



Федеральное агентство по рыболовству
БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»
Калининградский морской рыбопромышленный колледж

Утверждаю
Врио заместителя начальника колледжа
по учебно-методической работе
М.Ю. Никишин

ОП.11 РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Методическое пособие для выполнения самостоятельных работ
по специальности

**11.02.03 Эксплуатация оборудования радиосвязи и электрорадионавигации
судов**

МО-11 02 03-ОП.11.СР

РАЗРАБОТЧИК
ЗАВЕДУЮЩИЙ ОТДЕЛЕНИЕМ
ГОД РАЗРАБОТКИ

Учебно-методический центр
Никишин М.Ю.
2026

МО-11 02 03-ОП.11.СР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА	С.2/25

Содержание

Введение	3
Перечень самостоятельных работ	5
Самостоятельная работа: №1 Проработка конспектов занятий	6
Самостоятельная работа: №2 Проработка конспектов занятий. Подготовка к практической работе	6
Самостоятельная работа: №3. Методы сложения мощности 2 часа	7
Самостоятельная работа: №4. Усилители с распределенным усилением – 2 часа	16
Самостоятельная работа: №5. Проработка конспектов занятий. Подготовка к практическим и лабораторным работам	23
Самостоятельная работа: №6. Проработка конспектов занятий. Подготовка к практическим и лабораторным работам	24
Литература и методические пособия	24

МО-11 02 03-ОП.11.СР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА	С.3/25

Введение

Методические указания по организации самостоятельной работы обучающихся составлены в соответствии с рабочей программой по учебной дисциплине ОП.11 Радиопередающие устройства.

Самостоятельная внеурочная работа – это деятельность учащихся во внеурочное время, выполняемая по заданию преподавателя, под его руководством, но без его непосредственного участия. Основой для самостоятельной работы является весь комплекс полученных курсантами знаний. Кроме практической важности, самостоятельная работа имеет большое воспитательное значение, развивая умение самостоятельно добывать знания, закреплять, систематизировать и расширять их; развивает усидчивость и работоспособность; воспитывает культуру учебного труда, воспитывает волю.

Цель внеаудиторной самостоятельной работы;

- *закрепление знания и умения по темам и разделам дисциплины;*
- *расширение знания по отдельным темам;*
- *формирование умения самостоятельного изучения элементов дисциплины, пользование дополнительной и учебной литературой, интернетом;*
- *развитие самостоятельности, организованности, ответственности;*
- *работа над формированием общих и профессиональных компетенций, необходимых для работы в данной специальности.*

ПК 1.1 Осуществлять техническую эксплуатацию систем судовой радиосвязи и электрорадионавигации.

ПК 1.3 Обеспечивать работоспособность радиооборудования на судах.

ПК 1.5 Вести рабочую документацию по техническому обслуживанию и ремонту судового оборудования радиосвязи.

ПК 3.1 Диагностировать оборудование радиосвязи и средства электрорадионавигации судов при помощи контрольно-измерительных приборов.

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется в отдельных тетрадях в виде *конспекта*.

Критериями оценки результатов самостоятельной работы являются:

- уровень усвоения учебного материала;
- умение использовать теоретические знания при выполнении практических задач;
- обоснованность и чёткость изложения ответа.

МО-11 02 03-ОП.11.СР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА	С.4/25

Итоговая оценка по дисциплине выставляется с учётом результатов выполнения самостоятельной внеаудиторной работы.

На внеаудиторную самостоятельную работу по дисциплине ОП 08 «Радиопередающие устройства» специальности 11.02.03 «Эксплуатация оборудования радиосвязи и электрорадионавигации судов» отводится 14 часов, из которых 10 часов отведено внеурочной работе с конспектом, подготовке к выполнению и защите практических и лабораторных работ.

При самостоятельной работе с конспектом необходимо внимательно изучить изложенный в конспекте материал, найти, если было задано, этот материал в учебнике и прочитать его. Обратит внимание на более подробное, чем в конспекте, изложение, проверить точность изложения материала в конспекте. Изобразить схему (ы), если это предусмотрено заданием, и проанализировать её (их) работу.

При подготовке к выполнению практического задания или лабораторной работы необходимо самостоятельно изучить методические указания к выполнению работы, в тетради для выполнения практических работ подготовить требуемые рисунки, схемы, таблицы. Продумать ход работы и ожидаемый результат. При такой подготовке к работе учащийся сможет защитить её на уроке.

