

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Лабораторный практикум
по дисциплине
«ГЕНЕРИРОВАНИЕ И ФОРМИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ»
(часть 2)
для студентов дневной и заочной форм обучения
направления 6.05091— Радиотехника

Севастополь
2008 г.

УДК 621.396.61

Методические указания «Лабораторный практикум по дисциплине «Генерирование и формирование сигналов» (часть 2)» для студентов дневной и заочной форм обучения направления 0907 — Радиотехника / Сост. В.М. Иськив — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2008. — 66 с.

Целью методических указаний является оказание помощи студентам в изучении принципов построения диапазонных возбuditелей и синтезаторов современных передатчиков, и в выполнении лабораторных работ. Методические указания предназначены для студентов дневной и заочной формы обучения направления 0907 — Радиотехника.

Методические указания утверждены на заседании кафедры радиотехники, протокол № 5 от 27 декабря 2007 года

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний

Рецензент:
доцент кафедры радиотехники, канд. техн. наук Савочкин А.А.

Ответственный за выпуск:
заведующий кафедрой радиотехники, д-р. техн. наук,
профессор Гимпилевич Ю.Б.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Лабораторная работа «Исследование передатчиков «Корвет» и «Бриг»	5
Цель работы	5
1.1. Общие сведения	5
1.2. Устройство и работа передатчиков	6
1.3. Порядок работы с передатчиком	15
1.4. Порядок выполнения лабораторной работы	17
1.5. Контрольные вопросы.	18
2. Лабораторная работа «Исследование передатчика «Муссон»	19
Цель работы	19
2.1. Технические характеристики и устройство передатчика «Муссон»	19
2.2. Порядок работы с радиопередатчиком	31
2.3. Порядок выполнения работы	32
2.4. Контрольные вопросы.	33
3. Лабораторная работа «Исследование диапазонного возбуждителя «БОТ»	34
Цель работы	34
3.1. Основы построения синтезаторов частоты	34
3.2. Описание возбуждителя «БОТ»	37
3.3. Порядок выполнения работы	48
3.4. Контрольные вопросы.	49
4. Лабораторная работа «Изучение и исследование передатчика радиостанции на базе синтезатора частоты типа КН1015ХЛ2»	50
Цель работы	50
4.1. Теоретический раздел	50
4.2. Описание лабораторной установки	53
4.3. Порядок выполнения теоретических расчетов	53
4.4. Порядок выполнения экспериментальных исследований	56
4.5. Содержание отчета о выполнении лабораторной работы	56
4.6. Контрольные вопросы.	56
Библиографический список.....	57
Приложение А Описание принципиальной схемы усилителя мощности передат- чиков «Бриг» и «Корвет».....	58
Приложение Б Ключевой режим работы генератора внешнего возбуждения	61
Приложение В Измерение основных параметров в радиопередатчике «Муссон»	65

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Генерирование и формирование сигналов» разбита на две части и изучается студентами дневной и заочной форм обучения направления 0907 — «Радиотехника» в течение двух семестров. В методические указания включены лабораторные работы, выполняемые во второй части и посвященные изучению особенностей работы и построения современных радиопередающих устройств.

Методические рекомендации по выполнению каждой работы содержат следующие разделы: цель работы; теоретическая часть; описание лабораторного макета; порядок выполнения работы; контрольные вопросы.

Лабораторные работы выполняются бригадным методом. Общее количество лабораторных макетов по второй части дисциплины равно четырем (по два макета для работ №1 и №3 и по одному макету для работ №2 и №4), при этом работы №1...№3 требуют для своего выполнения по 4 часа, из которых работа с макетом занимает 2 часа, поэтому учебная группа разбивается на шесть бригад по 2...3 человека в бригаде. В том случае, если в работе присутствуют индивидуальные теоретические или практические задания индивидуальные результаты вкладываются в общий отчет. Результаты, полученные в ходе выполнения практических исследований, приводятся в отчете по лабораторной работе в виде таблиц, графиков и осциллограмм.

Перед выполнением работы следует внимательно ознакомиться с теоретическим материалом, как с тем, что изложено в методических указаниях, так и с тем, что приведен в рекомендуемой литературе.

ВНИМАНИЕ!

МАКЕТЫ ПО РАБОТАМ №1...№3 ПРИ НЕПРАВИЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОГУТ ПРИЧИНИТЬ ВРЕД ЗДОРОВЬЮ. ОЧЕНЬ ВАЖНО ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ СТРОГО ВЫПОЛНЯТЬ ТРЕБОВАНИЯ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ. НИ В КОЕМ СЛУЧАЕ НЕ ВКЛЮЧАТЬ ПРИБОРЫ И МАКЕТЫ БЕЗ РАЗРЕШЕНИЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ ИЛИ ЛАБОРАНТА!!! НЕКОТОРЫЕ ПУНКТЫ РАБОТЫ СЛЕДУЕТ ВЫПОЛНЯТЬ ТОЛЬКО ПРИ НЕПОСРЕДСТВЕННОМ УЧАСТИИ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ ИЛИ ЛАБОРАНТА !!!

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

«Исследование передатчиков «Корвет» и «Бриг»

Цель работы — Изучить устройство, порядок эксплуатации и работу судовых радиопередающих устройств «Корвет» и «Бриг». Исследовать особенности функционирования различных каскадов передатчика в различных режимах работы. Работа рассчитана на 4 часа и состоит из двух частей. В первой части студенты должны изучить принцип действия радиопередатчика, порядок включения и выключения, а также правила его эксплуатации, ответить на контрольные вопросы.

Во второй части выполняются экспериментальные исследования в соответствии с планом.

1.1. Общие сведения

1.1.1. Назначение

Радиопередающие устройства (РПДУ) «Корвет» и «Бриг» отличаются только выходной мощностью и предназначены для использования на судах морского и промыслового флота в качестве связных передатчиков служебных сообщений, частной корреспонденции и другого.

1.1.2. Технические данные передатчиков

Радиопередатчик «Корвет» работает в диапазонах частот: 1,6...3,8; 4,063...4,65; 6,2...6,525; 8,195...8,815; 12,33...13,2; 16,46...17,36; 22,0...22,72; 25,01...25,6 МГц с пиковой мощностью 300 Вт. Коэффициент нелинейных искажений 3-го порядка, измеренный двухтоновым методом: – 28 дБ. Полоса модулирующих частот 350...2700 Гц. Неравномерность в полосе НЧ: 6 дБ. Средняя мощность побочных излучений 50 мВт.

Самый длинноволновый диапазон — диапазон промежуточных волн (ПВ) 1600...3800 кГц (187...79 м), разбит на три стыкующихся поддиапазона которые также называют диапазонами: 1605...1999,9; 2000...2999,9; 3000...3800 кГц. В пределах каждого диапазона частота настройки изменяется не плавно, а дискретно в виде фиксированных частот с интервалом 100 Гц. Число фиксированных рабочих частот, на всех диапазонах 68120. Установка и отсчет частоты декадные.

Передатчик обеспечивает работу на семи типах излучений:

A1 — телеграфирование посредством амплитудной манипуляции незатухающих колебаний со скоростью до 40 Бод. Ширина полосы излучения при этой скорости равна 200 Гц.

A2H — тональное телеграфирование по верхней боковой полосе со скоростью до 40 Бод и частотой тона 1000 Гц. Ширина полосы излучения 1200 Гц. Уровень несущей – 6 ± 2 дБ.

A3J — однополосная телефония на верхней боковой полосе (ВБП) с подавлением несущей не менее чем на 40 дБ. Ширина полосы 2800 Гц.

A3A — однополосная телефония на ВБП с уровнем несущей – 6 ± 4 дБ. Ширина полосы 3000 Гц.

A3H — однополосная телефония на ВБП с уровнем несущей -6 ± 2 дБ.

F1 — частотная телеграфия.

ОФТ — относительная разностная фазовая телеграфия со скоростью до 500 Бод.

Примечание 1.1

На передатчиках ранних выпусков в отличие от передатчиков более поздних выпусков («Бриг-2», «Муссон-2», «Корвет-2») применены устаревшие обозначения типов излучения, не соответствующие обозначениям, введенным по рекомендации Международного консультативного комитета по радиосвязи.

Для того, чтобы можно было работать с передатчиками старых выпусков ниже приводится соответствие между старыми обозначениями и новыми.

Старое обозначение	Новое обозначение
<i>A1</i>	<i>A1A</i>
<i>A2</i>	<i>A2A</i>
<i>A2H</i>	<i>H2A</i>
<i>A3</i>	<i>A3E</i>
<i>A3H</i>	<i>H3E</i>
<i>A3J</i>	<i>J3E</i>
<i>F1</i>	<i>F1B</i>
<i>F2</i>	<i>F2B</i>
<i>F3</i>	<i>F3E</i>

В телеграфных режимах работоспособность обеспечивается при манипуляционных посылах прямоугольной формы с амплитудной 5 В, поступающих от телеграфного аппарата типа СТ или иного передатчика.

Стабильность частоты не хуже $3 \cdot 10^{-7}$. Время прогрева термостата для обеспечения указанной стабильности 30 мин.

Для первичного включения передатчика требуется 2 мин. на прогрев ламп. Длительность перестройки определяется временем, необходимым для установки декадных переключателей частоты и составляет 5 с.

1.2. Устройство и работа передатчиков

1.2.1. Структурная схема передатчиков «Корвет», «Бриг»

Структурная схема передатчика представлена на рис. 1.1. В ее состав входят:

- 1) Типовой для корабельных коротковолновых передатчиков возбудитель типа «БОТ».
- 2) Тракта линейного усиления мощности, состоящего из трех ступеней усиления и системы фильтров.
- 3) Блока реле системы управления и коммутации.
- 4) Пульта управления.
- 5) Системы электропитания.

К передатчику через согласующее устройство подключается антенна. Кроме того, к передатчику подключаются блок дистанционного управления, микротелефон

с усилителем, телеграфный аппарат и телеграфный ключ.

Сигналы с рабочими частотами и заданными видами модуляции и манипуляции формируются в возбuditеле.

Питание передатчика производится от бортовой сети переменного трехфазного тока через выпрямители. Некоторые из выпрямителей стабилизированы.

Передатчик оборудован сложной системой местного и дистанционного управления, сигнализации об исполнении команд, принудительной последовательности операций включения и выключения, выдержки времени для прогрева катодов ламп при включении, и остывании при выключении, выключении питающих напряжений при некоторых неисправностях, сигнализации о готовности передатчика к работе или неисправности.



Рис. 1.1 — Структурная схема радиопередающего устройства «Корвет» («Бриг»)

1.2.2. Возбудитель «БОТ»

Функциональная схема возбудителя «БОТ» представлена на рисунке 3.3 и на лицевой панели лабораторного макета. В рамках данной работы изучается только блок формирования сигналов информации.

Все типы излучений формируются в возбудителе «БОТ» в четырех блоках формирования сигналов информации (СИ) на частоте 100 кГц, кроме режима $F1$, для которого используется частота 5,1 МГц. Сигнал с частотой 100 кГц называется поднесущей. Выбор низкого значения поднесущей частоты объясняется следующим. Из известных методов формирования однополосного сигнала наибольшее распространение получили фильтровый и фазокомпенсационный. В судовых передатчиках используется фильтровый метод. В этом случае поднесущая подавляется в балансном модуляторе, а ненужная боковая полоса — фильтром. Причем, с уменьшением частоты поднесущей возрастает относительный интервал между боковыми полосами, и, следовательно, облегчается их фильтрация. Фиксированное значение

поднесущей также облегчает фильтрацию боковых полос спектров, благодаря тому, что узкополосные фильтры выполняются неперестраиваемыми. Выделенная боковая полоса подвергается трехкратному преобразованию частоты в зону более высоких рабочих частот с помощью промежуточных преобразований вверх и выходного преобразователя ПВ. К каждому преобразователю подводятся две сигнала: один из них — модулированный от блока СИ с сигнальной частотой, а другой сигнал, опорный, поступает от синтезатора который играет роль гетеродина. В тракте переноса модулированных сигналов нельзя ставить умножители и делители частоты из-за искажений сигнала.

Блок низкой частоты (БНЧ) служит для усиления и компрессии речевого сигнала. После ограничения сигнал НЧ вновь усиливается и поступает на вход блока однополосного сигнала (БОС) для модуляции поднесущей 100 кГц в балансном модуляторе БОС. Номинальная величина модулирующего напряжения 0,775 В.

Ограничители уменьшают пик-фактор речевого сигнала за счет уменьшения амплитуды пиков наиболее интенсивных громких составляющих речевого спектра. Это дает возможность поднять уровень негромких составляющих спектра, т.е. выровнять спектр по интенсивности, сжать его. Такая компрессия увеличивает среднюю мощность модулирующего спектра, что улучшает энергетику. Мощность, отдаваемая передатчиком, возрастает в 2...3 раза.

Блок однополосного сигнала

Блок однополосного сигнала (БОС) формирует все типы излучений, кроме относительной фазовой телеграфии (ОФТ) и частотной телеграфии $F1$. Балансный модулятор блока БОС собран по мостовой параллельной схеме. Схема показана на рис. 1.2.

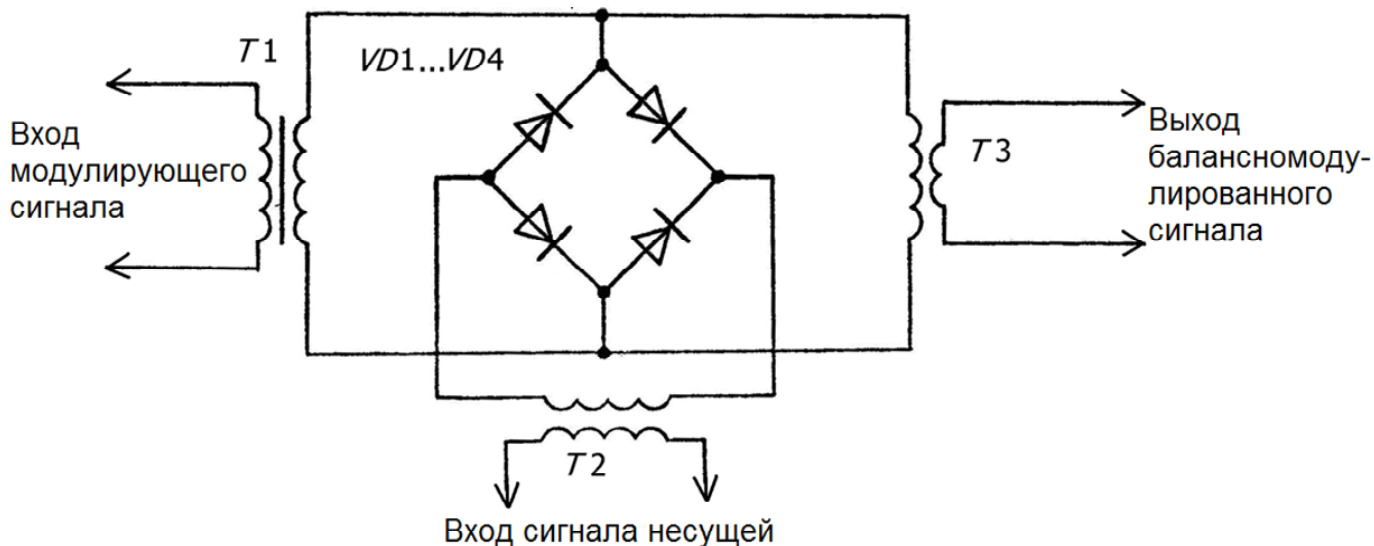


Рис. 1.2 — Упрощенная схема параллельного балансного модулятора

При отсутствии модулирующего сигнала и наличии колебания несущей частоты через диоды проходят однополярные импульсы несущей которые не попадают на выход из-за баланса моста. В этом можно убедиться, расставив мгновенную полярность на диодах.

При подаче модулирующего сигнала при отсутствии колебания несущей частоты в первичной обмотке выходного трансформатора возникает ток звуковой час-

тоты, который, однако, не трансформируется во вторичную обмотку из-за отсутствия в выходном трансформаторе магнитного сердечника.

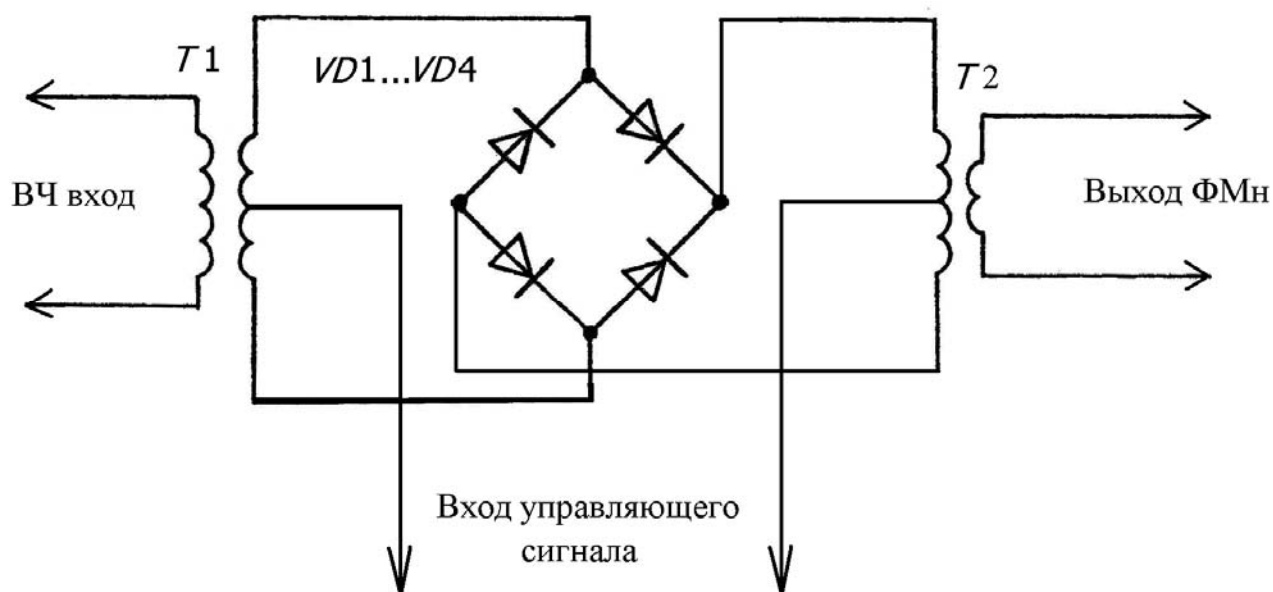
При одновременной подаче обоих колебаний цепь тока звуковой частоты шунтируется диодами с частотой коммутирующего напряжения. В результате на выходе получим последовательность модулированных импульсов (двухполосный сигнал). Боковые полосы, верхняя (ВБП) и нижняя (НБП), выделяются кварцевыми фильтрами. Поскольку передатчик работает на ВБП, выделение НБП кажется ненужным. В действительности выделение НБП необходимо в тех диапазонах, на которых в тракте переноса используется преобразование вниз. В этом случае происходит инвертирование боковых полос, так что НБП превращается в ВБП.

Регулировка величины уровня несущей в режимах *A3J*, *A3H*, *A3A* происходит не в балансном модуляторе за счет его разбалансировки, а вне его, на отдельном резисторном сумматоре. На этот сумматор поступает выделенные ВБП и НБП и несущая требуемого уровня, который устанавливается с помощью аттенюаторов. Аттенюаторы коммутируются контактами реле.

Поскольку аттенюатор является линейным элементом, в нем не происходит биений смешиваемых колебаний и состав спектра не изменяется.

Блок фазовой манипуляции

Блок фазовой манипуляции (БФМ) состоит из фазового манипулятора и формирователя коммутирующего напряжения. При фазовой манипуляции фаза колебаний дискретно изменяется на 180° в такт с нажатием ключа. Схема, реализующая



дискретное изменение, называемая фазовым манипулятором показана на рис. 1.3.

Рис. 1.3 — Схема фазового манипулятора

Управляющий сигнал, коммутирующий фазовый манипулятор, вырабатывается формирователем на основе усилителя постоянного тока, работающего в ключевом режиме. Формирователь управляется телеграфным ключом.

Эта схема аналогична схеме кольцевого балансного модулятора. Но точки включения высокочастотных и низкочастотных напряжений инвертированы. Так в схеме фазовой манипуляции напряжение несущей поступает на входной трансформатор, а низкочастотное манипулирующее напряжение — к средним точкам входно-

го и выходного трансформаторов. В схеме кольцевого балансного модулятора, наоборот: несущая подключается к средним точкам трансформаторов, а модулирующее напряжение — к входному трансформатору.

При подаче знакопеременных управляющих импульсов высокочастотное напряжение оказывается манипулированным по фазе (рис. 1.4). В момент инверсии фазы t_1 мгновенное значение переменного тока высокой частоты может меняться в пределах от нуля до амплитудного значения.

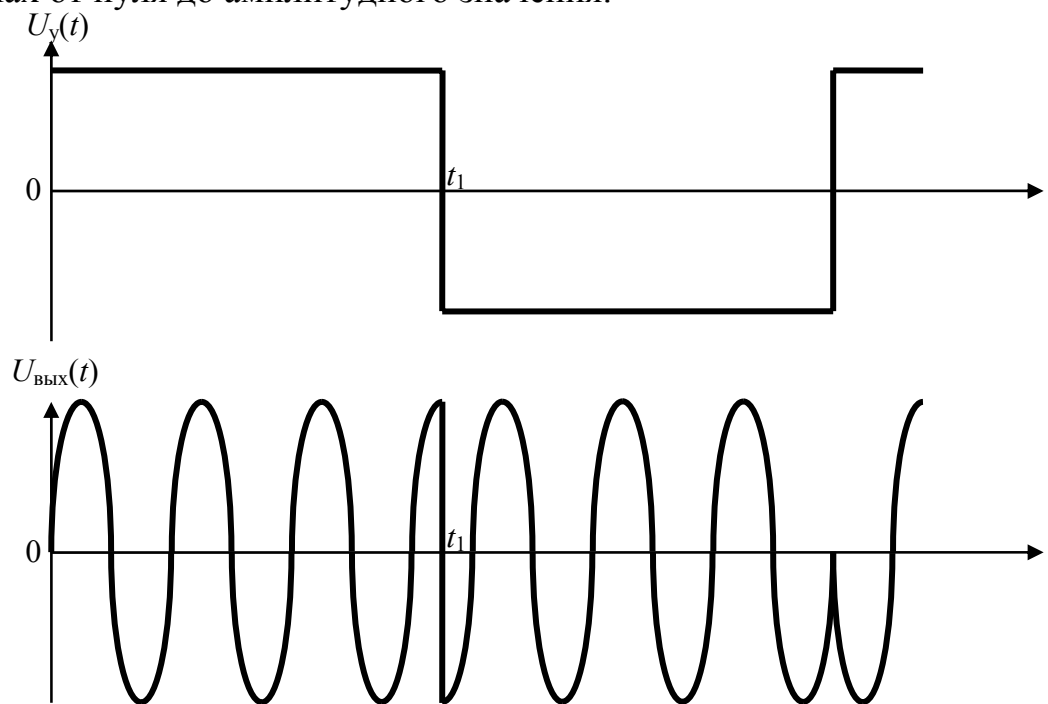


Рис. 1.4 — Изменение фазы высокочастотного колебания при фазовой манипуляции

Если в момент перехода от посылки к паузе мгновенное значение тока не равно нулю, то происходит резкий бросок тока, приводящий к возникновению во внешней цепи свободных колебаний и расширению рабочего спектра. Для предотвращения этого явления после ключа вводится специальная корректирующая цепь, которая замедляет процесс изменения напряжения в момент перехода от посылки к паузе, и наоборот.

