уменьшения уровня помех.

6 THRES, этот вывод является одним из входов компаратора К1. Он используется как эдакий антипод вывода 2. То есть используется для остановки таймера и приведения выхода в состояние низкого уровня. При подаче импульса высокого уровня (не менее $2/3$ напряжения питания), таймер останавливается, и выход сбрасывается в состояние низкого уровня. Так же как и на вывод 2, на этот вывод можно подавать как прямоугольные импульсы, так и синусоидальные.

7 DISCH, этот вывод подсоединен к коллектору транзистора Т6, эмиттер которого соединен с землей. Таким образом, при открытом транзисторе конденсатор С разряжается через переход коллектор-эмиттер и остается в разряженном состоянии пока не закроется транзистор. Транзистор открыт, когда на выходе микросхемы низкий уровень и закрыт, когда выход активен, то есть на нем высокий уровень. Этот вывод может также применяться как вспомогательный выход. Нагрузочная способность его примерно такая же, как и у обычного выхода таймера.

8 Vcc, вывод подачи напряжение питания таймера может находиться в пределах 4,5 – 16 вольт.

В качестве коммутирующего элемента принято реле типа РЭС55А. Эти реле коммутируют цепи постоянного тока с переменной частотой до 10 кГц, Эти реле выпускаются с обмотками для различных рабочих напряжений $U_{РАБ} = 3 \div 6$ В. Технические характеристики реле : паспорт РС 4.569.600.11.

Сопротивление обмотки $195 \pm 1,4$ Ом, $U_{СРАБ} = 2,6$ В, $U_{ОТП} = 0,4$ В, $U_{РАБ} = 5$ В, сопротивление контакта $R_{КОН} = 0,18$ Ом, максимальный ток до 0,25 А, максимальная коммутируемая мощность $P_{КОМ} = 10,5$ Вт, максимальные напряжения на разомкнутых контактах $U_{МАХ} = 36$ В, частота срабатываний $f_{СРАБ} = 50$ Гц, число коммутационных циклов – $2 \cdot 10^6$, максимальная емкость между обмоткой не более и разомкнутым контактом – 4 пФ, время срабатывания – $t_{СРАБ} = 1,5$ мс, время отпускания – $t_{ОТП} = 2,3$ мс.

Выходной ток таймера составляет 26 мА. Для ограничения выброса напряжения самоиндукции при переключении таймера предназначен диод VD2, применим кремниевый импульсный диод типа BAS32L

Технические характеристики импульсного диода VD1 типа BAS32L:

$I_F = 200$ мА, прямой постоянный ток;

$I_{FRM} = 450$ мА, импульсный прямой ток;

$I_R = 5$ мкА, обратный постоянный ток;

$U_R = 75$ В, максимальное обратное напряжение;

$U_F = 1$ В при $I_F = 100$ мА, прямое напряжение на диоде;

$t_{RR} = 4$ нс, время восстановления обратного сопротивления;

$U_{RF} = 2,5$ В, максимальное прямое напряжение;

$C_D = 2$ пФ, паразитная емкость диода.

$U_{RF} = 2,5$ В $< U_{EBM} = 5$ В.

Длительности импульса и паузы определяются следующими формулами:

$$t_{имп} = 0,693 \cdot R1 \cdot C1, \quad (3.77)$$

$$t_{п} = 0,693 \cdot R2 \cdot C1. \quad (3.78)$$

Диод VD1 выполняет роль разделения зарядной и разрядной цепей конденсатора C1. Исходя из заданных длительностей, имеющих значительные величины, принимаем значение емкости конденсатора C1 равное 220 мкФ. И тогда из формул (3.11) и (3.12) можно определить значения сопротивлений R1 и R2.

$$R2 = t_{имп} / 0,693 \cdot C1 = 20 / 0,693 \cdot 220 \cdot 10^{-6} = 0,129 \cdot 10^6 \text{ Ом}. \quad (3.79)$$

$$R1 = t_{п} / 0,693 \cdot C1 = 180 / 0,693 \cdot 220 \cdot 10^{-6} = 1,16 \cdot 10^6 \text{ Ом}. \quad (3.80)$$

3.4 Расчет генератора тональной посылки

Исходные данные для расчета:

- $U_{вых}$, амплитуда выходного напряжения, 4 В;
- $t_{и}$, длительность выходного импульса, 20 с;
- f , частота повторения выходных импульсов, 1100 Гц;

- R_n сопротивление нагрузки, 1 кОм;
- Δf , нестабильность частоты повторения выходных импульсов, ∓ 10 Гц.

Схема генератора тональной частоты построена на симметричном автоколебательном мультивибраторе на биполярных транзисторах и представлена на рис. 3.11.

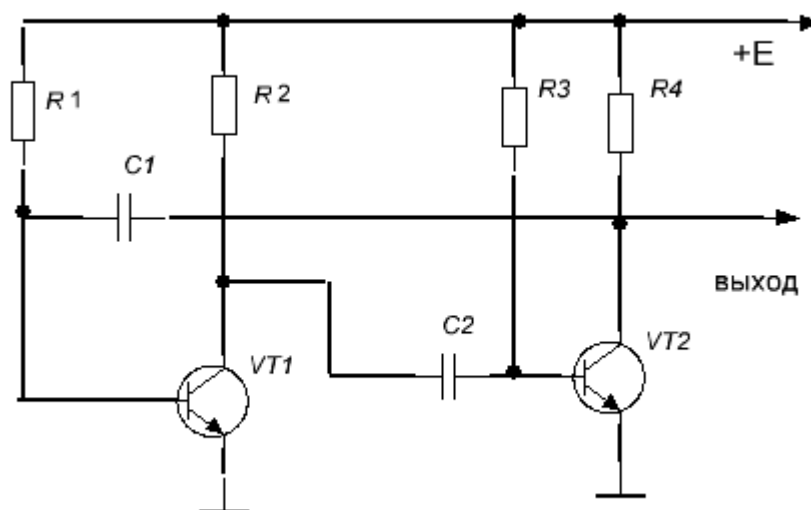


Рисунок 3.11 – Схема электрическая принципиальная мультивибратора

Определимскважностьгенерируемыхимпульсов

$$Q = T / t_{и} = 20 / 0,2 = 100. \quad (3.81)$$

Находим допустимое минимальное значение коэффициента передачи по току транзистора

$$h_{21э} \geq 1,22 \cdot (Q - 1) = 118. \quad (3.82)$$

Допустимое напряжение коллектор – база транзистора

$$U_{кбдоп} \geq 2 \cdot (1,2 \cdot U_{вых}) = 2 \cdot 1,2 \cdot 4 = 9,6 \text{ В}. \quad (3.83)$$

Выбираем тип транзистора на основании вышеперечисленных соотношений. Ток нагрузки мал и поэтому подходящими являются транзисторы

малой мощности средней частоты, применим транзисторы типа BC547, имеющие следующие электрические параметры: $I_{Kmax} = 100$ мА, $U_{KЭRдоп} = 45$ В, $U_{Эбo} = 6$ В, $P_{Kmax} = 0,55$ Вт, $I_{Kбo} = 0,015$ мкА, $h_{21Э} = 90 \div 250$, $U_{К ЭНАС} = 0,25$ В, $f_T = 150$ МГц, $C_K = 4,7$ пФ, $C_Э = 10$ пФ, $U_{БЭНАС} = 0,7$ В, $t_{рос} = 0,2$ мкс, $R_{Тп-с} = 200$ °С/Вт, $\tau_K = 100$ нс, корпус SOT-23.

Выбираем ток насыщения открытого транзистора $I_{кнас} = 5$ мА.

Сопротивление резистора коллекторной цепи

$$R_K = E / I_{кнас} = 9 / 5 = 1,8 \text{ кОм.} \quad (3.84)$$

Уточняем значение напряжения источника питания.

$$E \geq U_{вых} (R_K + R_H) / R_H + I_{кбомах} \cdot R_H = 4 \cdot (2 + 35) / 35 + 1,2 \cdot 35 \cdot 10^{-3} = 8,5 \text{ В.} \quad (3.85)$$

Сопротивление резисторов базовой цепи.

$$R_{б1} = R_{б2} = R_6 \leq h_{21Э} \cdot R_K = 170 \cdot 1,8 = 306 \text{ кОм.} \quad (3.86)$$

Максимальный обратный ток коллектора

$$I_{Rбoмах} = I_{Kбo}(T_0) \cdot e^{\alpha \cdot \Delta T}, \quad (3.87)$$

где $\alpha = 0,11$ 1/°С – температурный коэффициент для кремниевых транзисторов;

$\Delta T = 35 - 5 = 30$ °С – изменение температуры окружающей среды;

$I_{Kбo}(T_0) = 0,015$ мкА, значение обратного тока при температуре 20 °С.

Получим в результате $I_{Kбoмах} = 1,2$ мкА.

Оценим влияние обратного тока коллектора закрытого транзистора при максимальной температуре на рабочую частоту

$$I_{Kбoмах} \cdot R_6 / E = 1,2 \cdot 10^{-6} \cdot 150 \cdot 10^3 / 9 = 0,02 \leq 1. \quad (3.88)$$

Емкость времязадающего конденсатора.

$$C1 = t_{и} / R_{\delta} / \ln(2 \cdot E + I_{K60max} \cdot (R_{\delta} - R_k) / (E + I_{K60max} \cdot R_{\delta})) = 1,6 \text{ мкФ}. \quad (3.89)$$

Проверим условие превышения емкости $C1$ относительно емкости коллекторного перехода транзистора C_k $C1$ и $C2 \gg C_k$, $1,6 \text{ мкФ} \gg 4,7 \text{ пФ}$.

Определим длительности фронтов.

$$t_{\phi}^- = 2,3 \cdot C1 \cdot (R_k \cdot R_n) / (R_k + R_n) = 2,3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-6} \cdot 1,7 \cdot 10^3 = 6,3 \text{ мс}. \quad (3.90)$$

$$t_{\phi}^+ = 3 / f_T = 3 / 150 \cdot 10^6 = 0,02 \text{ мкс}. \quad (3.91)$$

Оценим нестабильность рабочей частоты при изменении температуры окружающей среды от $T_{мин} = + 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ до $T_{макс} = +35 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$F(20 \text{ }^{\circ}\text{C}) = 1 / 0,7 \cdot R_{\delta} / (C1 + C2) = 1,48. \quad (3.92)$$

Проверим условие удержания запертого состояния транзистора

$$U_{бэотс} \ 0,7 \text{ В} \gg I_{K60max} \cdot R_{\delta} = 1,2 \cdot 10^{-6} \cdot 300 \cdot 10^3 = 0,36 \text{ В}. \quad (3.93)$$

4 ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРИБОРА

Конструктивно радиомаяк выполнен в виде прибора с одной печатной платой. Основной моноблок это плата со всеми радиоэлементами.

Печатная плата имеет размеры 210 x 80 мм. Габаритные размеры корпуса прибора 230x95x60.

Печатная плата изготовлена из фольгированного фторопласта марки ФАФ-4СКЛ толщиной 2 мм, диэлектрическая проницаемость которой составляет 4,6.

Размещение элементов на печатной плате показано на рис.4.1.