Цель тематического самостоятельного изучения предложенного материала:

- углубление и расширение теоретических знаний;
- развитие самостоятельности, организованности, ответственности.

При самостоятельном изучении материала рекомендуется изучить план работы, составить конспект, сделать выводы о применении изучаемой темы и устно ответить на предложенные для самопроверки вопросы. Самостоятельная работа выполняется курсантами в отдельных тетрадях и подлежит контролю.

Критериями оценки результатов самостоятельной работы являются:

- уровень усвоения учебного материала;
- умение использовать теоретические знания при выполнении практических задач в оборудовании;
- обоснованность и чёткость изложения ответа;
- оформление материала в соответствии с требованиями.

Контроль выполнения внеаудиторной самостоятельной работы осуществляется преподавателем на занятиях. Итоговая оценка по дисциплине выставляется с учетом результатов выполнения внеаудиторной самостоятельной работы.

МО-11 02 03-ОП.11.СР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА	С.5/25

Перечень самостоятельных работ

№ работы	Тема самостоятельной работы	Количество часов
1.	Самостоятельная работа: №1 Проработка конспектов занятий	2
2	Самостоятельная работа: №2 Проработка конспектов занятий. Подготовка к практической работе.	2
3.	Самостоятельная работа 3. Методы сложения мощности. Практическое применение сложения мощности.	2
4.	Самостоятельная работа 4 Усилители с распределенным усилением.	2
5.	Самостоятельная работа: №5. Проработка конспектов занятий. Подготовка к практическим и лабораторным работам.	3
6.	Самостоятельная работа: №6. Проработка конспектов занятий. Подготовка к практическим и лабораторным работам.	3
Итого		14

МО-11 02 03-ОП.11.СР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА	С.6/25

Самостоятельная работа: №1 Проработка конспектов занятий

Цель занятия: Повторение и закрепление темы 2.2

При самостоятельной работе с конспектом необходимо:

1. Внимательно изучить изложенный в конспекте материал, если этого недостаточно, повторить его по учебнику;
2. По памяти изобразить схемы базового смещения, проверить по конспекту правильность изображения.
3. По памяти изобразить схемы температурной стабилизации режима, проверить по конспекту правильность изображения
4. По памяти изобразить схемы питания коллектора, проверить по конспекту правильность изображения
5. По памяти изобразить аналогичные схемы на униполярных транзисторах, проверить по конспекту правильность изображения
6. Ответить на контрольные вопросы:
 - Какими свойствами характеризуются колебания I и II рода?
 - Как практически распознать колебания I и II рода?
 - Что такое угол отсечки?
 - Как определить напряжение режима усилителя по показаниям приборов, изменяющих $I_{к0}$ и $I_{б0}$?
 - Чем отличаются импульсы тока в различных режимах по напряженности?
 - Усилитель работает в критическом режиме. Как повлияет на напряженность режима, высоту импульса анодного тока и угол отсечки:
 - увеличение E_k , E_b , U_m , $R_{ое}$;
 - уменьшение E_k , E_b , U_m , $R_{ое}$?

Самостоятельная работа: №2 Проработка конспектов занятий. Подготовка к практической работе

Цель занятия: 1. Повторение и закрепление темы 2.2

1. Подготовка к практическим занятиям №№1,2
2. Подготовка к лабораторной работе №1

При самостоятельной работе с конспектом необходимо:

1. Внимательно изучить изложенный в конспекте материал, если этого недостаточно, повторить его по учебнику;
2. Ответить на вопросы:

МО-11 02 03-ОП.11.СР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА	С.7/25

- дать характеристику и область применения колебаний I рода;
- изобразить временные диаграммы колебаний I рода;
- дать характеристику и область применения колебаний II рода;
- дать оценку энергетическому балансу колебаний I и II рода;
- на временных диаграммах изобразить режимы классов АВ; В и С, временные диаграммы токов и напряжений в разных режимах. Область применения.
- объяснить зависимость напряженности режима от напряжения на электродах активного элемента и сопротивления нагрузки
- . объяснить влияние угла отсечки на мощность и коэффициент полезного действия усилителя;
- изобразить схему резонансного усилителя, показать на нем включение приборов для измерения токов и напряжений.