Кратность фазовой телеграфии. Информационный параметр сигнала при фазовой телеграфии равен разности фаз соседних посылок $\psi = \varphi_n - \varphi_{n-1}$ и может принимать конечное число значений, определяемое числом подлежащих передаче символов. В общем случае передатчик может вырабатывать K произвольных вариантов сигнала с информационными параметрами: $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_K$. Ясно, что чем больше отличаются друг от друга значения параметра ψ , тем легче их различать в приемнике. При равномерном размещении K вариантов ψ в интервале от 0 до 2π минимальное «расстояние» между вариантами информационного параметра равно $\Delta\psi = 2\pi / K$. По установившейся терминологии, кратность n определяется количеством двоичных единиц информации, то есть $n = \log_2(K)$. Обычно рассматривают системы, в которых n — целое число, а каждая посылка сигнала используется для передачи n независимых двоичных чисел.

Так, в однократной системе два варианта разности фаз ($K=2$): $\psi_1 = \psi_0$ и

$\psi_2 = \psi_0 + \pi$, где ψ_0 — начальное значение информационного параметра. В двукратной системе — четыре варианта разности фаз ($K=4$): $\psi_1 = \psi_0$; $\psi_2 = \psi_0 + \pi/2$; $\psi_3 = \psi_0 + \pi$; $\psi_4 = \psi_0 + 3\pi/2$; в трехкратной — восемь вариантов разности фаз ($K=8$).

Задачей передатчика при работе в режиме ОФТ является создание сигналов с выбранным числом вариантов информационного параметра.

В передатчиках «Бриг» и «Корвет» используется однократная система относительной фазовой телеграфии.

Блок частотной манипуляции

В блоке частотной манипуляции (БЧМ) для получения режима $F1$ используется отдельный термостатированный кварцевый автогенератор, работающий на частоте 5,1 МГц. Последовательно с кварцем включается катушка индуктивности, изменяющая частоту генерации. Параллельно катушке включается транзисторный ключ (сдвигающий каскад), при включении которого катушка замыкается и не оказывает влияния на частоту работы генератора. Всего имеется четыре катушки сдвига и четыре сдвигающих каскада — по числу требуемых сдвигов. Сдвигающие каскады управляются манипуляционными посылками от телеграфного аппарата.

Выбор частоты автогенератора 5,1 МГц был сделан из следующих соображений. Во-первых, это частота достаточно высокая для получения требуемой девиации. Если частотную манипуляцию осуществлять непосредственно на частоте 100 кГц, то для углубления девиации понадобятся умножители частоты. Причем коэффициент умножения, а значит, и девиация, будут зависеть от диапазона, что неприемлемо. Во-вторых, если сигнал с частотой 5,1 МГц в преобразователе частоты смешать с частотой опорного генератора (ОГ) равной 5 МГц то получим частотно-манипулированный сигнал на общей сигнальной частоте 100 кГц. При преобразовании частоты девиация частоты не изменяется. Далее сигнал направляют в общий тракт преобразования поднесущей.

Амплитудный манипулятор

Амплитудный манипулятор для режимов $A1$ и $A2H$ состоит из трех манипуляторов: ПУ, возбудителя и сигнального. Манипуляция осуществляется на четыре блока: селектор гармоник (СГ), выходной преобразователь (ПВ), усилитель выходной (УВ) и предварительный усилитель (ПУ).

Многокаскадная манипуляция необходима для подавления при отжатом ключе возможных просачивании колебаний в антенну от опорного генератора ОГ. Манипуляция в ОГ не производится, чтобы не понижалась стабильность его частоты.

1.2.2. Тракт линейного усиления мощности

У передатчика «Корвет» тракт линейного усиления состоит из трех ступеней:

1) Широкополосного трансформаторного транзисторного предварительного усилителя, работающего в классе A , транзистор $VT1$ типа 2Т904А с $f_{гр} = 350$ МГц и $P_{ном} = 2,5$ Вт (рис. 1.5).

2) Широкополосного трансформаторного двухтактного транзисторного предоконечного усилителя, работающего в классе B на двух транзисторах $VT2$ и $VT3$ типа КТ907А, $f_{гр} = 350$ МГц и $P_{ном} = 8$ Вт (рис. 1.5).

3) Широкополосного выходного усилителя с распределенным усилением (УРУ) на четырех генераторных тетродах ГУ74-Б, работающих в режиме класса B (рис. П.А.3).

На выходе тракта линейного усиления мощности имеется фильтрующая система, ослабляющая до нужной степени излучение на гармониках частоты выходного несущего колебания.

Предварительный и предоконечный усилители предназначены для усиления ВЧ сигнала с уровня выхода возбудителя (1,5 В на $R = 50 \text{ Ом}$) до уровня, необходимого для работы выходного каскада передатчика (13,5 В на $R = 50 \text{ Ом}$).

Трансформаторы: $T1$ — входной; $T2$ — симметрирующий; $T3$ — для подавления четных гармоник; $T4$ — выходной. Все трансформаторы реализованы на длинных линиях (ТДЛ) и перекрывают полосу частот 16...25,6 МГц. Резисторы $R9...R14$ — делители напряжения для подачи смещения на базы транзисторов $VT2$ и $VT3$. Резисторы $R3$, $R7$, $R8$ служат для защиты транзисторов от перенапряжения. Индуктивности $L3$ и $L4$ служат для коррекции коэффициента усиления усилителя в области ВЧ. Питание на базу $VT1$ поступает с делителя напряжения $R4$, $R5$ через развязывающую цепь $L1$, $C3$. Питание на коллектор $VT1$ подается через развязывающую цепь $L2$, $C4$.

В предоконечной ступени для повышения КПД применен режим B . Необходимая линейность обеспечивается за счет использования двухтактной трансформаторной схемы построением каскада и применением местной обратной связи в каждом каскаде.

Выходная ступень передатчика должна развивать мощность не менее $P_{\max} = 400 \text{ Вт}$ и выполнена на четырех лампах по схеме усилителя с распределенным усилением (УРУ). Среди ламповых схем УРУ обладает наибольшей широкополосностью и большим коэффициентом усиления. Мощность на выходе УРУ мало зависит от сопротивления нагрузки. Это позволяет работать на рассогласованную нагрузку без дополнительных согласующих элементов в широком диапазоне частот.

Сеточная линия УРУ передатчика «Корвет» однородная с волновым сопротивлением $\rho = 200 \text{ Ом}$ и граничной частотой 36 МГц. Дополнительные реактивности на входе и выходе линии служат для ее согласования с предыдущей ступенью и нагрузочным сопротивлением. Работа УРУ описана в Приложении А.

Анодная линия неоднородная, граничная частота 30 МГц. Анодная линия нагружена с одной стороны на балластное сопротивление $R1$ (см. рис. П.А.3), с другой — на входное сопротивление фильтрующего устройства. Лампы УРУ работают в режиме класса B с углом отсечки анодного тока около 90° .

Радиопередатчик «Бриг» отличается от радиопередатчика «Корвет» повышенной выходной мощностью. Выходной усилитель мощности радиопередатчика «Бриг» содержит 8 ламп типа ГУ74-Б и неоднородную линию в УРУ выходного каскада. Мощность пиковая на эквиваленте антенны сопротивлением 75 Ом в диапазоне КВ 4...25,6 МГц не менее 1500 Вт, в диапазоне ПВ 1,6...3,8 МГц — не более 400 Вт.

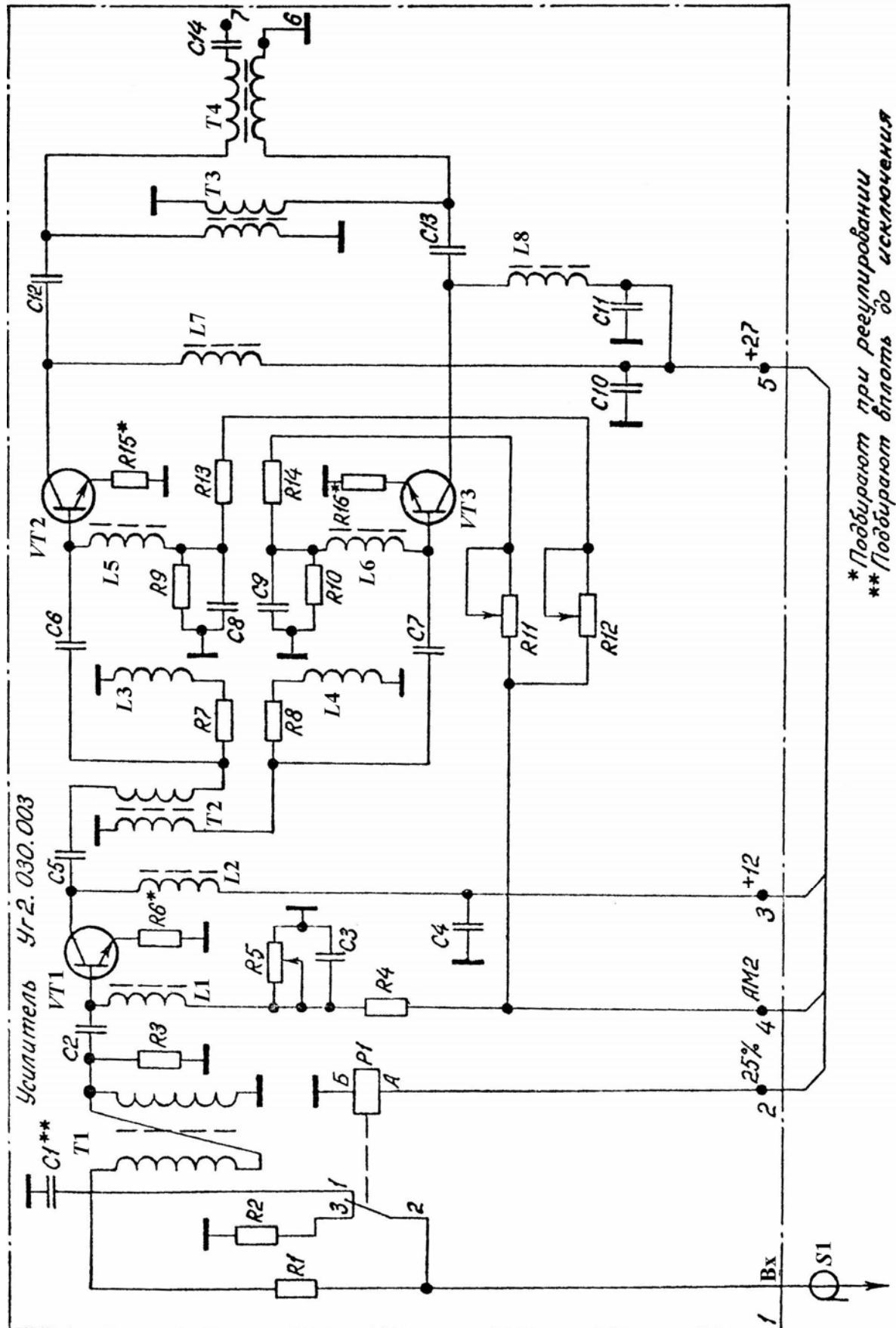


Рис. 1.5 — Принципиальная схема предварительного и предоконечного усилителей

Фактически и в диапазоне ПВ передатчик развивает мощность около 1500...1600 Вт, что значительно превышает разрешенный для ПВ уровень 400 Вт. Понижение избыточной мощности достигается путем уменьшения напряжения, возбуждающего выходной каскад передатчика. При переходе на ПВ автоматически включается аттенюатор и снижается напряжение возбуждения УРУ. На входе предварительного усилителя (ПУ) также имеется аналогичный аттенюатор для установки режима 25% или 100% мощности. Этот аттенюатор включается по команде оператора. Мощность, потребляемая от сети передатчиками «Бриг» и «Корвет», равна 6,5 и 4,2 кВт соответственно. Конструктивно оба передатчика выполнены идентично.

1.2.3. Блок фильтров

Блок фильтров (БФ) предназначен для подавления всех высших гармоник. Гармоники возникают из-за импульсного характера анодного тока при колебаниях второго рода, используемых в УМ. Но даже при колебаниях первого рода могут возникнуть гармоники из-за незначительной нелинейности характеристик ламп.

При использовании резонансного усилителя гармоники подавляются контуром и специальные фильтры не нужны. В случае же УРУ подавление высших гармоник, которые попадают в полосу пропускания УРУ, можно осуществить непереключаемым фильтром только в том случае, если вторая гармоника лежит за пределами рабочего диапазона и, следовательно, ширина каждого диапазона не может быть шире одной октавы.

1.2.4. Пульт управления

Пульт местного управления (ПМУ) расположен на панели передатчика, а пульт дистанционного управления (ПДУ) удален. На пультах производится установка рабочей частоты, типа излучений, уровня мощности, включение питания и др. Все команды с пульта поступают в блок реле, который является координационным центром. Блок реле посылает команды на соответствующие устройства передатчика.

Блоки питания. Для питания используется трехфазная сеть 220/380 В 50 Гц.

Система питания состоит из четырех накальных трансформаторов и трех блоков питания:

- анодно-экранного,
- управления,
- стабилизированных источников.

1.3. Порядок работы с передатчиком

1.3.1. Управление передатчиком

Управление передатчиками возможно как с местного, так и с дистанционного пультов управления. В процессе работы желательно пользоваться одним из пультов. Процесс настройки радиопередатчиков полностью автоматизирован, причем окончательный выбор режима РПУ осуществляется последней командой с одного из пультов управления.

Для полного прогрева термостатов опорного генератора, блока частотной ма-

нипуляции и, следовательно, гарантируемой стабильности частоты радиопередатчика питание РПУ следует подавать за 30 минут до выхода в эфир, на табло пультов управления при этом горит надпись «ТЕРМОСТАТ».

После подачи питания на РПУ рекомендуется открыть дверь передатчика. Сигнальные красные лампы, в том числе лампы «ПЕРЕГРЕВ ОГ» или «БЧМ», на возбудителе не должны гореть.

При работе на парных дуплексных частотах, выделенных для морской подвижной службы, переключатель «СИМПЛЕКС — ДУПЛЕКС» на пульте местного управления необходимо установить в положение «ДУПЛЕКС». При этом разрешается работать в следующих диапазонах частот:

4063...4143 кГц;
6200...6218 кГц;
8195...8291,1 кГц;
12330...12429,2 кГц;
16460...17587,1 кГц;
22000...22124 кГц.

Порядок работы с согласующим устройством изложен в инструкции по эксплуатации согласующего устройства Уг2.240.000 ИЭ.

1.3.2. Системы управления, обобщенной сигнализации и контроля

Для управления РПУ используются следующие операции:

- включение и выключение питания;
- установка частоты;
- установка типа излучения;
- установка уровня 25 или 100% мощности (при нажатии на эти кнопки включается анодное напряжение соответствующего уровня);
- выключение анодного напряжения.

Сигнализация об исполнении команд управления обеспечивается подсветкой соответствующей кнопки управления.

Установка частоты производится декадными переключателями В1 ... В6, установленными на пультах управления. Переключатель В1 служит для установки десятков мегагерц, В2 — единиц мегагерц, В3 — сотен килогерц, В4 — десятков килогерц, В5 — единиц килогерц, В6 — сотен герц.

Настройка возбудителя на вновь установленное значение частоты не будет произведено до тех пор, пока не будет нажата кнопка «НАСТР».

Система обобщенной сигнализации охватывает блок питания управления, анодно-экранный блок питания, усилитель мощности и возбудитель.

Индикаторами обобщенной сигнализации являются световые табло на пультах управления и надписи «ТЕРМОСТАТ», «ЖДАТЬ», «ГОТОВ», «РАБОТА», «НЕИСПРАВНО».

РПУ имеет разветвленную систему местного контроля за состоянием работоспособности передатчика и возбудителя. Для этого в усилителе мощности, возбудителе, блоке питания и блоке управления предусмотрены измерительные приборы с переключателями. Индикаторными приборами на пультах управления осуществляется индикация тока в антенне РПУ.

В УМ измерительный прибор позволяет измерить токи каждой лампы усилителя, суммарный ток ламп и напряжение возбуждения.

Измерительный прибор, переключатель на 24 положения и тумблер В2 возбуждителя позволяют контролировать 45 контрольных точек (согласно техническому описанию ТЦ2.209.015 ТО).

1.3.3. Включение и выключение передатчиков

Нажать кнопку «ПИТАНИЕ ВКЛ», внутри кнопки загорается лампочка, гаснет табло «ТЕРМОСТАТ», загорается табло «ЖДАТЬ».

Установить заданный вид работы (вид излучения) — *A1*, *A3A*, *A3H* и т.д. Для этого нажать соответствующую кнопку. Внутри кнопки загорается лампочка.

Когда погаснет табло «ЖДАТЬ» (после прогрева катодов ламп 2 мин.), включить высокое напряжение. Для этого нажимается одна из кнопок «100% вкл» или «25% вкл». Загорается лампочка в нажатой кнопке и табло «ГОТОВ».

В режимах работы *A1* или *A2H* нажать телеграфный ключ. При этом на выходе передатчика появляется мощность высокой частоты, о чем свидетельствует табло «РАБОТА» и отклонение стрелки прибора тока антенны (на эквиваленте нагрузки и на пультах управления).

При работе с видами излучений *A3J*, *A3A*, *A3H* следует включить генератор НЧ ГЗ-33 или ГЗ-34 и установить на телефонном входе передатчика напряжение примерно 0,7 В на частоте 400...1000 Гц.

При появлении на табло надписи «НЕИСПРАВНО» или отсутствии ответной сигнализации **немедленно** прекратить дальнейшие операции. Нажать последовательно кнопки «Анод выкл.», затем «Питание выкл.».

При необходимости перевести работающий передатчик на другую частоту или тип излучения, необходимо выключать анодное напряжение (кнопка «Анод выкл.») и после перестройки нажать кнопку «Настр.».

ВНИМАНИЕ!

Держать нажатым «КЛЮЧ» в течение более 10 секунд
ЗАПРЕЩАЕТСЯ !

Выключение передатчика «Корвет» производится в следующем порядке:

1) Выключить звуковое напряжение на телефонном входе передатчика. Опустить кнопку «Ключ» при телеграфной работе.

2) Нажать кнопку «Анод выкл», потом «Питание выкл». Гаснут лампочки в кнопках управления, загорается табло «ЖДАТЬ».

3) Примерно через 5 минут отключается воздушное охлаждение, гаснет табло «ЖДАТЬ», загорается табло «Термостат».

4) При необходимости теперь можно выключить питание передатчика на силовом щите лаборатории.

ВНИМАНИЕ!

Отключать питание с передатчика, пока горит табло «ЖДАТЬ», категорически
ЗАПРЕЩАЕТСЯ !

Примечание:

$$\Delta P_1(\%) = \frac{P_1(F = 1000 \text{ Гц}) - P_1(F)}{P_1(F = 1000 \text{ Гц})} \cdot 100\%$$

1.4.3. Используя модулирующий сигнал с частотой 1 кГц и напряжением 0,8 В (устанавливается на НЧ генераторе) зарисовать выходной сигнал передатчика (выход «БОТ» на частоте $f = 3,2$ МГц) в режимах работы *A3A*, *A3H*, *A3J*. Ориентировочно оценить дозировку уровня несущей в режимах *A3J*, *A3H*, *A3A*.

1.4.4. Определить с помощью электронного частотомера: частотный сдвиг при нажатии ключа в режиме *F1* (рабочая частота $f = 1,7$ МГц).

1.4.5. Ознакомиться с режимом работы ОФТ проанализировав осциллограммы выходного сигнала при нажатии и отпускании ключа.

1.4.6. Осуществить передачу сообщения в режиме работы и на частотах, заданных преподавателем. Сообщение принять приемником «Волна».

1.4.7. Оценить нелинейные искажения выходного сигнала передатчика (режим *A3J*, $f = 3,2$ МГц, 100% вых.).

1.5. Содержание отчета о выполнении лабораторной работы

Отчет о выполнении лабораторной работы должен содержать:

- цель работы,
- структурную схему передатчика,
- результаты экспериментальных исследований,
- подробные выводы по работе.

1.6. Контрольные вопросы

1.6.1. Основные технические данные и назначение передатчиков «Корвет» и «Бриг».

1.6.2. Последовательность операций при включении и выключении передатчика.

1.6.3. Показать на структурной схеме и на передатчике основные блоки, их органы управления и контроля.

1.6.4. Как построены тракты предварительного и предвыходного усиления передатчика?

1.6.5. Пояснить принцип работы и построение выходного каскада.

1.6.6. Принцип формирования излучений вида *A3A*, *A3H*, *A3J*.

1.6.7. Как осуществляется частотная манипуляция?

1.6.8. Что представляет собой режим ОФТ?

1.6.9. Пояснить работу блока фазовой манипуляции.

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

«Исследование передатчика «Муссон»

Цель работы — ознакомиться с принципами построения современных транзисторных радиопередатчиков, с принципами работы систем автоматической настройки, согласования и защиты, с работой выходных каскадов в ключевом режиме. Приобрести навыки включения, настройки и испытания радиопередатчиков.

Работа рассчитана на 4 часа и состоит из двух частей. В первой части студенты должны изучить принцип действия радиопередатчика, порядок включения и выключения, а также правила его эксплуатации, ответить на контрольные вопросы.

Во второй части выполняются экспериментальные исследования в соответствии с планом.

2.1. Технические характеристики и устройство передатчика «Муссон»

Радиопередатчик работает на семи жестко фиксированных частотах, стабилизированных кварцевыми резонаторами: 410, 425, 454, 468, 480, 500 и 512 кГц,

Относительная нестабильность частоты не хуже $200 \cdot 10^{-6}$. Радиопередатчик обеспечивает телеграфную работу ключом в режимах излучения типа *A1*, *A2H* и АПС (автоматический привод самолета) со скоростью манипуляции до 40 Бод.

Усилитель мощности передатчика состоит из двух параллельно включенных усилительных блоков. Суммарная выходная мощность радиопередатчика на частоте 500 кГц, в режиме *A1*, отдаваемая в эквивалент антенны ($C_3=500$ пФ и $R_3=2,2$ Ом) подключенного к выходу согласующего устройства, составляет не менее 200 Вт. Пиковая мощность в режимах *A2H* и АПС также не менее 200 Вт. Мощность на остальных частотах отличается от 200 Вт не более чем на 15%. Предусмотрен режим пониженной мощности (25% от номинальной). Радиопередатчик имеет несимметричный выход и может работать с антеннами, имеющими активное сопротивление $R_a=(0,3...10)$ Ом, и реактивное сопротивление $C_a=(300...800)$ пФ.

При работе в режиме излучения типа *A2H* уровень несущей составляет $-(6 \pm 2)$ дБ, т.е. в 2 раза меньше по сравнению с режимом *A1*. Объясняется это тем, что в режиме *A2H* один усилительный блок с выходной мощностью 100 Вт усиливает несущую, а второй, с такой же выходной мощностью, усиливает боковую (подробнее смотри п. 2.2.).

Частота тона порядка 650 Гц. Ширина полосы излучения при скорости манипуляции 40 Бод составляет не более 200 Гц в режиме *A1* и 1000 Гц в режиме *A2H*. Средняя мощность побочных излучений ослаблена на 40 дБ относительно средней мощности несущей.