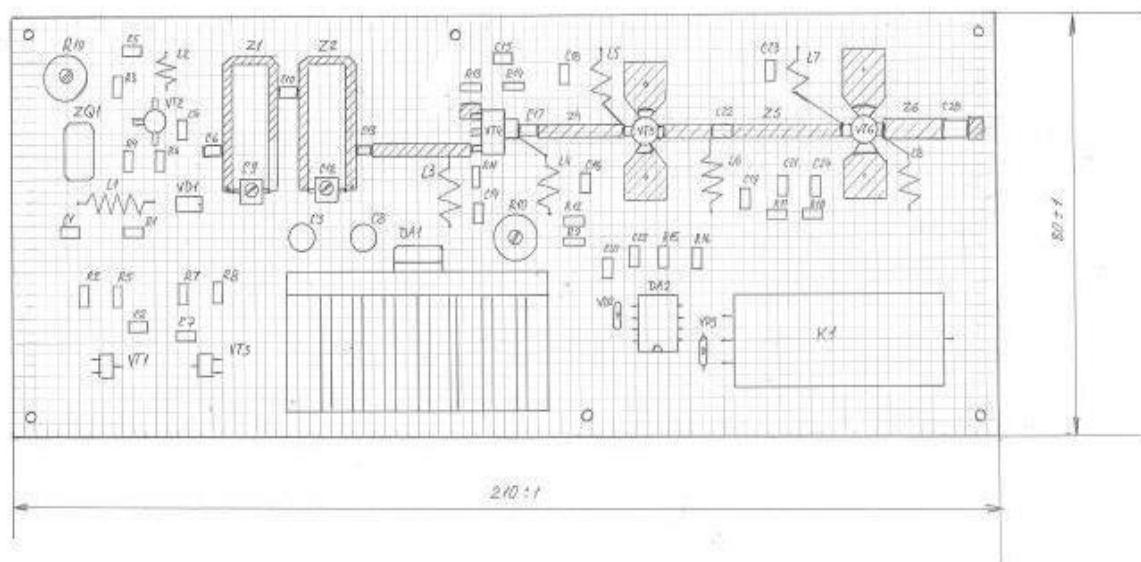


Рисунок 4.1 – Размещение радиоэлементов на плате

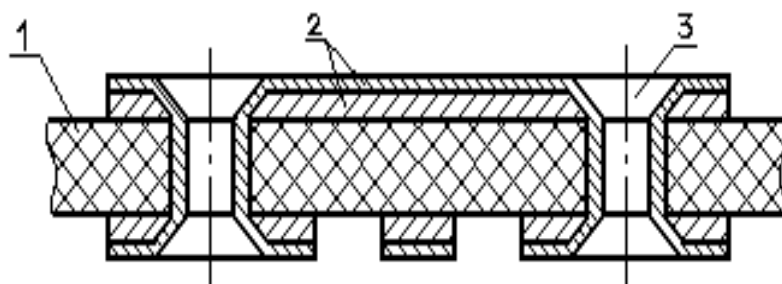
В настоящее время хорошо освоен химический метод производства печатных плат (ПП) из фольгированных диэлектриков. Этот метод сочетается с фотографическим и сеткографическим способами получения изображения печатного рисунка и обеспечивает высокую разрешающую способность печатных проводников. Достоинствами химического метода являются: доступность механизации и автоматизации, возможность получения высокого качества печатных плат, которые обладают высокой адгезией печатных проводников к

диэлектрическому основанию. Недостатками химического метода являются: наличие активного воздействия химических веществ на диэлектрическое основание ПП, повышенный расход средств травления и стравливаемой меди, которая в большинстве случаев не регенерируется.

Метод изготовления ПП существенно влияет на их схемно-конструкторские и эксплуатационно - экономические характеристики прибора. Метод изготовления ПП выбирают в зависимости от сложности принципиальной электрической схемы, конструктивно – технологических требований к разрабатываемому изделию и оснащенности предприятия – изготовителя необходимым оборудованием и оснасткой. Выбираем комбинированный метод.

При комбинированном методе сочетается травление фольгированного диэлектрика с электрохимической металлизацией отверстий (рис.4.2).

Метод дорогостоящий, но обеспечивает надежную пайку элементов. Его используют для изготовления двусторонних ПП, когда переходы с одной стороны платы на другую осуществляются за счет переходных металлизированных отверстий, получающихся непосредственно в процессе технологического цикла изготовления плат.



1 –основаниеплаты; 2 – проводник;
3 – отверстиеметаллизированное

Рисунок 4.2 – Печатная плата, изготовленнаякомбинированным способом

Навесные элементы необходимо размещать с учетом электрических связей и теплового режима с обеспечением минимальных значений длин электрических связей, паразитных связей между навесными элементами, необходимо также стремиться к возможно равномерному распределению масс навесных элементов

по поверхности платы с установкой элементов с большой массой вблизи мест механического крепления платы.

Проводящий рисунок печатной платы, разработанный в результате трассировки соединений, должен удовлетворять следующим требованиям: соответствовать принципиальной электрической схеме; всем конструктивным, технологическим и электрическим требованиям; обеспечивать нормальную работу схемы при соответствующих условиях эксплуатации и удобство сборочно-монтажных и регулировочных работ.

Основные размеры и шаг координатной сетки должны соответствовать ГОСТ 10317-79: шаг координатной сетки 2,5; 1,25; 0,5 мм; размер каждой стороны печатной платы должен быть кратным 2,5 при длине 100 мм, 5 при длине до 350 мм, 10 при длине более 350 мм. Соотношение линейных размеров сторон ПП должно быть не более 3:1. Отклонение от прямоугольности ПП не должно быть более 0,2 мм на 100 мм длины. Центры всех отверстий на ПП, включая крепежные, должны располагаться в узлах координатной сетки.

Допускается по ГОСТ 10317-79 использование диаметров монтажных переходных и металлизированных отверстий из ряда: 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1; 1,1; 1,2; 1,3; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 2; 2,1; 2,2; 2,4; 2,5; 2,6; 2,7; 2,8; 3 мм.

Конструкторские расчеты включают расчеты геометрических размеров, линий и топологии отдельных микрополосковых элементов печатной платы.

Ширина проводников МПЛ определяется итерационным процессом с применением ПЭВМ по рассчитанной величине волнового сопротивления и известным параметрам подложки.

В [32] приводится описание тестовой платы одного каскада СВЧ усилителя на транзисторе BLT53 (рис. 4.3). Согласование входного и выходного импедансов выполняется с помощью отрезков микрополосковых линий.

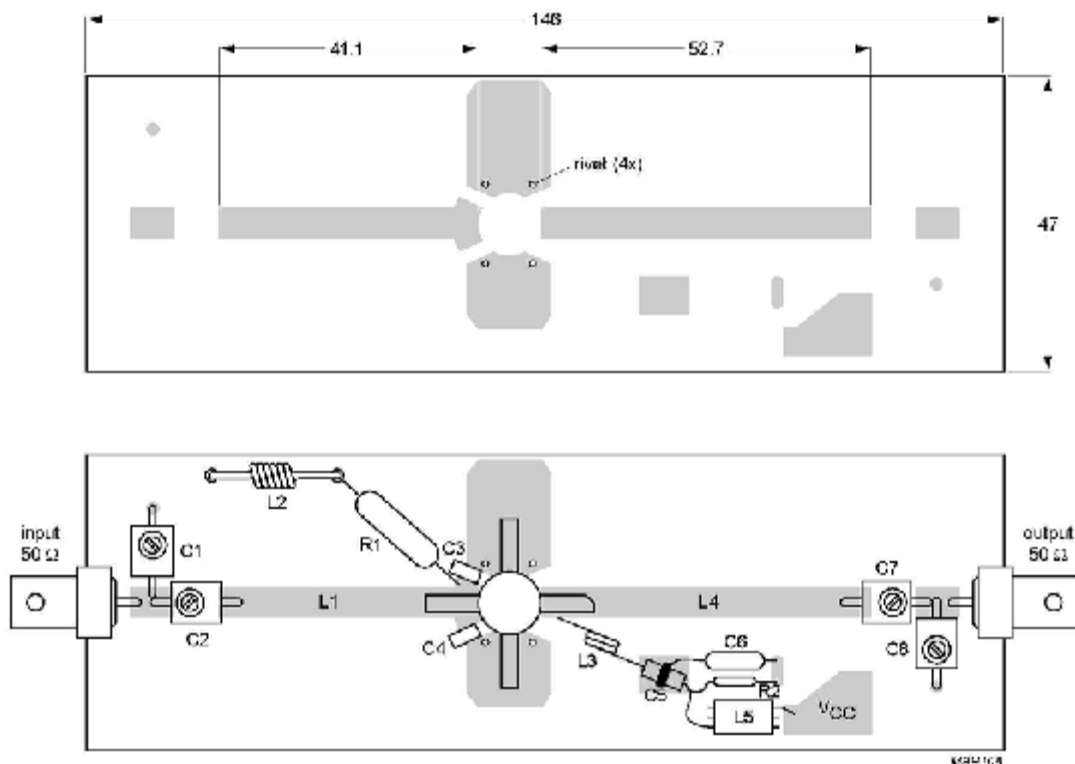


Рисунок 4.3 – Тестовая плата СВЧ усилителя на транзисторе BLT53

Конструкторские расчеты включают расчеты геометрических размеров, линий и топологии отдельных микрополосковых элементов прибора.

Ширина проводников МПЛ определяется итерационным процессом с применением ПЭВМ по рассчитанной величине волнового сопротивления и известным параметрам подложки.

В качестве подложки применим диэлектрик, имеющий наименьшие потери на ВЧ: фольгированный фторопласт ФАФ – 4 СКЛ, имеющий следующие характеристики [14]: диэлектрическая проницаемость $\varepsilon = 9,6 \pm 0,2$, $\operatorname{tg} \delta = 1 \cdot 10^{-4}$, КТЛР – $31,5 \cdot 10^{-7} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$, $\operatorname{TK}_{\varepsilon} = 76 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}$, плотность – $3,9 \text{ г/см}^3$. Это самый распространенный диэлектрик для аналоговых ИС и ГИС СВЧ.

В [14], [13] приведены аналитические зависимости для определения геометрических характеристик МПЛ по заданным электрическим параметрам R_0 и λ .

$$\begin{aligned}
Z_0 &= \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_{\text{эф}}}} \cdot \ln \left\{ \frac{8}{W_{\text{эф}}/H} + 0,25 \cdot \frac{W_{\text{эф}}}{H} \right\}, \text{ для } \frac{W_{\text{эф}}}{H} \leq 1; \\
Z_0 &= \frac{120 \cdot \pi}{\sqrt{\varepsilon_{\text{эф}}}} \cdot \left[\frac{W_{\text{эф}}}{H} + 1,393 + 0,667 \cdot \ln \left(\frac{W_{\text{эф}}}{H} + 1,444 \right) \right]^{-1}, \text{ для } \frac{W_{\text{эф}}}{H} \geq 1; \\
\frac{W_{\text{эф}}}{H} &= \frac{W}{H} + \frac{1,25j}{\pi \cdot H \cdot \left(1 + \ln 4 \cdot \frac{\pi}{j} \right)}, \text{ для } \frac{W}{H} \leq \frac{1}{2 \cdot \pi}; \\
\frac{W_{\text{эф}}}{H} &= \frac{W}{H} + \frac{1,25j}{\pi \cdot H \cdot \left(1 + \ln 4 \cdot \frac{H}{j} \right)}, \text{ для } \frac{W}{H} \geq \frac{1}{2 \cdot \pi}; \\
\varepsilon_{\text{эф}} &= \frac{\varepsilon + 1}{2} + \frac{\varepsilon - 1}{2} \left[\left(1 + \frac{12}{W/H} \right)^{-\frac{1}{2}} + 0,04 \left(1 - W/H \right)^2 \right] - \frac{\varepsilon - 1}{4,6} \cdot \frac{T/H}{\sqrt{W/H}}.
\end{aligned} \tag{4.1}$$

Из этих выражений итерационными методами решения можно получить значения ширины МПЛ W_i и $W_{\text{эф}i}$.

Толщину основания платы принимаем равной $h = 2$ мм, чтобы высокоомные отрезки с $Z_0 = 70 \div 80$ Ом не были слишком узкими. Толщина медного покрытия полосковой линии $t = 0,05$ мм. Длина отрезков определяется по коэффициенту укорочения, который также зависит от волнового сопротивления Z_0 . Для всех расчетных значений волновых сопротивлений Z_0 определим W_i и K_{y_i} , данные заносим в таблицу 4.1..

Суммарная длина всех отрезков составляет 103 мм, размеры транзистора $3,2 \times 2 = 14$ мм, конденсаторов $4 \times 1 = 6$ мм. Суммарная длина схемы составит $1,2 (103 + 14 + 6) = 147,6$ мм. СВЧ плата помещается в металлический корпус с крышкой. Корпус микрополосковой схемы обеспечивает:

- жесткие крепления платы и соединений ее выводов с переходами (КПП), предназначенными для связи с внешними блоками;
- защиту платы и ее элементов от внешних климатических, механических и других воздействий (корпус может быть даже герметичным);
- экранирование схемы от внешних электромагнитных излучений, наводок, помех и подавление излучения во внешнюю среду;

– теплоотвод от участков схемы, в которых рассеивается значительная часть электромагнитной энергии.

Кроме того корпус должен быть технологичным, экономически целесообразным и обеспечивать возможность сборки схемы, контроль ее характеристик, настройку элементов и ремонт схемы. Размеры корпуса определены размерами применяемых плат.

Таблица 4.1 –Геометрические характеристики отрезков МПЛ различных волновых сопротивлений

Волновые сопротивления, Ом	Ширина, мм	Эффективная диэлектрическая проницаемость	Коэффициент укорочения, К _и	Длина геометрическая, мм
22	2,8	4,9	2,22	6,8
25	2,75	4,8	2,19	13,4
35,5	1,9	4,6	2,13	7,1
50	1,1	4,4	2,09	3,6
70,7	0,54	4,2	2,04	7,4
75	0,45	4,1	2,02	3,7
90	0,32	3,8	1,94	3,0

При выполнении поворотов МПЛ следует выполнить скос прямого угла под 45°, что значительно уменьшает нерегулярность линии, как показано на рисунке 4.4.