3. При подготовке к выполнению практического задания и лабораторной работы необходимо самостоятельно изучить методические указания к выполнению работы, в тетради для выполнения практических работ подготовить требуемые рисунки, схемы, таблицы. Продумать ход работы и ожидаемый результат

Раздел 3. Основы теории и расчет генераторов с самовозбуждением (автогенераторов)

Тема 3.2. Схемы автогенераторов, их анализ и расчет

Самостоятельная работа: №3. Методы сложения мощности 2 часа

Цель работы:

1. Повторение и закрепление темы 2.4 Усилительные каскады радиопередатчиков
2. Знакомство с методами сложения мощности. Изучение практического применения сложения мощности
3. Знакомство со схемами сложения мощности в судовой радиоаппаратуре.

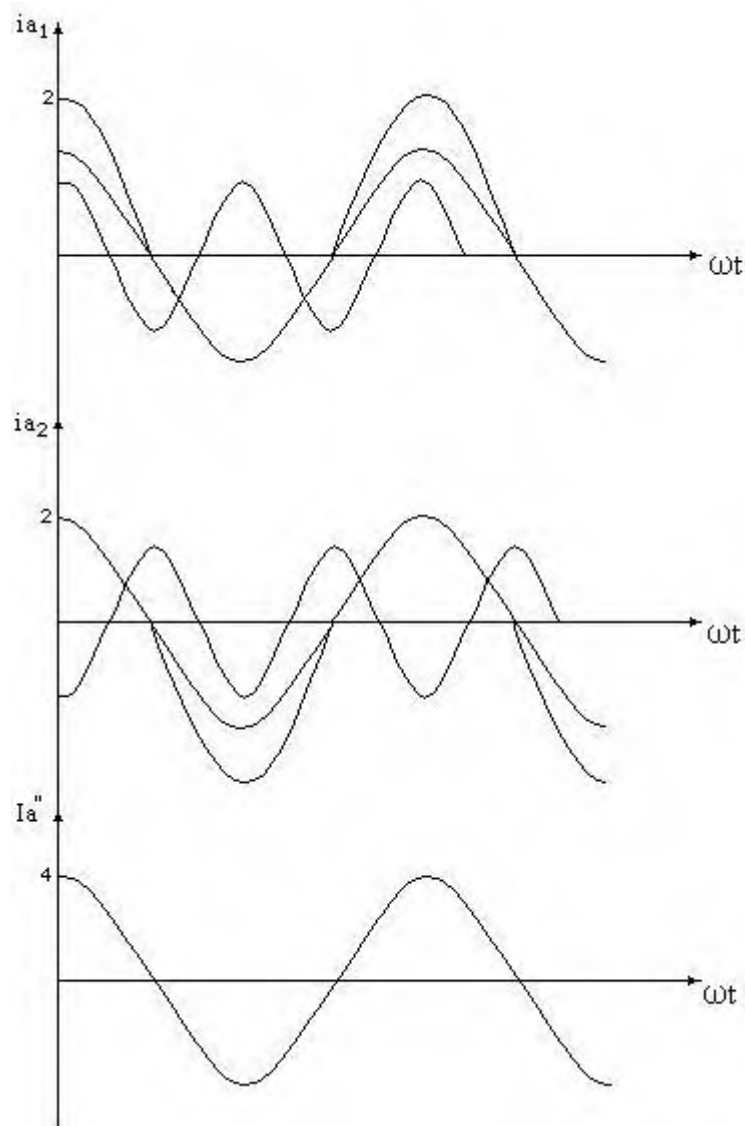
Выполнение работы:

1. Познакомиться с содержанием изучаемой темы.
2. В конспекте перечислить методы сложения мощности генераторов и радиопередатчиков, отметив их практическое применение.
3. Изучить схемы сложения мощности. В конспекте привести примеры схем сложения мощности в судовой радиоаппаратуре, объяснить принцип их работы.

4. Устно ответить на контрольные вопросы.

Содержание работы

В ряде случаев требуется строить генераторы и передатчики таких больших мощностей, которые не могут быть получены от одной или небольшого числа существующих типов ламп или транзисторов. Для этих целей применяется двухтактное включение активных элементов (АЭ). Двухтактная схема подразумевает последовательную работу усилительных приборов в течение одного периода.