Время автоматической настройки и перестройки не превышает 5с,

Мощность, потребляемая от сети не более 1,1 кВт.

2.2. Принцип получения типа излучения А2Н

Для получения режима *A2H* используется метод двух автогенераторов, один из которых генерирует основную несущую частоту, например, 500 кГц, а другой — верхнюю боковую частоту 500,65 кГц.

В данном случае разностная частота, равная 650 Гц, определяет тон при приеме. Этот метод позволяет избежать модуляции и, значит, появления еще одной боковой частоты, которую пришлось бы подавлять. Из-за наличия двух автогенераторов схема имеет двухканальную структуру. Манипуляция в режиме *A2H* осуществляется одновременно на усилители возбуждателей обоих каналов. Манипуляция автогенераторов не производится, чтобы не понижалась стабильность частоты.

2.3. Структурная схема

В устройство «Муссон» (рис. 2.1) входят три конструктивно автономных узла: средневолновый передатчик, устройство согласующее (УС) и пульт дистанционного управления (ПДУ).

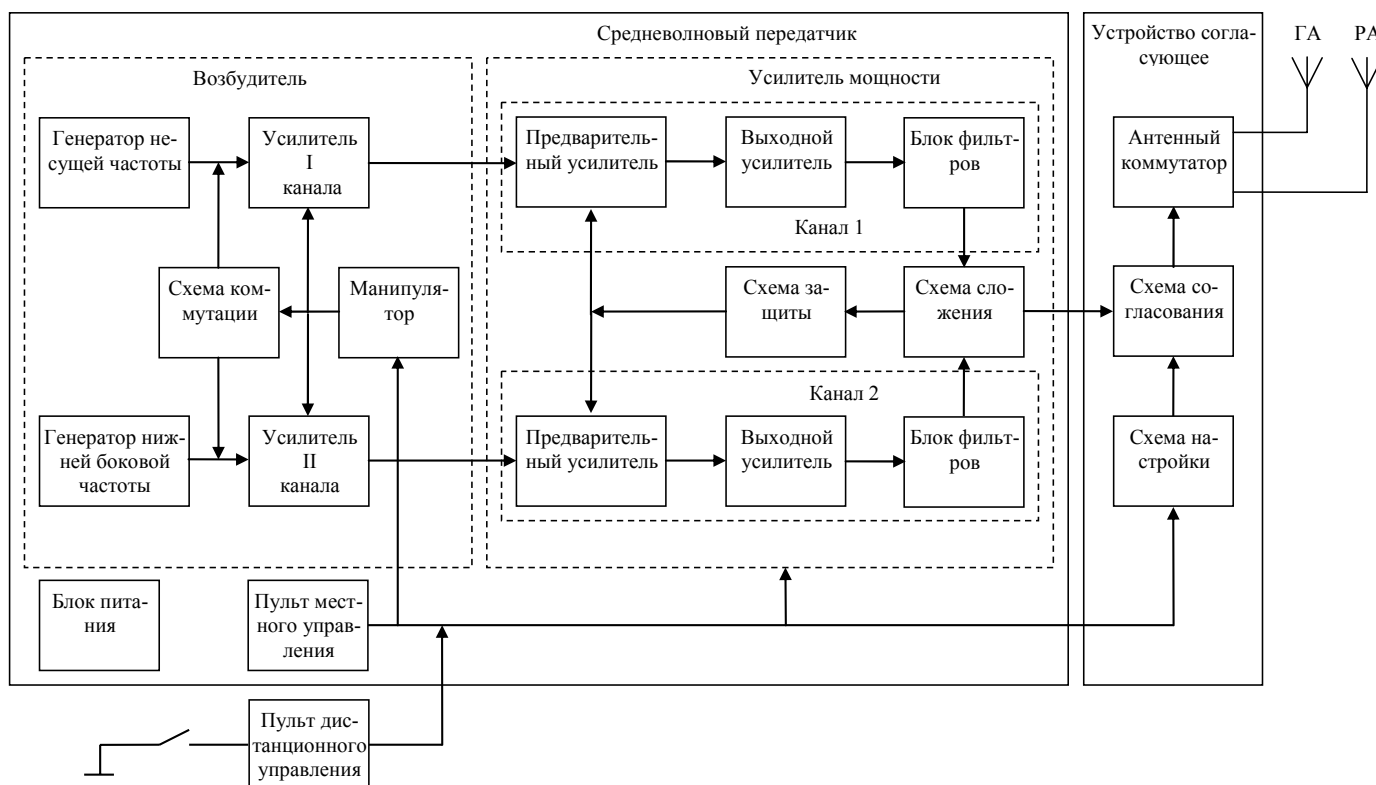


Рис. 2.1 — Структурная схема радиопередающего устройства «Муссон»

Передатчик состоит из возбуждателя, усилителя мощности, пульта местного управления (ПМУ) и блока питания (БП). Все каскады передатчика работают на транзисторах.

В состав возбуждателя входят генератор несущей частоты с семью кварцевыми резонаторами и генератор верхней боковой частоты также с семью кварцевыми резонаторами, частоты которых на 650 Гц выше несущей и составляют: 410,65; 425,65;

454,65; 468,65; 480,65; 500,65; 512,65 кГц. Для включения требуемого резонатора в схему автогенератора используется схема коммутации на диодных ключах.

Усилитель мощности состоит из двух одинаковых каналов усиления, схемы сложения мощности обоих каналов, схемы защиты транзисторов от перегрузок.

Усилители первого и второго каналов возбуждителя повышают уровень колебаний до величины, необходимой для работы усилителей мощности. Каждый из усилителей мощности состоит из каскада предварительного усиления (ПК), выходного каскада (ВК) и блока фильтров (БФ). Оба канала усилителя мощности при работе излучением типа $A1$ усиливают напряжение несущей частоты. При работе излучениями типа $A2H$ и АПС канал I усиливает напряжение несущей частоты, а канал II — верхней боковой частоты.

Формирование однополосного сигнала при работе радиопередатчика излучениями типа $A2H$ или типа АПС происходит в схеме сложения. Транзисторы усилительных каскадов усилителя мощности работают в ключевом режиме (ключевой режим работы транзисторного генератора с внешним возбуждением см. приложение Б). Этим самым обеспечивается КПД усилителя мощности по первой гармонике порядка 75% при КПД выходных каскадов порядка 95%. Мощность, рассеиваемая на коллекторе каждого транзистора выходного каскада, составляет 14 Вт. Усилитель мощности обеспечивает усиление импульсов прямоугольной формы до мощности 430 Вт.

Фильтры являются коллекторной нагрузкой выходного каскада и выделяют первую гармонику импульсов коллекторного тока, которая поступает в трансформаторную схему сложения. В ней происходит сложение мощностей обоих каналов, и суммарный сигнал поступает по кабелю в устройство согласующее. После выделения из спектра прямоугольных импульсов сигнала первой гармоники выходная мощность на согласованной нагрузке $R_H = 50$ Ом составляет 350 Вт.

Схема защиты транзисторов позволяет осуществить автоматическую регулировку напряжения, питающего предварительные каскады, и защиту транзисторов выходного каскада от перегрузки, обусловленной изменением параметров нагрузки. На рис. Б.3 приложения представлен фрагмент технического описания передатчика «Муссон», содержащий принципиальную схему усилителя мощности и схемы защиты транзисторов.

БП осуществляет питание передатчика от трехфазной сети переменного тока с напряжением 220 или 380 В и частотой 50 Гц через 3 основных выпрямителя. От выпрямителей напряжение питания подается на коллекторы транзисторов ВК, ПК и возбуждителя.

Выпрямитель ВК в режиме 100-процентной мощности передатчика выдает коллекторное напряжение $E_K = +57$ В при токе 10 А. В режиме пониженной мощности (25%) $E_K = +24$ В при токе 5 А.

Выпрямитель ПК выдает $E_K = -12$ В при токе 2,2 А (100%) или $E_K = -9$ В при токе 1,2 А (25%).

Дежурный выпрямитель выполняет функции выпрямителя управления и питающего возбуждителя. Он включается при подаче сети и выдает напряжение -27 В, поступающее на пульт в качестве дежурного напряжения управления и на антенный коммутатор, чтобы обеспечить выбор главной или резервной антенны до включения передатчика. При включении передатчика выбранная антенна подключается к пере-

датчику и подается питание на возбудитель, ПК и ВК.

В блоке БП имеется 17 реле, с помощью которых осуществляется коммутация, требуемая последовательность включений, сигнализация, блокировка и контроль. Все реле питаются постоянным током, поэтому для контроля цепей переменного тока необходимо ставить вспомогательные выпрямители. В БП имеется 5 вспомогательных выпрямителей.

При запуске настройки блок питания автоматически переходит в режим 25% мощности.

Устройство согласующее УС является выносным элементом, располагаемым непосредственно у ввода антенны, и может быть удалено от РПДУ на расстояние до 50 м. УС состоит из следующих элементов:

- схемы согласования усилителя мощности с антенной, в состав которой входит автотрансформатор с переключателем связи, вариометр настройки и удлинительная катушка индуктивности;
- схемы автоматической настройки, состоящей из датчика настройки двух приводов с электродвигателями, усилителя привода и релейной схемы логики;
- антенного коммутатора, который автоматически подключает к РПДУ главную или резервную антенну и позволяет коммутировать антенны при выключенном РПДУ.

Пульт дистанционного управления (ПДУ) выполняет те же функции, что и пульт местного управления и может быть удален от РПДУ на расстояние до 150 м.

2.4. Элементы принципиальной схемы

2.4.1. Усилитель мощности

Каскады предварительного усиления

Каскады предварительного усиления I и II каналов выполнены по схеме с общим эмиттером на транзисторах T1 и T2, соответственно (здесь и далее нумерация и обозначение элементов даны по техническому описанию на усилитель мощности ТЦ2.030.110 передатчика «Муссон», фрагмент которого приведен в приложении на рис. Б.3). Эти каскады усиления обеспечивают усиление поступающих с выходов возбудителя сигналов до величины порядка 5 Вт.

Широкополосные трансформаторы Tr1 и Tr2 предназначены для согласования входного сопротивления транзисторов T1 и T2 ($R_{вх} = 10 \text{ Ом}$) с волновым сопротивлением кабеля ($\rho = 50 \text{ Ом}$), соединяющего выход возбудителя с входом усилителя мощности.

Напряжение питания ПК на транзистор T1 подается с контакта 8 платы Ш4 через регулировочное сопротивление R8 и первичную обмотку трансформатора Tr3, а на транзистор T2 — с контакта 8 платы Ш1 через транзистор T9, резистор R13, регулировочное сопротивление R11 и первичную обмотку трансформатора Tr4.

Режим работы каскадов предварительного усиления приведен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 — Режим работы каскадов предварительного усиления

Режим работы РПУ по мощности	Ток предварительного каскада, А	Напряжение питания предварительного каскада, В
25%	$0,9 \pm 0,4$	-9 ± 1
100%	$1,1 \pm 0,4$	$-12 \pm 1,5$

Выходные каскады

Выходной каскад канала I выполнен на двух транзисторах ТЗ и Т4, а канала II — на двух транзисторах Т5 и Т6.

Транзисторы ТЗ, Т4 к Т5, Т6 соединены между собой с помощью схемы сложения на трансформаторах Тр5, Тр6 и резисторах R48, R49 соответственно.

В выходных каскадах обоих каналов применены транзисторы типа 2Т808А.

Каскад каждого канала усиливает сигнал прямоугольной формы до выходной мощности 215 Вт.

Для согласования входного сопротивления транзисторов выходных каскадов каждого канала с выходным сопротивлением каскадов предварительного усиления применены широкополосные трансформаторы Тр3 и Тр4. Напряжение питания выходных каскадов поступает из блока питания на контакты 1, 2, 3, 4 платы Ш4 и через предохранители — Пр1, Пр2, Пр3, Пр4, резисторы R22, R45, R50, R53 и дроссели Др1, Др2, Др3, Др4, соответственно, на коллекторы транзисторов ТЗ, Т4, Т5, Т6.

Фильтры Др1, С45; Др2, С46; Др3, С47; Др4, С48 служат для развязки цепей питания по высокой частоте, что позволяет вести контроль режима работы каждого транзистора. Конденсаторы С13...С44 служат для разделения постоянной и переменной составляющих сигнала.

Для стабилизации режима и компенсации разброса параметров транзисторов в базовые цепи выходных каскадов включены резисторы R15, R16, R19, R20, а в эмиттерные цепи для регулировки режимов транзисторов включены группы резисторов R25...R29, R30...R34, R35...R39, R40...R44.

Резисторы R14, R17, R18, R21, конденсаторы С9...С12 предотвращают самовозбуждение выходных каскадов усилителя мощности. Режим работы выходных каскадов приведен в таблице 2.2.

Таблица 2.2 — Режим работы выходных каскадов

Режим работы РПУ по мощности	Ток транзисторов выходного каскада, А	Напряжение питания; выходного каскада, В
25%	$1,2 \pm 0,3$	$+ 24 \pm 2,5$
100%	$2,4 \pm 0,2$	$+ 58 \pm 6$

Блок фильтров

В качестве нагрузки каждого канала используются параллельно включенные фильтры низких ФНЧ и высоких ФВЧ частот.

ФНЧ I канала состоит из конденсаторов С53...С56, С65, С66 и индуктивностей L1, L5, L7; II канала — из конденсаторов С59...С62, С69, С70 и индуктивностей L2, L6, L8. ФВЧ I канала включает в себя конденсаторы С49, С50, С57, С58, С67, С68 и

индуктивности $L3, L9$; II канала — конденсаторы $C51, C52, C63, C64, C71, C72$ и индуктивности $L4, L10$. Характеристическое сопротивление фильтров равно выходному сопротивлению параллельно работающих транзисторов $T3, T4, T5, T6$ ($R_{\text{хар}} = 120 \text{ Ом}$), ФНЧ выделяет из спектра прямоугольных импульсов первую гармонику и обеспечивает подавление высших гармонических составляющих, ФВЧ выделяет из спектра прямоугольных импульсов высшие частоты. Нагрузкой ФВЧ I и II каналов являются резисторы $R56... R80$ и $R81... R105$ соответственно. На этих резисторах рассеивается мощность выделенных высших частот. Таким образом улучшается тепловой режим работы транзисторов выходных каскадов.

Схема сложения мощностей

После выделения ФНЧ из спектра прямоугольного сигнала первой гармоники сигналы синусоидальной формы с обоих каналов поступают на трансформаторную схему сложения.

Схема сложения выполнена с использованием двух магнитоизолированных друг от друга широкополосных трансформаторов на ферритовых кольцах. Трансформаторы $Tr7$ и $Tr8$ служат для согласования волнового сопротивления кабеля ($\rho = 50 \text{ Ом}$) с характеристическим сопротивлением фильтра ($R_{\text{хар}} = 12 \text{ Ом}$).

Вторичные обмотки трансформаторов $Tr7$ и $Tr8$ соединены последовательно.

Балластные сопротивления $R106, R107$, включенные параллельно выходам фильтров обоих каналов, обеспечивают взаимную развязку каналов.

При работе излучением типа $A1$ и равных выходных мощностях каналов, выделенная на балластном сопротивлении мощность равна нулю.

При работе излучениями типа $A2H$, АПС на балластном сопротивлении рассеивается половина суммарной мощности обоих каналов.

Схема защиты транзисторов от перегрузок

Схема защиты транзисторов усилителя мощности обеспечивает надежную работу усилителя при изменениях нагрузки.

Схема защиты состоит из датчика рассогласования и транзисторного усилителя постоянного тока, нагрузкой которого являются каскады предварительного усиления усилителя мощности.

Датчик рассогласования состоит из трансформатора тока $Tr9$, нагруженного на потенциометр $R116$, и емкостного делителя $C73, C74$. Сигналы трансформатора $Tr9$ и емкостного делителя сравниваются на потенциометре $R113$, Разностный сигнал выделяется на резисторе $R111$, выпрямляется диодом $D4$ и поступает на вход усилителя постоянного тока (база транзистора $T7$). Переменная составляющая сигнала отфильтровывается конденсаторами $C76...C79$. При работе усилителя мощности на согласованную нагрузку ($R_H = 50 \text{ Ом}$) сигнал на выходе датчика рассогласования равен нулю.

При отклонении параметров нагрузки от номинального значения на выходе датчика появляется маломощный сигнал постоянного тока, поступающий на базу транзистора $T7$. С выхода эмиттерного повторителя, выполненного на транзисторе $T7$, сигнал попадает на базу транзистора $T8$, закрытого в исходном состоянии смещением на резисторе $R119$ по цепи $R117, R118, D5$, усиливается и поступает на базу регулировочного транзистора $T9$. Транзистор $T9$ закрывается и тем самым снижает

напряжение питания каскадов предварительного усиления, а следовательно, и напряжение возбуждения выходных каскадов до величины, обеспечивающей нормальный режим работы выходных транзисторов.

Конструкция усилителя мощности

Конструктивно усилитель мощности собран на шасси, изготовленном из листового алюминия. Приборы и узлы усилителя мощности размещены на обеих сторонах шасси. На передней стороне шасси расположены откидная панель и блок фильтров с высокочастотными трансформаторами схемы сложения. На откидной панели установлены: измерительный прибор, переключатель, четыре предохранителя и четыре сигнальные лампы.

Платы для соединения усилителя мощности с радиопередатчиком расположены на внутренней стороне откидной панели. Все транзисторы усилителя мощности закреплены на радиаторах и расположены на задней стенке шасси. Конструкция крепления усилителя мощности в корпусе передатчика допускает поворот его до горизонтального положения, что обеспечивает удобный доступ к монтажу и деталям.

В рабочем положении усилитель мощности фиксируется двумя винтовыми замками.

2.4.2. Устройство согласующее

Устройство согласующее является выносным элементом и располагается непосредственно у ввода антенны. Функциональная схема устройства согласующего приведена на рис. 2.2:

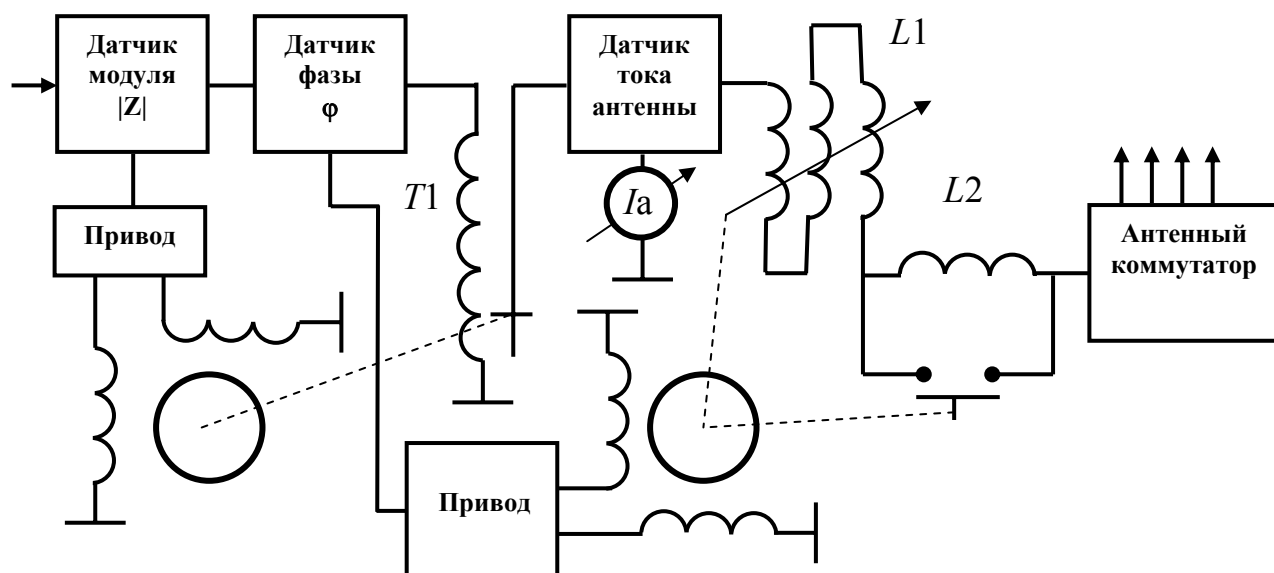


Рис. 2.2 — Функциональная схема устройства согласующего

В состав согласующего устройства входят:

- антенный коммутатор;
- схема согласования параметров антенны с волновым сопротивлением высокочастотного кабеля;
- система автоматической настройки схемы согласования.

Согласование может осуществляться вручную или автоматически.

Антенный коммутатор

Антенный коммутатор позволяет заранее выбрать и при включении радиопередатчика автоматически подключить к схеме согласования главную или резервную антенну.

При выбранной главной антенне резервная антенна подключается к радиопередатчику коротких и промежуточных волн и, наоборот, при выборе резервной антенны главная антенна, подключается к радиопередатчику коротких и промежуточных волн.

Выбранная антенна при включенном радиопередатчике «Муссон» автоматически переключается на резервный передатчик. Кроме того, выбранная антенна может быть изолирована, заземлена или подключена к приемному коммутатору. Указанные манипуляции осуществляются с пульта местного или дистанционного управления только при выключенном радиопередатчике «Муссон». Коммутация антенн сопровождается ответной сигнализацией на кнопках пультов управления.

Схема согласования параметров антенны с волновым сопротивлением высокочастотного кабеля

Схема обеспечивает согласование параметров антенны с волновым сопротивлением высокочастотного кабеля. Согласование производится путем компенсации реактивной составляющей полного сопротивления антенны с последующей трансформацией до величины, равной волновому сопротивлению кабеля ($\rho = 50 \text{ Ом}$). В схему согласования входит переменная индуктивность $L1$, автоматически коммутируемая удлинительная катушка индуктивности $L2$ и автотрансформатор связи $T1$ с переключателем.

Переменная индуктивность $L1$ представляет собой двухроторный вариометр, большой ротор которого служит для грубой настройки в резонанс, а малый - для точной настройки и подстройки.

Вращение обоих роторов осуществляется одномоторным приводом, управляемым схемой автоматической настройки или вручную. Оперативно переключаемая катушка индуктивности $L2$ замыкается в момент, когда индуктивность вариометра приближается к своему минимуму, и размыкается в момент достижения максимума индуктивности.

Автотрансформатор состоит из катушки индуктивности с переключателем связи на 18 положений.

Катушка индуктивности выполнена на четырех ферритовых кольцах и имеет 18 отводов. Переключатель связи вращается от электродвигателя типа ДКИР – 04 - 50ТВ соединенного с переключателем гибкой муфтой.

Схема согласования обеспечивает работу радиопередатчика на антенны со следующими параметрами: $R_A = 0,3 \dots 20 \text{ Ом}$, $C_A = 300 \dots 1200 \text{ пФ}$.

В лабораторной работе передатчик работает только на стандартный эквивалент антенны, который используется для настройки и проверки радиопередатчика.

Эквивалент имеет следующие характеристики:

$$C_{\text{ЭКВ}} = 300 \text{ пФ}; \quad R_{\text{ЭКВ}} = 0,3 \text{ Ом}; \quad R_{\text{ЭКВ}} = 15 \text{ Ом}; \quad R_{\text{ЭКВ}} = 20 \text{ Ом};$$

$$\begin{aligned} C_{\text{ЭКВ}} &= 500 \text{ пФ}; & R_{\text{ЭКВ}} &= 2,2 \text{ Ом}; & R_{\text{ЭКВ}} &= 6 \text{ Ом}; \\ C_{\text{ЭКВ}} &= 1200 \text{ пФ}; & R_{\text{ЭКВ}} &= 0,3 \text{ Ом}; & R_{\text{ЭКВ}} &= 20 \text{ Ом}; & R_{\text{ЭКВ}} &= 15 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Система автоматической настройки схемы согласования

Система предназначена для автоматической настройки схемы согласования. Система автоматической настройки включает в себя:

- схему автоматической компенсации реактивного сопротивления антенны;
- схему автоматического выбора оптимальной связи с антенной;
- схему логики;
- схему автоматической сигнализации неисправности антенны.

