

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СВЯЗИ И
ИНФОРМАТИКИ
КАФЕДРА РАДИООБОРУДОВАНИЯ И СХЕМОТЕХНИКИ

Лабораторная работа № 21

**ИЗУЧЕНИЕ И ИСПЫТАНИЕ
СУДОВОГО НАВИГАЦИОННОГО РАДИОПЕРЕДАТЧИКА
"МУССОН"**

Москва, 2015 г.

Лабораторная работа № 21

**ИЗУЧЕНИЕ И ИСПЫТАНИЕ
СУДОВОГО НАВИГАЦИОННОГО РАДИОПЕРЕДАТЧИКА
"МУССОН"**

Составитель Р. Ю. Иванюшкин, к.т.н., доцент

Издание утверждено советом факультета РиТ. Протокол № 7 от __.03.2015 г.

Рецензент: С.Ф. Горгадзе, д.т.н., профессор.

Лабораторная работа поставлена силами инженерного состава учебных лабораторий кафедры РОС МТУСИ при активном личном участии заведующих лабораториями О.А. Разина и А.В. Бажина.

Иллюстрации к данному описанию выполнены студентами А. Хаустовой и В. Макаровым.

<p>ВНИМАНИЕ! СОБЛЮДЕНИЕ УСТАНОВЛЕННЫХ ДЛЯ ЛАБОРАТОРИЙ РАДИОПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ МТУСИ ПРАВИЛ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЯЗАТЕЛЬНО!</p>

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить основные технические характеристики, структурную и принципиальную схемы тракта усиления мощности радиочастоты передатчика серии «Муссон», получить представление о компоновке передатчика, научиться включать, настраивать передатчик и измерять его технические характеристики.

2. ЗАДАНИЕ

2.1. Теоретическая часть.

Выполняется самостоятельно при домашней подготовке.

2.1.1. По учебникам [1,2] и конспекту лекций повторить и закрепить изучавшиеся ранее принципы работы ключевых усилителей мощности (ГВВ) с резистивной нагрузкой и "вилкой" фильтров.

2.1.2. По настоящему описанию изучить:

- ◆ энергетические и качественные характеристики передатчика;
- ◆ структурную схему передатчика;
- ◆ электрическую принципиальную схему усилителя мощности;
- ◆ особенности формирования сигналов тональной телеграфии.

2.1.3. Подготовить ответы на контрольные вопросы для допуска к лабораторной работе.

2.1.4. Подготовить бланк отчета по работе, который должен содержать:

- ◆ название и цель работы;
- ◆ структурную схему передатчика;
- ◆ упрощенную принципиальную схему оконечного каскада - одного модуля ключевого усилителя мощности;
- ◆ таблицы для записи результатов измерения режимов работы передатчика, исследуемых в работе характеристик;
- ◆ координатные оси (с обозначениями) для графиков исследуемых характеристик передатчика.

2.2. Экспериментальная часть (см. методические указания ниже).

Приступать к работе разрешается только при положительном результате собеседования с ведущим занятия преподавателем!

**ВНИМАНИЕ! СОБЛЮДЕНИЕ УСТАНОВЛЕННЫХ ДЛЯ
ЛАБОРАТОРИЙ РАДИОПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ МТУСИ
ПРАВИЛ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЯЗАТЕЛЬНО!**

2.2.1. На демонстрационном экземпляре передатчика при помощи преподавателя ознакомиться с конструкцией ключевого усилителя мощности, фильтрующей системы и блока согласования с антенной.

2.2.2. Непосредственно на передатчике ознакомиться с расположением основных блоков, органов управления, измерительных приборов.

2.2.3. На невключенном передатчике проследить (отрепетировать) последовательность операций по его включению.

Доложить ведущему занятию преподавателю о завершении внешнего ознакомления с передатчиком. Получить разрешение на включение.

ВНИМАНИЕ! ВКЛЮЧЕНИЕ, НАСТРОЙКУ И ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕДАТЧИКА ПРОИЗВОДИТЬ СТРОГО В СООТВЕТСТВИИ С ИЗЛОЖЕННОЙ НИЖЕ МЕТОДИКОЙ!

2.2.4. Включить передатчик в соответствии с приведенной ниже методикой (см. раздел «методические указания») и подготовить его к настройке при работе излучением класса А1А (А1). Поочередно настраивая передатчик на 2-3 фиксированные частоты, закрепить навыки настройки. При настройке на одну из частот вычислить мощность, отдаваемую передатчиком в эквивалент антенны P_H , а также мощность, потребляемую коллекторной цепью окончного каскада P_0 . Также необходимо вычислить величину коэффициента полезного действия (КПД) коллекторных цепей окончного каскада η_k передатчика.

2.2.5. При работе излучением класса А1А (А1) зарисовать временные диаграммы токов и напряжений в контрольных точках ключевого усилителя мощности, наблюдаемые на экране осциллографа.

2.2.6. При работе излучениями классов Н2А (А2Н) и Н2А-АПС (А2Н-АПС) зарисовать временную диаграмму сигнала на выходе усилителя мощности (контрольная точка 9), обратив внимание на форму огибающей.

2.2.7. Поочередно настраивая передатчик на все семь фиксированных частот при работе классом излучения А1А (А1), исследовать зависимость выходной мощности от рабочей частоты передатчика.

2.2.8. Измерить выходную мощность передатчика в режиме имитации выхода из строя одного из усилительных модулей при работе излучением класса А1А (А1). Проанализировать полученный результат, опираясь на теоретические знания в области сложения мощностей.

2.2.9. Измерить время настройки передатчика при разных постоянных времени эквивалента антенны.

2.2.10. Выключить передатчик и доложить ведущему занятию преподавателю об окончании работы.

2.3. При подготовке к защите.

2.3.1. Завершить оформление отчета.

2.3.2. Подготовить ответы на контрольные вопросы к защите лабораторной работы.

3. ОПИСАНИЕ ПЕРЕДАТЧИКОВ СЕРИИ «МУССОН»

3.1. НАЗНАЧЕНИЕ

Радиопередатчики серии «Муссон» предназначены для использования на судах транспортного и промыслового морского и речного флотов в качестве главных (навигационных). Главный передатчик предназначен для

обеспечения связью навигации (в телеграфном режиме) в диапазоне средних волн (частоты 410...512 кГц) между судами и береговыми службами на расстоянии примерно до 250 км для следующего: установления договоренности о расхождении судов на встречных или пересекающихся курсах; вызова лоцмана при входе в пролив, канал или порт, определения местоположения судна при помощи радиопеленгаторов; автоматического привода самолета на корабль; подачи сигналов бедствия (частота 500 кГц).

Кроме навигационного передатчика, на судне (в первую очередь, дальнего плавания) также устанавливается эксплуатационный передатчик (диапазона ВЧ), предназначенный для радиотелефонной и радиотелеграфной связи практически на любые расстояния. Наряду с главным и эксплуатационным передатчиками (и соответственно приемниками) на современном судне дополнительно могут быть установлены и другие различные средства радиосвязи, включая спутниковые.

В лаборатории РПДУ МТУСИ имеются и другие судовые передатчики: навигационные типа «Волхов-М» [7], эксплуатационные типов «Корвет» [9] и «Бриг-2» [10], а также комбинированные (т.е. сочетающие в себе главный и эксплуатационный передатчики) типов «Барк» и «Барк-2» [8].

3.2. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ПЕРЕДАТЧИКА

В лаборатории РПДУ МТУСИ имеются передатчики типов "Муссон" и "Муссон-2". Эти передатчики изготовлены в соответствии с международными рекомендациями, «Правилами по конвенционному оборудованию морских судов», Морского регистра СССР [13]. Передатчики "Муссон" и "Муссон-2" имеют ряд конструктивных и технологических отличий.

Передатчик работает на семи частотах с жесткой фиксацией: 410, 425, 454, 468, 480, 500 и 512 кГц.

Передатчик обеспечивает телеграфную работу ключом радиоизлучения классов А1А, Н2А, АПС (автоматический привод самолета, вертолета) со скоростью манипуляции до 40 Бод:

А1А (А1) – телеграфная работа ключом (амплитудное телеграфирование, телеграфная манипуляция, амплитудная манипуляция) (АТ) с приемом на слух со скоростью 40 Бод. **Н2А (А2Н)** – телеграфная работа ключом (тональное телеграфирование) (АТТ). **Н2А-АПС** – автоматический привод самолета (тональное телеграфирование с непрерывной несущей).

Пиковая мощность передатчика при нормальных климатических условиях и нормальном напряжении сети на частоте 500 кГц, отдаваемая в стандартный эквивалент антенны, состоящий из последовательно соединенных емкости 500 пФ и сопротивления 2,2 Ом, подключенный к выходу согласующего устройства, составляет не менее 250 Вт.

Мощность на остальных фиксированных частотах, измеренная на стандартном эквиваленте антенны, может отличаться от мощности на частоте 500 кГц не более чем на 10%.

Передатчик имеет режим пониженной мощности (25 % от нормальной).

Передачик имеет несимметричный выход и работает на антенны, имеющие следующие статические параметры:

$$R_A = 0,3 \dots 20 \text{ Ом};$$

$$C_A = 300 \dots 1200 \text{ пФ}.$$

Как правило, это штыревые антенны с длиной плеча много меньшей длины волны.

Отклонение частоты от номинальной (f_H) не более $200 \times 10^{-6} \times f_H$ Гц, стабилизация частоты возбудителя – кварцевая.

При работе радиоизлучением класса H2A (A2H) излучается двухтоновое равноамплитудное колебание с разносом частот 650 ± 65 Гц.

Ширина полосы излучения передатчика при скорости манипуляции 40 Бод на уровне – 30 дБ составляет:

для радиоизлучения класса A1A не более 200 Гц;

для радиоизлучения класса H2A не более 915 Гц.

Средняя мощность побочных излучений (гармоник) ослаблена на 50 дБ относительно средней мощности основной частоты.

Время автоматической настройки и перестройки не превышает 5 с.

Время готовности к работе после включения питания не превышает 8 с.

Питание передатчика осуществляется от трехфазной сети напряжением (220 ± 22) В или (380 ± 38) В и частотой ($50 \pm 2,5$) Гц, потребляемая мощность не превышает 1,45 кВт.