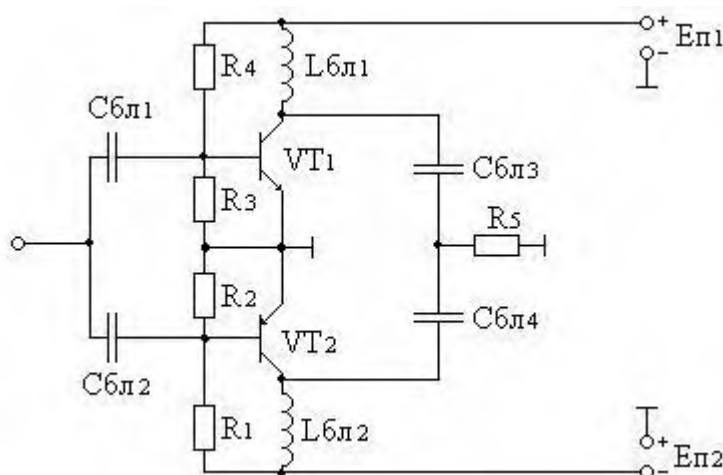


Выходные каскады, как и все каскады передатчика, работают в режиме колебаний второго рода. Ток через нагрузку протекает в течение одного полупериода от каждого усилительного прибора. Эти токи текут навстречу друг другу и представляют косинусоидальные импульсы, которые могут быть разложены в ряд Фурье на постоянную составляющую и сумму гармоник. Постоянная составляющая и все четные гармоники взаимоуничтожаются. Если выбрать режим класса В, для

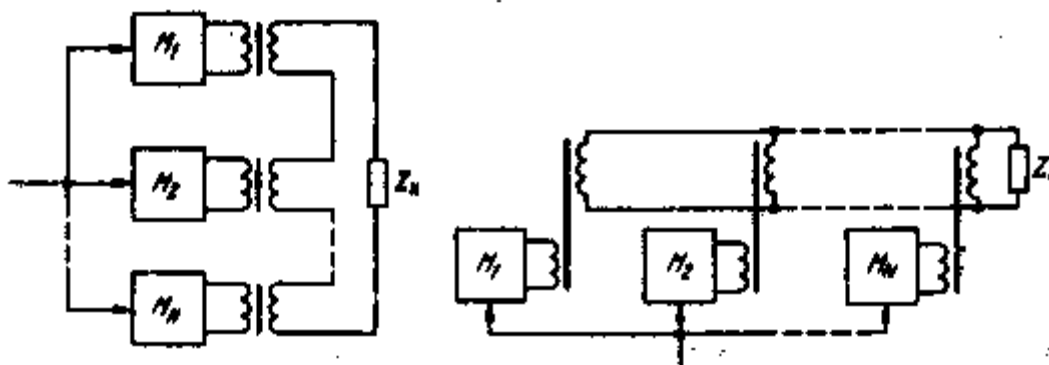
которого коэффициент Берга для третьей гармоники равен нулю, то на нагрузке выделится удвоенная первая гармоника.

В транзисторных схемах передатчиков в двухтактных схемах используются разнополярные транзисторы. Достоинство таких схем в том, что не требуется симметричного возбуждения каскадов как в ламповых схемах.

Симметричное возбуждение схемы усложняет ее. В то же время несимметричное возбуждение легче осуществить технически и оно дает возможность использовать в предыдущем каскаде однотактную схему. Симметричный выход требует применения двухпроводной линии для связи с антенной. При этом антенна должна иметь симметричный вход.



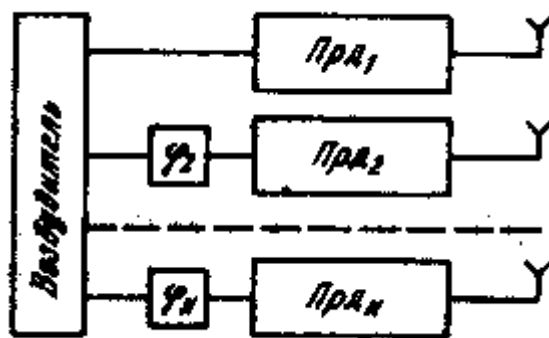
Можно осуществлять сложение мощностей нескольких ВЧ генераторов, выполненных в виде идентичных модулей и подключаемых параллельно либо последовательно с помощью широкодиапазонных трансформаторов или резонансных ЦС к общей нагрузке Z_n .



Однако при таком суммировании сохраняются недостатки параллельного и двухтактного включений ламп и транзисторов: требуются идентичность и синфазность работы отдельных генераторов, симметрия схемы, сохраняется взаимное влияние и, значит, резко снижается надежность работы всего устройства.

В частности, авария одном из генераторов или модулей (короткое замыкание или разрыв его выходных клемм) может привести к аварийному режиму работ всех остальных, поскольку нагрузка для них может стать близкой к нулю или холостому ходу. Поэтому такой способ сложения используется сравнительно редко, например при построении сверхмощных относительно низкочастотных транзисторных генераторов, в которых при работе транзисторов в ключевом режиме с высоким КПД обеспечивается высокая надежность, а разброс параметров транзисторов сводится к минимуму.