Схема автоматической компенсации реактивного сопротивления антенны

Автоматическая компенсация реактивного сопротивления антенны X_A осуществляется при помощи схемы фазовой автоматической настройки, которая включает в себя: датчик фазы, усилитель привода, автоматический привод вариометра и замыкатель удлинительной катушки.

При отсутствии компенсации реактивной составляющей полного сопротивления антенны существует сдвиг фаз между током и напряжением в питающем кабеле, датчик фазы вырабатывает напряжение ошибки положительной или отрицательной полярности. Напряжение ошибки поступает на вход усилителя привода, преобразуется в переменное напряжение и усиливается до необходимой величины.

С выхода усилителя это напряжение поступает на управляющую обмотку двигателя автоматического привода. Роторы вариометра, механически связанные с приводом, вращаются в направлении, обеспечивающем компенсацию реактивной составляющей сопротивления антенны X_A .

Датчик фазы

Датчик реагирует на величину и характер сдвига фаз между напряжением и током в высокочастотном кабеле, соединяющем радиопередатчик с согласующим устройством. Датчик фазы состоит из трансформатора $T1$, конденсаторов $C1 \dots C6$, диодов $VD1, VD2$, резисторов $R1 \dots R3$ и дросселя $L1$ (см. рис. 2.3). Тороидальный трансформатор $T1$, выполняющий роль датчика тока, имеет обмотку с отводом от средней точки. Сквозь тороидальный сердечник проходит высокочастотная шина. За счет индуктивной связи между шиной и обмоткой трансформатор $T1$ в последней индуцируется напряжение, пропорциональное току в шине I_K и сдвинутое по фазе относительно него на 90° . Конденсатор $C5$ выполняет роль датчика напряжения в линии. Напряжение с него подается на среднюю точку трансформатора $T1$ где происходит векторное сложение этого напряжения и напряжений с полуобмоток трансформатора.

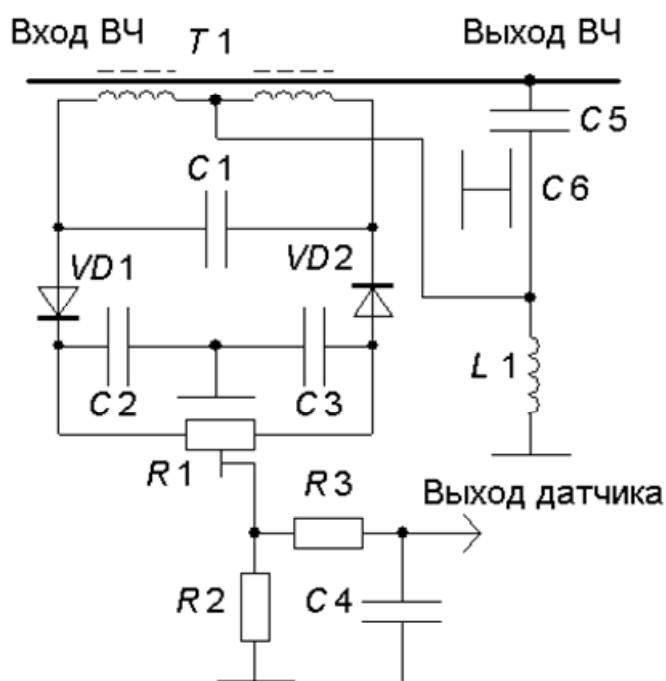


Рис. 2.3 — Принципиальная схема датчика фазы

При отсутствии сдвига фаз между током и напряжением в высокочастотной шине, что соответствует случаю резонанса и полной компенсации реактивного сопротивления антенны, напряжения с выходов детекторов на диодах $VD1$, $VD2$ равны по величине и противоположны по знаку и сигнал на выходе датчика фаз равен нулю.

При наличии расстройки кабель оказывается нагруженным на реактивное сопротивление. При емкостном характере нагрузки напряжение на кабеле отстает по фазе от тока в кабеле I_K на некоторый угол. В этом случае на выводе датчика фазы появится отрицательное напряжение. При индуктивном характере нагрузки напряжение на кабеле опережает по фазе ток в кабеле I_K и напряжение на выходе датчика будет иметь положительную полярность.

В связи с тем, что увеличение расстройки уменьшает уровень мощности, подводимой от выходного каскада радиопередатчика к согласующему устройству, величина сигнала датчика фазы увеличивается пропорционально расстройке только в узком участке диапазона расстроек, а при больших расстройках уменьшается с увеличением расстройки.

Зависимость выходного сигнала датчика фазы от индуктивности вариометра настройки для одной рабочей частоты показана на рис. 2.4

Конденсатор $C1$ выравнивает величину индуцированного напряжения в диапазоне частот.

Для компенсации асимметрии схемы датчика фазы, возникающей за счет разбросов параметров диодов, полуобмоток трансформатора $T1$ и емкостей $C2$ и $C3$, служит потенциометр $R1$. При нагрузке на активное сопротивление, равное 50 Ом, этим потенциометра напряжение на выходе датчика фазы устанавливается равным нулю.

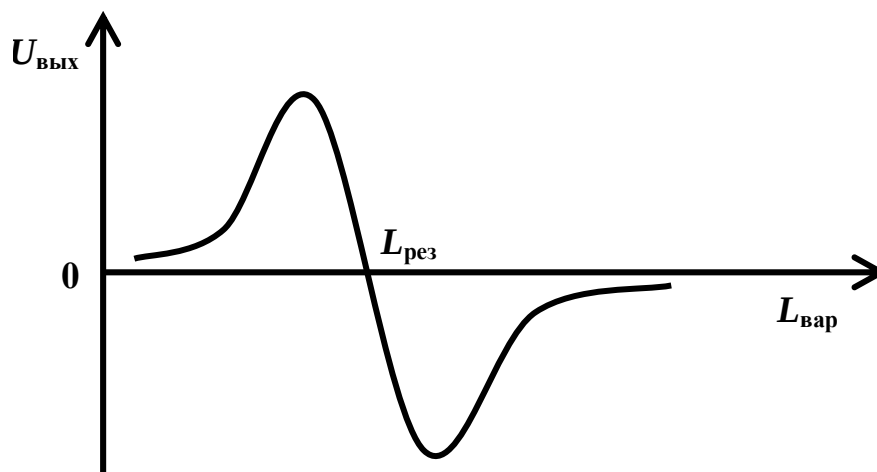


Рис. 2.4 — Зависимость выходного сигнала датчика фазы от индуктивности вариометра настройки для одной рабочей частоты

Схема автоматического выбора оптимальной связи с антенной

Выбор связи с антенной осуществляется дискретно при помощи автотрансформатора $T1$ (рис. 2.2).

Схема автоматического выбора оптимальной связи с антенной включает в себя датчик модуля сопротивления, автотрансформатор связи с приводом и блоками реле.

Датчик модуля сопротивления реагирует на отклонение от 50 Ом величины сопротивления, на которое нагружен высокочастотный кабель, соединяющий выход усилителя мощности с согласующим устройством. Схема датчика модуля сопротивления представлена на рис. 2.5.

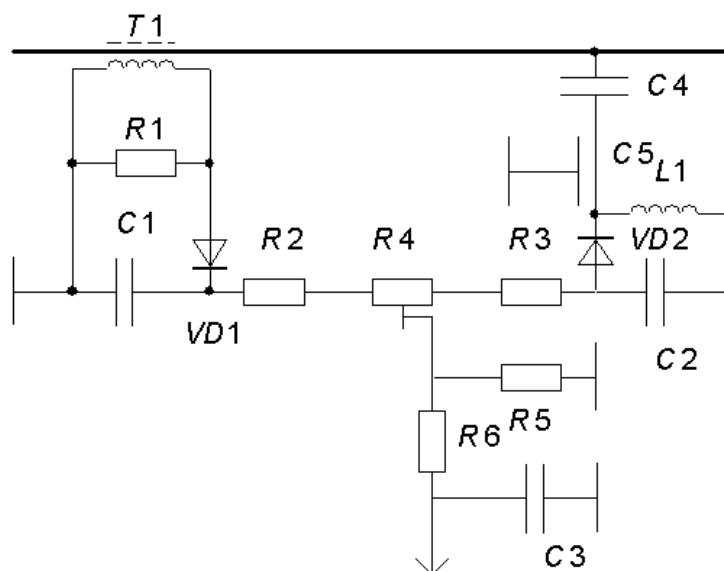


Рис. 2.5 — Принципиальная схема датчика модуля сопротивления

Датчик включает в себя: трансформатор $T1$, дроссель $L1$, конденсаторы $C1...C5$, резисторы $R1...R6$ и диоды $VD1$, $VD2$.

Обмотка тороидального трансформатора $T1$, сквозь который проходит высо-

кочастотная шина, зашунтирована сопротивлением $R1$, поэтому напряжение в обмотке трансформатора пропорционально току в шине и почти не зависит от частоты. Напряжения с выхода трансформатора $T1$ и емкостного делителя $C4, C5$ детектируются диодами $VD1, VD2$ и в разной полярности складываются в общей нагрузке $R5$

При нагрузке высокочастотной шины на сопротивление, равное волновому сопротивлению кабеля $\rho=50$ Ом, напряжения на диодах $VD1$ и $VD2$ равны по величине и выходное напряжение датчика равно нулю.

При сопротивлении нагрузки, большем волнового сопротивления кабеля, напряжение, приложенное к диоду $VD2$, превышает напряжение, приложенное к диоду $VD1$, и на выходе датчика появляется напряжение отрицательной полярности, величина которого зависит от величины рассогласования.

При сопротивлении нагрузки, меньшем волнового сопротивления кабеля, на выходе датчика появляется положительное напряжение, величина которого зависит от величины рассогласования.

Примерный график зависимости выходного напряжения датчика модуля сопротивления от величины сопротивления нагрузки приведен на рис. 2.6.

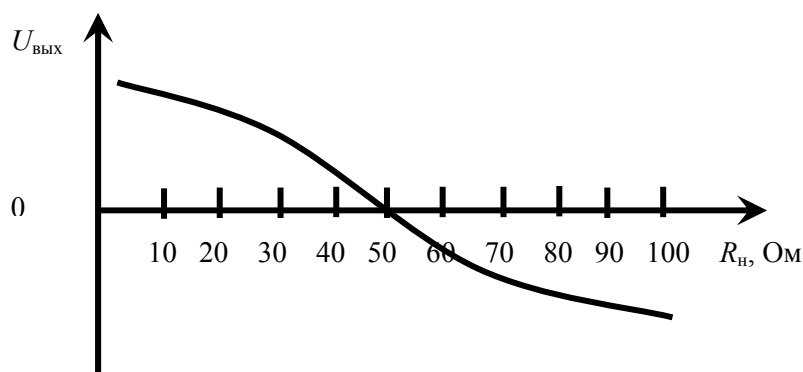


Рис. 2.6 — График зависимости выходного сигнала датчика модуля сопротивления нагрузки

2.5. Порядок работы с передатчиком

2.5.1. Управление радиопередатчиком

Управление передатчиком может осуществляться либо с местного, либо с дистанционного пультов управления. Следует пользоваться только одним из пультов во время работы

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

Категорически запрещается переход с частоты на частоту в режиме 100% мощности, при нажатом ключе и работе в режиме «АПС»

2.5.2. Включение

После подачи напряжения питающей сети на блоке питания передатчика загорается лампа «Сеть» и включается подсветка кнопки «Главная антенна».

Включить автомат «Сеть» на блоке питания.

Нажать и отпустить кнопку «25% ВКЛ». При этом подсвечивается нажатая кнопка и кнопка «АД», на табло загорается надпись «ИСПРАВНО», подсветка кнопки «РЕЗЕРВН. ПЕРЕДАТ.» гаснет.

Нажать кнопку требуемой частоты. На табло загораются надписи «РАБОТА» и «НАСТРОЙКА», а также подсвечивается кнопка выбранной частоты. Отпустить кнопку. В течение автоматической настройки 3...5 секунд горят надписи «ИСПРАВНО», «НАСТРОЙКА», «РАБОТА». Также отклоняется стрелка измерительного прибора на пульте управления, измеряется ток в антенне. По окончании настройки на табло гаснут надписи «ИСПРАВНО», «НАСТРОЙКА», «РАБОТА» и загорается надпись «ГОТОВ».

2.5.3. Смена частоты и автоматическая перестройка

Убедитесь в том, что ключ не нажат, надпись «РАБОТА» на табло не горит, и измерительный прибор не показывает наличие тока в антенне. Нажмите и отпустите кнопку нужной частоты. По окончании процесса перестройки снова загорается надпись «ГОТОВ».

2.5.4. Включение режима 100-процентной мощности

Нажмите и отпустите кнопку «100% ВКЛ». При этом должна загореться кнопка «100% ВКЛ», а подсвет кнопки «25% ВКЛ» должен погаснуть. В режиме 100-процентной мощности должен включиться вентилятор.

2.5.5. Работа

Нажмите ключ. При этом на табло загорается надпись «РАБОТА», отклоняется стрелка прибора, определяющего ток в антенне. При отпускании ключа надпись «РАБОТА» гаснет, стрелка прибора устанавливается в нулевое положение

2.6. Порядок выполнения работы

2.6.1. Исследовать частотную характеристику мощности передатчика и определить промышленный КПД в полосе частот. Расчетные и экспериментальные данные занести в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 — Расчетные и экспериментальные данные по п.2.6.1

f , кГц	410	425	454	468	500	512
I_A , А						
P_A , Вт						
$\eta_{\text{п}}$ %						

I_A — ток в антенне, измеряется амперметром на эквиваленте антенны.

P_A — мощность в антенне, определяется в соответствии с выражением

$$P_A = I_A^2 R_{\Sigma},$$

где $R_{\Sigma}=2,2$ Ом.

$\eta_{\text{п}}$ — промышленный КПД, определяется в соответствии с выражением

$$\eta_{\text{п}}, \% = \frac{P_A}{P_c} 100\%,$$

где $P_c \approx 1,1$ — мощность, потребляемая передатчиком от сети переменного тока (кВт).

2.6.2. На частоте 500 кГц определить:

- мощность, потребляемую выходным каскадом передатчика P_0 ;
- полезную колебательную мощность выходного каскада $P_{\text{БК}}$;
- $\eta_{\text{БК}}$ КПД выходного каскада;
- $\eta_{\text{В.СТ}}$ КПД выходной ступени передатчика.

Расчетные и экспериментальные данные занести в таблицу 2.4.

Таблица 2.4. — Расчетные и экспериментальные данные для частоты 500 кГц

$I_{03}, \text{А}$	$I_{04}, \text{А}$	$I_{05}, \text{А}$	$I_{06}, \text{А}$	$I_0, \text{А}$	$P_0, \text{Вт}$	$P_0, \text{Вт}$	$\eta_{\text{БК}}, \%$	$\eta_{\text{В.СТ}}, \%$

Примечание: $I_{03} \dots I_{06}$ — постоянные составляющие токов транзисторов выходного каскада. Измеряются при открытой дверце передатчика по контрольному прибору, установленному на передней панели усилителя мощности

$$I_0 = I_{03} + I_{04} + I_{05} + I_{06};$$

$$P_0 = I_0 E_{\text{п}}, \text{ где } E_{\text{п}} = 58 \text{ В};$$

$$P_{\text{БК}} = P_0 - P_{\text{К}}$$

где $P_{\text{К}}$ — суммарная мощность, рассеиваемая на коллекторах транзисторов выходного каскада (≈ 56 Вт)

$$\eta_{\text{БК}}, \% = \frac{P_{\text{БК}}}{P_0} 100\%, \quad \eta_{\text{В.СТ}}, \% = \frac{P_A}{P_{\text{БК}}} 100\%$$

2.6.3. По данным таблицы 2.4 построить зависимости P_A ; η от частоты. Оценить относительную нестабильность выходной мощности передатчика по диапазону.

2.6.4. Исследовать форму токов и напряжений в различных точках схемы усилителя мощности при помощи осциллографа, подключаемого к контрольным точкам, выведенным на лабораторный стол.

2.6.5. Ознакомиться с работой согласующего устройства (только под руководством лаборанта или преподавателя).

2.7. Содержание отчета о выполнении лабораторной работы

Отчет о выполнении лабораторной работы должен содержать:

- цель работы,
- структурную схему передатчика,
- результаты экспериментальных исследований,
- подробные выводы по работе.

2.8. Контрольные вопросы

2.8.1. Охарактеризуйте назначение и основные технические характеристики радиопередатчика «Муссон».

2.8.2. Что представляют собой виды излучений $A1$, $A2H$, АПС и как они формируются?

2.8.3. Как осуществляется ключевой режим работы УМ?

2.8.4. Принципы работы систем устройства согласующего?

2.8.5. Как работает схема защиты транзисторов выходного каскада при рассогласовании с антенной?

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

«Исследование диапазонного возбудителя «БОТ»

Цель работы — ознакомиться с методами построения диапазонно-кварцевых возбудителей частоты. Изучить и исследовать возбудитель «БОТ», являющийся задающим генератором эксплуатационных радиопередатчиков промежуточных и коротких волн типа «Бриг» и «Корвет».

Работа рассчитана на 4 часа и состоит из двух частей. В первой части студенты знакомятся с принципами кварцевой стабилизации частоты в диапазоне волн с общей структурной схемой возбудителя «БОТ», изучают опорный генератор возбудителя, выполняют теоретический расчет и отвечают на контрольные вопросы.

Во второй части проводятся экспериментальные исследования возбудителя «БОТ» и проверяются результаты предварительных расчетов.

3.1. Основы построения синтезаторов частоты

Синтезатор должен обеспечить формирование сетки частот, спектральную чистоту выходных колебаний, точность и быстроту установки рабочей частоты.

Формирование дискретной сетки и сигналов информации целесообразно производить при малых напряжениях (доли вольта), т.е. на низком уровне и на сравнительно низких частотах. Это облегчает фильтрацию побочных колебаний, возникающих в процессе преобразования, и повышает спектральную чистоту.

3.1.1. Декадные синтезаторы частот прямого синтеза

Чтобы сформировать сетку в синтезаторах прямого синтеза, принципиально можно обойтись тремя операциями: суммированием и вычитанием частот с помощью преобразователей частоты и делением посредством делителей. Операции умножения избегают из-за снижения стабильности частоты.

Для формирования сетки требуются немодулированные колебания. Если использовать модулированные по амплитуде колебания, то придется отказаться от операций деления и умножения частоты из-за возникающих при этом искажений модулирующего сигнала, но без этих операций невозможно построить сетку частот.

Причины искажений следующие. Деление частоты модулированных колебаний приводит к уменьшению всех частот спектра и интервала между несущей и боковыми частотами, а умножение — к возрастанию этого интервала. Происходит трансформация спектра боковых и, значит, после детектирования спектр сигналов звуковых частот также будет трансформирован.

Преобразование частоты вверх (суммирование) или вниз (вычитание) не влечет трансформации спектра боковых и, значит, модулирующих частот, т.е. не дает искажений, поскольку интервалы между несущей и боковыми до преобразования и после него одни и те же. Убедиться в этом можно на примере любого ряда чисел, скажем 10, 11, 12. Интервал между соседними числами (шаг сетки) равен 1. Умножив все числа на 2, получим ряд 20, 22, 24; шаг равен 2. Поделив числа на 2, получим ряд 5; 5,5; 6; шаг равен 0,5, т.е. сетка сгустилась. Прибавив к числам 100 (преобразование вверх), получим 110, 111, 112, шаг не изменился. Вычитая 7, (преобра-

зование вниз), получим ряд 3, 4, 5, шаг не изменился.

Деление или умножение колебаний, модулированных по частоте, не приводит к искажениям из-за иной структуры спектра боковых составляющих при ЧМ. Умножение при ЧМ увеличивает девиацию частоты, а деление уменьшает ее.

Однако, независимо от вида модуляции, модулированные колебания не пригодны для формирования сетки частот, так как при этом не обеспечивается одно из основных требований к синтезатору — спектральная чистота выходных колебаний.

Выбор конкретной последовательности операций для формирования сигнала с нужной частотой обычно представляет достаточно сложную задачу. Для простоты и быстроты установки нужной частоты выходных колебаний синтезаторы строятся по декадному принципу: декадными переключателями (то есть переключателями на десять положений с обозначениями 0, 1, 2, 3,...9) последовательно набирается ряд цифр, соответствующих рабочей частоте.

Наиболее удобным вариантом построения декадных синтезаторов являются синтезаторы с идентичными декадами, в которых все секции выполняются по идентичной схеме и работают в одном и том же диапазоне частот, что упрощает их производство, эксплуатацию и ремонт. Структурная схема декадного синтезатора частоты с идентичными декадами представлена на рис. 3.1.

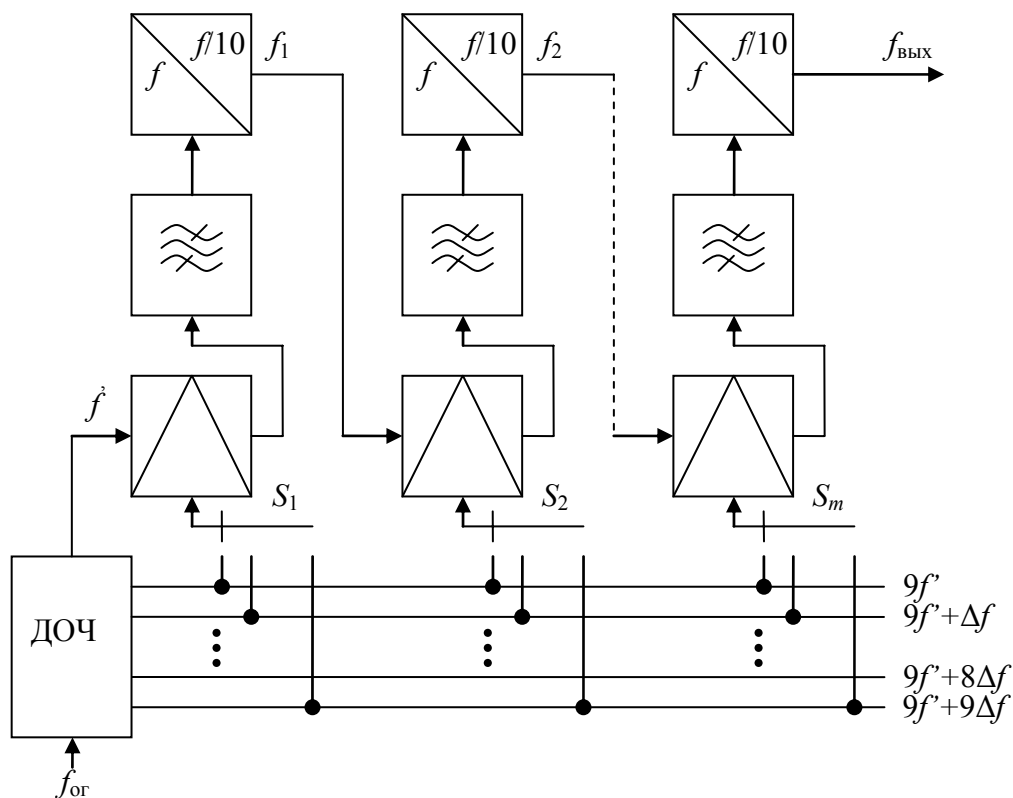


Рис. 3.1 — Структурная схема декадного синтезатора частоты с идентичными декадами

В таком синтезаторе датчик опорных частот ДОЧ формирует колебания с частотой f' и десять колебаний с частотами $f_k = 9f' + k\Delta f$, где $k = 0, 1, \dots, 9$, а частота f' кратна Δf . Частота сигнала на выходе первой декады $f_1 = f' + 0,1k_1\Delta f$, частота сигнала на выходе второй декады $f_2 = f' + 0,01k_1\Delta f + 0,1k_2\Delta f$. При m секциях частота сигнала на выходе синтезатора

$$f_m = f' + 10^{-m}k_1\Delta f + 10^{-(m-1)}k_2\Delta f + \dots + 0,1k_m\Delta f.$$

Таким образом, добавление каждой новой декады уменьшает шаг формируемой сетки в десять раз.