В состав радиопередающего устройства «Муссон» и «Муссон-2» помимо собственно радиопередатчика входит также устройство согласующее (УС).

Возбудитель, усилитель мощности, блок питания, фильтры и пульт местного управления размещены в корпусе радиопередатчика; антенный коммутатор и устройство согласования радиопередатчика с антенной, схема совместной работы с передатчиками серий «Бриг» и «Корвет» – в корпусе согласующего устройства. Радиопередатчик и согласующее устройство могут быть установлены в необслуживаемом помещении; оба имеют брызгозащищенную конструкцию.

3.3. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПЕРЕДАТЧИКА

Поскольку в передатчиках серии «Муссон» на момент их разработки был применен ряд оригинальных идей, структурная схема этих изделий (см. рис. 1) несколько отличается от типовых решений. Передатчик состоит из двух возбудителей, двух усилителей мощности (двух полукомплектов), мостовой схемы сложения, согласующего устройства, а также блока вторичного электропитания, схемы защиты от перегрузок, цепей сигнализации.

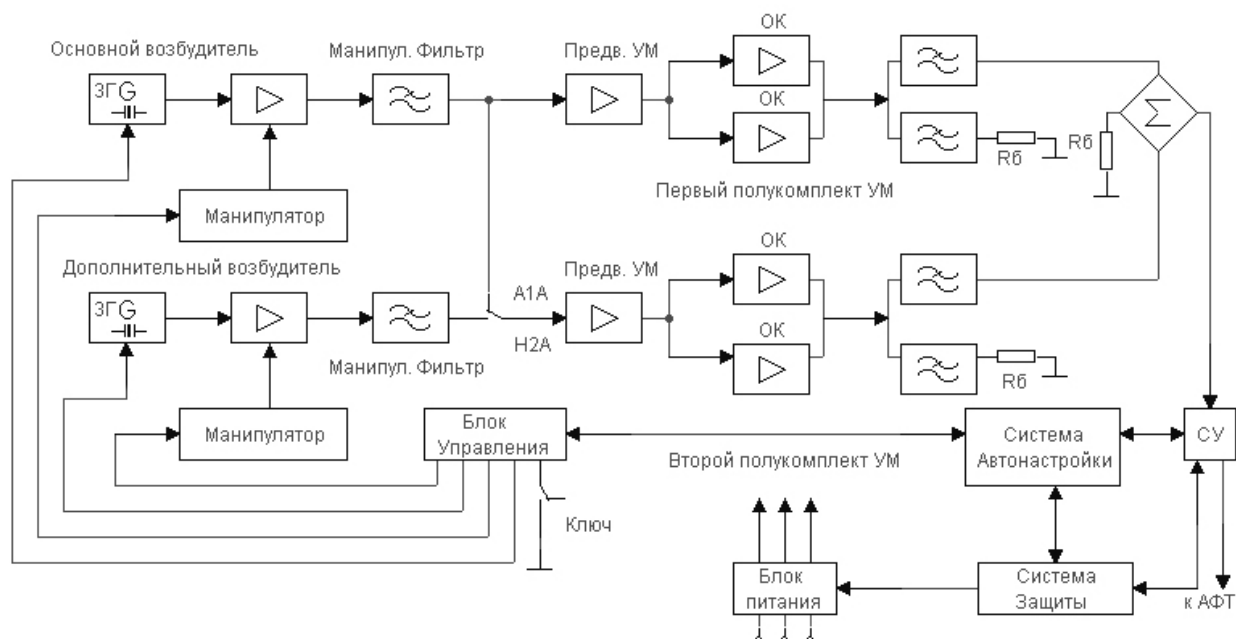


Рис. 1. Структурная схема передатчика «Муссон»

Возбудители формируют колебания на близких парах радиочастот с разносом 650 Гц. Каждый возбудитель состоит из задающего генератора с семью переключаемыми кварцевыми резонаторами, предварительного усилителя, манипулятора и манипуляционного фильтра. Амплитудная манипуляция производится по коллекторному питанию предварительного усилителя с помощью манипулятора, управляемого телеграфным ключом. При передаче сигналов «точка» или «тире» на выходе манипулируемого каскада формируется радиоимпульс формы, близкой к прямоугольной. Однако спектр прямоугольного радиоимпульса широкий, что противоречит требованиям Норм на ширину полосы телеграфного канала. С целью уменьшения полосы частот сигнала А1А на выход манипулируемого каскада включается манипуляционный фильтр. Сигнал на выходе этого фильтра имеет форму, близкую к той, что показана на рис.2а.

Необходимость наличия двух возбудителей связана со способом формирования телеграфных сигналов класса Н2А (А2Н) и АПС. В случае работы излучением класса А1А два полукомплекта усилителя мощности подключаются к первому возбудителю, вырабатывающему гармоническое колебание непосредственно на рабочей частоте (одной из семи). В результате колебания с выходов обоих усилителей синфазно суммируются в схеме сложения, и вся мощность через согласующее устройство поступает в антенну.

При работе излучением класса Н2А (А2Н) на выходе передатчика должен формироваться модулированный сигнал с переменной амплитудой, который может быть принят приемником с обычным амплитудным детектором. При этом в моменты пауз излучение отсутствует, а при передаче «точек» и «тире» передается равноамплитудное двухтоновое (по сути однополосное) колебание (рис. 2б). В навигационных передатчиках

устаревших типов (например, «Волхов-М») в этом режиме при нажатом ключе передавалось двухполосное АМ колебание с модуляцией одним тоном и полной несущей.

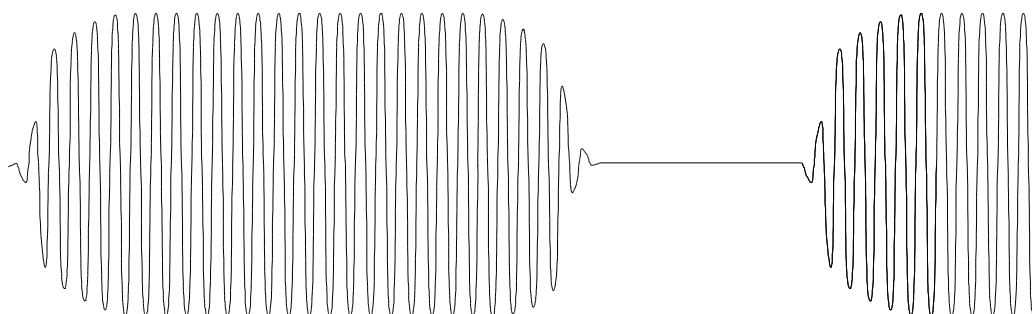


Рис. 2а. Временная диаграмма колебания А1А (А1)

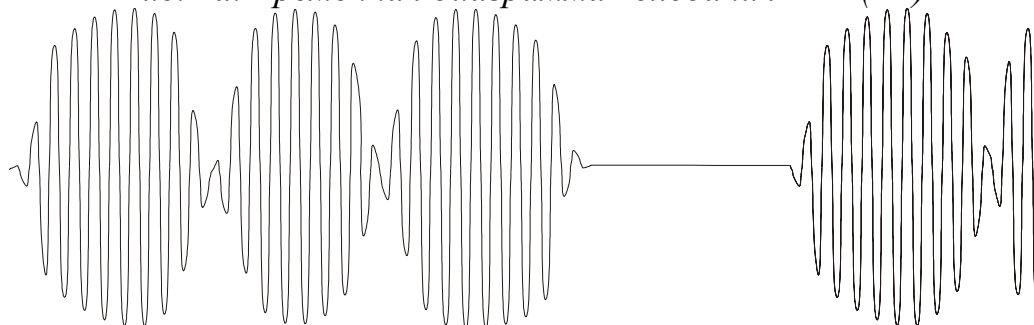
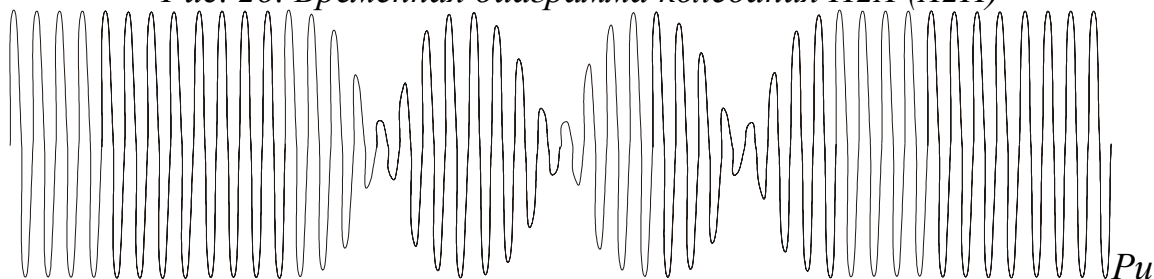


Рис. 2б. Временная диаграмма колебания Н2А (А2Н)



с. 2в. Временная диаграмма колебания Н2А-АПС (А2Н-АПС)

При этом полоса телеграфного канала была вдвое шире, чем при двухтоновом колебании. В режиме Н2А-АПС (А2Н-АПС) передатчик излучает также и в паузах, где формируется немодулированное колебание на рабочей частоте, а при нажатии ключа излучается двухтоновое колебание (см. рис. 2в).

В передатчиках серии «Муссон» формирование сигнала тональной телеграфии (классы излучения Н2А (А2Н) и Н2А-АПС (А2Н-АПС)) происходит в выходной схеме сложения колебаний от двух полукомплектов усилителя мощности. При этом один из полукомплектов подключается не к первому (основному), а ко второму (вспомогательному) возбудителю (см. структурную схему передатчика на рис. 1), выдающему на выходе гармоническое колебание со сдвигом по частоте на 650 Гц относительно рабочей. В режиме АПС для обеспечения непрерывного излучения манипуляция осуществляется только во втором возбудителе, а первый при этом постоянно включен. На схему сложения мощностей таким образом

поступают два гармонических колебания на близких частотах. Это равносильно тому, что за период огибающей сигнала (1/650 с) фазовый сдвиг между сигналами на входах схемы сложения 2φ меняется в пределах от 0 до 180° . При этом амплитуда результирующего колебания меняется от нуля до своего максимального значения (см. векторную диаграмму на рис. 3), т.е. на выходе схемы сложения возникают "биения", огибающая которых показана на рис. 2.б. и 2.в. В точках синфазной работы вся мощность от двух полуккомплектов суммируется на полезной нагрузке, а в точках противофазной работы – на балластном сопротивлении схемы сложения. В среднем за период огибающей мощность распределяется поровну между нагрузкой (антенной) и балластным сопротивлением.