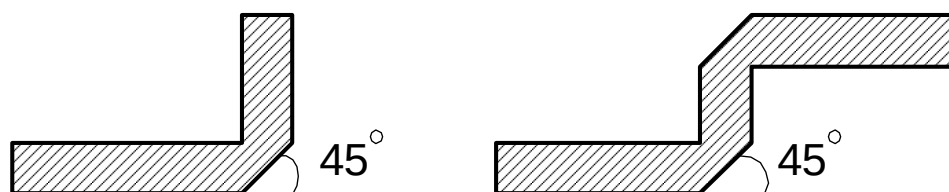


Рисунок 4.4–Выполнение поворотов и изгибов МПЛ

Минимальные расстояния между отрезками МПЛ, при котором можно пренебречь взаимным электромагнитным влиянием, составляет более 5h (рис. 4.5). Наиболее распространенным элементом соединения коаксиального кабеля с МПЛ

является КПП, он позволяет добиться хороших электрических параметров и удовлетворительных конструктивных и эксплуатационных характеристик. Требования к КПП: малый уровень отражений и потерь в широкой полосе частот, небольшие размеры, удобство сборки и установки в корпусе, и соединения с полосковой линией, механическая прочность и высокое число сочленений, которые выдерживает КПП при эксплуатации.

Применим КПП типа CP50 -784АФ для канала 3,5х1,5мм, которые имеют гарантированное значение $K_{CB} < -1,05$ в полосе частот до 8 ГГц и набег фазы $< 3^\circ$. Для регулировки длины компенсирующих шлейфов х. х и к. з. применяются дополнительные очень короткие отрезки МПЛ, такой же ширины как основной отрезок. Длины дополнительных регулировочных отрезков принимаем равными 2%, 5%, и 10% от длины основной линии. Эти дополнительные отрезки соединяются с основной линией соединительными проволочками диаметром $0,03 \div 0,05$ мм и длиной 0,5 мм.

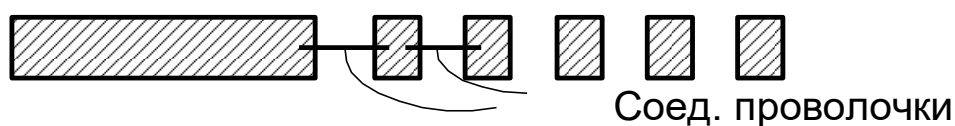


Рисунок 4.5–Регулировочные элементы МПЛ

Все линейные размеры катушки выражаются в мм, а индуктивность в нГн.

Так как, радиомаяк находится постоянно в водной морской среде важную роль в долговременной работе прибора приобретает герметизация прибора. Наиболее чувствительны к воздействию влаги полупроводниковые материалы, в частности, элементы и структуры интегральных схем, транзисторов. Влага на поверхности тонкопленочных пассивных элементов может привести к образованию коррозии, закорачивающих перемычек, увеличению диэлектрической проницаемости, потерям и утечкам в диэлектриках.

В результате воздействия влаги в основных радиоэлементах прибора может происходить следующие изменения:

- в резисторах постепенное изменение номинального значения величины сопротивления вплоть до обрыва или короткого замыкания, увеличение уровня шума;
- в конденсаторах увеличение сопротивления в цепи обкладок или даже обрыв, увеличение емкости, потерь и утечек, появление коротких замыканий обкладок, уменьшение пробивного напряжения;
- в биполярных транзисторах увеличивается дрейф обратных токов, пробивных напряжений и коэффициентов усиления;
- в МДП-транзисторах увеличивается дрейф порогового напряжения, тока стока и крутизны;
- в катушках индуктивности уменьшаются добротности, увеличиваются собственные емкости и потери;
- электромонтаж сопровождается уменьшением сопротивления изоляции, повышением уровня перекрестных помех, ростом переходных сопротивлений разъемов и т.д.

Основная цель защиты состоит в обеспечении работоспособности отдельных элементов, узлов и изделий в целом в процессе производства, эксплуатации и хранения в течении заданного периода времени и заданных условий. Основным видом защиты являются монолитные оболочки создаваемые пропиткой, заливкой, обволакиванием и опресовкой, возникли в электротехнической промышленности для защиты обмоток различных устройств. Первые два способа используются для обмоток, выполненных объемным проводом, и для микросистемных узлов на дискретных элементах. Обволакивание и опресовка применяются для защиты полупроводниковых приборов и ИС.

Достоинства указанных способов:

- низкая стоимость при крупносерийном производстве;
- достаточная надежность защиты при жестких условиях эксплуатации;
- высокая конструктивная прочность.

Для защиты несущих конструкций от влияния климатических факторов и для придания их поверхности специальных свойств (повышение электро- и теплопроводности, экранирование, отражение и т.д.) применяются покрытия.

Очень часто в РЭС используются неметаллические органические покрытия (лакокрасочные). Эти покрытия экономичны и долговечны. Применяются в различных условиях эксплуатации из-за большого разнообразия покрытий.

Лаки и эмали на битумной основе обладают атмосферной стойкостью, прочностью к растворителям и температуре.

Полиуретановые и эпоксидные лаки механически прочны и электроизоляционные. Кремний органические лаки обладают теплостойкостью до 400⁰ С и гидрофобностью (несмачиваемостью).

При воздействии пресной или морской воды часто применяются сополимервинилхлоридные эмали ХС78 и др. Они тверды и прочны. Используются для стали и алюминиевых сплавов.

Заливка состоит в заполнении всех свободных полостей изделия, в том числе и пространства между корпусом и кожухом, электроизоляционным материалом, который после отверждения образует достаточно толстый защитный слой. Заливку производят либо в постоянном корпусе изделия, либо в технологической форме. Т.к. объем заливочной массы большой, то при отверждении возникают внутренние напряжения, вызывающие обрывы проводников и поломку хрупких деталей. Поэтому применяют пластичные электроизоляционные материалы, образующие при полимеризации упругую резинообразную массу, на основе каучуков – герметик УТ-32, или пенообразующие материалы – пенополиуретаны или комбинации материалов.

При разработке герметичных корпусов необходимо учитывать условия эксплуатации, изменения давления, возможные перепады температуры. Герметизация может быть полной и неполной. При полной герметизации внешние швы конструкции выполняют, - пайкой, - сваркой, закаткой, или заливкой специальными компаундами (герметиками).

При использовании герметиков следует предусматривать специальные канавки, чтобы при отрицательных температурах герметик не оторвался от поверхности. Следует иметь ввиду, что герметики могут изменять свое состояние под действием температуры или влаги, т.е. способны густеть, затвердевать, разбухать и пр.

5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Темой проекта предусматривается разработка радиомаяка для измерения в автоматическом режиме скорости и направления движения подводных течений в прибрежной зоне Черного моря. Проектируемый прибор относится к классу приборов контроля и измерений для общего применения. Базовым прибором-аналогом служит аварийно-спасательный радиомаяк АРМ-406 АС 1.

Этот прибор наиболее близок по своим техническим характеристикам к проектируемому прибору.

Изготовление и регулировка будут производиться на ГП «Радиоприбор», где проходила преддипломная практика. Исходя из этого, все исходные данные для расчетов приняты на основании, действующих на предприятии нормативов и тарифных ставок на 1 октября 2018 года. Расчет цен на комплектующие радиоэлементы производится по данным подразделения комплектации и снабжения ГП «Радиоприбор».

5.1 Оценка технического уровня проектируемого изделия

Для сравнения технического уровня проектируемого изделия с аналогом составим таблицу 5.1, в которой приведены основные технические и эксплуатационные характеристики обоих приборов.

Число баллов для каждой характеристики рассчитываются по формуле:

$$Q_i = \frac{x_i}{x_{\max}} \cdot k_{\varepsilon}, \quad (5.1)$$

где x_i – абсолютное значение i -го параметра;

$x_{\max}$ – абсолютное значение для наибольшего параметра обоих вариантов;

k_{ε} – коэффициент веса данного i -го параметра в общей системе параметров всего прибора.

Таблица 5.1 – Оценка технического уровня проектируемого прибора

Характеристики	Базовый прибор		Проектируемый прибор	
	Абсолютное значение	Балльная оценка	Абсолютное значение	Балльная оценка
1	2	3	4	5
1.Период излучения посылок,	$50 \pm 5\%$ с	0,5	$20 \pm 10\%$ с	1
2. Длительность посылки излучения,	$440 \pm 1\%$ мс	0,6	$200 \pm 1\%$ мс	1
3. Несущая частота	$406,025 \pm 0,002$ МГц	0,9	$409,1 \pm 0,0005$ МГц	1
4. Долговременная нестабильность частоты (в течение 5 лет с учетом начальной установки) не более	$\pm 0,005$ МГц	0,7	$\pm 0,0007$ МГц	1
5.Выходная мощность на нагрузке 50 Ом при КСВН 1,25	5 Вт ± 2 дБ	1,1	$4,9 \pm 1$ дБ	1
6.Модуляция-фазовая телеграфия, индекс модуляции,	$1,1 \pm 0,1$ рад	0,8	ЧМ	1
7.Время нарастания мощности от уровня 1-0% до 90%, не более,	250 мс	0,4	100 мс	1
8.Время передачи немодулированной несущей в начале каждой посылки,	$160 \pm 1\%$, мс	0,8	100 мс	1
9.Длительность фронта и среза модулирующего сигнала, не менее,	50 мкс	0,8	45 мкс	1
10.Тактовая частота сообщения,	400 ± 4 Гц	0,5	1000 ± 5 Гц	1
11. Ток, потребляемый в режиме излучения не более,	1,2 А	0,8	0,8 А	1
12. Масса , не более,	2,7 кг	0,6	1.5 кг	1

Коэффициент технического уровня проектируемого прибора рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{ту}} = \frac{Q_{\Sigma}^{\text{П}}}{Q_{\Sigma}^{\text{А}}}, \quad (5.2)$$

где $Q_{\Sigma}^{\text{А}}$ – суммарная балльная оценка технического уровня аналога;

$Q_{\Sigma}^{\text{П}}$ – суммарная балльная оценка технического уровня проектируемого прибора.

Коэффициент технического уровня характеризует расширение функциональных возможностей нового прибора, его улучшенные технические характеристики, в первую очередь надежность и экономичность.

$$Q_1 = 9,4; \quad Q_2 = 12; \quad K_{\text{ту}} = Q_2 / Q_1 = 12 / 9,4 = 1,28.$$

5.2 Расчет затрат на исследование, разработку и проектирование

Затраты на разработку и проектирование прибора $C_{\text{окр}}$ получим на основании калькуляции сметной стоимости работ и её типовой структуры, принятой в ОКБ предприятия (табл. 5.2).

Таблица 5.2 – Расчет затрат на проектирование

Статья расходов	Сумма, грн.	Удельный вес, %
Материалы	316,8	5
Комплекующие	633,8	10
Зарплата основная	2218,1	35
Зарплата дополнительная	633,8	10
Отчисления на соц. нужды	633,8	10
Накладные расходы	1584,4	25
Командировки	316,8	5
Всего	6337,5	100

Расчет основной зарплаты проектировщиков сделан на основании штатного расписания тематического отдела КБ.

Месячный фонд времени – 22 рабочих дня, 176 час., количественный состав группы 3 человека:

- вед. инженер – 1, месячный оклад – 5600 грн.,
- $C_{\text{СРЗП ВИ}} = 5600 / 22 = 254,5$;
- инж. 1-ой кат. – 1, месячный оклад – 4400 грн.,
- $C_{\text{СРЗП И1}} = 4400 / 22 = 200$;
- инж. 2-ой кат. – 1, месячный оклад – 3900 грн.,
- $C_{\text{СРЗП И2}} = 3900 / 22 = 177,3$.

$T_{\text{РАБВИ}} = 2$ дня для вед. инженера и $T_{\text{РАБИН}} = 5$ дней, для инж. 1-ой кат. и

$T_{\text{РАБИН}} = 4$ дня для инж. 2-ой кат., $C_{\text{СРЗП}}$, среднедневная зарплата исполнителя.

$$Z_{\text{ОСН}} = T_{\text{РАБВИ}} \cdot C_{\text{СРЗП ВИ}} + T_{\text{РАБИН}} \cdot C_{\text{СРЗП И1}} + T_{\text{РАБИН2}} \cdot C_{\text{СРЗП И2}} = \\ 2 \cdot 254,5 + 5 \cdot 200 + 4 \cdot 177,3 = 2218,1 \text{ грн.}$$

5.3 Расчет себестоимости радиомаяка

5.3.1 Расчет материальных затрат

Расчет себестоимости и оптовой цены прибора производим прямым подсчетом по статьям калькуляции.

Расчет статьи «покупные комплектующие радиокомпоненты», учитывающей затраты P_k на приобретение необходимых по перечню, к принципиальной схеме радиоэлементов и ТЗР на их доставку (табл. 5.3).