В возбуждителях «БОТ» в качестве датчика мелкой сетки частот ДМС используется схема декадный синтезатор частоты с идентичными декадами в котором $f' = 0,3$ МГц, а $\Delta f = 10$ кГц.

3.1.2. Дискретные синтезаторы с системой фазовой автоподстройки по сетке эталонных частот

Основным недостатком синтезаторов с прямым синтезом является наличие в спектре выходного сигнала большого количества побочных колебаний. Трудности фильтрации побочных колебаний удастся преодолеть использованием синтезаторов косвенного синтеза на основе системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Структурная схема синтезатора с использованием ФАПЧ представлена на рис. 3.2.

На выходе схемы находится генератор плавного диапазона ГПД, который может плавно перестраиваться во всем диапазоне рабочих частот, однако наличие обратной связи приводит к тому, что генерация становится возможной не по всему диапазону, а лишь в тех его точках, которые синхронизированы с соответствующими частотами опорной сетки, эти точки являются рабочими. Фактически ГПД становится дискретным.

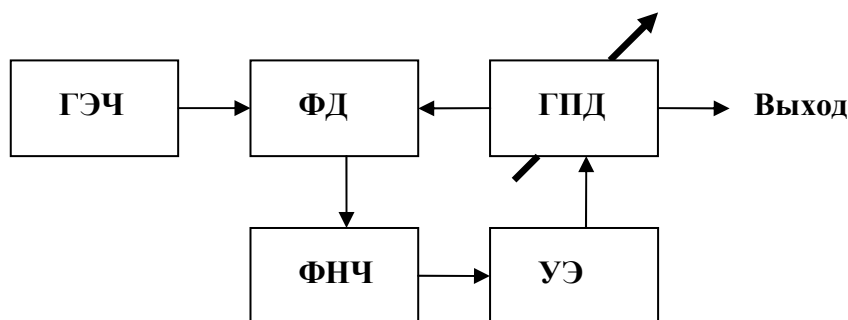


Рис. 3.2 — Структурная схема синтезатора с ФАПЧ

Колебания генератора эталонных частот (ГЭЧ) подаются не непосредственно на выход, а на фазовый дискриминатор (ФД), где используются для синхронизации (ГПД). Сравнивая фазы поступающих напряжений, дискриминатор вырабатывает управляющее напряжение, величина которого пропорциональна разности фаз. Это напряжение через фильтр нижних частот (ФНЧ) поступает на управляющий элемент (УЭ), воздействующий на ГПД в таком направлении, чтобы расстройка компенсировалась и частоты колебаний, сравниваемых в ФД, совпали. Частота среза ФНЧ выбирается таким образом, чтобы система фазовой автоподстройки частоты реагировала только на медленные изменения разности фаз $\Delta\varphi$ сравниваемых колебаний и не реагировала на быстрые изменения разности фаз. ФНЧ обычно реализуется на основе RC цепей, постоянная времени которых выбирается очень большой, порядка нескольких секунд. При таком выборе постоянной времени фильтра управляющее напряжение на его выходе будет присутствовать только для очень близких, почти совпадающих частот сетки и ГПД. Для этих частоты будет осуществлен "захват", т.е. синхронизация, и данная опорная частота воспроизводится автогенератором ГПД.

Другие частоты сетки, смежные с той, с которой произошел захват, не будут

захвачены, поскольку разность фаз между ними и частотой ГПД изменяется быстро, высокочастотный сигнал с выхода ФД не пройдет через ФНЧ и управляющее напряжение на управляющий элемент поступать не будет. Следовательно, система ФАПЧ в целом обладает свойствами узкополосного фильтра. Эквивалентная полоса пропускания системы ФАПЧ определяется постоянной времени ФНЧ, она может быть сделана очень узкой (единицы и доли герца). Осуществить столь узкополосный фильтр другими методами крайне трудно.

Изменяя частоту ГПД, можно достигнуть синхронизма с любой из частот сетки. Захват частоты контролируется с помощью осциллографа или стрелочного индикатора. После захвата частот медленное изменение параметров контура ГПД под воздействием какого-либо дестабилизирующего фактора не вызывает отклонения генерируемой частоты, а только изменяет разность фаз между сравниваемыми напряжениями. Соответственно изменяется управляющее напряжение и корректируется фаза. Таким образом, основным источником колебаний в рассмотренной схеме является ГПД, стабилизированный посредством кольца автоподстройки с одной из набора эталонных частот.

3.2. Описание возбудителя «БОТ»

Возбудитель «БОТ» построен по схеме диапазонно-кварцевой стабилизации частоты, что позволяет при помощи одного опорного кварцевого генератора получать на выходе сетку частот, имеющую такую же стабильность частоты, какую имеет кварцевый генератор.

Условные обозначения и термины, используемые в данном описании, соответствуют общепринятым в технической литературе.

Кроме общепринятых, применяются следующие сокращенные обозначения:

ОГ — опорный генератор;

СЧ — синтезатор частоты;

ДОЧ — датчик опорных частот;

ДП — декадный преобразователь;

СГ — селектор гармоник;

ДМС — датчик мелкой сетки;

ДЧ — делитель частоты;

ПУ — преобразователь-усилитель;

ГУ — управляемый генератор;

ФД — фазовый детектор;

БОС — блок однополосного сигнала;

БФМ — блок фазовой манипуляции;

БЧМ — блок частотной манипуляции;

БНЧ — блок низкой частоты;

ПВ — преобразователь выходной;

УВ — усилитель выходной;

ППЧ — преобразователь для получения постоянных частот;

СИ — блок формирования сигналов информации;

ДГС — датчик грубой сетки;

ПСИ — преобразователь сигналов информации;

АРВ — автоматические регулировки выхода;

БАН — блок автонастройки.

3.2.1. Назначение

Возбудитель «БОТ» является задающим генератором радиопередатчиков промежуточных и коротких волн типа «Бриг» и «Корвет» и предназначен для генерирования сигнала с заданной рабочей частотой и требуемым видом модуляции.

3.2.2. Технические данные

Возбудитель работает в следующих диапазонах частот:

1605...1999,9 кГц; 2000...2999,9 кГц; 3000...3800 кГц; 4063...4650 кГц;
6200...6525 кГц; 8195...8815 кГц; 12330...13200 кГц; 16460...17360 кГц;
22000...22720 кГц; 25010...25600 кГц.

В каждом диапазоне обеспечивается сетка частот с шагом 100 Гц.

Возбудитель обеспечивает работу следующими типами излучений:

A3J — однополосную телефонию на верхней боковой полосе с подавлением несущей не менее чем на 40 дБ;

A3A — однополосную телефонию на верхней боковой полосе с подавлением несущей на (18 ± 2) дБ;

A3H — однополосную телефонию на верхней боковой полосе с подавлением несущей на (6 ± 2) дБ;

A2H — тональное телеграфирование на верхней боковой полосе со скоростью до 40 бод и частотой тона (1000 ± 1) Гц;

A1 — телеграфирование посредством амплитудной манипуляции незатухающих колебаний со скоростью до 40 бод;

F1 — телеграфирование посредством частотной манипуляции при частотных сдвигах и скоростях работы, приведенных в таблице 3.1.

ОФТ — относительное фазовое телеграфирование со скоростью 500 бод.

Таблица 3.1 — Зависимость частотного сдвига от скорости работы

Частотный сдвиг, Гц	Скорость работы, бод
170	100
250	125
500	250
1000	500

Выходное напряжение возбудителя составляет $1,5 \pm 0,15$ В на нагрузке 50 Ом.

Предусмотрена возможность коррекции частоты ОГ и номинальной частоты блока частотной манипуляции (БЧМ) по опорному генератору.

Время прогрева термостатов ОГ и БЧМ не более 30 мин. Включение прогрева термостатов обеспечивается с момента подачи напряжения питающей сети на радиопередающее устройство.

Напряжение побочных излучений на выходе возбудителя ниже напряжений основной частоты не менее чем на 46 дБ. Величина нелинейных искажений при однополосной телефонной работе не превышает 3%. Номинальная величина модулирующего напряжения низкой частоты составляет 0,775 В при входном сопротивле-

Стабильность выходных частот СГ и ДМС полностью определяется опорным генератором.

На 1-й смеситель подаются два колебания, одно от СГ, другое от ГУ. Частота колебаний, получаемых от СГ, изменяется дискретно и имеет высокую стабильность. Частота колебаний, получаемых от ГУ, может изменяться плавно, однако имеет невысокую стабильность. Частота колебаний, полученных на выходе 1-го смесителя, делится на 10, полученные колебания подаются на фазовый детектор (ФД), на который также подаются колебания с ДМС.

Напряжение на выходе фазового дискриминатора находится в прямой зависимости от разности частот и фаз колебаний, подаваемых на его вход. Это напряжение подается на устройство перестройки и подстройки частоты, которое управляет частотой ГУ.

Когда частота ГУ под воздействием устройства перестройки примет значение, при котором будет выполняться равенство:

$$f_{\text{ДМС}} = \frac{f_{\text{ГУ}} - f_{\text{СГ}}}{10}, \quad (3.1)$$

где $f_{\text{ГУ}}$ — частота управляемого генератора; $f_{\text{СГ}}$ — частота селектора гармоник, система перейдет в устойчивое состояние. В этом состоянии за счет действия системы фазовой автоподстройки частоты частота ГУ будет синхронизирована сигналами СГ и ДМС.

На 2-й смеситель подаются колебания от ГУ и устройства формирования сигналов информации; далее модулированный сигнал усиливается, фильтруется системой фильтров и поступает на выход возбuditеля.

Таким образом, частота выходного сигнала возбuditеля образуется путем сложения или вычитания частоты сигнала синтезатора с частотой сигнала устройства формирования сигналов информации. Эта операция производится во втором смесителе.

Перекрытие всего диапазона частот возбuditеля достигается с помощью трех управляемых генераторов плавного диапазона, один из которых перекрывает диапазон частот 9...12 МГц, второй — 12...19 МГц, и третий — 19...23 МГц. Включение того или иного управляемого генератора происходит автоматически, в зависимости от положения переключателей установки частоты.

3.2.4. Синтезатор в возбuditеле «БОТ»

Подробная структурная схема возбuditеля представлена на рис. 3.4. Все блоки схемы, кроме ОГ, СИ и выходного устройства, относятся к синтезатору. В состав синтезатора входят: датчик грубой сетки частот ДГС, датчик мелкой сетки частот ДМС, преобразователи для получения постоянных частот ППЧ, кольцо фазовой автоподстройки частоты ФАПЧ, преобразователи сигналов информации ПСИ.

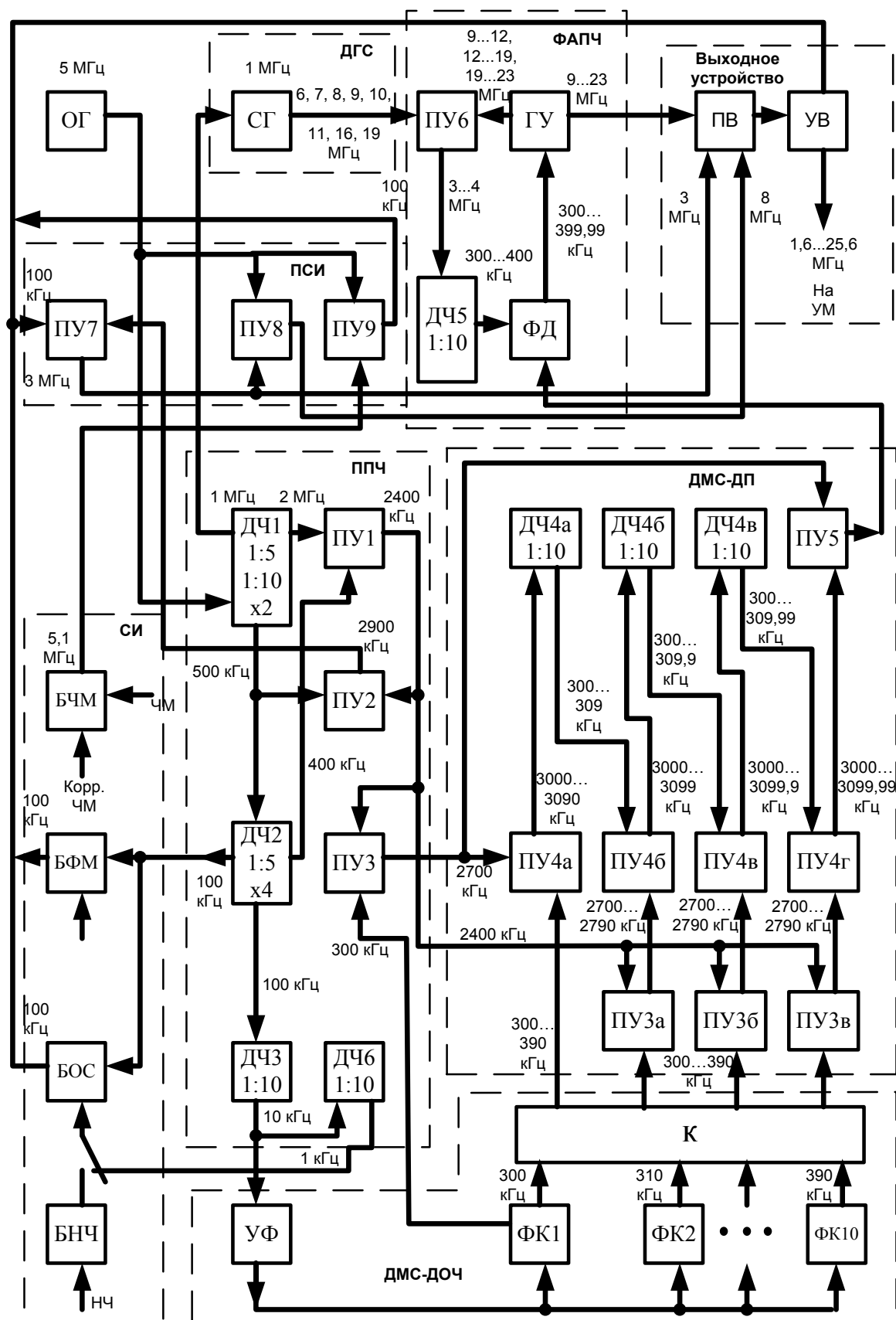


Рис. 3.4 — Структурная схема возбудителя «БОТ»

Датчик грубой сетки (ДГС) формирует сетку колебаний из восьми частот: 6, 7, 8, 9, 10, 11, 16 и 19 МГц. Эти колебания являются гармониками колебаний с частотой

той 1 МГц, поступающей на вход СГ от ОГ через делитель ДЧ1. Гармоники выделяются кварцевыми фильтрами. Фильтры коммутируются диодными ключами. Ключи управляются переключателями установки десятков и единиц мегагерц.

Датчик мелкой сетки (ДМС) состоит из датчика опорных частот (ДОЧ), , и декадного преобразователя (ДП).

ДОЧ формирует мелкую сетку частот. Блок состоит из усилителя формирователя (УФ), обостряющего импульсы входного напряжения 10 кГц, поступающего от ДЧ3 и десяти кварцевых фильтров (ФК1, ... ,ФК10). Фильтры настроены на гармоники с 30 до 39, т.е. на частоты (300, 310, ... 390) кГц. Образуется дискретная сетка из 10 опорных частот с шагом 10 кГц. Выходы фильтров коммутируются на четыре входа блока декадных преобразователей (ДП) с помощью коммутатора К, таким образом, что любой фильтр может быть подключен к любому входному преобразователю блока ДП.

ДП состоит из четырех входных преобразователей ПУ4а, ПУ3а, ПУ3б, ПУ3в; трех промежуточных делителей ПУ4б, ПУ4в, ПУ4г; трех промежуточных делителей ДЧ4а; ДЧ4б, ДЧ4в и одного вспомогательного выходного преобразователя ПУ5.

Во всех преобразователях, кроме ПУ5, используется преобразование вверх. Объясняется это стремлением повысить частоту, которая после каждого делителя понижается и может оказаться в диапазоне звуковых частот.

Входные преобразователи подключаются к фильтрам ФК1,...ФК10 с помощью коммутатора. Частота сигналов, поступающих на входы преобразователей ПУ3в, ПУ3б, ПУ3а и ПУ4а определяется положением переключателей сотен, десятков, единиц килогерц и сотен герц соответственно. На вторые входы входных преобразователей поступают колебания с частотой 2,4 или 2,7 МГц от ППЧ. С выхода ПУ4а получаются колебания с частотами 3000...3090 кГц (с шагом 10 кГц). Частота этих колебаний сначала понижается делителем ДЧ4а в 10 раз. Затем в преобразователе ПУ4б в эти колебания перемножаются с выходными колебаниями ПУ3а, имеющими частоту 2700...2790 кГц и на выходе ПУ4б получаются колебания с частотами 3000...3099 кГц, то есть в том же диапазоне, но с шагом 1 кГц. Далее частота полученных колебаний вновь понижается в ДЧ4б в 10 раз, а затем на выходе ПУ4б получаются колебания с частотами 3000...309,9 кГц и т.д. Деление позволяет уменьшить шаг сетки и, значит, увеличить число частот в ней. Преобразование вверх возвращает сгущенную сетку на исходный диапазон. Так, на каждый вход ДП поступает сетка из 10 частот с шагом 10 кГц в диапазоне 300...390 кГц. В тракте декадных преобразователей и декадных делителей происходит трехкратное деление частоты. Общий диапазон деления K равен $K = 10^3$ раз. Шаг сетки на выходе уменьшается в K раз и становится равным: $10 \text{ кГц} / 10^3 = 10 \text{ Гц}$. Число частот сетки возрастает в K раз и будет равным 10 в диапазоне 300...399,99 кГц. Если в тракте ДД отказаться от восстановления частоты с помощью декадных преобразователей, ограничившись лишь делителями, тогда при делении частоты 300 кГц на 1000 получим 300 Гц, т.е. попадем в диапазон звуковых частот.

Преобразователи для получения постоянных частот (ППЧ) формируют требуемую градацию вспомогательных частот. Блок ППЧ состоит из набора делителей частоты (ДЧ1...ДЧ3 и ДЧ6) и преобразователей-усилителей (ПУ1...ПУ3). Сопоставляя входные и выходные частоты преобразователей по направлению стрелок, легко определить вид преобразования "вверх" или "вниз". На вход ППЧ поступают

колебания с частотой 5 МГц от ОГ. На выходе получаются колебания с частотами: 100 кГц — первая поднесущая для блоков БОС и БФМ; 1 кГц — для режима *A2H*; 10 кГц — для блока датчика опорных частот ДОЧ; 2400 и 2700 кГц — для декадного преобразователя (ДП).

Для получения колебаний с частотой 2700 кГц в преобразовании участвуют колебания с частотой 300 кГц, сформированные в фильтре-коммутаторе ФК1. В делителях ДЧ1 и ДЧ2, помимо деления, используется и умножение частоты на 2 и 4, чтобы получить колебания с частотами 2 МГц и 400 кГц соответственно. Все делители реализованы на основе триггеров. Для умножения используются колебательные контуры.

На выходе ДМС получается ряд частот от 3000 кГц до 3099,99 кГц с шагом 10 Гц. Полученная сетка не может быть использована непосредственно для передачи в эфир, так как она сформирована на сравнительно низких частотах и имеет узкий диапазон перекрытия (100 кГц). Поэтому следующей задачей является перенос этой сетки в рабочие диапазоны частот. Достигается это с помощью системы ФАПЧ.

Кольцо ФАПЧ состоит из управляемого генератора (ГУ), первого преобразователя ПУ6, делителя частоты ДЧ5 и фазового дискриминатора ФД.

ГУ представляет собой диапазонный автогенератор. Он состоит из трех перестраиваемых генераторов, которые отличаются лишь диапазонами 9...12, 12...19 и 19...23 МГц. Наличие трех генераторов позволяет перекрыть весь диапазон возбуждителя. Перестройка ГУ осуществляется с помощью варикапов, блока автонастройки БАН и управляющего, т.е. выходного напряжения ФД. Выбор того или иного перестраиваемого генератора производится по команде от переключателей установки десятков и единиц мегагерц аналогично СГ.

На входы преобразователя ПУ6 подаются два колебания с разными частотами. Одно из них поступает от СГ ($f_{\text{СГ}}$) и характеризуется высокой стабильностью и дискретным характером перестройки. Второе поступает от ГУ ($f_{\text{ГУ}}$) и имеет плавную перестройку, причем $f_{\text{ГУ}} > f_{\text{СГ}}$. На выходе ПУ6 с помощью широко-полосного фильтра выделяются колебания с разностной частотой $f_{(-)} = f_{\text{ГУ}} - f_{\text{СГ}}$ в диапазоне 3...4 МГц. После деления в ДЧ5 на 10 частота этих колебаний оказывается в диапазоне выходной частоты блока ДМС $f_{\text{ДМС}} = 300...400$ кГц. Таким образом, нестабилизированная разностная частота $f_{(-)}$ оказалась приведенной к стабилизированной частоте $f_{\text{ДМС}}$ для возможности их сравнения в схеме ФД.

На один вход ФД поступают колебания с опорной частотой $f_{\text{ДМС}}$, а на другой — приведенные колебания с разностной частотой $f_{(-)}/10$. В момент включения эти частоты могут существенно отличаться. При этом разностная частота ($f_{\text{ДМС}} - f_{(-)}/10$) находится за пределами полосы захвата, управляющее напряжение на выходе ФД отсутствует, и система ФАПЧ не работает. Чтобы попасть в полосу захвата, сразу же после включения изменяют частоту ГУ и, значит, частоты $f_{(-)} = f_{\text{ГУ}} - f_{\text{СГ}}$ и $f_{(-)}/10$ с помощью блока БАН. БАН включается при нажатии на пульте управления кнопки "Настройка".

БАН представляет собой генератор пилообразного напряжения с усилителем постоянного тока (УПТ). С выхода УПТ напряжение поступает на варикапы ГУ, изменяя их емкость. Частота ГУ, изменяясь, пробегает весь диапазон, до момента захвата. В этом и заключается режим поиска захвата (автопоиск). Если после первого пробега захват не произошел, цикл повторяется. При захвате появляется управляю-

щее напряжение на выходе ФД, которое доводит схему до синхронизма. В момент синхронизма, т.е. равенства сравниваемых частот, исчезает управляющее напряжение и система переключается на режим автослежения.