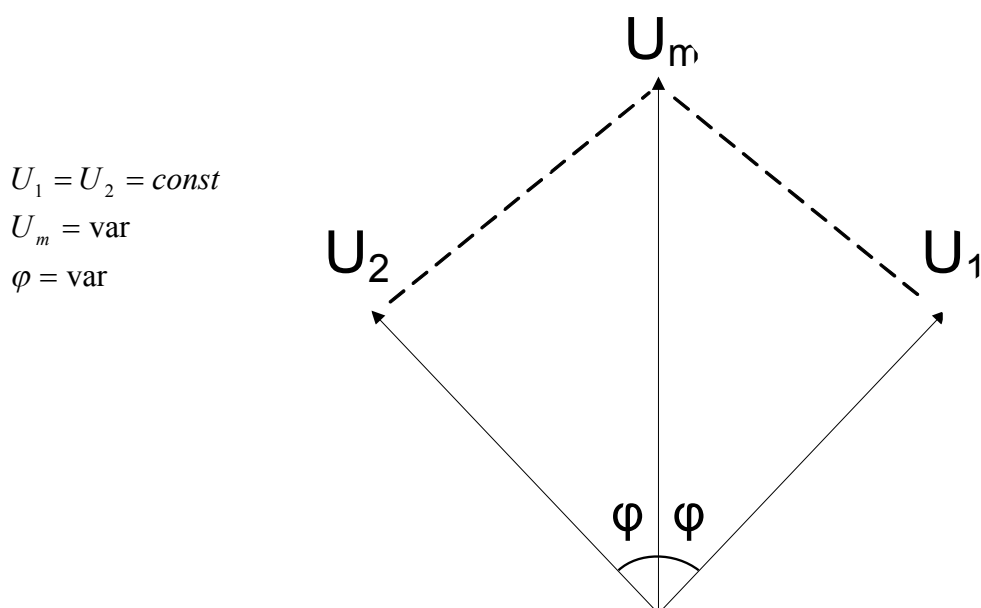


Рис. 3. Векторная диаграмма, поясняющая получение тонального сигнала

Таким образом, при формировании двухтонового колебания КПД схемы сложения составляет 50% (не считая тепловых потерь в трансформаторах моста), и половина мощности, вырабатываемой усилителями, рассеивается в балластном сопротивлении моста. Соответственно и промышленный КПД передатчика в режиме Н2А (А2Н) оказывается значительно ниже, чем в режиме А1А.

Важной особенностью передатчиков серии "Муссон" является полностью транзисторное исполнение. Это позволяло обеспечить быструю готовность к работе – порядка 8 с. после включения, что немаловажно при подаче сигнала бедствия. Кроме того, полностью транзисторное исполнение позволило несколько уменьшить массогабаритные показатели передатчика серии «Муссон» по сравнению с ламповыми вариантами, хотя применительно к размерам больших судов это вряд ли можно считать серьезным преимуществом.

Усилитель мощности (см. структурную схему передатчика на рис. 1) состоит из двух одинаковых полукомплектов. Каждый из них включает предоконечный каскад усиления, двухмодульный оконечный каскад и фильтрующую систему. Оба полукомплекта подключены к общей нагрузке через схему сложения мощностей. Транзисторы каждого из двух полукомплектов усилителя мощности передатчиков серии «Муссон» работают в высокоэффективном ключевом режиме класса D. Ключевые усилители мощности построены по схеме с эквивалентной резистивной нагрузкой и "вилкой" фильтров (диплексером) [1,2,4]. В настоящее время такой способ построения ключевых ГВВ считается не самым эффективным, с точки зрения КПД, поскольку в подобных схемах велики потери в балластном сопротивлении диплексера (являющегося нагрузкой фильтра верхних частот), где рассеивается мощность высших гармоник выходного колебания ключевых усилителей. Поэтому КПД такой схемы по первой гармонике лишь незначительно превышает КПД генераторов класса С, работающих в слабоперенапряженном режиме. Однако, благодаря тому, что мощность, рассеиваемая на транзисторе в ключевом режиме существенно меньше, часто (при отсутствии значительных "выбросов" тока и напряжения) можно в большей степени использовать транзисторы но мощности, не говоря уже о повышении надежности каскада и упрощении системы охлаждения. Также, ключевые усилители мощности этого класса намного менее чувствительны к рассогласованию передатчика с нагрузкой, чем более эффективные ключевые усилители класса F.

В оконечном каскаде каждого полукомплекта передатчика «Муссон-2» работают четыре транзистора типа КТ808 (более подходящих на момент разработки просто не было), которые возбуждаются от предварительного каскада (драйвера) своего полукомплекта, выполненного на одном транзисторе этого же типа. В передатчике «Муссон» в каждом полукомплекте используется оконечный каскад на двух транзисторах. Переключение всех четырех транзисторов оконечного каскада происходит одновременно. Транзисторы каскада разбиты на два модуля по два транзистора в каждом. Каждый из модулей возбуждается от отдельной обмотки междукаскадного трансформатора и работает на общую нагрузку в виде диплексера ("вилки" фильтров) через трансформаторную схему сложения (подробнее см. описание принципиальной схемы усилителя).

С выхода схемы сложения усиленные колебания поступают на согласующее устройство, где осуществляется компенсация реактивности антенны и трансформация ее входного сопротивления к эквивалентному нагрузочному сопротивлению передатчика, что обеспечивает передачу максимальной мощности от передатчика в антенну. Настройка согласующего устройства производится при помощи схемы автонастройки, которая включает фазовый и амплитудный детекторы. Также здесь установлен датчик системы защиты усилителя мощности от превышения КСВ, отключающий при помощи схемы защиты от перегрузок питание усилителя мощности.

3.4. ОПИСАНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ПЕРЕДАТЧИКОВ СЕРИИ «МУССОН»

Возбудитель.

Возбудитель передатчиков серии "Муссон" обеспечивает формирование радиоизлучений классов А1А (А1), Н2А (А2Н) и АПС на частотах с жесткой фиксацией 410, 425, 454, 468, 480, 500 и 512 кГц. При смене частоты осуществляется коммутация кварцевых резонаторов задающего автогенератора в каждом полукомплекте возбудителя.

Поскольку данный возбудитель является узкоспециализированным и в значительной мере устаревшим устройством, его принципиальная схема в настоящей лабораторной работе не изучается.

Усилитель мощности.

Усилитель мощности предназначен для усиления прямоугольных импульсов, поступающих от возбудителя, и последующего выделения из спектра прямоугольных импульсов полезной первой гармоники. Полная принципиальная схема усилителя мощности передатчика «Муссон-2» приведена на рис. 4.

Усилитель мощности состоит из двух одинаковых полукомплектов, работающих в ключевом режиме класса D. Каждый из них состоит из каскада предварительного усиления (драйвера), выходного каскада и блока фильтров. Оба полукомплекта при работе радиоизлучением класса А1А (А1) подключены к основному возбудителю. При работе радиоизлучениями классов Н2А (А2Н) и АПС один полукомплект подключается к основному возбудителю, а на другой поступает гармоническое колебание верхней боковой частоты (сдвинутое на 650 Гц относительно несущего) от вспомогательного возбудителя. Формирование двухтонового колебания при работе передатчика радиоизлучениями класса Н2А (А2Н) или класса АПС происходит в схеме сложения.

Транзисторы всех каскадов усилителя мощности работают в ключевом режиме класса D. Этим самым обеспечивается КПД усилителя мощности по первой гармонике порядка 75% при электронном КПД выходных каскадов порядка 90%. Мощность, рассеиваемая на коллекторе каждого транзистора выходного каскада, составляет не более 20 Вт, нагрузка к выходному каскаду каждого полукомплекта усилителя подключается через "вилку" фильтров.

Каскады предварительного усиления.

Каскады предварительного усиления двух полукомплектов выполнены на транзисторах VT1 и VT2 типа КТ808 соответственно по одноконтурной схеме с общим эмиттером – см. рис. 4. Эти каскады обеспечивают усиление поступающих с выходов возбудителя сигналов (0,2 Вт) величины порядка 5 Вт.

Широкополосные трансформаторы Tr1 и Tr2 предназначены для согласования входного сопротивления транзисторов VT1 и VT2 ($R_{BX} = 100$ Ом) с волновым сопротивлением кабеля ($\rho = 50$ Ом), соединяющего выход возбудителя со входом усилителя мощности. Трансформаторы выполнены на ферритовых кольцах.

Сопротивления резисторов $R7^*$, $R8^*$, $R9^*$ и $R10^*$ (подбираются при регулировке) служат для регулировки режима работы транзисторов $VT1$, $VT2$. Трансформаторы $Tr3$, $Tr4$ ($Tr5$, $Tr6$) обеспечивают развязку пар транзисторов окончных каскадов $VT3$, $VT4$ и $VT7$, $VT8$ ($VT5$, $VT6$ и $VT9$, $VT10$) по цепи возбуждения.

Оконечные каскады.

В окончном каскаде каждого полукомплекта усилителя мощности работают по четыре транзистора типа $KT808$. Каскад выполнен по двухмодульной схеме. В каждом из модулей параллельно включено по два транзистора. Схема модулей однотактная с общим эмиттером. Оба модуля возбуждаются синфазно и работают в ключевом режиме класса D . Таким образом, принципиальную схему окончного каскада можно свести к известной схеме однотактного ключевого усилителя мощности с эквивалентной резистивной нагрузкой и "вилкой" фильтров [1,4]. Ввиду некоторой сложности принципиальной схемы усилителя (рис. 4), при ее обсуждении целесообразно сослаться также и на упрощенную схему однотактного усилителя мощности класса D , которая приведена на рис. 5.