Таблица 5.3 – Расчет стоимости комплектующих элементов

Наименование элементов	Количество, шт.	Цена за единицу, грн.	Сумма затрат, грн.
1.Конденсаторы: SMD 805	16	0,041	0,66
EXR	2	0,8	1,6
Подстр. КПК-2м	7	0,6	4,25
2. Микросхемы: MM7809	1	0,6 2	0,62
LM555	1	1,5	1,5
HC4016	1	1,1	1,1
HC4011	2	0,8	1,6
3. Варикап BB113	1	0,9	0,9
4.Индуктивности R10M -0,1	11	0,4	4,4
5.Резисторы: SMD 0805	15	0,022	0,33
СП5-21Г-0,25	1	0,42	0,42
6. Кварцевый резонатор KS -0,5	1	1,95	1,95
8. Транзисторы: BLC53A	1	0,51	0,51
2SC1365	1	1,79	1,79
BFQ19	1	35,3	35,3
BLT53	1	62,7	62,6
9. Соединители: BNC-111F	1	1,95	1,95
10. Антенна FM	1	5,5	5,5
11. Реле РЛ-11	1	0,85	0,85
Итого	66		127,83
Транспортно-заготовительные расходы			13,17
Всего, Р _к			141

Далее вычислим прямые затраты на основные материалы и сырье, заработную плату основных производственных работников приближенным

методом, используя типовую структуру прямых затрат в себестоимости прибора при производстве радиоизмерительной аппаратуры на печатных платах, приложение Д [28] .

Принимаем следующие значения удельных весовых коэффициентов,

$$Y_M = 15 \%, Y_K = 45 \%, Y_3 = 40 \%.$$

$$P_M = P_K \cdot Y_M / Y_K = 141 \cdot 15 / 45 = 47 \text{ грн.} \quad (5.3)$$

$$P_3 = P_K \cdot Y_3 / Y_K = 141 \cdot 40 / 45 = 125,3 \text{ грн.} \quad (5.4)$$

Косвенные статьи затрат рассчитываем на основании нормативов косвенных расходов. Произведем расчет по каждой статье косвенных расходов.

Расчет себестоимости прибора производим прямым подсчетом прямых статей расходов при изготовлении прибора в сборочном цехе радиотехнического предприятия.

Коэффициенты для расчета соответствующих статей расходов принимаем, согласно типовой структуры себестоимости производства сборочного цеха на ГП «Радиоприбор» и на основании данных планово-экономической службы сборочного участка цеха.

Все затраты по каждой из статей калькуляции [28], а также себестоимость и оптовая цена сведены в таблицу 5.8.

Значения всех коэффициентов для расчета статей расходов взяты из [28].

Дополнительная заработная плата составляет 45 % от основной, следовательно, фонд заработной платы рассчитывается по формуле:

$$Z_{\Sigma} = P_3 + Z_d = 125,3 + 56,4 = 181,7 \text{ грн.} \quad (5.5)$$

$$Z_d = Z_{\text{осн}} \cdot 0,45 = 125,3 \cdot 0,45 = 56,4 \text{ грн.}$$

Отчисление на социальные мероприятия определяется по следующей формуле:

$$P_{cc} = \frac{Z_{\Sigma} \cdot H_{cc}}{100}, \quad (5.6)$$

где P_{cc} – отчисления на социальное страхование, грн.;

Z_{Σ} – основной фонд заработной платы, грн.;

H_{cc} – норматив отчислений на социальное страхование, %.

В настоящее время отчисления на мероприятия составляют 37,5 % от суммы основной и дополнительной заработной платы. Подставляя численные значения, получим сумму отчислений.

$$P_{cc} = 181,7 \cdot 37,5 / 100 = 68,14 \text{ грн.}$$

5.3.2 Расчет косвенных статей затрат

К косвенным статьям калькуляции относятся общепроизводственные и административные расходы. Общепроизводственные и административные расходы рассчитываются пропорционально основной заработной плате производственных рабочих по соответствующим нормативам.

Общепроизводственные расходы рассчитываются:

$$P_{o.пп} = \frac{Z_{осн} \cdot H_{o.пп}}{100}, \quad (5.7)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата производственных рабочих, грн.;

$H_{o.пп}$ – норматив общепроизводственных расходов, равен 400 %.

$$P_{o.пп} = \frac{125,3 \cdot 400}{100} = 501,2 \text{ грн.}$$

Производственная себестоимость без учета расходов на подготовку и освоение производства рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{пр}}^* = P_{\text{мз}} + Z_{\Sigma} + P_{\text{сс}} + P_{\text{о.пр}}, \quad (5.8)$$

где $P_{\text{мз}}$ – материальные затраты, грн.;

Z_{Σ} – фонд заработной платы, грн.;

$P_{\text{сс}}$ – отчисления на социальное страхование, грн.;

$P_{\text{о.пр}}$ – общепроизводственные расходы, грн.

$$C_{\text{пр}}^* = 141 + 47 + 181,7 + 68,14 + 501,2 = 939,04 \text{ грн.}$$

Расходы на подготовку и освоение производства, согласно нормативам косвенных затрат, составляют 7% от промежуточной себестоимости:

$$P_{\text{по}} = \frac{C_{\text{пр}}^* \cdot H_{\text{по}}}{100} = \frac{939,04 \cdot 7}{100} = 65,7 \text{ грн.} \quad (5.9)$$

Производственная себестоимость рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{пр}}^* + P_{\text{по}} = 939,04 + 65,7 = 1004,8 \text{ грн.} \quad (5.10)$$

Административные расходы рассчитываются:

$$P_{\text{а}} = \frac{Z_{\text{осн}} \cdot H_{\text{а}}}{100}, \quad (5.11)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата производственных рабочих, грн.;

$H_{\text{а}}$ – норматив административных расходов, составляет 250 %.

$$P_{\text{а}} = \frac{125,3 \cdot 250}{100} = 313,3 \text{ грн.}$$

Внепроизводственные затраты составляют 2,5 % от суммы производственной себестоимости и административных затрат

$$P_{\text{вн}} = 0,025 \cdot (C_{\text{пр}} + P_{\text{а}}) = 0,025 \cdot (1004,8 + 313,3) = 32,95 \text{ грн.} \quad (5.12)$$

Полная себестоимость рассчитывается, как сумма производственной себестоимости и внепроизводственных расходов :

$$C_{\text{пол}} = C_{\text{пр}} + P_{\text{а}} + P_{\text{вн}} \quad (5.13)$$

где $C_{\text{пр}}$ – производственная себестоимость, грн.;

$P_{\text{а}}$ – административные расходы, грн.;

$P_{\text{вн}}$ – внепроизводственные расходы, грн.

$$C_{\text{пол}} = 1004,8 + 313,3 + 32,95 = 1351,05 \text{ грн.}$$

Прибыль от продажи одного изделия вычисляется по формуле:

$$П = \frac{Ц_0 \cdot H_{\text{приб}}}{100}, \quad (5.14)$$

где $П$ – прибыль от продажи одного изделия, грн.;

$Ц_0$ – оптовая цена прибора, грн.;

$H_{\text{приб}}$ – норма рентабельности, %.

$$П = \frac{1351,05 \cdot 20}{100} = 270,2$$

Оптовая цена изделия включает в себя полную себестоимость и прибыль от продажи одного изделия.

$$Ц_o = C_{\text{пол}} + П, \quad (5.15)$$

где $C_{\text{пол}}$ – полная себестоимость, грн.;

$П$ – прибыль от продажи одного изделия, грн.

Решая совместно формулы (5.15) и (5.16) получим значение оптовой цены при норме рентабельности 20 %

$$\Pi_0 = C_{\text{пол}} / (1 - N_{\text{приб}}) = 1351,05 / (1 - 0,2) = 1688,8 \text{ грн.}$$

Налог на добавочную стоимость (НДС) берётся в размере 20 % от оптовой цены

$$НДС = \frac{\Pi_0 \cdot N_{\text{ДС}}}{100}, \quad (5.16)$$

где C – себестоимость за вычетом материальных затрат, грн.;

$N_{\text{ДС}}$ – норматив на налог на добавочную стоимость, 20 %.

$$НДС = \frac{1688,8 \cdot 20}{100} = 337,8 \text{ грн.}$$

Цена продажи включает в себя оптовую цену и налог на добавочную стоимость.

$$\Pi = \Pi_0 + НДС, \quad (5.17)$$

где Π_0 – оптовая цена изделия, грн.;

НДС – налог на добавочную стоимость, грн.

$$\Pi = 1688,8 + 337,8 = 2026,6 \text{ грн.}$$

Результаты расчётов приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Расчет себестоимости

Статья калькуляции	Условное обозначен.	Сумма, грн.	Методика расчета, формулы,
1.Основные материалы и сырье	P_m	47	Формула 5.3
2.Покупные комплектующие элементы	P_k	141	Таблица 5.3
Итого материальных затрат	$P_{мз}$	188	$P_{мз} = P_m + P_k$
3. Заработная плата:			
– основная ЗП;	P_z	125,3	Формула 5.4
– дополнительная ЗП;	$P_{зд}$	74,55	Формула 5.5
– отчисления	$P_{сс}$	68,14	Формула 5.6
4.Общепроизводственные расходы	$P_{опр}$	501,2	Формула 5.7
Промежуточная себестоимость	$C_{пр}^*$	939,04	Формула 5.8
5.Расходы на подготовку и освоение производства	$P_{со}$	65,7	Формула 5.9
Итого: производственная себестоимость	$C_{пр}$	1004,8	Формула 5.10
6. Административные расходы	P_a	313,3	Формула 5.11
7. Внепроизводственные расходы	$P_{вп}$	32,95	Формула 5.12
Итого: полная себестоимость	$C_{п}$	1351,05	Формула 5.13
8. Прибыль	Π	270,2	Формула 5.14
9. Оптовая цена прибора	Π_0	1688,8	Формула 5.15
10. Цена продажи	Π	2026,6	Формула 5.17

5.4 Расчет капитальных вложений

Капитальные вложения подразделяются на две части: в сфере производства и в сфере эксплуатации данного прибора. Так как проектируемый прибор является малым изделием, неосновным видом продукции, и изготавливается на предприятии радиотехнического профиля без дополнительных капитальных вложений, то определяются только удельные капитальные вложения.

$$K_{уд} = C_{пр} \cdot f_{ем} + C_{окр} / N, \quad (5.18)$$

где $C_{пр}$ – производственная себестоимость прибора,

$$C_{пр} = 1004,8 \text{ грн.}; \quad C_{окр} = 8900 \text{ грн.}; \quad N = 100;$$

$f_{\text{ем}}$ – фондоемкость, $f_{\text{ем}} = 0,3 \div 0,5$,

$$K_{y\partial} = 1004,8 \cdot 0,3 + 6337,5 / 100 = 364,8 \text{ грн.}$$

Балансовая стоимость прибора.

$$C_{\text{б}} = C + C_{\text{тр}} + C_{\text{м}} + C_{\text{прг}}, \quad (5.19)$$

где $C_{\text{тр}}$ – стоимость транспортировки, 3 % от цены, $C_{\text{тр}} = 60$ грн. ;

$C_{\text{м}}$ – стоимость монтажных и пусконаладочных работ, $C_{\text{м}} = 100$ грн.;

$$C_{\text{б}} = 2026,6 + 60 + 100 = 2186,6 \text{ грн.}$$

5. 5 Расчет эксплуатационных расходов

Состав расходов по эксплуатации прибора и порядок их расчета производится в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Расчет эксплуатационных расходов

Статья расходов	Сумма, грн.	Порядок расчета
1. Электроэнергия, $Z_{\text{э}}$	260	Питание автономное – аккумулятор
2. Затраты на текущий ремонт, $P_{\text{тр}}$	87,5	$P_{\text{тр}} = C_{\text{б}} \cdot \alpha_{\text{тр}}$, где $\alpha_{\text{тр}} = 4 \%$
3. Прочие затраты, $Z_{\text{пр}}$	17,5	5 % то общей суммы затрат
Итого:	365	

Данный прибор относится к классу приборов непроизводственного назначения, зарплату обслуживающего персонала не рассчитываем.