При синхронизме десятая субгармоника разностной частоты "привязывается" к опорной частоте. Это означает, что и основная частота $f_{(-)}$ стабилизировалась или опорная частота $f_{\text{ДМС}}$ перенеслась "вверх", т.е. увеличилась в 10 раз. Соответственно шаг опорной сетки возрастает в 10 раз и становится равным 100 Гц. Таким образом, получено как бы умножение опорной частоты с помощью деления в кольце фазовой автоподстройки.

Условие синхронизма запишем следующим образом

$$f_{(-)}/10 = f_{\text{ДМС}} ; (f_{\text{ГУ}} - f_{\text{СГ}})/10 = f_{\text{ДМС}} , \quad (3.2)$$

откуда

$$f_{\text{ГУ}} = f_{\text{СГ}} + 10 f_{\text{ДМС}} . \quad (3.3)$$

Из выражения (3.3) следует, что основная функция кольца ФАПЧ заключается в суммировании частот СГ и ДМС, в результате чего интервалы между частотами СГ заполняются сеткой частот ДМС. Поскольку частоты СГ и ДМС стабилизированы кварцем ОГ, то частота ГУ также высокостабильная.

Преобразователи сигналов информации (ПСИ) служат для переноса модулированной поднесущей 100кГц в диапазон более высоких частот. Блок состоит из трех преобразователей: ПУ7, ПУ8 и ПУ9. К ПУ7 подводятся два сигнала. Первый — это модулированная поднесущая с частотой 100 кГц от блока БОС или БФМ, второй сигнал поступает от ПУ2 и представляет собой немодулированные колебания с частотой 2900 кГц. Суммарная выходная частота (преобразование "вверх"), равная 3 МГц, поступает на выходной преобразователь ПВ.

К преобразователю ПУ8 подводится выходной сигнал от ПУ7 с частотой 3 МГц и колебания от ОГ с частотой 5 МГц. С выхода ПУ8 колебания с суммарной частотой 8 МГц также поступают на ПВ. Поскольку колебания с частотами 3 и 8 МГц являются модулированными, то эти частоты называются частотами информации. Выбор той или иной частоты информации производится автоматически в зависимости от диапазона.

3.2.5. Формирование рабочих и вспомогательных частот в возбuditеле "БОТ"

Частоту выходных колебаний возбuditеля можно определить по формуле:

$$f_{\text{ВЫХ}} = f_{\text{ГУ}} \pm f_{\text{ИНФ}} , \quad (3.4)$$

где $f_{\text{ГУ}}$ — частота управляемого генератора; $f_{\text{ИНФ}}$ — частота колебаний, получаемых с выхода устройства формирования сигналов информации.

Учитывая, что сигнал управляемого генератора является выходным сигналом синтезатора частот, то есть $f_{\text{СЧ}} = f_{\text{ГУ}}$, формулу (3.4) можно переписать следующим образом:

$$f_{\text{ВЫХ}} = f_{\text{СЧ}} \pm f_{\text{ИНФ}} . \quad (3.5)$$

Таким образом, частота выходного сигнала возбuditеля образуется путем сложения или вычитания $f_{\text{СЧ}}$ — частоты немодулированных колебаний с выхода

синтезатора и модулированных колебаний с выхода блока ПСИ с частотой $f_{\text{инф}}$.

К преобразователю ПУ9 подводятся модулированные по частоте колебания со средней частотой 5,1 МГц от блока БЧМ и колебания с фиксированной 5 МГц от ОГ. С выхода ПУ9 получаются частотномодулированные колебания на поднесущей частоте 100 кГц. Формирование ЧМ колебаний с высокой стабильностью и большой девиацией частоты непосредственно на частоте 100 кГц связано с технологическими трудностями.

Из формул (3.2)...(3.5) следует, что в образовании выходной частоты $f_{\text{вых}}$ возбудителя участвуют колебания с частотами: $f_{\text{ГУ}}$, $f_{\text{СГ}}$, $10 \cdot f_{\text{ДМС}}$ и $f_{\text{инф}}$. Значения частот этих колебаний в зависимости от диапазона приведены в табл. 3.2. Расчет значений произведен для крайних частот диапазонов. Знаки «+» или «-» перед частотой $f_{\text{инф}}$ соответствуют знаку в формуле (3.6) для определения значения выходной частоты $f_{\text{вых}}$.

Таблица 3.2 — Значения частот колебаний, участвующих в формировании выходной частоты возбудителя

$f_{\text{вых}}$, кГц	1605...1999,9	2000...2999,9	3000...3800	4063-4650	6200-6525
$f_{\text{ГУ}}$, кГц	9650...9999,9	10000...10999,9	11000...11800	12063-12650	14200-14525
$f_{\text{ГУ}}$, МГц	9...12			12...15	
$f_{\text{инф}}$, МГц	-8	-8	-8	-8	-8
$f_{\text{СГ}}$, МГц	6	7	8	9	11
$10 \cdot f_{\text{ДМС}}$, кГц	3605...3999,9	3000...3999,9	3000...3800	3063...3650	3200...3525
$f_{\text{вых}}$, кГц	8195...8815	12330...13200	16460...17360	22000...22720	25010...25600
$f_{\text{ГУ}}$, кГц	11195...11815	9330...10200	13460...14360	19000...19720	22010...22600
$f_{\text{ГУ}}$, МГц	9...12		12...15	19...23	
$f_{\text{инф}}$, МГц	-3	+3	+3	-3	+3
$f_{\text{СГ}}$, МГц	8	6; 7	10; 11	16	19
$10 \cdot f_{\text{ДМС}}$, кГц	3195...3815	3200...3999,9	3360...3999,9	3000...3720	3010...3600

Рассмотрим пример формирования выходной частоты возбудителя. Пусть на пульте запрограммирована частота $f_{\text{вых}} = 25537,8$ кГц. По таблице 3.2 находим, что данной частоте соответствует десятый диапазон, $f_{\text{инф}} = 3$ МГц и $f_{\text{СГ}} = 19$ МГц. Определим, какие частоты должны иметь колебания на выходе ГУ $f_{\text{ГУ}}$ и на выходе ДМС $f_{\text{ДМС}}$. Частота $f_{\text{ГУ}}$ определяется из формулы (3.4):

$$f_{\text{ГУ}} = f_{\text{вых}} - f_{\text{инф}} = 22537,8 \text{ кГц.}$$

Частота $f_{\text{ДМС}}$ определяется из формулы (3.2)

$$f_{\text{ДМС}} = (f_{\text{ГУ}} - f_{\text{СГ}}) / 10 = (22537,8 - 19000) / 10 = 353,78 \text{ кГц}$$

Рассмотрим формирование на выходе ДМС колебаний с требуемой частотой 353,78 кГц. Ранее упоминалось, что выходные частоты ДМС управляются переключателем сотен (включается ПУ3в), десятков (ПУ3б), единиц (ПУ3а), килогерц и сотен герц (ПУ4а).

Связь между положением переключателей и включаемых при этом пьезоэлектрических фильтров ДОЧ приведена в табл. 3.3.

Таблица 3.3 — Связь между положением переключателей и включаемых при этом фильтров

Положение переключателя	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Частоты фильтров ДОЧ, кГц	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390

Применительно к нашему примеру включенными окажутся следующие фильтры: 380 (8 десятых килогерца), 370 (7 единиц килогерц), 330 (3 десятка килогерц) и 350 (5 сотен килогерц).

В данном случае 25537,8 кГц на переключателе десятых долей килогерц установлена цифра 8, что согласно таблице 3.3 соответствует частоте ДОЧ 380 кГц. Колебания с частотой 380 кГц поступит на преобразователь ПУ4а. Частота колебаний на выходе преобразователя ПУ4а будет равна $f_1 = 380 + 2700 = 3080$ кГц, а на выходе делителя ДЧ4а $f_2 = 308$ кГц.

Далее по таблице 3.3 находим, что для цифры 7, соответствующей значению единиц кГц $f_{\text{ДОЧ}} = 370$ кГц. Колебания с этой частотой поступают на преобразователь ПУ3а, на выходе которого получим $f_3 = 2400 + 370 = 2770$ кГц. Колебания с частотами f_3 и f_2 подаются на промежуточный преобразователь ПУ4б, на выходе которого имеем $f_4 = f_2 + f_3 = 308 + 2770 = 3078$ кГц, а на выходе делителя ДЧ4б получаем $f_5 = 307,8$ кГц.

Переключатель "десятки килогерц" установлен в положение «3». По таблице 3.3 находим $f_{\text{ДОЧ}} = 330$ кГц. Колебания с частотой 380 кГц поступают на преобразователь ПУ3б, на выходе которого получим $f_6 = 330 + 2400 = 2730$ кГц. Колебания с частотами f_6 и f_5 поступают на преобразователь ПУ4в, на выходе которого $f_7 = f_6 + f_5 = 2730 + 307,8 = 3037,8$ кГц, а на выходе делителя ДЧ4 $f_8 = 303,78$ кГц.

Переключатель "сотни килогерц" установлен в положение 5, по таблице 3.3 находим $f_{\text{ДОЧ}} = 350$ кГц. Этот сигнал подается на преобразователь ПУ3в, на выходе которого получим $f_9 = 350 + 2400 = 2750$ кГц. Колебания с частотами f_8 и f_9 подаются на преобразователь ПУ4г, на выходе которого имеем:

$$f_{10} = f_9 + f_8 = 2750 + 303,78 = 3053,78 \text{ кГц.}$$

Колебания с частотой f_{10} поступает на вспомогательный выходной преобразователь ПУ5, на выходе которого получим сигнал с разностной частотой:

$$f_{11} = 3053,78 - 2700 = 353,78 \text{ кГц.}$$

Этот сигнал является выходным сигналом блока ДМС-ДП $f_{\text{ДМС}} = f_{11} = 353,78$ кГц и поступает на ФД кольца ФАПЧ. Подставляя полученные числовые значения в вы-

ражения (3.3 и 3.4) получим

$$\begin{aligned} f_{ГУ} &= 19000 + 3537,8 = 22537,8 \text{ кГц}, \\ f_{ВЫХ} &= 22537,8 + 3000 = 25537,8 \text{ кГц}. \end{aligned}$$

Из рассмотренного примера и схемы (см. рис. 3.3) можно сделать следующие выводы.

1) Блок ДМС формирует сетку опорных частот для кольца ФАПЧ. Каждой установленной рабочей частоте соответствует своя опорная частота. Всего формируется 104 опорных частоты с шагом 10 Гц в диапазоне 300...400 кГц. Это обеспечивает набор всех возможных комбинаций из цифр для установки четырех низших разрядов (6, 5, 4, 3), т.е. сотен герц, единиц, десятков и сотен килогерц соответственно.

2) Высшие разряды 2 и 1, соответствующие единицам и десяткам мегагерц соответственно, формируются с помощью селектора гармоник СГ и частот информации 3 и 8 МГц. Поэтому число рабочих частот больше числа опорных.

3) Шаг сетки частот синтезатора равен 10 Гц, а шаг сетки частот возбuditеля равен 100 Гц. Это следует из формулы (3.3).

4) Имеется три поднесущих. Первая поднесущая 100 кГц модулируется речевым сигналом в блоке БОС, вторая — 2900 кГц, на которую переносится однополосный сигнал, сформированный в блоке БОС, третья — это частоты информации 3 или 8 МГц, которые в комбинации с частотой ГУ в блоке ПВ и образуют колебания с выходной частотой.

3.2.5. Конструкция возбuditеля «БОТ»

Конструктивно возбuditель представляет собой устройство, установленное в стойке радиопередатчика. Элементы, составляющие возбuditель, размещены в виде блоков на общем шасси из листовой стали. Основные электрические соединения между блоками выполнены с помощью печатной платы, установленной на внешней стороне шасси и закрытой защитным экраном.

На передней стенке шасси установлены индикаторный прибор, переключатель прибора "КОНТРОЛЬ", сигнальные лампы "ПЕРЕГРЕВ" опорного генератора и блока частотной манипуляции, кнопка корректировки частоты генератора БЧМ.

На внутренней стороне шасси установлены опорный генератор ОГ, делители частоты ДЧ1...ДЧ6, усилитель-формирователь УФ, фильтры-коммутаторы ФК1...ФК10, усилитель контрольный УК, селектор гармоник СГ, преобразователи-усилители ПУ1...ПУ9, управляемые генераторы ГУ1...ГУ3, детектор фазовый ДФ, блок однополосного сигнала БОС, блок низкой частоты БНЧ, блок частотной манипуляции БЧМ, блок фазной манипуляции БФМ, преобразователь выходной ПВ, усилитель выходной УВ.

Все блоки, кроме ОГ, БЧМ, ПВ и УВ, выполнены в виде алюминиевых контейнеров, внутри которых установлены печатные платы с элементами схемы. Корпус блоков герметизирован опайкой с помощью ленты. Выводы из блоков сделаны через проходные изоляторы. Блоки крепятся на шасси невыпадающими винтами, а их выводы подпаиваются к соответствующим контактам на общей печатной плате жесткими перемычками.

Для выполнения лабораторной работы выводы всех основных блоков возбудителя выведены на лабораторную панель.

3.3. Теоретические расчеты

Каждая бригада выполняет индивидуальное задание по исследованию возбудителя "БОТ" в соответствии с вариантом, предложенным преподавателем.

Вариант 1

1) $f_{\text{ВЫХ}} = 4237,2$ кГц. Расчетным путем определить частоту сигнала на выходе блока ПУ4б.

2) $f_{\text{СЧ}} = 14321,5$ кГц; $f_{\text{ИНФ}} = -8000$ кГц. Расчетным путем определить частоту сигнала на выходе блока ДМС $f_{\text{ДМС}}$.

3) $f_{\text{СТ}} = 9000$ кГц; $f_{\text{ГУ}} = 12500$ кГц. Расчетным путем определить $f_{\text{ВЫХ}}$.

4) Рассмотреть структурную схему и принцип работы синтезатора частоты прямого синтеза (устно), в частности, датчика грубой сетки частот возбудителя "БОТ" (селектор гармоник).

Вариант 2

1) $f_{\text{ВЫХ}} = 22523,6$ кГц. Расчетным путем определить частоту сигнала на выходе блока ПУ4б.

2) $f_{\text{ВЫХ}} = 3100$ кГц. Расчетным путем определить частоту сигнала на выходе датчика мелкой сетки частот $f_{\text{ДМС}}$.

3) $f_{\text{СТ}} = 7000$ кГц; $f_{\text{ГУ}} = 10100$ кГц. Расчетным путем определить $f_{\text{ВЫХ}}$.

4) Рассмотреть принцип действия и свойства системы фазовой автоподстройки частоты (устно).

Вариант 3

1) $f_{\text{ВЫХ}} = 17223,6$ кГц. Расчетным путем определить частоту на выходе блока ПУ3б.

2) $f_{\text{ВЫХ}} = 25500$ кГц. Расчетным путем определить частоту сигнала на выходе датчика мелкой сетки частот $f_{\text{ДМС}}$.

3) $f_{\text{СТ}} = 8000$ кГц; $f_{\text{ГУ}} = 11800$ кГц. Расчетным путем определить $f_{\text{ВЫХ}}$.

4) Пояснить устно работу системы автоматической настройки.

Вариант 4

1) $f_{\text{ВЫХ}} = 6500$ кГц. Расчетным путем определить частоту сигнала на выходе блока ПУ4а.

2) $f_{\text{СЧ}} = 11800$ кГц. Расчетным путем определить частоту сигнала на выходе блока ДМС $f_{\text{ДМС}}$.

3) $f_{\text{СТ}} = 6000$ кГц; $f_{\text{ГУ}} = 9500$ кГц. Определить $f_{\text{ВЫХ}}$.

4) Пояснить по общей функциональной схеме возбудителя принцип получения рабочей сетки частот.

Вариант 5

1) $f_{\text{ВЫХ}} = 1680,7$ кГц. Расчетным путем определить частоту сигнала на выходе блока ПУ3в.

2) $f_{\text{ВЫХ}} = 8200$ кГц. Расчетным путем определить частоту сигнала на выходе датчика мелкой сетки частот $f_{\text{ДМС}}$.

3) $f_{\text{СТ}} = 16000$ кГц; $f_{\text{ГУ}} = 19500$ кГц. Расчетным путем определить $f_{\text{ВЫХ}}$.

4) Назначение, структурная схема и работа блока преобразователей сигналов информации.

Вариант 6

- 1) $f_{\text{ВЫХ}} = 2100$ кГц. Расчетным путем определить частоту сигнала на выходе блока ПУ4Г.
- 2) $f_{\text{СЧ}} = 14500$ кГц. Расчетным путем определить частоту сигнала на выходе блока ДМС $f_{\text{ДМС}}$.
- 3) $f_{\text{СГ}} = 19000$ кГц; $f_{\text{ГУ}} = 22100$ кГц. Расчетным путем определить $f_{\text{ВЫХ}}$
- 4) Пояснить устно принцип работы кольца ФАПЧ.

3.4. Экспериментальные исследования

3.4.1. Подать напряжения питающей сети на пульте дистанционного управления ПДУ при этом на панели передатчика загорается табло "Термостат".

3.4.2. Нажать на ПДУ кнопку "Питание вкл.", внутри кнопки загорается сигнальная лампочка, гаснет табло "Термостат", загорается табло "Ждать". Табло гаснет после прогрева катодов ламп выходного каскада (около 2 минут).

Внимание!

До погасания табло "Ждать" производить какие-либо действия с передатчиком запрещается!

При исследовании возбудителя не нажимать кнопку "100% вкл." или "25% вкл.", т.к. в этом случае будет подано высокое напряжение на выходные каскады передатчика.

3.4.2. С помощью частотомера измерить значения частот сигналов в необходимых контрольных точках возбудителя.

3.4.3. Сравнить результаты экспериментальных исследований с результатами теоретических расчетов.

3.4.4. В случае несовпадения результатов теоретических расчетов с экспериментальными исследованиями повторить расчет.

Результаты расчетов и экспериментальные данные по каждому пункту подробно и аккуратно с соответствующими пояснениями и выводами оформить в виде отчета.

3.5. Контрольные вопросы

3.5.1. Что представляет собой типы излучений, формируемых в возбудителе?

3.5.2. Пояснить работу возбудителя и принцип формирования частоты выходных колебаний возбудителя по упрощенной и общей функциональным схемам.

3.5.3. Пояснить назначение блоков:

- | | |
|----------|---------|
| а) ДМС, | г) ПСИ, |
| б) ДГС, | д) СИ |
| в) ФАПЧ, | |

3.5.4. Как выполнен опорный генератор возбудителя?

4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

«Изучение и исследование передатчика радиостанции на базе синтезатора частоты типа КН1015ХЛ2»

Цель работы — Изучение методов построения интегральных синтезаторов частоты, исследование характеристик современных мобильных радиостанций диапазона 27 МГц .

4.1. Теоретический раздел

Освоение диапазона 27 МГц (так называемого гражданского диапазона, или диапазона *СВ*) начиналось с простых одноканальных портативных радиостанций мощностью 0,5 Вт. Отсутствие синтезаторов частоты в интегральном сдерживало производств многоканальных станций. Разрабатывались альтернативные варианты радиостанций, в которой выбор каналов производился переключением катушек индуктивности. Появление интегральных синтезаторов частоты, в частности КН1015ХЛ2, дало возможность создать многоканальную.

Основные технические, характеристики радиостанции «Муссон 304»

Выходная мощность, Вт	10
Число каналов (европейская / российская сетки частот)	90 / 90
Вид излучения	F3E(ЧМ)
Диапазон частот, кГц	26960...27850
Промежуточные частоты, кГц	10695;455
Чувствительность при отношении с/ш 12 дБ, мкВ	0,25
Избирательность по побочным каналам приема, дБ, не менее	80
Время перестройки синтезатора частоты, мс, не более	100

На рис. 4.1 показана схема аналоговых узлов радиостанции, а на рис. 4.2 — схема синтезатора частоты и стабилизатора питания. В режиме приема сигнал от антенны через разъем *XW1* поступает на ФНЧ *L7C16L8C17*, Частота среза этого ФНЧ — около 32 МГц. Далее сигнал проходит на полосно-пропускающий фильтр, состоящий из двух электрически связанных колебательных контуров *C18*, *C19*, *L9*, *C20*, *L10*, *C22*, *C21*. На малошумящем транзисторе *VT7* выполнен УРЧ, усиление которого составляет порядка 24 дБ. Резистор *R22* служит для ограничения усиления УРЧ; элементы *C24*, *C25*, *L12* образуют выходной контур УРЧ.

Смеситель собран на транзисторе *VT8*, в исток которого через элементы *R23*, *R24*, *C26* подается напряжение гетеродина. Нагрузкой смесителя служит включенный в цепь стока колебательный контур *C27 C28 L13*.

Каскад на транзисторе *VT9* служит буфером между смесителем и кварцевым фильтром *ZQ1* — монолитным кварцевым фильтром шестого порядка с полосой пропускания 10 кГц. С выхода этого фильтра сигнал поступает на второй смеситель, выполненный на микросхеме *DA2*. В данной разработке микросхема *MC3362 (DA2)* использована как приемник с однократным преобразованием частоты.