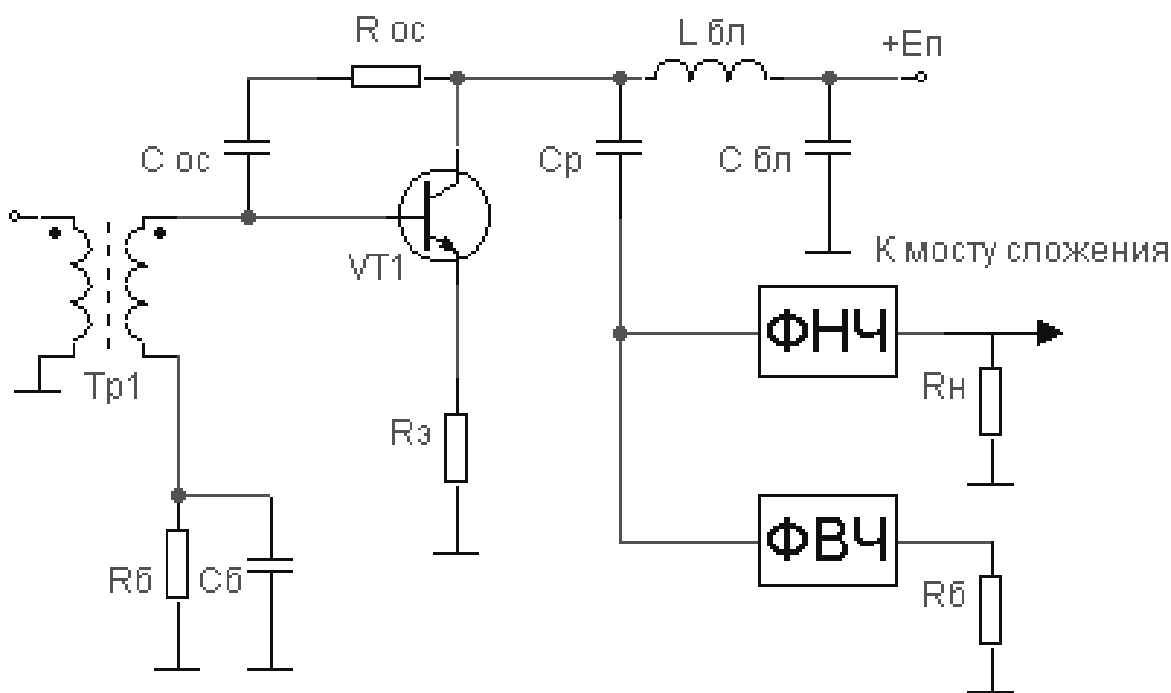


Рис. 5. Упрощенная принципиальная схема окончного каскада усилителя мощности

Выходной каскад первого полукомплекта усилителя (см. рис. 4) выполнен на транзисторах $VT3$, $VT4$, $VT7$, $VT8$, а второго соответственно на транзисторах $VT5$, $VT6$, $VT9$, $VT10$.

Для согласования входного сопротивления транзистора выходных каскадов с выходным сопротивлением каскадов предварительного усиления применены широкополосные трансформаторы $Tr3 - Tr6$.

Каждая пара параллельно включенных транзисторов (VT3 и VT7, VT4 и VT8, VT5 и VT9, VT6 и VT10) охвачена частотозависимой отрицательной обратной связью по напряжению с помощью резисторов R22 ÷ R25 и конденсаторов C10.÷.C13 (на рис. 5: R_{ос}, C_{ос}). Это позволяет частично скомпенсировать разброс параметров транзисторов и свести к минимуму неравномерность усиления каскада по диапазону.

Поскольку параметры параллельно включенных биполярных транзисторов, как правило, имеют значительный разброс, принимаются специальные меры для выравнивания их режимов. С этой целью в эмиттерные цепи каждой пары транзисторов включены симметрирующие трансформаторы. Выравнивание режима работы параллельно включенных транзисторов VT3 и VT7, VT4 и VT8, VT5 и VT9, VT6 и VT10 путем изменения напряжений на эмиттерах осуществляется при помощи трансформаторов Тр7.÷.Тр10 соответственно. Также для уменьшения разбросов параметров транзисторов (путем автоматической регулировки их режима) и повышения их входного сопротивления в эмиттерные цепи всех транзисторов включены резисторы, осуществляющие отрицательную обратную связь по току. На рис. 4 это резисторы R28.÷.R39 и R40.÷. R51.

Напряжение смещения транзисторов оконечного каскада формируется за счет токов базы - цепочка Rб, Сб на рис. 5. На рис. 4 это соответственно элементы R111.÷.R118; С6.÷.С9.

С целью уменьшения вероятности самовозбуждения каскадов, блокировочные элементы цепи питания ($L_{БЛ}$, $C_{БЛ}$ на рис. 5) выполнены отдельно для каждого модуля. Это исключает паразитные связи между модулями через цепи питания. На рис. 4 это элементы Др1, С14, Др2, С79, Др3, С180, Др4, С145. Конденсаторы С15.÷.С144 являются разделительными и служат для исключения короткого замыкания выпрямителей питания через трансформаторы схемы сложения мощностей модулей. Для визуального наблюдения формы токов, в базовую и коллекторную цепи пары транзисторов VT3 и VT7 включены трансформаторы тока.

Широкополосная схема сложения мощности двух усилительных модулей внутри каждого из полукомплектов состоит из трансформаторов Тр11.VT7.Тр14 и балластных сопротивлений R54, R55. Применение такой схемы позволяет практически полностью исключить взаимное влияние модулей друг на друга. По принципу работы схема сложения передатчиков серии "Муссон" близка к обычной последовательной [1], однако за счет применения балластного сопротивления обеспечивает взаимную развязку модулей, по сути, являясь мостовой.

Здесь следует отметить, что ввиду наличия в схеме усилителя мощности большого количества согласующих и межкаскадных трансформаторов, формы токов и напряжений на электродах транзисторов порой значительно отличаются от теоретических. Связано это не только с инерционностью трансформаторов, приводящей к затягиванию фронта и спада импульса, но и с паразитными резонансами в цепях первичных и

вторичных обмоток, часто приводящих к появлению «выбросов» в импульсах тока и напряжения.

Поскольку измерение (визуальное наблюдение) токов электродов транзисторов усилителя осуществляется при помощи трансформаторов тока, паразитные резонансы в измерительных цепях также приводят к дополнительным искажениям формы этих импульсов.

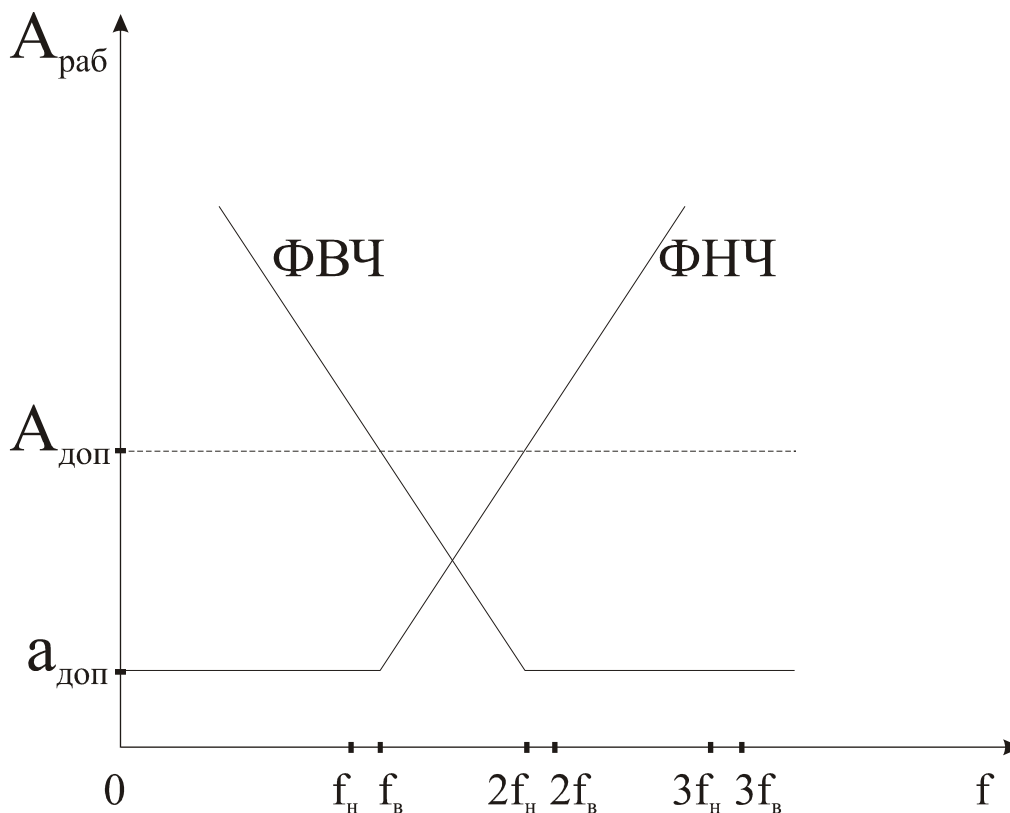


Рис. 6. Идеализированные АЧХ «вилки» фильтров

Блок фильтров.

С выхода каждого из двух полукомплектов усилителя мощности усиленные колебания поступают на "вилку" фильтров – включенные параллельно по входу фильтры низких (ФНЧ) и высоких (ФВЧ) частот (см. рис. 6). Поскольку при работе усилителя в режиме D выходное напряжение имеет форму, близкую к прямоугольной, необходимо обеспечить подавление высших гармоник до уровня, установленного соответствующими Нормами. В то же время, для поддержания ключевого режима класса D в схеме на рис. 4, 5 необходимо обеспечить усилителю резистивную нагрузку на всех гармониках. Как раз эти задачи и позволяет решить применение "вилки" фильтров. Фильтр нижних частот обеспечивает усилителю резистивную нагрузку по первой гармонике (т. е. выделяет из спектра прямоугольных импульсов первую гармонику и обеспечивает подавление высших гармонических составляющих), а фильтр верхних частот – по высшим (рис. 6).