5.6 Расчет годового экономического эффекта

Экономический эффект от производства и применения новых средств труда долговременного пользования с улучшенными качественными и функциональными характеристиками за весь срок их службы определяется по следующей формуле:

$$\mathcal{E} = \left[(C_1 + E_n K_1) \frac{B_2}{B_1} \cdot \frac{P_1 + E_n}{P_2 + E_n} - (C_2 + E_n \cdot K_2) + \frac{U_1 \cdot \frac{B_2}{B_1} - U_2 - E_n \cdot \left(K'_2 - K'_1 \cdot \frac{B_2}{B_1} \right)}{P_2 + E_n} \right] \cdot N, \quad (5.20)$$

где C_1, C_2 – себестоимости единицы базового и нового приборов, соответственно

K_1, K_2 – удельные капитальные вложения;

$E_n = 0,15$ – нормативный коэффициент эффективности от внедрения изделий электронной техники;

$\frac{B_2}{B_1}$ – коэффициент учета роста производительности прибора, $K_{\text{ты}} = 1,28$;

P_1, P_2 – доля отчислений от балансовой стоимости на реновацию;

K'_1, K'_2 – сопутствующие капитальные вложения потребителя;

U_1, U_2 – годовые эксплуатационные расходы потребителя при использовании им соответственно базового и нового прибора;

N – годовой объем производства нового прибора.

В качестве базового прибора принят аналогичный прибор аварийно-спасательный радиомаяк типа АРМ-406 АС1. Оптовая цена прибора принята равной отпускной цене фирмы-изготовителя, что составляет 3100 грн. по курсу НБУ.

Ввиду полной идентичности приборов, расчет производственной себестоимости, удельных капитальных затрат, эксплуатационных расходов при использовании базового прибора определим укрупнённо, по процентному соотношению для проектируемого прибора.

Доля производственной себестоимости в цене проектируемого прибора составляет 49,6 %.

Тогда производственная себестоимость базового прибора:

$$C_1 = 0,496 \cdot 3100 = 1537,6 \text{ грн.}$$

Удельные капитальные вложения в производственные фонды базового прибора определим по формуле (5.18):

$$K_1 = K_{уд} = 1537,6 \cdot 0,3 = 461,3 \text{ грн.}$$

Доля годовых эксплуатационных расходов потребителя при использовании им проектируемого прибора составляет 18 % от цены.

$$U_1 = 0,18 \cdot 3100 = 558 \text{ грн.}$$

Коэффициенты реновации сравниваемых приборов определяются по формуле:

$$P_i = \frac{1}{T},$$

где T – срок службы прибора, лет.

$$P_1 = \frac{1}{5} = 0,2; \quad P_2 = \frac{1}{6} = 0,16.$$

Сопутствующие капитальные вложения потребителя отсутствуют, то есть K_1' и $K_2' = 0$, $\frac{B_2}{B_1} = K_{my}$, он определен ранее, $K_{my} = 1,28$. Для использования прибора на производстве годовая программа составляет $N = 100$ шт.

$$\begin{aligned} \Theta &= \left[(1537,6 + 0,15 \cdot 461,3) \cdot 1,28 \cdot \frac{0,2 + 0,15}{0,16 + 0,15} - (1004,8 + 0,15 \cdot 364,8) + \frac{558,3 \cdot 1,28 - 365}{0,16 + 0,15} \right] \cdot 100 = \\ &= (2365,2 - 1059,5 + 998,9) \cdot 100 = 2304625 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Годовой экономический эффект:

$$\mathcal{E}_r = \mathcal{E} \cdot (P + E_n) = 230462,5 \cdot (0,16 + 0,15) = 71443,4 \text{ грн.}$$

5.7 Выводы

Экономический эффект от внедрения данного прибора получен в основном за счет упрощения схемы прибора, за счет разницы цен, а также за счет повышения надежности прибора (табл. 5.6).

Таблица 5.6 – Таблица сравнения технико-экономических показателей базового и проектируемого приборов

Показатели	Значение показателей	
	Базовый прибор	Проектируемый прибор
Эксплуатационно-технические характеристики:		
надежность, час.;	30 000	55 000
габариты, мм;	215x135x95	120x95x35
коэффициент стандартизации	0,9	0,95
коэффициент унификации	0,8	0,91
выходная мощность	5 Вт	4,9 Вт
ток потребления	1,2 А	0,8 А
нестабильность частоты излучения	$\pm 0,005$ МГц	$\pm 0,0007$ МГц
масса прибора	2,7 кг	1,5 кг
период излучаемых посылок	50 с	20 с
длительность посылок излучения	440 мс	200 мс
Экономические показатели:		
производственная себестоимость, грн.	1537,6	1004,8
оптовая цена, грн.	-	1688,8
цена продажи, грн.	3100	2026,6
капитальные вложения, грн.	461,3	364,8
годовые эксплуатационные расходы, грн.	558,3	365
годовая экономия приведенных затрат, грн.	1606,8	1059,5
годовой экономический эффект, грн.	-	71443,4
срок службы, лет	5	6

6 ОХРАНА ТРУДА И БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

6.1 Анализ потенциальных опасностей

В дипломном проекте разрабатывается радиомаяк для измерения скорости и направления движения морских подводных течений.

Рассмотрим возможные опасности, связанные с разработкой прибора в КБ предприятия:

- поражение электрическим током, в связи с неисправностью электрооборудования, невыполнения правил техники безопасности, при пользовании электрическим оборудованием, отсутствие защитного заземления, которое может привести к поражению электрическим током электрическим ожогам;

- механические травмы, причиной которых, прежде всего, является травмирование рабочих из-за не соблюдения правил и мер безопасности при монтаже и сборке, а также возможные ожоги, вызванные касанием поверхностей обрабатываемых термическим путем;

- недостаточное освещение, причинами которого могут быть неисправности осветительных приборов, ошибочный расчет количества светильников, неправильное расположение осветительных приборов, которое может привести к нарушению рабочего процесса и ухудшению зрения в работников;

- отравление парами вредных веществ, при пайке радиокомпонентов;

- неудовлетворительные параметры микроклимата в связи с нерациональным планированием помещений и неоптимальным размещением в них приборов для нормализации микроклимата, который может привести к дискомфортным ощущениям, ухудшению самочувствия, и снижение работоспособности персонала;

- вероятность пожара, причинами которой могут быть нарушения правил пожарной безопасности, нарушения правил эксплуатации электроприборов,

неисправность электропроводки, короткое замыкание, которое может привести к ожогам разной степени, задымления помещения;

– неправильные действия персонала в чрезвычайной ситуации, причинами которых в первую очередь является незнание правил и порядка действий при чрезвычайных ситуациях, что может привести к травмированию и гибели.

6.2 Мероприятия по обеспечению безопасности

Для обеспечения безопасности вот поражения электрическим током должны выполняться требования ГОСТ 12.2.007.0-75 «Изделия электротехнические. Общие требования безопасности», ГОСТ 12.1.019-79 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».

Все работники, работа которых связана с электрооборудованием, должны знать и выполнять правила техники электрической безопасности, правила техники пожарной безопасности, проходить периодический инструктаж.

Все провода, которые находятся под напряжением, должны иметь защитное заземление (с сопротивлением не больше 4 Ом согласно ПУЭ-2007 «Правила устройства электрооборудования»), зануление, или должны быть расположены на высоте более 2м, что исключает поражение работников электрическим током. Металлические части оборудования должны иметь изоляцию согласно требованиям ГОСТ 10518-88 «Системы электрической изоляции. Общие требования к методам ускоренных испытаний на нагревостойкость».

При выполнении работ работники должны пользоваться только исправным электрооборудованием.

Основной причиной механического травмирования рабочих являются травмы полученные при монтаже и сборке изделия, а также ожоги полученные при пайке печатных плат.

При монтаже радиоэлектронного оборудования следует соблюдать требования электробезопасности и работать только исправным электроинструментом (электродрелью, электропаяльником) .

При работе с электродрелью необходимо применять диэлектрические резиновые перчатки.

Необходимо применять электропаяльник и лампы для местного освещения с напряжением не более 42 В. Для понижения сетевого напряжения 220 и 127 В до 42 В следует применять понижающий трансформатор. Один конец вторичной (понижающей) обмотки трансформатора и металлический кожух необходимо заземлять (занулять).

При запитывании аппаратуры от цеховой сети следует применять штепсельные разъемы. В случае неисправности в сетевой проводке необходимо вызвать электромонтера.

При монтаже радиосхем запрещается:

- проверять на ощупь наличие напряжения и нагрев токоведущих частей схемы;
- применять для соединения блоков и приборов провода с поврежденной изоляцией;
- производить пайку и установку деталей в оборудовании, находящемся под напряжением;
- измерять напряжения и токи переносными приборами с неизолированными проводами и щупами;
- подключать блоки и приборы к оборудованию, находящемуся под напряжением;
- заменять предохранители во включенном оборудовании;
- работать на высоковольтных установках без защитных средств.

6.3 Мероприятия по обеспечению производственной санитарии и гигиены труда

Обеспечение соответствующего освещения имеет очень важное значение для соответствующей работы работников, потому необходимо, чтобы выполнялись все требования ДБН В.2.5-28-2006 «Природне и штучнеосвітлення».

Светильники должны удовлетворять действующим нормам пожарной безопасности. Все осветительные устройства должны быть исправными. Должно быть правильно рассчитанное количество и расположение светильников.

Для питания осветительных приборов общего внутреннего и внешнего освещения, как правило, должно применяться напряжение не выше, чем 220 В переменного тока.

Инженер работает в помещении размером 10х6х4 м с комбинированным освещением. Цвет потолка и стен серый. Разряд зрительной работы IVa. Нормативную освещенность E_H выбираем в соответствии с нормами ДБН В.2.5-28-2006 $E_H = 200$ лк. Коэффициент отражения потолка $K_{nom} = 0,5$, стен $K_c = 0,3$ и пола $K_n = 0,1$. Для освещения используются люминесцентные лампы типа ЛБ в светильниках ЛПО-02. Воздушная среда без пыли и выделений, в помещении постоянно находятся люди.

Рассчитаем индекс помещения:

$$i = A \cdot B / (h \cdot (A + B)), \quad (6.1)$$

где A – длина помещения;

B – ширина помещения;

h – высота размещения светильников над рабочей поверхностью.

$$h = H - h_p - h_3, \quad (6.2)$$

где H – высота производственного помещения, м;

h_p – высота рабочей поверхности над полом, м;

h_3 – высота зависания светильников от потолка, 0,7 м.

$$h = 4 - 0,8 - 0,7 = 2,5 \text{ м.}$$

$$i = 10 \cdot 6 / (2,5 \cdot (10 + 6)) = 1,5.$$

Принимаем коэффициент запаса $k_z = 1,3$ и коэффициент неравномерности

освещения $Z = 1,2$. При индексе $i = 1,5$ коэффициент использования осветительной установки $\eta = 0,54$. Высота рабочей поверхности $h_p = 0,8$ м. Соотношение $L / h = 1,6$.

Определим количество рядов светильников в помещении:

$$N = B / ((H - h) \cdot (L / h)) = 6 / ((4 - 2,5) \cdot 1,6) = 2,5. (6.3)$$

Светильники размещаем в 3 ряда $N_p = 3$. Теперь определим максимальное допустимое расстояние между рядами светильников:

$$L_{\max} = B / N_p = 6 / 3 = 2 \text{ м}. (6.4)$$

Расчет освещенности рабочих мест сводится к выбору системы освещения, определению необходимого числа светильников, их типа и размещения. Исходя из этого, рассчитаем параметры искусственного освещения. В качестве источника искусственного освещения используем люминесцентные лампы, типа ЛД 40-2, световой поток лампы $F_{\text{л}} = 3000$ лм.

Для определения количества светильников определим световой поток, что падает на рабочую поверхность, по формуле:

$$F = \frac{E_n \cdot k \cdot S \cdot z}{\eta}, (6.5)$$

где F – световой поток, который рассчитываем, лм;

E_n – нормированная минимальная освещенность, лк ($E_n = 200$ лк);

S – площадь помещения, м^2 ;

k – коэффициент запаса, который учитывает уменьшение светового потока лампы в результате загрязнения светильников в процессе эксплуатации;

z – коэффициент неравномерности освещения;

η – коэффициент использования светового потока.

Подставив значения в формулу (6.1) получим

$$F = \frac{200 \cdot 1,3 \cdot 60 \cdot 1,1}{0,54} = 31777 \text{ [лм]} .$$

Рассчитаем необходимое количество ламп по следующей формуле:

$$N = \frac{F}{F_{\text{л}}} , \quad (6.6)$$

где N – нужное количество ламп;

F – требуемый световой поток,;

$F_{\text{л}}$ – световой поток лампы, (ЛД-40), $F_{\text{л}} = 3000$ лм.

Подставив значения в (6.2) получим

$$N = \frac{31777}{3000} = 10,6 \text{ [шт]}.$$

Принимаем число ламп $N = 12$, при выборе типа светильников, руководствуемся экономичностью и эргономическими характеристиками, выбираем светильники типа ЛД. Каждый светильник комплектуется двумя лампами. Принимаем число светильников 6.

Рациональное цветовое оформление помещения направленно на улучшение санитарно-гигиенических условий труда, повышения его производительности и безопасности. Освещение помещения и оборудование предусмотрено мягким, без блеска.