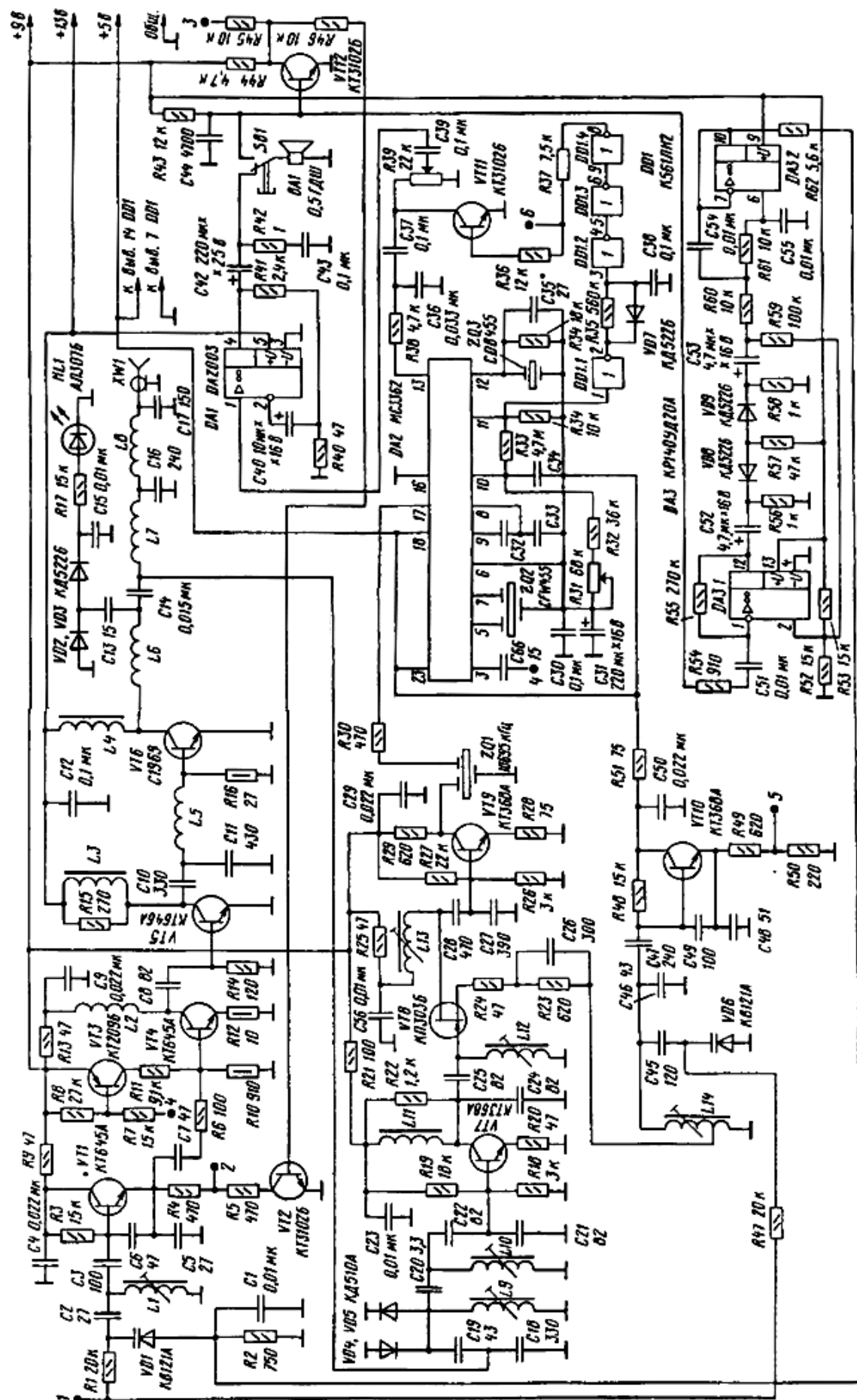


Рис. 4.1 — Принципиальная схема аналоговых узлов радиостанции

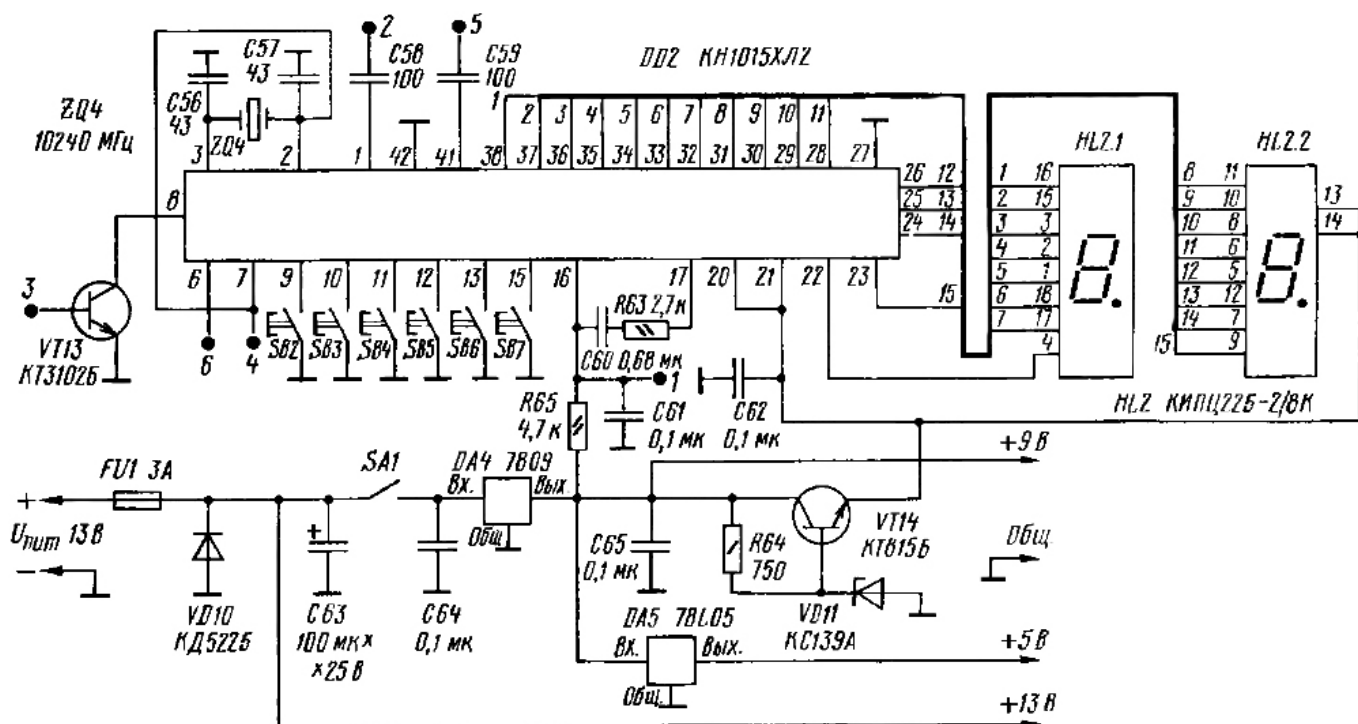


Рис. 4.2 — Принципиальная схема синтезатора и стабилизаторов питания радиостанции

Несмотря на то, что микросхема *MC3362* представляет собой приемник с двукратным преобразованием частоты использование ее (а равно и других однокристалльных приемников с двумя преобразованиями частоты) в таком режиме совместно с кварцевым фильтром нецелесообразно по нескольким причинам. Во-первых, кварцевые фильтры имеют достаточно большие размеры, а выводы входа и выхода *MC3362* расположены рядом. Поэтому возникает паразитная электрическая связь и характеристики приемника значительно ухудшаются. Во-вторых, первый смеситель однокристалльного приемника образует большое количество побочных каналов приема.

Вся дальнейшая обработка и детектирование сигнала происходят в микросхеме *DA2*. Переменный резистор *R31* служит регулятором уровня шумоподавителя (ШП). *ZQ2* — полосно-пропускающий керамический фильтр второй ПЧ. *ZQ3* — пьезокерамический дискриминатор. На элементах микросхемы *DD1* и интегрирующей цепи *R35*, *C33* собрано устройство задержки сигнала ШП на время около 50 мс. Эта задержка необходима для исключения ложных остановок в режиме сканирования. Если на выходе ШП присутствует управляющий сигнал, то транзистор *VT11* открыт и звуковой сигнал не поступает в УНЧ, который реализован на микросхеме *DA1* типа *BA2003*. Сигнал из точки 6 поступает на вывод 6 синтезатора частоты *DD2* (рис. 4.2) и управляет сканированием.

Возбудитель сигнала передатчика собран на транзисторе *VT1* по схеме емкостной трехточки. Модулирующее НЧ напряжение поступает на анод варикапа *VD1* с делителя напряжения *R62*, *R2*. Гетеродин приемника собран по аналогичной схеме на транзисторе *VT10*. Управляющее напряжение на варикапы *VD1* и *VD6* поступает с вывода 16 микросхемы *DD2* через резисторы *R1* и *R47*. С делителей *R4*, *R5* и *R49*,

$R50$ сигналы генераторов поступают на соответствующие входы усилителей-формирователей делителей с переменным коэффициентом деления микросхемы $DD2$. Таким образом, замыкается кольцо фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ).

Усилитель мощности собран на транзисторах $VT4 \dots VT6$. Транзистор $VT4$ работает в режиме класса A , а транзисторы $VT5$ и $VT6$ — в режиме класса C . Светодиод $HL1$ индицирует режим "Передача". Для его включения нужно нажать на кнопку тангенты $SB1$. При этом динамическая головка $BA1$ подсоединяется к базе транзистора $VT12$, он закрывается, а $VT2$ и $VT13$ открываются. В режиме передачи управляющие кнопки $SB2 \dots SB7$ блокируются. УНЧ собран на микросхеме $DA1$, а усилитель-ограничитель и ФНЧ сигнала микрофона — на ОУ $DA3.1$ и $DA3.2$.

Синтез рабочих частот и управление всеми режимами радиостанции осуществляются с помощью БИС $DD2$. Опорный генератор, выполненный на кварцевом резонаторе $ZQ4$, вырабатывает колебания с частотой 10240 кГц, и служит, кроме того, одновременно и вторым гетеродином приемника.

Кнопка $SB1$ служит для изменения сетки частот на 5 кГц ("0/5"). Кнопка $SB6$ служит для перехода на канал 9 и обратно при однократном нажатии. Кнопки $SB4$ и $SB5$ служат для переключения вниз и вверх по каналам (или диапазонам) соответственно. Кнопка $SB3$ служит для перехода к индикации диапазона и обратно — к индикации канала выбранного диапазона. Кнопка $SB2$ служит для включения сканирования (возможно только в режиме закрытого ШП). Младшая десятичная точка индикатора $HL2$ указывает на процесс захвата в кольце ФАПЧ. При наличии синхронизма она погашена. Старшая точка индикатора отражает выбранную сетку частот "0/5" (горит/не горит).

Радиостанция питается от стабилизированного источника питания с выходным напряжением, который способен обеспечить ток нагрузки не менее 3 А.

4.2. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из радиостанции «Муссон-304», частотомера ЧЗ-34 и вольтметра В7-28, которые для проведения измерений подключаются к необходимым точкам схемы.

4.3. Порядок выполнения теоретических расчетов

Рассчитать частоты ГУН приемника и передатчика и коэффициенты деления делителя с переменным коэффициентом деления для канала с номером, равным последним двум цифрам зачетной книжки.

Список коэффициентов деления ДПКД для всех диапазонов в режимах "ПРМ" (прием) и "ПРД" (передача) приведен в таблице 4.1. Коэффициенты ДПКД внутри каждого диапазона изменяются на 2 единицы. Вся полоса частот, занимаемая 90 каналами — $25,61 \dots 30,105$ МГц.

Соответствие номеров каналов диапазона "0" частотам и коэффициентам в режимах "ПРМ" и "ПРД" для отечественной сетки частот дано в таблице 4.2. Для европейской сетки частот значения $N_{\text{дпкд}}$ в режимах "ПРД" и "ПРМ" больше указанных в таблице на единицу. Аналогично для частот ГУНов — значения больше на 5 кГц.

Таблица 4.1 — Коэффициенты деления ДПКД

Номер диапа- зона	Режим "ПРМ"		Режим "ПРД"	
	Отечественная сетка	Европейская сетка	Отечественная сетка	Европейская сетка
0	2983...3071	2984...3072	5122...5210	5123...5211
1	3073...3161	3074...3162	5212...5300	5213...5301
2	3163...3251	3164...3252	5302...5390	5303...5391
3	3253...3341	3254...3342	5392...5480	5393...5481
4	3343...3441	3344...3432	5482...5570	5483...5571
5	3433...3521	3434...3522	5572...5660	5573...5661
6	3523...3611	3524...3612	5662...5750	5663...5751
7	3613...3701	3614...3702	5752...5840	5773...5841
8	3703...3791	3704...3792	5742...5930	5843...5931
9	3793...3881	3794...3882	5932...6020	5933...6021

Таблица 4.2 — Частоты ГУН и коэффициенты деления ДПКД для разных каналов отечественной сетки частот диапазона № 0

Номер канала	$f_{\text{ГУН}}$, кГц режим "ПРД"	$N_{\text{дпкд}}$ режим "ПРД"	$f_{\text{ГУН}}$, кГц режим "ПРМ"	$N_{\text{дпкд}}$ режим "ПРМ"
1	2	3	4	5
1	25610	5122	14915	2983
2	25620	5124	14925	2985
3	25630	5126	14935	2987
56	25640	5128	14945	2989
4	25650	5130	14955	2991
5	25660	5132	14965	2993
6	25670	5134	14975	2995
7	25680	5136	14985	2997
62	25690	5138	14995	2999
8	25700	5140	15005	3001
9	25710	5142	15015	3003
10	25720	5144	15025	3005
11	25730	5146	15035	3007
68	25740	5148	15045	3009
12	52750	5150	15055	3011
13	25760	5152	15065	3013
14	25770	5154	15075	3015
15	25780	5156	15085	3017

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5
70	25790	5158	15095	3019
16	25800	5160	15105	3021
17	25810	5162	15115	3023
18	25820	5164	15125	3025
19	25830	5166	15135	3027
74	25840	5168	15145	3029
20	25850	5170	15155	3031
21	25860	5172	15165	3033
22	25870	5174	15175	3035
24	25880	5176	15185	3037
25	25890	5178	15195	3039
23	25900	5180	15205	3041
26	25910	5182	15215	3043
27	25920	5184	15225	3045
28	25930	5186	15235	3047
29	25940	5188	15245	3049
30	25950	5190	15255	3051
31	25960	5192	15265	3053
32	25970	5194	15275	3055
33	25980	5196	15285	3057
34	25990	5198	15295	3059
35	26000	5200	15305	3061
36	26010	5202	15315	3063
37	26020	5204	15325	3065
38	26030	5206	15335	3067
39	26040	5208	15345	3069
40	26050	5210	15355	3071

Для определения коэффициента деления ДПКД $N_{\text{дпкд}}$ любого канала на каждом диапазоне следует применять формулу

$$N_{\text{дпкд}}[X, Y] = N_{\text{дпкд}}[0, 0] + (X \cdot 90) + Y,$$

где $N_{\text{дпкд}}[0, 0]$ — коэффициент деления ДПКД для "0" диапазона отечественной сетки частот, приведенный таблице 4.2;

X — номер диапазона ($X = 0 \dots 9$);

$Y = 0$ — отечественная сетка;

$Y = 1$ — европейская сетка.

Коэффициенты ДПКД и, соответственно, частоты ГУНов определяются отдельно для режима "ПРМ" и для режима "ПРД".

4.4. Порядок выполнения экспериментальных исследований

4.4.1 Измерить значение частоты выходного сигнала передатчика для каналов с номерами MN и NM , где M и N — соответственно предпоследняя и последняя цифры зачетной книжки. Сравнить подученные данные с результатами теоретического расчета. Результаты измерений пояснить.

4.4.2 Определить величину абсолютного и относительного отклонения выходной частоты передатчика.

4.4.3 Определить неравномерность уровня выходного сигнала передатчика при перестройке по частоте во всем рабочем диапазоне. Результаты оформить в виде таблицы и графика.

4.5. Содержание отчета о выполнении лабораторной работы

Отчет о выполнении лабораторной работы должен содержать:

- цель работы,
- структурную схему радиостанции,
- результаты теоретического расчета,
- результаты экспериментальных исследований,
- подробные выводы по работе.

4.6. Контрольные вопросы

- 4.6.1. Почему в радиостанции используется не один общий, а два ГУН.
- 4.6.2. В чем разница между европейской и отечественной сеткой частот,
- 4.6.3. Для чего радиостанции используется микросхема КН1015ХЛ2.
- 4.6.4. Пояснить по принципиальной схеме принцип работы автогенератора ГУН.
- 4.6.5. Пояснить назначение и принцип работы каскада на $VT1$, $VT2$.
- 4.6.6. Пояснить назначение и принцип работы усилителя на $VT3$, $VT4$,
- 4.6.7. Пояснить назначение и принцип работы усилителя на $VT5$ и $VT6$.
- 4.6.8. Пояснить назначение и принцип работы фильтра на L_6 , $L7$, $L8$, $C14$, $C16$, $C17$.
- 4.6.9. Пояснить назначение узла на $VT13$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радиопередающее устройство «Корвет». Техническое описание, инструкция по установке и подключению. ТЦ1.270.065 ТО.— М.: Судимпорт, 1980. — 114 с.
2. Радиопередающее устройство «Корвет». Схемы электрические принципиальные. ТЦ1.270.065 ОП1. — М.: Судимпорт, 1980. — 86 с.
3. Гавриленко И.И. Радиопередающие устройства. Изд. 3-е, перераб. и доп. — Учебник для мореходных училищ / И.И. Гавриленко. — М.: Транспорт, 1977. — 368 с.
4. Благовещенский М.В. Радиопередающие устройства: Учебник для вузов / Л.А.Белов, М.В. Благовещенский, В.М. Богачев; под ред. Благовещенского М.В., Уткина Г.М. — М.: Радио и связь, 1982. — 408 с.
5. Алексеев О.В. Широкополосные радиопередающие устройства / Под ред. Алексеева О.В. — М.: Связь, 1978. — 304 с.
6. Шахгильдян В.В. Проектирование радиопередающих устройств: Учебн. Пособие для вузов / В.Н. Аксенов, А.М. Захаров, Э.С. Забалканский; под ред. Шахгильдяна В.В. — М.: Связь, 1984. — 432 с.
7. Шахгильдян В.В. Радиопередающие устройства: Учебн. для вузов / В.Б. Козырев, А.А. Ляховкин; под ред. Шахгильдяна В.В. — М.: Радио и Связь, 2003. — 560 с.
8. Шахгильдян В.В. Проектирование радиопередатчиков: Учебн. Пособие для вузов / М.С. Шумилин, В.Б. Козырев, В.В. Шахгильдян; под ред. Шахгильдяна В.В. — М.: Радио и Связь, 2000. — 656 с.
9. Писарев В.А. Радиооборудование морских судов / В.А. Писарев. — М.: Транспорт, 1977. — 232 с.
10. Радиопередающее устройство «Муссон». Техническое описание, инструкция по установке и подключению. — М.: Судимпорт, 1984.—160 с.
11. Возбудитель «БОТ». Техническое описание, инструкция по эксплуатации. — М.: Судимпорт, 1978.—126 с.

Приложение А

Описание принципиальной схемы усилителя мощности передатчиков «Бриг», «Корвет»

Усилитель мощности предназначен для усиления высокочастотного сигнала до уровня порядка 300 Вт.

Усилитель мощности выполнен на четырех лампах ГУ74-Б по схеме усилителя бегущей волны.

Частотная характеристика усилителя представлена на рисунке А.1.

Индуктивности $L8...L11$ совместно с входной емкостью лампы $C_{вх} = 55$ пФ составляют сеточную линию с волновым сопротивлением равным 200 Ом и граничной частотой 36 МГц, Трансформатор $Tr1$ согласует это сопротивление с волновым сопротивлением кабеля от предварительного усилителя $\rho = 50$ Ом. Конденсатор $C14$ осуществляет развязку по цепи смещения. Для повышения эффективности развязки, напряжение смещения подается на сетки ламп через обмотку трансформатора $Tr1$. Резистор $R11$ входит в состав делителя в цепи смещения.

Звенья $L7$, $L13$, $C11$ и $L12$, $L14$, $C12$ служат для согласования входа и выхода сеточной линии с входным трансформатором и нагрузкой. Резисторы $R10$, $R16$ являются нагрузкой сеточной линии. На диоде $D1$ и резисторе $R13$ собрана измерительная цепь для контроля напряжения возбуждения.

Индуктивности $L1...L4$ и конденсаторы $C4$, $C5$ совместно с выходной емкостью лампы около $C_{вых} = 20$ пФ вместе с монтажом образуют анодную линию граничной частотой 30 МГц.

На лампах $Л1$ и $Л2$ анодная линия выполнена однородной с волновым сопротивлением, равным 600 Ом, на лампах $Л3$ и $Л4$ выполнена неоднородная анодная линия с понижением волнового сопротивления до 190 Ом. Характер изменения колебательного напряжения на анодах ламп и волновых сопротивлений анодной линии приведен на рисунке А.2.

Индуктивность $L5$ обеспечивает согласование анодной линии с нагрузкой. Индуктивность $L6$ и конденсатор $C6$ обеспечивают развязку по анодному питанию.

Измерение постоянной составляющей анодного тока ламп производится при помощи измерительных резисторов $R6...R9$. Конденсаторы $C7...C10$ — блокировочные в цепи экранных сеток ламп.

Резисторы $R2...R5$, $R17...R20$ предохраняют лампы от перегрузок по току экранной сетки при работе на рассогласованную нагрузку. Конденсаторы $C1$, $C2$ и $C13$ — разделительные.

Режим ламп выбран исходя из минимальных нелинейных искажений, и не меняется при переключении уровней выходных мощностей. При работе пониженной мощностью (25%) напряжение возбуждения уменьшается примерно в два раза. Главной особенностью используемой схемы является возможность работы без заметного снижения мощности на рассогласованную нагрузку (судовые антенны) без дополнительных согласующих элементов в широком диапазоне частот.

Корпус усилителя мощности выполнен из алюминия методом штамповки.