Это эквивалентно работе усилителя на чисто резистивную нагрузку. С выхода ФНЧ полезный сигнал поступает на схему сложения мощностей, а

энергия высших гармоник, выделенная ФВЧ, рассеивается на балластном сопротивлении, которое является дополнительным источником тепловых потерь.

ФНЧ первого полукомплекта выполнен на конденсаторах С150.÷.С153, С162, С163 и индуктивностях L1, L5, L7, второго полукомплекта – на конденсаторах С156.÷.С159, С179, С180 и индуктивностях L2, L6, L9. ФВЧ первого полукомплекта включает в себя конденсаторы С146, С147, С154, С155, С164. С165 и индуктивности L3, L8, соответственно ФВЧ второго полукомплекта – С148, С149, С160, С161, С168, С169 и L4, L10. Характеристическое сопротивление фильтров равно выходному сопротивлению параллельно работающим транзисторов VT3, VT7; VT4, VT8; VT5, VT9; VT6, VT10 ($R_{ХАР} \approx 12,6 \text{ Ом}$). ФВЧ выделяет из спектра прямоугольных импульсов высшие гармоники. Его нагрузкой в первом и втором полукомплектах являются резисторы R62.÷.R86 и R87.÷.R111 соответственно. На этих резисторах рассеивается мощность выделенных высших гармоник.

Схема сложения мощностей.

Схема сложения мощностей двух полукомплектов усилителя мощности выполнена с использованием двух широкополосных трансформаторов на ферритовых кольцах. Трансформаторы Tr15 и Tr16 служат для согласования волнового сопротивления кабеля ($\rho = 75 \text{ Ом}$) с характеристическим сопротивлением фильтра ($R_{ХАР} = 12 \text{ Ом}$).

Вторичные обмотки трансформаторов Tr15 и Tr16 соединены последовательно, так же, как и при сложении мощностей усилительных модулей каждого из полукомплектов усилителя мощности.

Балластные сопротивления R60, R61, включенные между выходами фильтров обоих полукомплектов, обеспечивают их взаимную развязку, что соответствует мостовому способу сложения.

При работе радиоизлучением класса А1А и равных выходных мощностей каналов выделенная на балластном сопротивлении мощность равна нулю.

При работе радиоизлучением классов Н2А, АПС из-за несинфазной работы двух полукомплектов на балластном сопротивлении рассеивается половина мощности обоих полукомплектов усилителя.

Схема защиты транзисторов от перегрузок.

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

Схема защиты (рис. 7) состоит из датчика рассогласования и транзисторного усилителя постоянного тока, нагрузкой которого являются каскады предварительного усилителя мощности

Датчик рассогласования состоит из трансформатора тока Tr1, нагруженного на потенциометр R1, и резисторно-емкостного делителя С2, С3, R3. Сигналы с трансформатора Tr1 и с цепи С2, С3, R3 сравниваются на потенциометре R2, выпрямляются диодом D6, и результирующий сигнал поступает на вход усилителя постоянного тока (база транзистора VT1).

Переменная составляющая сигнала отфильтровывается блокировочным конденсатором С1. При работе усилителя мощности на согласованную нагрузку ($R_H = 75 \text{ Ом}$) сигнал на выходе датчика рассогласования равен нулю.

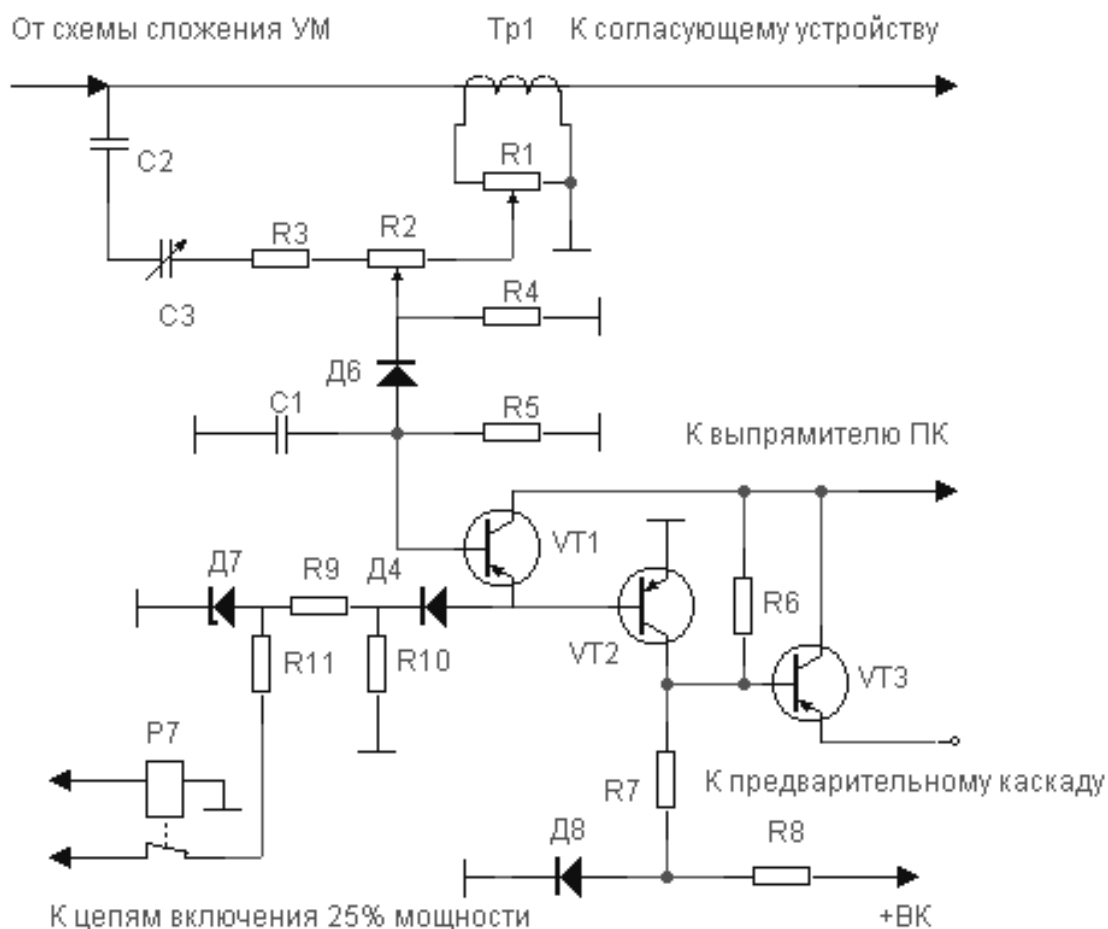


Рис. 7. Схема защиты от перегрузок и ограничения тока в антенне

При отклонении параметра нагрузки от номинального значения на выходе датчика, вследствие неравенства напряжений на трансформаторе тока $Tr1$ и резисторно-емкостной цепи, появляется маломощный сигнал ошибки постоянного тока, поступающий на базу транзистора $VT1$. С выхода эмиттерного повторителя, выполненного на транзисторе $VT1$, сигнал попадает на базу транзистора $VT2$, закрытого в исходном состоянии смещением на резисторе $R6$ по цепи $R7, R8, D8$, усиливается и поступает на базу регулирующего транзистора $VT3$. Транзистор $VT3$ закрывается и тем самым снижает напряжение питания каскадов предварительного усиления (вырабатываемое соответствующим выпрямителем «ПК»), а, следовательно, и напряжение возбуждения выходных каскадов до величины, обеспечивающей нормальный режим работы выходных транзисторов.

Схема ограничения тока в антенне.

Ограничение тока выходного каскада осуществляется при работе передатчика на короткие антенны. Схема (см. рис. 7) построена на элементах: реле P7, резисторах R9, R10, R11, диоде D4, стабилитроне D7 и работает следующим образом: при настройке на короткую антенну, когда подвижный контакт автотрансформатора согласующего устройства (см. ниже) устанавливается в одном из положений (1-5), срабатывает реле P7, отключая стабилитрон D7 и коммутируя базовую цепь транзистора VT2 на шину включения сигнала 25% (ограничение происходит только в режиме 100%). В случае отсутствия контрольного напряжения на этой шине, открывается транзистор VT2, и срабатывает схема защиты усилителя мощности, ограничивая ток в цепи предварительных каскадов усиления (ПК), что в итоге приводит к уменьшению тока в антенне. При наличии сигнала 25% существенного изменения режима транзистора VT2 не происходит и защита не срабатывает.

Схема сигнализации и контроля.

Схемы усилителя мощности охвачена по питанию цепью обобщенной сигнализации, которая при отсутствии питающих напряжений транзисторов выходных каскадов (+ВК) формирует сигнал «НЕИСПРАВНО».

Согласующее устройство.

Согласующее устройство обеспечивает трансформацию комплексного частотно-зависимого сопротивления антенны передатчика в необходимое для нормального действия фильтров активное сопротивление 75 Ом. Реально сопротивление нагрузки для фильтров (на входе СУ) может быть в пределах 37,5...150 Ом.

В диапазоне СВ длина антенны значительно короче длины волны (как правило, применяют штыревые антенны). Поэтому в этом диапазоне имеет место малое входное активное сопротивление (0,3...15 Ом) и значительное реактивное сопротивление емкостного характера (-1036...-260 Ом). Емкостная составляющая импеданса антенны компенсируется путем настройки в резонанс последовательного колебательного контура, образованного «удлинительной» переменной индуктивностью (вариометром) и емкостью антенны (рис. 8). Трансформация активной составляющей импеданса антенны до уровня 37,5...150 Ом осуществляется при помощи автотрансформатора A_{TP} . Настройка вариометра удлинительной индуктивности осуществляется при помощи управляющего сигнала фазового детектора, фиксирующего фазовый сдвиг между током и напряжением в фидере, соединяющим выход передатчика со входом согласующего устройства. Точному согласованию реактивного сопротивления соответствует нулевой фазовый сдвиг между током и напряжением. Настройка автотрансформатора осуществляется при помощи управляющего сигнала от амплитудного детектора и определяется по максимуму полезной мощностью передатчика.