Так как специфика труда при сборке и наладки прибора предполагает длительные зрительные нагрузки, из-за чрезвычайно малых размеров современных радиоэлементов, то необходимо с особой тщательностью отнестись к выбору местного освещения. Для обеспечения необходимого уровня освещенность должна быть 500 лк. Для достижения такой освещенности (из расчета, что размер рабочего места $1,5 \text{ м}^2$) необходимо установить светильник Technica 58115, с регулируемой высотой подъема, в который вставлена энергосберегающая лампа LH15-2U Warmlight со световым потоком 750 лм.

Установка именно энергосберегающих ламп в данном случае необходима и в целях экономии, и в целях достижения «мягкого» свечения, что способствует меньшей нагрузке на зрение.

Для обеспечения соответствующих параметров микроклимата в рабочих помещениях необходимо придерживаться требований ДСН 3.3.6-042-99 «Санитарные нормы микроклимата производственных помещений».

Метеорологические условия рабочей среды (микроклимат) влияют на процесс теплообмена и характер работы. Микроклимат характеризуется температурой воздуха, его влажностью и скоростью движения, а также интенсивностью теплового излучения. Длительное действие на человека неблагоприятных метеорологических условий резко ухудшает его самочувствие, снижает производительность труда и приводит к заболеваниям.

Для создания наиболее благоприятных условий в рабочих помещениях необходимо обеспечивать:

- температуру воздуха 21°C;
- относительную влажность воздуха 40%;
- скорость движения воздуха 0,1-0,2 м/с.

Также необходимо периодически проводить проветривание помещений.

Параметры микроклимата на рабочих местах согласно СНиП 2.04.05-91 В Строительные нормы «Отопление, вентиляция и кондиционирование» обеспечиваются установлением кондиционеров SamsungAZ12F1DEA.

Для обеспечения безопасности от негативного влияния электромагнитного излучения при работе на ЭВМ выполняются требования ДБН 3.3.6-096-2002 «Государственные санитарные нормы при работе с источниками электромагнитных полей», ДСН 476-2002 «Державні санітарні норми та правила під час роботи з джерелами електромагнітних полів», ГОСТ 12.1.006-84 «Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля».

Для предотвращения отравления вредными парами при пайке, необходимо установить местную вентиляцию.

Согласно "Санитарным правилам организации процессов пайки мелких изделий сплавами, содержащими свинец" № 952 - 95 на предприятиях должны выполняться следующие требования к вентиляции:

- эксплуатация или ввод в эксплуатацию участков пайки, не оборудованных вентиляцией, запрещается;
- вентиляционные установки должны включаться до начала работ и выключаться после их окончания, а работа вентиляционных установок должна контролироваться с помощью специальной сигнализации (световой, звуковой);
- рабочие места следует оборудовать местными вытяжными устройствами, обеспечивающими скорость движения воздуха непосредственно на месте пайки не менее 0,6 м/сек ;
- запрещается совмещение в одну вентиляционную установку вентиляционных устройств, обслуживающих посты пайки и другое производственное оборудование;
- внутренние поверхности воздуховодов вытяжных систем и вентиляторы должны периодически очищаться от флюса, загрязненного свинца;
- конструкция и разводка вентиляционной сети должна обеспечивать возможность регулярной очистки воздуховодов;
- необходимо соблюдать сроки очистки вентиляционных установок с интервалами от 0,5 до 1 месяца в зависимости от интенсивности технологического процесса;
- паяльники, находящиеся в рабочем состоянии, постоянно должны находиться в зоне действия вытяжной вентиляции, а автоматы для пайки необходимо конструктивно обеспечивать аспирационными устройствами;
- помещения, в которых размещаются участки пайки, необходимо обеспечивать приточным воздухом, подаваемым равномерно в верхнюю зону в количестве составляющем, примерно, 90% объема вытяжки, подвижность воздуха в рабочей зоне должна быть не более 0,3 м/сек, недостающие 10% приточного воздуха должны подаваться в смежные, более чистые помещения;
- применение рециркуляции воздуха в помещении пайки не допускается;

— создающиеся воздухообмены следует проверять на достаточность обеспечения в помещениях метеорологических условий, регламентируемых соответствующими требованиями «Санитарных норм проектирования промышленных предприятий», СН 245-95.

Перечисленным требованиям соответствует гибкое консольно-поворотное вытяжное устройство УК (фирма "СовПлим") которое, дает возможность перемещать воздухоприемную воронку вдоль спаиваемого изделия в радиусе 8 м, поднимая или опуская над уровнем пола на высоту от 0,5 до 2,1 м. При этом сама воронка легко вращается в нужную сторону на угол до 110° относительно оси телескопического механизма. Удобно и то, что к балкам консолей можно подвешивать дополнительную нагрузку (сварочные аппараты, кабели и пр.) Эффективность улавливания вредных веществ непосредственно в месте их выделения составляет 75–85%.

6.4 Мероприятия по пожарной безопасности

Основные требования и мероприятия по обеспечению пожарной безопасности предприятий изложенные в НАПБ А.01.001-2004 « Правила пожарной безопасности Украины», ДБН В.1.1.7-2002 «Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва».

Пожарная безопасность обеспечивается путем проведения организационных, технических и других мероприятий, направленных на предупреждение пожаров, обеспечения безопасности людей, снижения возможных материальных убытков, уменьшения негативных экологических последствий, создания условий, для быстрого вызова пожарных подразделов и успешного гашения пожаров, а также эвакуации из зоны возникновения и возможного распространения пожара людей, документов и материальных ценностей.

Для успешного проведения противопожарной профилактики на предприятиях важно знать основные причины пожаров.

Основные причины пожаров на производстве:

- неосторожное обращение с огнем;
- неудовлетворительное состояние электротехнических устройств и нарушения правил их монтажа и эксплуатации;
- нарушение режимов технологических процессов;
- неисправность отопляемых приборов и нарушения правил их эксплуатации;
- невыполнение требований нормативных документов по вопросам пожарной безопасности.

В соответствии с Законом Украины «Про пожарную безопасность» обеспечения пожарной безопасности предприятий, учреждений, организаций, полагается на их руководителей и уполномоченных руководителями лиц, если иначе не предусмотрено соответствующим договором.

На предприятии должен быть установлен соответствующий противопожарный режим, в том числе определенные:

- возможность (место) курения, применения открытого огня и бытовых нагревательных приборов;
- порядок проведения временных пожарноопасных работ;
- места для хранения и допустимое количество сырья, полуфабрикатов и готовой продукции, которые могут одновременно находиться в производственных помещениях и на территории;
- порядок отключения от сети электрооборудования в случае пожара;
- порядок обзора и закрытия помещений по окончании работы;
- порядок прохождения должностными лицами учебы и проверки знаний из пожарной безопасности, а также проведения с работниками противопожарных инструктажей и занятий, по пожарно-техническому минимуму с назначением ответственных за их проведение;
- порядок организации эксплуатации и обслуживания имеющихся технических средств противопожарной защиты (противопожарного водопровода, насосных станций, огнетушителей, и тому подобное);

– действия работников в случае выявления пожара.

Успех быстрой локализации и ликвидации пожара в ее начале зависит от имеющихся огнетушительных средств, умения пользоваться ими всеми работниками, наличия датчиков огня и задымления, а также от средств пожарной связи и сигнализации для вызова пожарной помощи и введения в действие автоматических и первичных огнетушительных средств. Целесообразно использовать огнетушители ОУ-2 (ОУ-5) из расчета 1 огнетушитель на 20 м².

Надежным и быстрым средством сообщения о пожаре является электрическая пожарная сигнализация автоматического или ручного действия. Ручные сигнализаторы устанавливаются вне пределов помещений на расстоянии 150 м, внутри помещений — на расстоянии 50 м один от другого.

6.5 Мероприятия по обеспечению безопасности в условиях воздействия СВЧ электромагнитных полей

Разрабатываемый радиомаяк имеет рабочую частоту 410 МГц и выходную мощность излучения 5 Вт. Такие характеристики позволяют нам поставить вопрос о влиянии ЭМИ на жизнедеятельность человека.

Электромагнитные излучения – процесс испускания электромагнитных волн, а также само переменное электромагнитное поле этих волн. Электромагнитные поля (ЭМП) генерируются токами, изменяющимися по направлению во времени. Спектр электромагнитных (ЭМ) колебаний находится в широких пределах по длине волны λ от 1000 км до 0,001 мкм и менее, а по частоте от $3 \cdot 10^2$ до $3 \cdot 10^{12}$ Гц, включая радиоволны, оптические и ионизирующие излучения. В настоящее время наиболее широкое применение в различных отраслях хозяйства находит ЭМ энергия радиочастот. Они подразделяются по длине волны на ряд диапазонов (табл. 6.1). ЭМ поле складывается из электрического поля, обусловленного напряжением на токоведущих частях и магнитного, возникающего при прохождении тока по этим частям.

Таблица 6.1 – Спектр электромагнитных волн

Наименование диапазона	Длина волны, λ	Диапазон частот	Название диапазона
Длинные волны ДВ	10 – 1 км	3 кГц – 300 кГц	Низкие НЧ
Средние волны СВ	1 км – 100 м	0,3 – 3 МГц	Средние СЧ
Короткие волны КВ	100 – 10 м	3 -30 МГц	Высокие ВЧ
Микроволны			
Дециметровые ДМВ	1 м – 10 см	0,3 – 3 ГГц	Ультравысокие УВЧ
Сантиметровые СМВ	10 см – 1 см	3 ГГц – 30 ГГц	Сверхвысокие СВЧ
Миллиметровые ММВ	1 см – 1 мм	30 ГГц – 300 ГГц	Крайне высокие КВЧ

Значения предельно допустимой напряженности ЭМП радиочастот в диапазоне 0,06 – 300 МГц на рабочих местах приведены в табл.6.2.

Таблица 6.2 –Предельно допустимая напряженность радиочастот в диапазоне 0,06 – 300 МГц на рабочих местах

Составляющая поля, по которой оценивается воздействие и диапазон частот	Предельно допустимая напряженность в течение рабочего дня
Электрическая составляющая	
0,06 МГц – 3 МГц	50 В/м
3 МГц – 30 МГц	20 В/м
30 МГц – 60 МГц	10 В/м
60 МГц – 300 МГц	5 В/м
Магнитная составляющая	
0,06 МГц – 3 МГц	5 А/м
3 МГц – 30 МГц	1 А/м
30 МГц – 300 МГц	0,3 А/м

ЭМП характеризуется совокупностью переменных электрического и магнитного составляющих. Различные диапазоны радиоволн объединяет общая физическая природа, но они существенно различаются по заключенной в них

энергии, характеру распространения, поглощения, отражения, а в следствие этого по действию на среду, в т.ч. и на человека. Чем короче длина волны и больше частота колебаний, тем больше энергии несет в себе квант.

Вокруг любого источника излучения ЭМП разделяют на 3 зоны: ближнюю зону индукции, промежуточную зону интерференции и дальнюю волновую зону. Если геометрические размеры источника излучения меньше длины волны излучения λ (т.е. имеет место точечный источник), границы зон определяются следующими расстояниями R:

- ближайшая зона (индукция) $R < \frac{\lambda}{2\pi}$;
- промежуточная зона (интерференция) $\frac{\lambda}{2\pi} < R < 2\pi\lambda$;
- дальняя зона (волновая) $R > 2\pi\lambda$.

Персонал, работающий с источниками излучения НЧ, СЧ и в известной степени ВЧ и ОВЧ диапазонов находятся в зоне индукции. При эксплуатации генераторов СВЧ и КВЧ диапазонов работающий персонал, часто находится в волновой зоне.

Наиболее опасными для человека являются ЭМП высокой и сверхвысокой частот. Критерием оценки степени воздействия на человека ЭМП может служить количество электромагнитной энергии, поглощаемой при пребывании в электрическом поле. Величина поглощаемой человеком энергии зависит от квадрата силы тока, протекающего через его тело, времени пребывания в электрическом поле и проводимости тканей человека.

По законам физики изменения в веществе может вызвать только та часть энергии излучения, которая поглощается этим веществом, а отраженная или проходящая через него энергия действия не оказывает. Электромагнитные волны лишь частично поглощаются тканями биологического объекта, поэтому биологический эффект зависит от физических параметров ЭМП радиочастот: длины волны (частоты колебаний), интенсивности и режима излучения (непрерывный, прерывистый, импульсно-модулированный), продолжительности

и характера облучения организма (постоянное, интермиттирующее), а также от площади облучаемой поверхности и анатомического строения органа, или ткани.

Постоянные изменения в крови наблюдаются при ППЭ выше 1 мВт/см^2 . Это фазовые изменения лейкоцитов, эритроцитов и гемоглобина. Поражение глаз в виде помутнения хрусталика (катаракты) - последствия воздействия ЭМП в условиях производства. При воздействии миллиметровых волн изменения наступали немедленно, но быстро проходили, но при частоте 35 ГГц они были стойкими, т.к. являлись результатом повреждения эпителия роговицы. При частоте около 400 кГц повреждений не наблюдалось.