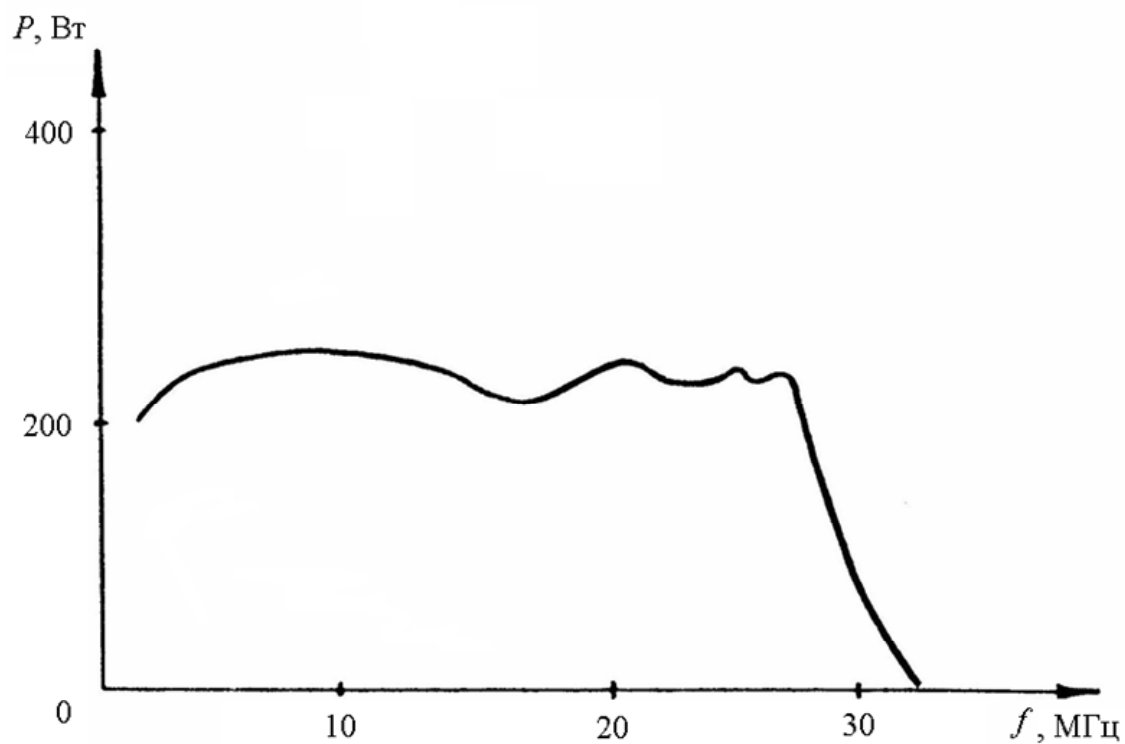


Рис. А.1 — Частотная характеристика усилителя мощности

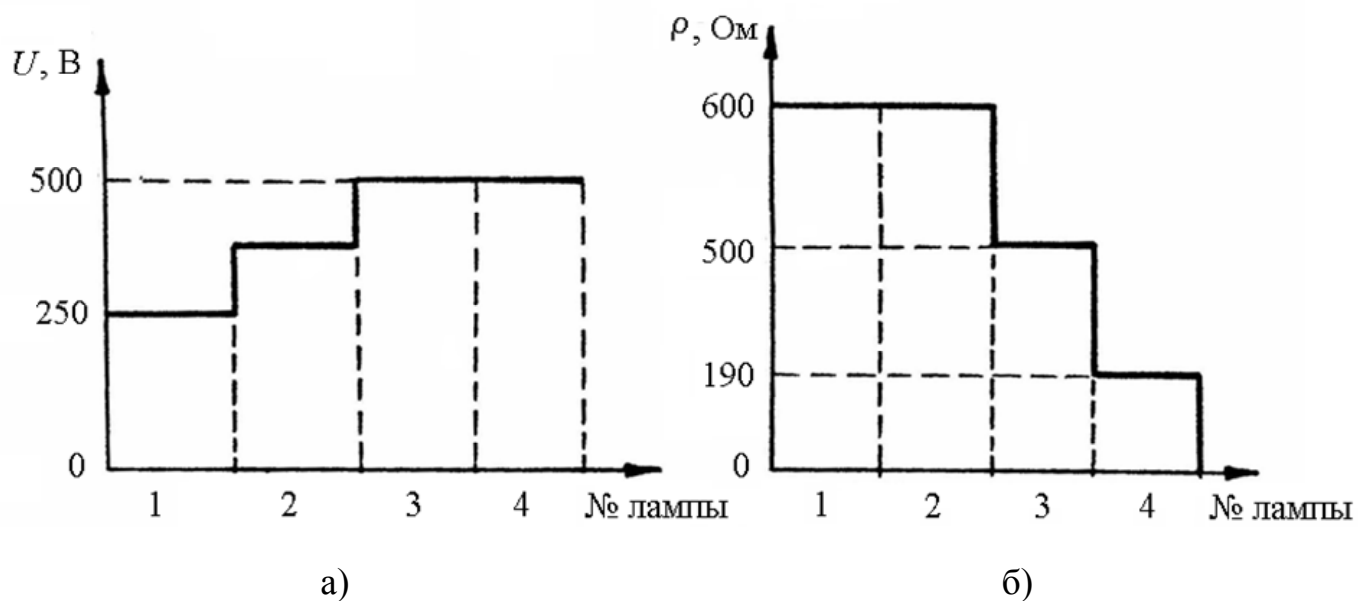
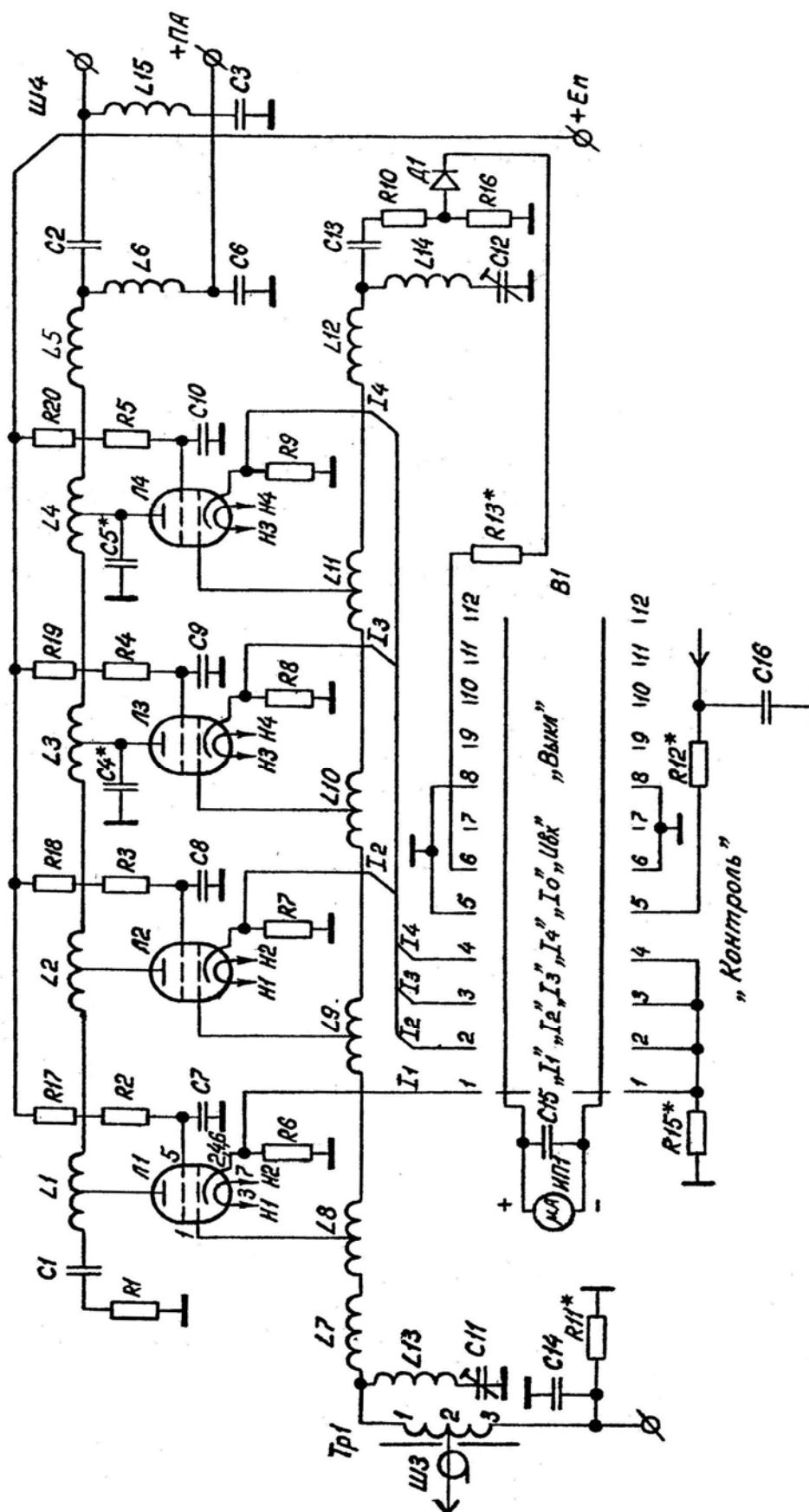


Рис. А.2 — Характер изменения колебательного напряжения на анодах ламп (а) и волнового сопротивления звеньев анодной линии усилителя мощности (б)



* Подбирается при регулировании

Рис. А.3 — Принципиальная схема усилителя мощности

Приложение Б

Ключевой режим работы генератора внешнего возбуждения

В диапазоне длинных, средних и коротких волн в передатчиках и других мощных устройствах определенное применение находят ключевые генераторы негармонических колебаний. В качестве активного элемента — ключа — в таких схемах могут использоваться различные типы электронных приборов, в том числе и транзисторы. Ключевой режим работы транзисторного генератора характеризуется использованием двух областей на плоскости вольтамперных характеристик транзистора — отсечки и насыщения в этом смысле ключевой режим можно рассматривать как частный случай перенапряженного режима работы, с малой мощностью рассеивания на коллекторе, высоким значением электронного КПД.

Ключевые транзисторные генераторы можно классифицировать по форме коллекторного тока и напряжения коллектор - эмиттер. По данному признаку схемы можно разбить на три группы:

- с прямоугольной формой тока и напряжения (широкополосные схемы);
- с прямоугольной формой или тока или напряжения (схемы инверторного типа);
- с формой тока и напряжения, отличными от прямоугольной формы (однотактная схема).

Общим для всех типов ключевых генераторов является выполнение правила: в течение одной части периода колебаний равен нулю ток коллектора $i_K=0$ в течение другой — $u_{КЭ}=U_{КЭ\text{нас}}$ — напряжение между коллектором и эмиттером равно напряжению насыщения транзистора, которое обычно не превышает нескольких вольт. Поскольку мощность рассеивания на коллекторе определяется выражением

$$P_K = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_K(\omega t) u_{КЭ}(\omega t) d(\omega t),$$

то, с учетом записанных условий для i_K и $u_{КЭ}$, видно, что величина P_K должна быть существенно меньше, чем для случая работы ГВВ в режиме отсечки, но без насыщения.

Рассмотрим подробно схему инверторного типа.

Инверторные схемы ключевого генератора. Недостаток широкополосной схемы состоит в относительно высоком уровне высших гармоник (примерно 20% от потребляемой мощности). Уровень гармоник можно существенно ослабить, если форме напряжения или тока придавать синусоидальную форму, оставив соответственно ток или напряжение прямоугольной формы (рис. Б.1 а, б). Эту операцию можно осуществить за счет узкополосной электрической цепи — контура параллельного или последовательного типов в схеме инверторного типа (рис. Б.2). В ГВВ с последовательным контуром транзисторы формируют прямоугольные импульсы напряжения, которые, за счет фильтрующих свойств контура преобразуются в косинусоидальные импульсы тока. В ГВВ с параллельным колебательным контуром — наоборот, транзисторы формируют прямоугольные импульсы тока, которые в параллельном контуре преобразуются в коосинусоидальные импульсы напряжения.

Косинусоидальные импульсы тока или напряжения с углом отсечки 90° , получаемые на выходе каждого плеча двухтактного усилителя суммируются в нагрузке таким образом, что получается гармоническое напряжение или ток.

Диаграммы коллекторного тока и напряжения для транзистора одного плеча в схеме параллельного типа (рис. Б.2 а) приведены на рис. Б.1 а, в схеме последовательного типа (рис. Б.2 б) — на рис. Б.1 б. За счет работы в противофазе второго плеча в схеме (рисунок Б.2 а) напряжение на контуре принимает синусоидальную форму, в схеме (рисунок Б.2 б) ток, протекающий через контур близок к синусоидальному виду (пунктирные прямые на рис. Б.1 а, б).

Определим основные энергетические показатели схем.

Для инверторной схемы параллельного типа (рис. Б.2 а) имеем:

— колебательная мощность 1-й гармоники, отдаваемая одним транзистором в нагрузку:

$$P_1 = 0,5 I_{к1} U_{км1} = \left(\frac{4}{\pi^2} \right) I_{км} U_{\Pi} (1 - K_H),$$

— мощность, потребляемая по коллекторной цепи:

$$P_0 = I_0 U_{\Pi} = \frac{1}{2} I_{км} U_{\Pi},$$

— электронный КПД генератора:

$$\eta = \frac{P_1}{P_0} = 1 - K_H.$$

Для схемы последовательного типа (рисунок Б.2 б) имеем:

$$P_1 = 0,5 I_{к1} U_{км1} = 0,5 \frac{\pi}{2} I_0 \frac{2}{\pi} U_{\Pi} (1 - K_H) = I_0 U_{\Pi} (1 - K_H); \quad P_0 = I_0 U_{\Pi}; \quad \eta = \frac{P_1}{P_0} = 1 - K_H.$$

В этих выражениях $K_H = U_{КЭнас} / U_{\Pi}$ — коэффициент насыщения. Из полученных соотношений следует, что при $K_H \rightarrow 0$ теоретическое значение $\eta \rightarrow 1$. Это связано с тем, что в спектре выходного сигнала содержится только 1-я гармоника напряжения (в схеме рис. Б.2 а) или только 1-я гармоника тока (в схеме рис. Б.2 б) и при отсутствии активных потерь в ключе мощность, потребляемая от источника коллекторного питания, полностью преобразуется в мощность 1-й гармоники. Практически в инверторных схемах в области сравнительно низких частот получен КПД, равный 90% ... 95%.

Общим свойством двух типов схем — широкополосной и инверторной — является резкое изменение величины тока или напряжения в момент переключения транзистора. В некоторых случаях это приводит к возникновению значительных выбросов на фронте импульса, что может явиться причиной пробоя перехода транзистора. Второе общее свойство состоит в растягивании фронтов импульсов с повышением частоты сигнала, что снижает энергетические показатели генератора.

Итак, к основным преимуществам ключевого режима работы транзисторного генератора относятся малая мощность рассеивания на коллекторе и высокий КПД, к недостаткам — ограниченное применение в части диапазона частот, повышенная величина пик-фактора по напряжению и сравнительно большой уровень высших гармоник, поступающих в нагрузку

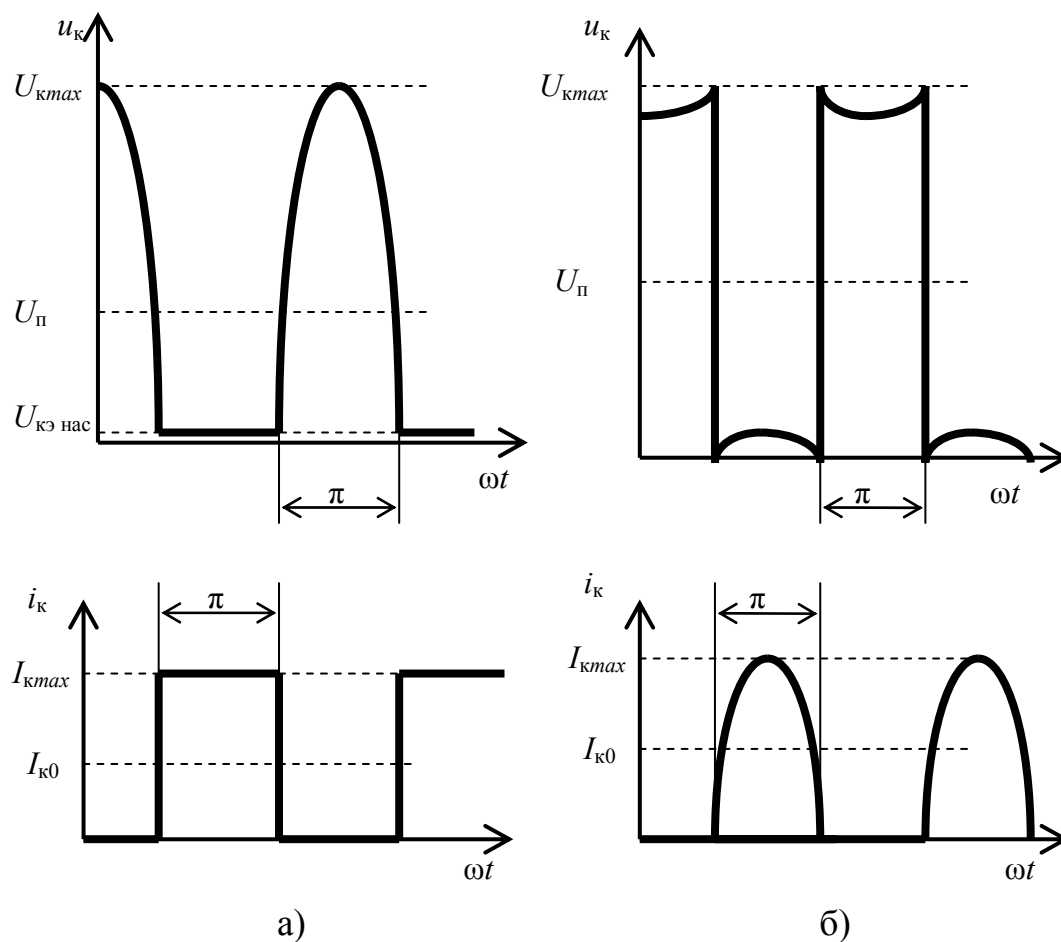


Рис. Б.1 — Диаграммы коллекторного тока и напряжения в ключевом генераторе инверторного типа

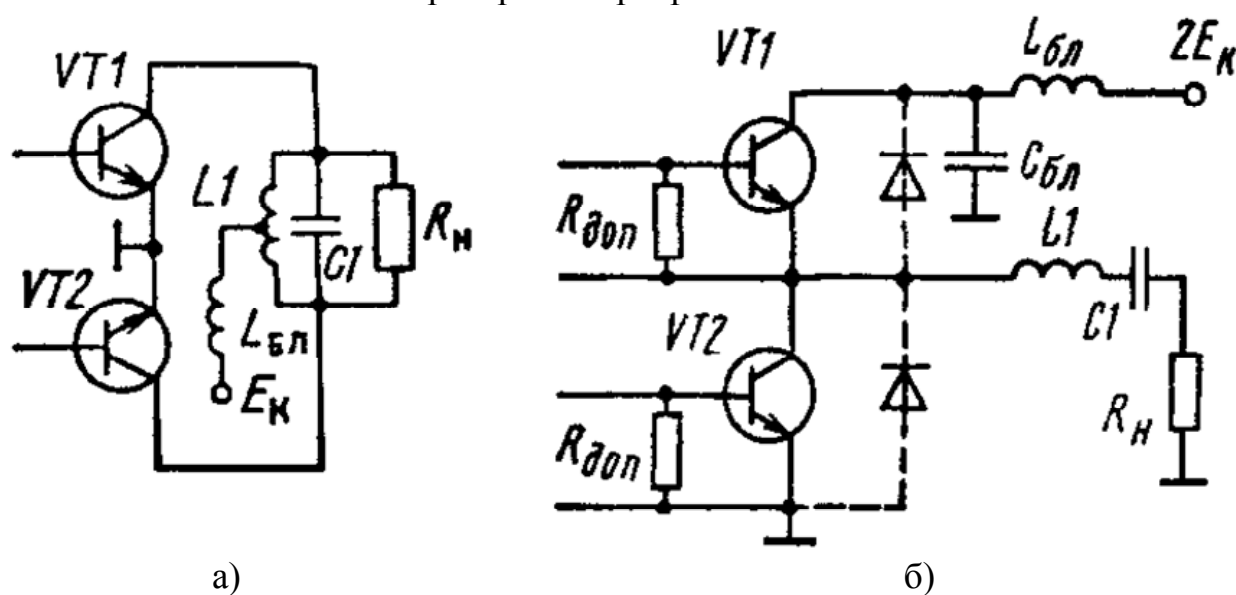


Рис. Б.2 — Схема генератора инверторного типа:
а) с параллельным колебательным контуром;
б) с последовательным колебательным контуром

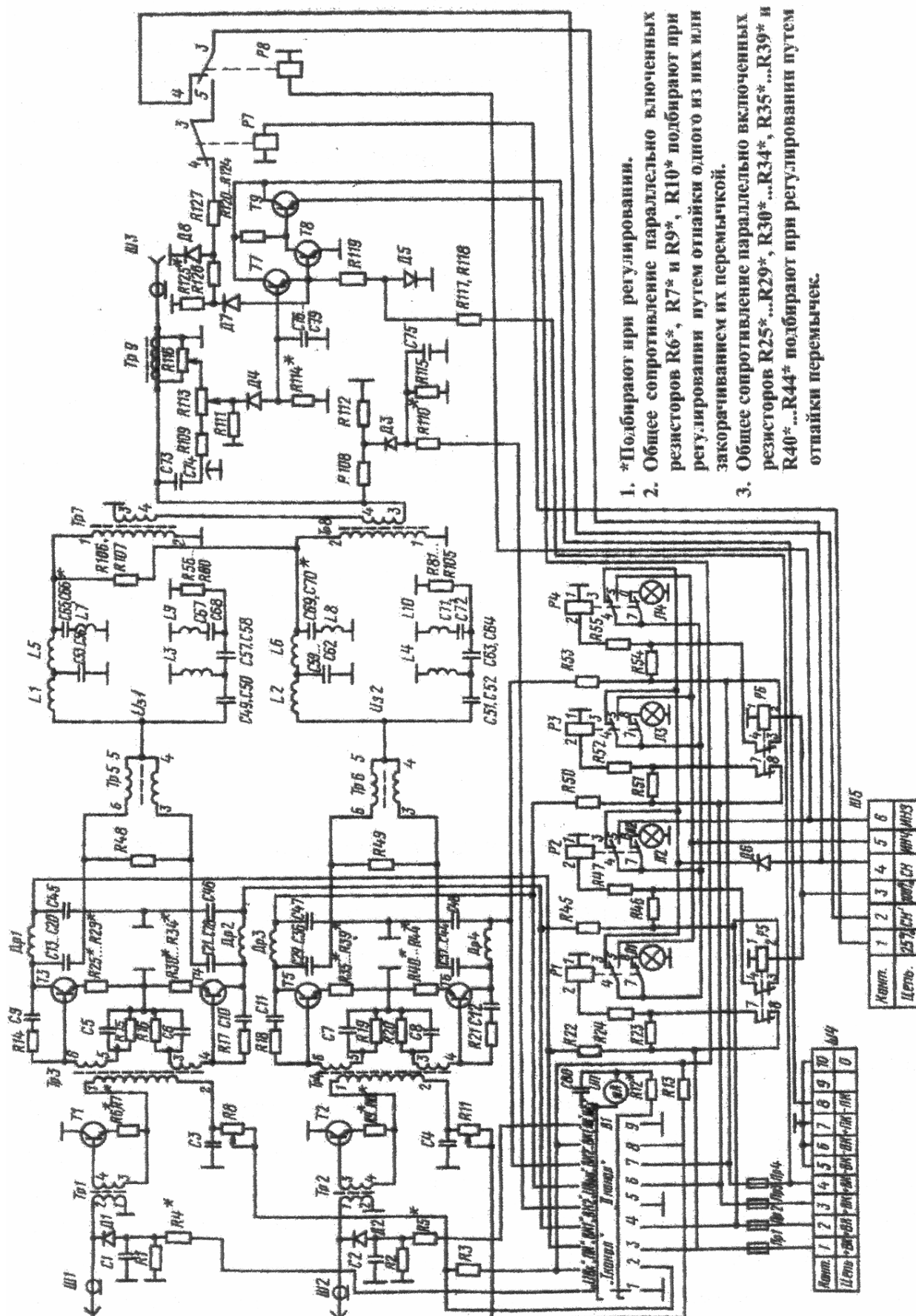


Рис. Б.3 — Принципиальная схема усилителя мощности передатчика «Муссон»

Приложение В

Измерение основных параметров в радиопередатчике «Муссон»

Основными параметрами, измеряемыми в процессе эксплуатации радиопередатчика «Муссон» являются:

- проверка тока в антенне;
- показания контрольно-измерительных приборов на блоке питания и усилителе мощности.

Показания приборов встроенного контроля на блоке питания и усилителе мощности и приборов для измерения тока в антенне должны соответствовать значениям, приведенным в таблице В.1.

Таблица В.1 — Нормальные показания контрольных приборов

Место расположе- ния прибора	Положение переключателя	25% мощности		100% мощности	
		сила тока, А	напряжение В	сила тока А	напряжение В
Пульт местного или дистан- ционного управления		Не менее 4,5		Не менее 9,6	
Блок питания	АВ АС 27Д 27У 27В ПК ВК ТокВК	5±1	в секторе в секторе -27±3 -27±3 -27±3 -9±1 +24±2,5	10±2	в секторе в секторе -27±3 -27±3 -27±3 -12±1,5 +58±6
Усилитель мощности	вх ПК ВК1 ВК2 Вых ВК2 ВК1 ПК Вх	0,9 ±0.4 1,2 ±0.3 1,2 ±0.3 1,2 ±0.3 1,2 ±0.3 0,9 ±0.4	4±1 60±10 4±1	1,1±0,4 2,4±0,2 2,4±0,2 2,4±0,2 2,4±0,2 1,1±0,4	4±1 130±20 4±1

Примечания:

1. Измерения проводятся на частоте 500 кГц при работе в режиме *A1*.
2. При колебаниях напряжения сети на $\pm 10\%$ пределы номинальных величин тока и напряжения могут изменяться до 15%. При этом токи транзисторов выходных каскадов усилителя мощности не должны превышать 2,7 А и отличаться в одном канале более чем на 0,1 А.
3. Величина тока в антенне может изменяться в зависимости от состояния изоляции антенны и метеорологических условий.
4. Все токи и напряжения, за исключением 27Д, 27У и 27В, контролируются при нажатой кнопке «КЛЮЧ» на ПМУ.

Заказ № _____ от « _____ » _____ 2008 Тираж _____ экз.
Изд-во СевНТУ