Поскольку ток антенны достаточно велик, падения напряжений на элементах согласующего устройства **могут достигать величин единиц**

КИЛОВОЛЬТ, что предъявляет повышенные требования к электрической прочности конструкций этих элементов.

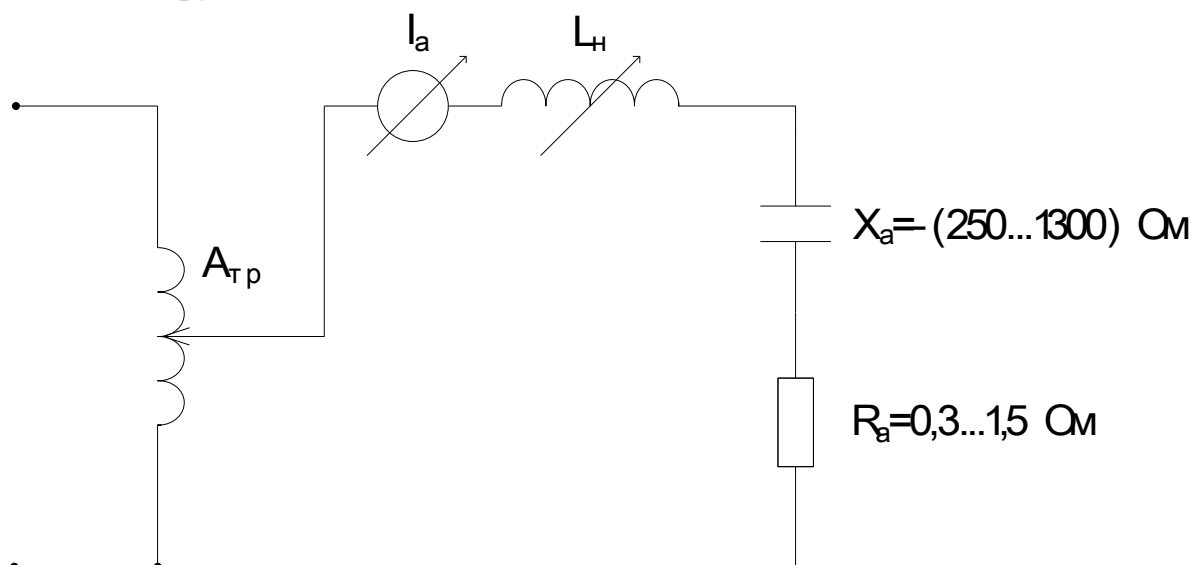


Рис. 8. Упрощенная принципиальная электрическая схема антенного согласующего устройства передатчика и эквивалента антенны.

Охлаждение радиаторов транзисторов усилителя мощности осуществляется электрическим вентилятором центробежного типа, включаемым в режиме 100% мощности, поскольку при этом на каждом из транзисторов рассеивается мощность около 20 Вт. Связано это с тем, что при работе усилителей в ключевом режиме ввиду высокого КПД, как правило, стремятся, по возможности, наиболее полно использовать транзистор по мощности.

Питание передатчика осуществляется от промышленной трехфазной сети напряжением 380/220 В с частотой 50 Гц. Полупроводниковые выпрямители блока питания собраны по шестифазной схеме Ларионова и мостовой схеме Греча.

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: контрольный измерительный прибор, переключатель, четыре предохранителя и четыре сигнальные лампы.

Разъемы 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.

Передачик и согласующее устройство выполнены в металлических шкафах брызгозащищенной конструкции в настольном оформлении.

4. ОРГАНЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕДАТЧИКА ПОРЯДОК ВКЛЮЧЕНИЯ И НАСТРОЙКИ

4.1. СОСТАВ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ. РАСПОЛОЖЕНИЕ ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕДАТЧИКА И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

В заводской комплект кроме передатчика «Муссон» или «Муссоп-2» и согласующего устройства, как правило, входит унифицированный эквивалент антенн морских передатчиков серий «Барк», «Бриг», «Корвет», «Муссон». Однако в учебных целях в лаборатории РПДУ МТУСИ применены самодельные эквиваленты, позволяющие проводить испытание автоматики передатчика. Эквивалент располагается на корпусе передатчика (сверху). На его передней напели (см. рис. 9) расположен измерительный прибор для измерения тока антенны. Также на эквиваленте расположены ручки, позволяющие менять величины активной и реактивной (емкостной) составляющих сопротивления нагрузки (эквивалента антенны). Величины этих сопротивлений и емкостей указаны на корпусе эквивалента около соответствующих переключателей.

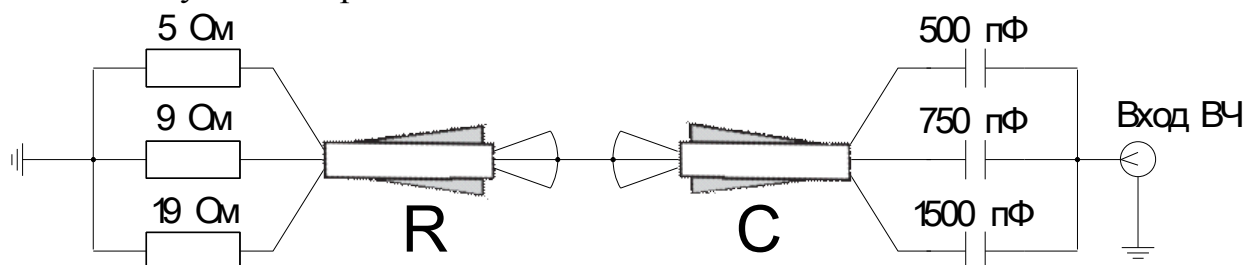


Рис. 9. Внешний вид эквивалента антенны

За большой металлической дверью передатчика (открывается нажатием на кнопку рукоятки) расположены блок питания (в нижней части) и усилитель мощности (в верхней). На блоке питания (см. рис. 10) расположен рубильник включения питающего напряжения трехфазной промышленной сети, предохранители и контрольные лампы, а также измерительный прибор для контроля питающих напряжений с переключателем. На панели усилителя мощности (см. рис. 11) расположен контрольный прибор для измерения потребляемых транзисторными модулями усиления мощности токов и ряда других параметров. Рядом с прибором расположен переключатель контролируемых цепей, переключатель контрольных точек осциллографа и предохранители с контрольными лампами на каждую из четырех транзисторных ячеек оконечного каскада (т.е. по два на полукомплект), а

также тумблер «Авария», имитирующий выход из строя одного из четырех усилительных модулей.

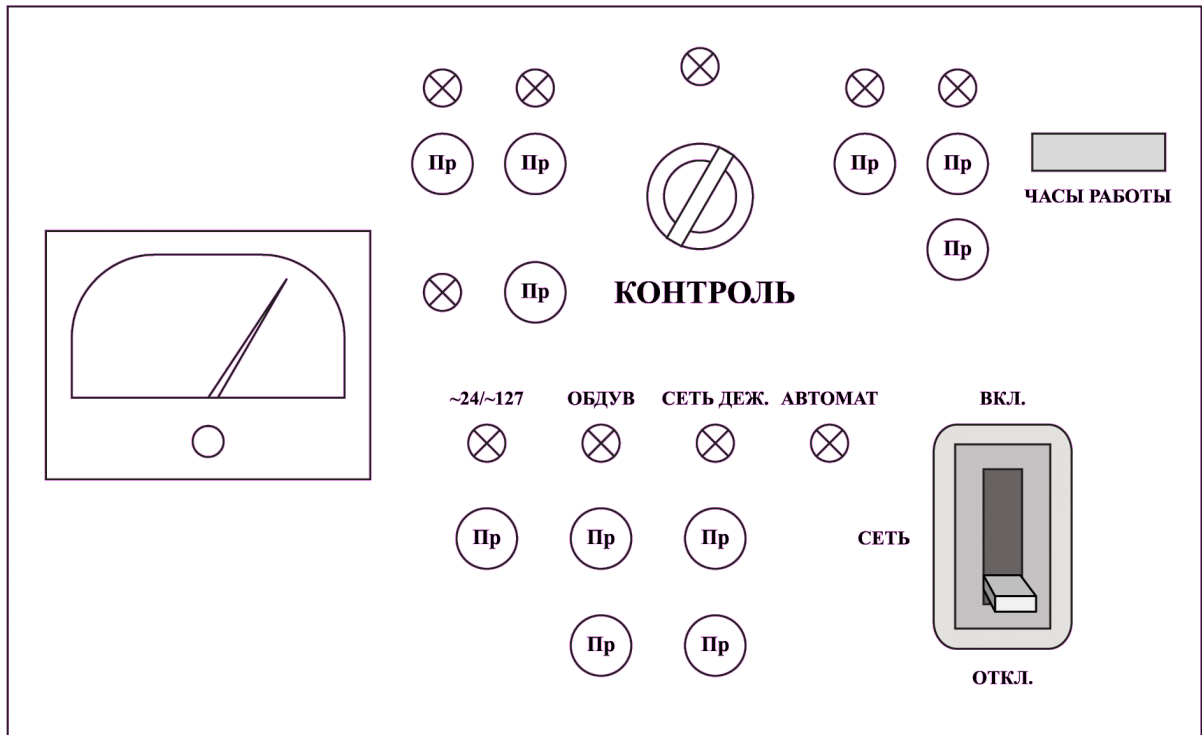


Рис. 10. Внешний вид панели блока питания



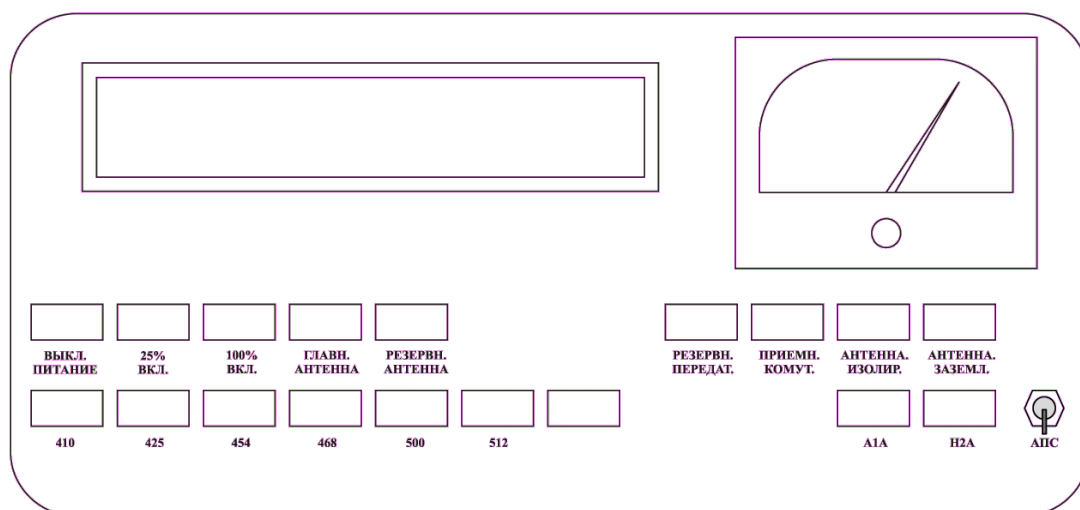
Рис. 11. Внешний вид панели усилителя мощности