Клинико-эпидемиологические исследования людей, подвергшихся производственному воздействию СВЧ-облучения при интенсивности его ниже 10 мВт/см , показали отсутствие каких-либо проявлений катаракты.

Воздействие ЭМП с уровнями, превышающими допустимые, приводят к изменениям функционального состояния сердечно-сосудистой и центральной нервной систем, нарушению обменных процессов [22]. При воздействии значительных интенсивностей СВЧ может возникать более или менее выраженное помутнение хрусталика глаза (катаракты). Нередко отмечают изменения в составе периферической крови.

Защита персонала, обслуживающего установки ВЧ, УВЧ и СВЧ достигается:

- уменьшением излучения непосредственно от самого источника излучения;
- экранированием источника излучения;
- экранированием рабочего места у источника излучений или удалением рабочего места от него (дистанционное управление);
- применением в отдельных случаях средств индивидуальной защиты.

Интенсивность ЭМП радиочастот на рабочих местах не должна превышать:

- в диапазоне СВЧ при облучении в течение рабочего дня – 10 мкВт / см^2 .
- при облучении не более двух часов за рабочий день – 100 мкВт / см^2 , при облучении не более 10 - 15 мин за рабочий день – 5 мкВт / см^2 , при условии обязательного пользования защитными очками;

– в диапазоне СВЧ для лиц, не связанных профессионально с облучением, и для населения интенсивность излучения не должна превышать 1 мк Вт / см^2 . Выбор способа защиты или комбинации их определяются типом источника излучения, рабочим диапазоном волн, характером выполняемых работ.

Для уменьшения интенсивности излучения от источника необходимо:

- при обработке высокочастотной части РЛС, отдельных СВЧ генераторов и т.п. применять различные типы поглотителей мощности, эквиваленты нагрузок;
- использовать имитаторы цели при проверках индикаторных, приемных вычислительных, управляющих и т.п. систем РЛС, когда не требуется включения генераторных и излучающих высокочастотных устройств (передатчиков, антенн);
- во всех случаях работы с аппаратурой необходимо убедиться в отсутствии утечек энергии на линиях передачи в местах сочленения элементов волноводного тракта, из катодных выводов магнетронов и т.п.

Экранирование источников излучения и рабочих мест выполняется различными способами в зависимости от генерируемой мощности, взаимного расположения источника и рабочего места, характера технологического процесса. Для защиты от проникновения СВЧ энергии в рабочее помещение рекомендуется экранировать источники излучения. Экранирование не должно нарушать процесс регулировки настройки испытания при работе с излучающим устройством. Поэтому при конструкции экранирующих приспособлений необходимо учитывать основные параметры, характеризующие излучение и назначение производственного процесса, связанного с экранирующим источником излучения. Тип, форма, размеры и материал экранирующего устройства зависит от того, имеет ли место непосредственное излучение, направленное или ненаправленное, непрерывное или импульсное, какова излучаемая мощность и рабочий диапазон частот.

Известно, что полное отражение электромагнитной волны обеспечивается материалами с высокой электропроводимостью (металлы), полное поглощение возможно в материалах с плохой электропроводимостью (полупроводники, диэлектрики с большими потерями). С учетом указанных свойств материалов,

характера и параметров источника излучения, особенностей производственного процесса был рекомендован и внедрен в практику ряд типовых экранирующих устройств, которые показали хорошую эффективность.

Экраны могут быть использованы: для экранирования помещения, источника излучения, рабочего места. Все экраны должны быть тщательно заземлены. Сплошные металлические экраны обеспечивают надежное экранирование при любых, практически встречающихся интенсивностях СВЧ поле с учетом допустимых величин (10 мкВт/см^2). Экран может быть изготовлен из металла любой толщины. При толщине экрана в 0,01 мм поле СВЧ ослабляется примерно в 100000 раз. Следовательно, ослабление в сплошных металлических экранах достаточно велико и для облегчения веса можно пользоваться даже тонкой металлической фольгой.

6.6 Эргономические требования к рабочему месту

Проектирование рабочих мест, снабженных видеотерминалами, относится к числу важных проблем эргономического проектирования в области вычислительной техники.

Рабочее место и взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям. Большое значение имеет также характер работы. В частности, при организации рабочего места программиста должны быть соблюдены следующие основные условия: оптимальное размещение оборудования, входящего в состав рабочего места и достаточное рабочее пространство, позволяющее осуществлять все необходимые движения и перемещения.

Эргономическими аспектами проектирования видеотерминальных рабочих мест, в частности, являются: высота рабочей поверхности, размеры пространства для ног, требования к расположению документов на рабочем месте, характеристики рабочего кресла, требования к поверхности рабочего стола, регулируемость элементов рабочего места.

Главными элементами рабочего места программиста являются стол, аппаратура и кресло.

Основным рабочим положением является положение сидя.

Рабочая поза сидя вызывает минимальное утомление программиста.

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще, расположено в зоне легкой досягаемости рабочего пространства.

Моторное поле – пространство рабочего места, в котором могут осуществляться двигательные действия человека.

Максимальная зона досягаемости рук – это часть моторного поля рабочего места, ограниченного дугами, описываемыми максимально вытянутыми руками при движении их в плечевом суставе.

Оптимальная зона – часть моторного поля рабочего места, ограниченного дугами, описываемыми предплечьями при движении в локтевых суставах с опорой в точке локтя и с относительно неподвижным плечом.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости (рис.6.1):

- ДИСПЛЕЙ размещается в зоне а (в центре);
- СИСТЕМНЫЙ БЛОК размещается в предусмотренной нише стола;
- КЛАВИАТУРА – в зоне г/д;
- «МЫШЬ» – в зоне в справа;
- СКАНЕР в зоне а/б (слева);
- ПРИНТЕР находится в зоне а (справа);

ДОКУМЕНТАЦИЯ: необходимая при работе – в зоне легкой досягаемости ладони – в, а в выдвижных ящиках стола – литература, неиспользуемая постоянно.

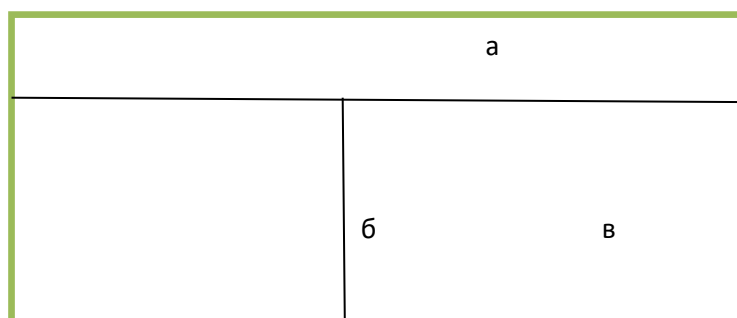
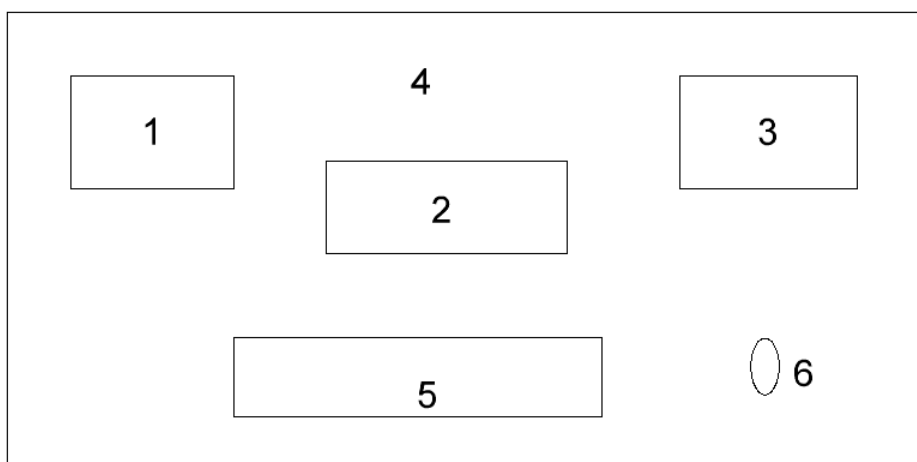


Рисунок 6.1 – Разбивка рабочего стола программиста по зонам

На рис. 6.2 показан пример размещения основных и периферийных составляющих ПК на рабочем столе программиста.



1 – сканер, 2 – монитор, 3 – принтер, 4 – поверхность рабочего стола,

5 – клавиатура, 6 – манипулятор типа «мышь»

Рисунок 6.2 – Размещения основных и периферийных составляющих ПК на рабочем столе программиста

Для комфортной работы стол должен удовлетворять следующим условиям:

- высота стола должна быть выбрана с учетом возможности сидеть свободно, в удобной позе, при необходимости опираясь на подлокотники;
- нижняя часть стола должна быть сконструирована так, чтобы программист мог удобно сидеть, не был вынужден поджимать ноги;

- поверхность стола должна обладать свойствами, исключающими появление бликов в поле зрения программиста;

- конструкция стола должна предусматривать наличие выдвижных ящиков (не менее 3 для хранения документации, листингов, канцелярских принадлежностей);

- высота рабочей поверхности рекомендуется в пределах 680–760 мм;

- высота поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть около 650 мм.

Большое значение придается характеристикам рабочего кресла. Так, рекомендуемая высота сиденья над уровнем пола находится в пределах 420–

550 мм. Поверхность сиденья мягкая, передний край закругленный, а угол наклона спинки – регулируемый.

Необходимо предусматривать при проектировании возможность различного размещения документов: сбоку от видеотерминала, между монитором и клавиатурой и т.п. Кроме того, в случаях, когда видеотерминал имеет низкое качество изображения, например заметны мелькания, расстояние от глаз до экрана делают больше (около 700 мм), чем расстояние от глаза до документа (300–450 мм). Вообще при высоком качестве изображения на видеотерминале расстояние от глаз пользователя до экрана, документа и клавиатуры может быть равным.

Положение экрана определяется:

- расстоянием считывания (0,6 – 0,7 м);

- углом считывания, направлением взгляда на 20° ниже горизонтали к центру экрана, причем экран перпендикулярен этому направлению.

Должна также предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;

- по наклону от -10° до $+20^\circ$ относительно вертикали;

- в левом и правом направлениях.

При неудобной рабочей позе могут появиться боли в мышцах, суставах и сухожилиях. Требования к рабочей позе пользователя видеотерминала следующие:

- голова не должна быть наклонена более чем на 20°,
- плечи должны быть расслаблены,
- локти – под углом 80°-100°,
- предплечья и кисти рук – в горизонтальном положении.

Причина неправильной позы пользователей обусловлена следующими факторами: нет хорошей подставки для документов, клавиатура находится слишком высоко, а документы – низко, некуда положить руки и кисти, недостаточно пространство для ног.

В табл. 6.3 представлены сведения о регламентированных перерывах, которые необходимо делать при работе на компьютере, в зависимости от продолжительности рабочей смены, видов и категорий трудовой деятельности с ВДТ (видео-дисплейный терминал) и ПЭВМ (в соответствии с СНиП 2.2.2 542–96 «Гигиенические требования к видео-дисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работ»).

Таблица 6.3 – Время регламентированных перерывов при работе на компьютере

Категория работы с ВДТ или ПЭВМ	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работы с ВДТ, количество знаков	Суммарное время регламентированных перерывов, мин	
		При 8-часовой смене	При 12-часовой смене
Группа А	до 20000	30	70
Группа Б	до 40000	50	90
Группа В	до 60000	70	120

В соответствии со СНиП 2.2.2 546–96 все виды трудовой деятельности, связанные с использованием компьютера, разделяются на три группы: группа А: работа по считыванию информации с экрана ВДТ или ПЭВМ с предварительным запросом; группа Б: работа по вводу информации; группа В: творческая работа в

режиме диалога с ЭВМ. Эффективность перерывов повышается при сочетании с производственной гимнастикой или организации специального помещения для отдыха персонала с удобной мягкой мебелью, аквариумом, зеленой зоной и т.п.

6.7 Выводы по разделу «Охрана труда»

Для обеспечения безопасности от поражения электрическим током необходимо:

- выполнение правила техники электрической безопасности согласно к требованиям ГОСТ 50571.3-94 «Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током»;

- защитное заземление с сопротивлением не больше 4 Ом, зануление проводов соответственно требований ПУЭ–2007 «Правила устройства электрооборудования»;

- металлические части оборудования должны иметь изоляцию согласно требованиям ГОСТ 10518-88 «Системы электрической изоляции. Общие требования к методам ускоренных испытаний на нагревостойкость».

Для предотвращения механического травмирования требуется строгое соблюдение правил и мер безопасности, при сборке и монтаже, а также пайке радиооборудования.

Для обеспечения соответствующей освещенности в помещении необходимо:

- выполнение требований ДБН В.2.5-28-2006 «Инженерное оборудование зданий и сооружений. Природное и искусственное освещение»;

- соответствие светильников нормам пожарной безопасности;

- рациональное планирование количества и расположение светильников;

- обязательное использование местного освещения, вместе с общим, светильник Technica 58115, с регулируемой высотой подъема, в который вставлена энергосберегающая лампа LH15-2U Warmlight.

Для обеспечения соответствующих параметров микроклимата в рабочих помещениях необходимо:

- выполнение требований ДСН 3.3.6-042-99 «Санитарные нормы микроклимата производственных помещений»;
- рациональное планирование производственных помещений;
- использование кондиционеров SamsungAZ12F1DEA, соответственно СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование».

Для предотвращения отравления вредными веществами при пайке радиокомпонентов обязательно наличие местной вентиляции, в соответствии с СНиП №952-95, в нашем случае - устройства УК, фирмы производителя "СовПлим".

Для обеспечения пожарной безопасности необходимо:

- выполнение правил пожарной безопасности, проведения с работниками противопожарных инструктажей;
- наличие пожарной сигнализации и огнетушителей ВВ-2.

Для обеспечения безопасности при землетрясении необходимо:

- проведение инструктажей;
- эвакуация работников;
- наличие сирен, а также других сигнальных средств.

Таким образом, все мероприятия, разработанные в этом разделе, направлены на обеспечение безопасности персонала ведущего разработку и наладку радиотехнических средств навигации в КБ предприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам выполненной работы разработана электрическая принципиальная малогабаритного радиомаяка для измерения важнейших характеристик подводных морских течений: скорости движения и направления водного горизонта. Основой прибора является высокоэффективный передающий тракт на транзисторах зарубежного производства: BFQ96, BFQ19, BLT53.

Радиомаяк работает в диапазоне частот 407 – 410 МГц.

Для смены частоты радиомаяка используются кварцы с различной частотой.

Частотная модуляция осуществляется варикапом, подключенным к кварцевому автогенератору и на который подается сигнал от НЧ тонального генератора с частотой 1100 Гц. Автогенератор построен по осциляторной схеме, транзистор генерирует частоту на 3-й механической гармонике резонатора, а на выходе автогенератора подключен двух-резонаторный фильтр, настроенный на 9-ю электрическую гармонику коллекторного тока транзистора.

В усилителях мощности применены согласующие шлейфы в виде микрополосковых резонаторов.

При разработке конструкции радиомаяка большое внимание уделено вопросам герметизации корпуса и разъемов, так как предусмотрена долговременная работа радиомаяка в водной среде.

Выполненные расчеты основных функциональных узлов передающего тракта показали, что заданную цель работы радиомаяка удалось реализовать с помощью сравнительно недорогих и распространенных транзисторов и микросхем. В ходе разработки конструкции прибора, получены малые массо-габаритные характеристики, и применены качественные методы герметизации, что положительно сказывается на эксплуатационных и эргономических характеристиках прибора.

Дальнейшим совершенствованием данного радиомаяка можно признать расширение функциональных возможностей, в части измерения большего количества

характеристик подводных течений, например, температуры водных горизонтов на разных глубинах.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Шахгильдян В.В. Проектирование радиопередатчиков: Учебн. пособие для вузов / В.В. Шахгильдян, М.С. Шумилин, В.Б. Козырев и др.; под ред. В.В. Шахгильдяна – 4-е изд. – М.: Радио и связь, 2000. – 656 с.
2. Пышкин И.М. Сухопутная подвижная связь: В 2 кн. / И.М. Пышкин, И.И. Дежурный и др.; под ред. В.С. Семенихина и И.М. Пышкина. – М.: Радио и связь, 1990. – кн. 1 – 432 с., кн. 2 – 328 с.
3. Бородин Б.Я. Мощные полупроводниковые приборы. Транзисторы: Справочник / Б.А. Бородин, В.М. Ломакин, В.В. Мокряков и др.; Под ред. А.В. Голомедова. – М.: Радио и связь, 1985. – 560 с.
4. Туляков Ю.М. Системы персонального радиовызова. – М.: Радио и связь, 1988. – 186 с.
5. Шумилин М.С. Проектирование транзисторных каскадов передатчиков. Учебн. пособие для техникумов / М.С. Шумилин, В.Б. Козырев, В.А. Власов – М.: Радио и связь, 1987. – 320 с.
6. Белинский В.Г. Практическое пособие по учебному конструированию РЭА / В.Г. Белинский и др.; под ред. К.Б. Круковского-Синевица, Ю.Л. Мазора. – К.: Вища школа, 1992. – 494 с.
7. Поліщук Є.С. Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник / Є.С. Поліщук, М. М. Дорошовець та інші.; За ред. проф. Є.С. Поліщука. – Львів.: Вид. "Бескид-Біт", 2003. – 544 с.
8. Новаченко И.В. Микросхемы для бытовой радиоаппаратуры: Справочник, доп. 2-е / И.В. Новаченко, В.А. Телец – М.: Радио и связь, 1991. – 272 с.
9. Бирюков С.А. Устройства на микросхемах: Цифровые измерительные приборы, источники питания, любительские конструкции. – М.: "Символ-Р", 1998. – 192 с.
10. Ленк Д. 500 практических схем на популярных ИС: Пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 448 с.
11. Изъюрова Г.И. Расчет электронных схем. Примеры и задачи. Учебн.

Пособие для вузов / Г.И. Изъюрова, Г.В. Королев, В.А. Терехов и др. – М.: Высш. Школа, 1987. – 335с.

12. Проектирование и техническая эксплуатация радиопередающих устройств: Уч. пособ. для вузов. / М. А. Сиверс – М.: Радио и связь, 1989. – 367 с.

13. Ред Э. Справочное пособие по схемотехнике :Схемы, блоки; Перевод с нем. – М.: Мир, 1990 – 256 с.

14. Тарасов А.В. Портативный КВ трансивер // Радиолюбби, 1999, №6, – С.18- 23.

15. Олексеев О.В. Проектирование радиопередающих устройств с применением ЭВМ: Уч. пособие для вузов. / О.В. Олексеев; под ред. О.В. Олексеева. – М.: Радио и связь, 1987. – 391 с.

16. Каганов В.И. СВЧ полупроводниковые радиопередатчики. – М.: Радио и связь, 1981. – 400 с.

17. Минаев М.И. Радиопередающие устройства сверхвысоких частот. – Минск: Высшая школа, 1978. – 222 с.

18. Поляков В.Т. Трансиверы прямого преобразования. – М.: Изд. ДОССАФ, 1984. – 144 с.

19. Петров Б.Е. Радиопередающие устройства на полупроводниковых приборах / Б.Е. Петров., В.А. Романюк – М.: Высшая школа, 1989. – 231 с.

20. Завражинов Ю.В. Мощные высокочастотные транзисторы / Ю.В. Завражинов; Под ред. Е.З. Мазеля. – М.: Радио и связь, 1985. – 176 с.

21. Перельман Б. А. Новые транзисторы : Справочник – ч. 2 – М.: СОЛОН, 1996. – 261 с.

22. Диоды: Справочник / О.П. Григорьев и др. – М.: Радио и связь, 1990. – 336 с.

23. Бородин Б.А. Мощные полупроводниковые приборы. Транзисторы: Справочник / Б.А. Бородин; под ред. А. В. Голомедова. – М.: Радио и связь, 1985. – 560 с.

24. Акулов И.И. Радиотехнические схемы на транзисторах и туннельных

диода (теория и расчет); Под ред. Р.А. Валитова, – М.: Связь, 1966. – 512 с.

25. Горбатый В. И. Любительские УКВ радиокомплексы. – М.: Мир, 1990. – 256 с.

26. Якубовский С.В. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы. Справочник / С.В. Якубовский, Л.И. Ниссельсон, В.И. Кулешова и др.; под ред. С.В. Якубовского. – М.: Радио и связь, 1990. – 496 с.

27. Барнс Дж. Электронное конструирование: Методы борьбы с помехами: пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 238 с.

28. Найвельт Г.С. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры. Справочник / Г.С. Найвельт, К.Б. Мазель, И.И. Хусаинов и др.; Под ред. Г.С. Найвельта. – М.: Радио и связь, 1986. – 576 с.

29. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. 2-е изд. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд., 1988. – 304 с.

30. Philips, Semiconductors, DATA SHEET, BLT53, UHF power transistor, 1991 – 11 p.

31. Методичні вказівки до економічного обґрунтування дипломних проектів для студентів спеціальності 8.090701 «Радіотехніка»; Укл. Є.М. Касьян, Т.А. Антоненко, Л.М. Біла – Запоріжжя; ЗНТУ, 2013 – 28 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Перечень элементов

Позиц. обознач		Наименование			Кол.						
		<u>Конденсаторы</u>									
C1		X7R-1206-50 B-1000 нФ ±10 %			1	Rohnm					
C2		X7R-1206-50 B-1,5 мкФ ± 10 %			1	Rohnm					
C3		JCN- 100мкФ ± 20 %- 15 В			1	Jamicon					
C4		X7R-1206-50 B-0,01 мкФ ± 10 %			1	Rohnm					
C5		X7R-1206-50 B-82 нФ ± 5 %			1	Rohnm					
C6		X7R-1206-50 B-10 нФ ± 5 %			1	Rohnm					
C7		X7R-1206-50 B-1,5 мкФ ± 10 %			1	Rohnm					
C8		JCN- 100мкФ ± 20 %- 15 В			1	Rohnm					
C9		X7R-1206-50 B-2-10 нФ ±5 %			1	Rohnm					
C10		X7R-1206-50 B-2,2 нФ ± 5 %			1	Rohnm					
C11		X7R-1206-50 B-4700 нФ ± 10 %			1	Rohnm					
C12		X7R-1206-50 B-2 - 10 нФ ± 5 %			1	Rohnm					
C13		X7R-1206-50 B-2,2 нФ ± 5 %			1	Rohnm					
C14		X7R-1206-50 B-1500 нФ ± 10 %			1	Rohnm					
C15,C16		X7R-1206-50 B-200 нФ ± 10 %			2	Rohnm					
C17		X7R-1206-50 B-7,5 нФ ± 5 %			1	Rohnm					
C18		X7R-1206-150 B-3,9 нФ ±5%			1	Rohnm					
C19		X7R-1206-50 B-4700 нФ ±10 %			1	Rohnm					
C20		JCN-220 мкФ ±10 %- 15 В			1	Jamicon					
C21		X7R-1206-50 B-1500 нФ ±10 %			1	Rohnm					
					ЗНТУ. 463215.018 ПЭЗ						
Из		№ докум.	Подпись	Дата							
Разраб.		Мигрин			Радиомаяк Перечень элементов						
Провер.		Чернобородов									
Н. Контр		Мороз									
Утв.		Морщавка			ЗНТУ гр. РТ-213						
					Литер		Лист		Листов		
							1		4		

Поз. обознач.	Наименование	Кол.	Примечание
C24	X7R-1206-50 B-4700 пФ $\pm 10\%$	1	Rohnm
C25	X7R-1206-50 B-0,01 мкФ $\pm 10\%$	1	Rohnm
C26	X7R-1206-50 B-1500 пФ $\pm 10\%$	1	Rohnm
C27	X10R-1-50 B-4 - 20 пФ $\pm 10\%$	1	Rohnm
C28	X7R-1206-50 B-10 пФ $\pm 10\%$	1	Rohnm
	<u>Микросхемы</u>		
DA1	Стабилизатор $\mu A78M09P$	1	Analog Devices
DA2	Таймер NE555	1	Philips
	<u>Реле</u>		
K1	Реле NT90TNS12CB	1	ELCOM
	<u>Индуктивности</u>		
L1	Катушка индуктивности 300 мкГн $\pm 5\%$	1	ГКИЮ 211.233
L2, L3	Катушка индуктивности 3,5 нГн $\pm 2\%$	2	ГКИЮ 211.233
L4	Катушка индуктивности 110 нГн $\pm 5\%$	1	ГКИЮ 211.233
L5	Катушка индуктивности 5 нГн $\pm 5\%$	1	ГКИЮ 211.233
L6	Катушка индуктивности 2 нГн $\pm 5\%$	1	ГКИЮ 211.233
L7	Катушка индуктивности 5 нГн $\pm 5\%$	1	ГКИЮ 211.233
L8	Катушка индуктивности 24 нГн $\pm 5\%$	1	ГКИЮ 211.233
Из	№ докум.	Подпись	Дата
ЗНТУ. 463215.018 ПЭЗ			

Лист

2