Основные органы управления передатчиком расположены на панели управления и контроля (см. рис. 12). Здесь расположены:

- семь кнопок фиксированной установки частоты «410», «425», «454», «468», «480», «500», «512»;
- три кнопки включения и выключения питающего напряжения усилителя мощности «25%», «100%», «ВЫКЛ.»;
- две кнопки выбора рода работ (класса излучения) «А1А» (или «А1»), «Н2А» (или «А2Н»), а также тумблер включения режима АПС;

- две кнопки переключения антенн «ГЛАВНАЯ АНТЕННА» и «РЕЗЕРВНАЯ АНТЕННА»;
- четыре кнопки коммутатора совместной работы с эксплуатационным передатчиком и приемником «РЕЗЕРВНЫЙ ПЕРЕДАТЧИК», «ПРИЕМНЫЙ КОММУТАТОР», «АНТЕННА ИЗОЛИРОВАНА» и «АНТЕННА ЗАЗЕМЛЕНА»;
- табло обобщенной сигнализации с надписями «РАБОТА, НАСТРОЙКА, ИСПРАВНО, ГОТОВ, АНТЕННА, НЕИСПРАВНО»;
- кнопка "КЛЮЧ", осуществляющая манипуляцию. Эта кнопка расположена в нижней части панели управления и доступна только при открытой большой дверце.

В нижнем левом углу панели управления расположен замок, позволяющий открыть панель, которая конструктивно выполнена в виде малой дверцы. За панелью управления расположен возбудитель.



© "КЛЮЧ"

Рис. 12. Внешний вид панели управления передатчиком

4.2. ПОРЯДОК ВКЛЮЧЕНИЯ И НАСТРОЙКИ ПЕРЕДАТЧИКА

ВНИМАНИЕ! СОБЛЮДЕНИЕ УСТАНОВЛЕННЫХ ДЛЯ ЛАБОРАТОРИЙ РАДИОПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ МТУСИ ПРАВИЛ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЯЗАТЕЛЬНО!

4.2.1. По результатам собеседования с преподавателем (где проверятся степень подготовленности к работе) получить допуск к лабораторной работе.

Получить у ведущего занятия преподавателя разрешение на включение передатчика.

4.2.2. Убедиться, что рубильники на силовом щите включены. В противном случае необходимо обратиться к преподавателю или лаборанту. На табло сигнализации передатчика при этом горит надпись «НЕИСПРАВНО».

4.2.3. Открыть металлическую дверь шкафа передатчика.

4.2.4. Убедиться, что на блоке питания горит зеленая лампочка «СЕТЬ», а все контрольные лампочки красного цвета, расположенные около предохранителей блоков питания и усилителя мощности, не горят.

4.2.5. Включить питающее напряжение рубильником на блоке питания передатчика (внизу блока). При этом на табло сигнализации панели управления гаснет надпись «НЕИСПРАВНО».

Если в дальнейшем в процессе работы на табло появляется надпись «НЕИСПРАВНО» или «АНТЕННА», необходимо немедленно прекратить дальнейшую работу, выключить питающее напряжение и поставить в известность ведущего занятия преподавателя или лаборанта.

4.2.6. На эквиваленте антенны установить переключатель R_A в положение 9 Ом, а переключатель C_A в положение 500 пФ. **Менять положение этих переключателей в процессе работы без особых указаний категорически запрещается.**

4.2.7. Нажать кнопку «25%» на панели управления. При этом должны подсвечиваться кнопки «25%» и «A1A» («A1»). При этом на табло сигнализации может появиться надпись «ИСПРАВНО». При необходимости установить режим тональной телеграфии следует нажать кнопку «H2A» («A2H»). В режиме АПС кроме нажатия этой кнопки следует также включить тумблер «АПС», расположенный на панели управления. При работе в других режимах этот тумблер должен быть в положении «Выкл».

4.2.8. Нажать одну из кнопок установки частоты. При этом слышны характерные щелчки из блока согласующего устройства. Через окошко этого блока (там, где оно имеется) можно наблюдать за процессом переключения автотрансформатора и изменением положения (настройкой) индуктивного вариометра. На табло сигнализации панели управления высвечиваются надписи «РАБОТА» и «НАСТРОЙКА». Через несколько секунд (после завершения процесса настройки) надписи «РАБОТА» и «НАСТРОЙКА» гаснут. Вместо них высвечивается надпись «ГОТОВ». При нажатии телеграфного ключа высвечивается надпись «РАБОТА». При необходимости настроиться на другую частоту или перейти к другому классу излучения, следует отпустить ключ, нажать кнопку «25%» (в случае, если ранее была нажата кнопка «100%») и нажать кнопки, соответствующую выбранной частоте и классу излучения.

4.2.9. Включить полное питание усилителя мощности, нажать кнопку «100%». При этом должен включиться вентилятор. **В случае неисправности вентилятора необходимо переключиться в режим 25% мощности и сообщить о случившемся преподавателю или лаборанту.**

ВНИМАНИЕ! КАТЕГОРИЧЕСКИ ЗАПРЕЩАЕТСЯ переключать класс излучения или менять частоту при включении 100% мощности.

4.3. ПОРЯДОК ВЫКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАТЧИКА

4.3.1. Выключить питание усилителя мощности, нажав кнопку «ВЫКЛ» соответствующего переключателя. При этом гаснет надпись «ГОТОВ» на табло сигнализации и высвечивается надпись «ИСПРАВНО».

4.3.2. Выключить питание передатчика, нажав рубильник на блоке питания. При этом на табло сигнализации загорается надпись «НЕИСПРАВНО».

4.3.3. Выключить рубильник на силовом щите (попросив преподавателя или лаборанта).

4.3.4. Доложить ведущему занятию преподавателю об окончании работы.

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЧАСТИ

К пункту 2.2.4

5.1.1. В соответствии с приведенной выше методикой включить передатчик и настроить его на одну из частот диапазона. Нажать кнопку "КЛЮЧ". Записать показания измерительного прибора на эквиваленте антенн: "ТОК АНТЕННЫ". Записать величину сопротивления эквивалента нагрузки, согласно положению переключателя на эквиваленте. Установив переключатель «Контроль» на панели блока питания в позицию "BK" записать (при нажатом ключе) показание контрольного прибора, расположенного на блоке питания (шкала «100 В»), который при данном положении переключателя включен в режим измерения постоянного питающего напряжения усилителя мощности. Для измерения токов, потребляемых каждым из четырех модулей усилителя мощности, необходимо аналогичный переключатель «Контроль» на панели усилителя мощности поочередно устанавливать в положения «BK1» и «BK2» для каждого из двух полукомплектов (группы положений переключателя «Канал1» и «Канал 2») усилителя согласно надписям на панели около переключателя, производя измерения всех четырех потребляемых токов при нажатом ключе.

5.1.2. Строго соблюдая правила включения, повторной настройкой на две-три другие частоты диапазона СВ закрепить навыки управления. После

каждой настройки нажимать кнопку «КЛЮЧ» и записывать показания измерительных приборов (аналогично пункту 5.1.1).

5.1.3. Для одной частоты вычислить (см. ниже) величины выходной мощности P_H , мощности, потребляемой анодной цепью усилителя мощности от выпрямителя (P_0), а также КПД коллекторной цепи η_K .

5.1.4.

Результаты измерений и вычислений к пункту 2.2.4 удобно оформить в виде следующей таблицы:

f , кГц	$I_{АНТ}$, А	$I_{ПО}$, А	P_H , Вт	P_0 , Вт	η_A

Здесь $I_{ПО}$ – суммарный ток, потребляемый четырьмя ячейками усилителя мощности.

При расчете выходной мощности по показаниями прибора "ТОК АНТЕННЫ", следует помнить, что он показывает эффективное значение переменного тока. Тогда выходная мощность определяется произведением квадрата этого тока на величину сопротивления эквивалента антенны.

Для расчета потребляемой мощности оконечного усилителя необходимо умножить величину питающего напряжения усилителя на сумму токов, потребляемых четырьмя модулями усилителя.

К пункту 2.2.5

5.2.1. При работе излучением А1А (А1), не изменяя настройки передатчика, проверить готовность к работе осциллографа ОСУ-10. При нажатой кнопке "КЛЮЧ" зарисовать временные диаграммы (эпюры) токов и напряжений в различных контрольных точках усилителя мощности (см. принципиальную схему усилителя на рис. 4). Подключение осциллографа к этим контрольным точкам осуществляется при помощи переключателя «Осциллограф», расположенного на панели усилителя мощности. Для удобства список контрольных точек и контролируемых цепей сведен в следующую таблицу 1:

Таблица 1.

№ контрольной точки	Контролируемый параметр
1	Напряжение возбуждения транзисторов оконечного каскада
2	Напряжение на базе транзистора оконечного каскада (VT7)
3	Ток базы транзистора оконечного каскада (VT7)
4	Напряжение на коллекторе транзистора оконечного каскада
5	Ток коллектора транзистора оконечного каскада (VT7)
6	Напряжение на входе "вилки" фильтров (диплексера)
7	Напряжение на балластном сопротивлении ФВЧ вилки

8	Напряжение на выходе ФНЧ вилки фильтров
9	Напряжение на выходе мостовой схемы сложения мощностей

При зарисовки осциллограмм, следует грамотно нарисовать и обозначить координатные оси, учитывая наличие или отсутствие постоянной составляющей напряжения (тока) в исследуемом процессе.

К пункту 2.2.6

5.3.1. В соответствии с методикой включения и настройки передатчика установить излучение класса H2A (A2H). Установив переключатель контрольных точек в позицию 9, при нажатой кнопке "КЛЮЧ" зарисовать наблюдаемую на экране осциллографа временную диаграмму сигнала тональной телеграфии. При этом частоту развертки осциллографа необходимо уменьшить таким образом, чтобы на экране отчетливо просматривалась огибающая сигнала (см. рис. 2).

Повторить исследование осциллограммы для излучения класса АПС (при отжатом и нажатом ключе), установив этот режим тумблером АПС на панели управления передатчика.

К пункту 2.2.7

5.4.1. Установить излучение класса A1A (A1). Поочередно настраивая передатчик на все семь фиксированных частот, исследовать характеристику неравномерности выходной мощности по диапазону. Для этого необходимо при настройке на каждую из семи частот записывать показания прибора "ТОК В АНТЕННЕ", расположенного на эквиваленте антенны.

5.4.2. Вычислить мощность, отдаваемую передатчиком в антенну на всех семи частотах, аналогично пункту 2.2.4.

Результаты измерений и вычислений удобно свести в таблицу 2:

Таблица 2

f , кГц	$I_{АНТ}$, В	P_H , Вт

Полученные зависимости необходимо построить графически.

К пункту 2.2.8

5.5.1. Подготовить передатчик к работе на одной из частот излучением класса A1A(A1). Выключить питание усилителя мощности.

5.5.2. Включить тумблер «Авария» на панели усилителя мощности (это имитирует выход из строя одного из четырех усилительных модулей). Включить питание усилителя, нажав кнопку "100%". Нажав кнопку "КЛЮЧ", записать показание прибора "ТОК В АНТЕННЕ". Рассчитать, насколько уменьшилась выходная мощность передатчика (по сравнению с измеренной в предыдущем пункте задания) при имитации отказа одного из усилительных модулей.

5.5.3. Выключить питание усилителя мощности. Установить тумблер «Авария» в исходное положение.

К пункту 2.2.9

5.6.1. Подготовить передатчик к работе на частоте 410 кГц излучением класса А1А(А1). Выключить питание усилителя мощности.

5.6.2. Поочередно устанавливая всевозможные сочетания сопротивления и емкости эквивалента антенны (соответствующими органами управления эквивалента), фиксировать секундомером время перестройки передатчика с частоты 410 кГц на частоту 512 кГц. Для этого следует: установить одно из возможных сочетаний значений сопротивления и емкости антенны; нажать кнопку «25%»; приготовить секундомер; нажать кнопку «512» и отсчитать время перестройки передатчика до загорания надписи «ГОТОВ» на панели индикации; вернуть исходную частоту, нажав кнопку «410», выключить питание усилителя мощности; повторить эксперимент для другого сочетания сопротивления и емкости эквивалента нагрузки. **Внимание:** этот пункт задания следует выполнять только в режиме «25%», а по окончании, следует вернуть исходные положения переключателей сопротивления и емкости эквивалента антенны.

Результаты измерений следует занести в таблицу 3, в которую также следует включить результат расчета постоянной времени эквивалента антенны:

$R_{АНТ}$, Ом	$C_{АНТ}$, пФ	$RC_{АНТ}$, мкс	Время настройки, с

К пункту 2.2.10

5.7.1. Согласно инструкциям, приведенным в разделе 4.3, выключить передатчик и доложить ведущему занятию преподавателю об окончании работы.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ для самостоятельной проработки и самопроверки

6.1. Для допуска к работе

6.1.1. Укажите основные технические характеристики передатчиков серии «Муссон»: назначение, мощность, роды работы (классы излучения, виды манипуляции), диапазон частот, примерно допустимую нестабильность частоты, степень подавления побочных излучений и др.

6.1.2. Укажите основные преимущества и недостатки полностью транзисторного исполнения передатчика по сравнению с ламповым.

6.1.3. Нарисуйте структурную схему передатчика (без узлов автоматики, защиты, сигнализации).

6.1.4. Нарисуйте принципиальную схему простейшего ключевого усилителя мощности с "вилкой" фильтров.

6.1.5. Нарисуйте упрощенную схему одного полукомплекта усилителя мощности передатчика «Муссон». Поясните назначение вилки фильтров. Допустимы некоторые упрощения в схемах, не нарушающие принципиальной работоспособности каскадов.

6.2. Для защиты работы

При защите работы также могут быть использованы и вопросы по пункту 6.1.

6.2.1. Поясните принцип работы однотактного ключевого усилителя мощности с эквивалентной резистивной нагрузкой.

6.2.2. Поясните назначение вилки фильтров. Каким образом обеспечивается эквивалентная резистивная нагрузка усилителя?

6.2.3. В каком каскаде передатчика осуществляется манипуляция?

6.2.4. С какой целью в передатчике применены два возбудителя?

6.2.5. Каким образом осуществляется формирование сигналов тональной телеграфии и АПС?

6.2.6. Почему промышленный КПД передатчика при тональной телеграфии ниже, чем при обычной телеграфной манипуляции?

6.2.7. С какой целью в передатчике установлен манипуляционный фильтр?

6.2.8. Каково назначение трансформатора в эмиттерных цепях транзисторов усилительной ячейки?

6.2.9. Каково назначение междукаскадного широкополосного трансформатора?

6.2.10. Покажите на принципиальной схеме усилителя мощности элементы мостовой схемы сложения.

6.2.11. Покажите на принципиальной схеме усилителя мощности элементы вилки фильтров и балластное сопротивление.

6.2.12. Поясните, с какой целью модули усилителя мощности охвачены обратной связью и какие элементы обеспечивают эту обратную связь.

6.2.13. Поясните причины искажений формы импульсов токов и напряжений в цепях усилителя мощности.

6.2.14. Поясните назначение и принцип работы схемы защиты от перегрузок.

6.2.15. Поясните назначение и принцип работы согласующего устройства.

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

7.1. Наименование работы.

7.2. Цель работы.

7.3. Назначение передатчика.

7.4. Основные технические характеристики передатчика

7.4.1. Полезная мощность и допустимое отклонение от номинала.

7.4.2. Диапазон радиочастот, допустимая нестабильность частоты, фиксированные частоты.

7.4.3. Виды модуляции и манипуляции (классы излучения).

7.4.4. Ориентировочный допустимый уровень побочных излучений.

7.4.5. Ориентировочная потребляемая мощность.

7.5. Структурная схема передатчика.

7.6. Схемы каскадов усиления мощности радиочастоты с вилкой фильтров (один полукомплект), схемой сложения и согласующим устройством.

7.7. Результаты экспериментального измерения энергетических параметров и их сравнение с паспортными.

7.8. Результаты исследования характеристики неравномерности усиления передатчика по диапазону.

7.9. Результаты испытания в режиме имитации аварии.

7.10. Результаты испытания при настройке на антенны с разными постоянным времени.

7.11. Выводы по работе.

7.12.

8. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

8.1. Основной

1) Радиопередающие устройства: Учебник для вузов / Под ред. В.В.Шахгильдяна. – М.: Радио и связь, 2003. – 560с.

2) М. С. Шумилин, О. В. Головин, Э. А. Шевцов, В. П. Севальнев. Радиопередающие устройства: Учебник для техникумов. – М.: Радио и связь, 1990. – 408с.

3) М. С. Шумилин, В. Б. Козырев, В. А. Власов. Проектирование транзисторных каскадов передатчиков. Учебное пособие для техникумов. – М.: Радио и связь, 2000. – 320с.

4) Р. Ю. Иванюшкин, В. Б. Козырев. Современные ключевые генераторы: учебное пособие. - М.: РИО МТУСИ, 2000 г.

8.2. Дополнительный

5) Транзисторные генераторы гармонических колебаний в ключевом режиме /Под ред. И.А.Попова. – М: Радио и связь, 1985 - 192 с.

6) Заводские описания радиопередатчиков «Муссон» и «Муссон-2».

7) Лаб. раб. №1. Изучение и настройка лабораторного радиопередатчика средних волн. Описание лабораторного передатчика. Сборник описаний лабораторных работ «Радиопередающие устройства. Часть 1. Основы радиопередающих устройств, (лабораторный передатчик «Волхов-М-учебный»)» / МИС. 1988.

8) Лаб. раб. №28. Изучение и испытание радиопередатчика «Барк» («Барк-2»). МЭИС, 1999.

9) Лаб. раб. №36. Изучение коротковолнового однополосного радиопередатчика «Корвет». 1992. – 24с.

10) В. А. Писарев. Радиооборудование морских судов. – М.: Транспорт, 1984. – 222с.

11) О. С. Лобенский, А. Н. Ярков. Радиооборудование речных судов. – М.: Транспорт. 1979. – 176с.

12) К. А. Семенов, Е. А. Каплин, Б. И. Кузьмин, В. Н. Рябышкин. Состояние и перспективы развития морской радиосвязи. Электросвязь, №8. 1999. – 3с.

13) К. А. Семенов, В. Н. Рябышкин, Б. И. Кузьмин. Современная судовая радиосвязь на морском флоте. Электросвязь, №8. 1999. – 3с.

14) Правила классификации и постройки судов внутреннего плавания. Часть XII. Радиооборудование. Речной регистр РСФСР. Транспорт, 1977. – 62с.

15) Правила по конвенционному оборудованию морских судов. Морской регистр СССР. Транспорт, 1977. – 190с.

16) ГОСТ 21062-83. Передатчики морские однополосные. Общие технические условия.

17) ГОСТ 26897-86. Радиостанции с однополосной модуляцией морской подвижной службы. Типы, основные параметры, технические требования и методы измерений.

Лабораторная работа № 21

**ИЗУЧЕНИЕ И ИСПЫТАНИЕ
СУДОВОГО НАВИГАЦИОННОГО РАДИОПЕРЕДАТЧИКА
"МУССОН"**

Редактор Т. В. Ракова