Сложение мощностей можно осуществлять в пространстве при работе двух или более автономных передатчиков на одной частоте от одного возбудителя на разные антенны. В этом случае происходит сложение электромагнитных полей, создаваемых антеннами. Для ослабления связи между передатчиками, точнее между их выходными каскадами через антенны, последние располагают на расстоянии не менее $3\lambda/4$ одна от другой. При этом антенны должны питаться синфазными токами. Если вводить некоторую разность фаз в токи, питающие антенны, то можно изменять (поворачивать) диаграмму излучения антенн. Введением специальных фазовращателей можно поворачивать диаграмму направленности излучения.



В диапазонах ДВ к СВ из-за больших геометрических размеров антенн ограничиваются сложением мощностей, как правило, не более двух передатчиков. В диапазоне КВ такой способ повышения излучаемой мощности и изменения диаграммы направленности используется широко. Например, четыре передатчика мощностью по 1 кВт при расстановке штыревых антенн на 5 м и соответствующем фазировании эквивалентны одному передатчику мощностью 16 кВт. На радиопередающих центрах внедрено в эксплуатацию пространственное сложение четырех передатчиков мощностью 250 кВт каждый.

МО-11 02 03-ОП.11.СР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА	С.11/25

В диапазоне сантиметровых волн, где геометрическая длина отдельных элементарных полуволновых вибраторов и расстояния между ними получаются небольшими, а ВЧ генераторы на полупроводниковых приборах при уровне мощности 1... 10 Вт имеют малые габаритные размеры, удается в небольшом объеме на малой площади установить до 100... 1000 отдельных ВЧ генераторов и антенн. Тем самым колебательная мощность повышается на два-три порядка при высокой надежности, поскольку выход из строя единиц и даже десятков отдельных ВЧ генераторов незначительно сказывается на работе такого передатчика и снижении его мощности. Введением соответствующей фазировки отдельных ВЧ генераторов формируется узкая, поворачивающаяся в широких пределах диаграмма направленности. Такие устройства принято называть фазированными антенными решетками.

В современных генераторных устройствах различных диапазонов волн широкое применение получил метод сложения мощности с помощью мостовых схем. В этом случае при суммировании мощностей двух и более генераторов обеспечивается их взаимная электрическая развязка. Каждый из генераторов работает независимо от других на оптимальную для него нагрузку, в то время как у остальных генераторов режим по ВЧ может меняться вплоть до короткого замыкания или холостого хода. Вследствие этого достигается высокая надежность передатчика. Даже в тех случаях, когда заданную мощность можно получить от одного ЭП, передатчик часто выполняют в виде нескольких менее мощных ВЧ генераторов или модулей с последующим суммированием их мощностей в мостовых схемах. При этом выход из строя М генераторов (аварийный) не нарушает работу остальных N - М и только уменьшает мощность передатчика. Снижение мощности с $P_{н\text{ ном}} = NP_i$ до

$$P_{н\text{ эк}} = \frac{(N-M)^2}{N} P_i, \text{ а не до } P_{н\text{ эк}} = (N-M)P_i$$

объясняется тем, что часть мощности оставшихся N - М генераторов

$$\frac{M(N-M)}{N} P_i$$

начинает выделяться в балластных сопротивлениях мостовой схемы.

По условиям эксплуатации обычно допускается некоторое кратко-временное снижение выходной мощности передатчика. Наиболее вероятен выход из строя одного из генераторов (М = 1), поэтому уменьшение мощности передатчика будет в

$$P_{н\text{ эк}}/P_{н\text{ ном}} = (N-1)^2/N^2$$

МО-11 02 03-ОП.11.СР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА	С.12/25

раз. Исходя из этих соображений можно определить необходимое число модулей N и мощность каждого из них:

$$P_{\text{мод}} = P_{\text{н ном}} / N.$$

Например, если допустима работа с понижением мощности до 50 %, то достаточно, чтобы передатчик содержал четыре модуля, поскольку $(4 - 1)^{2/42} = 0,56$. Часто УКВ ЧМ генератор строится в виде двух полукомплектов. При выходе одного из них мощность передатчика, должна была бы снизиться в 4 раза $[(2 - 1)^{2/22} = 0,25]$. Однако предусматривается схема обхода моста, поэтому мощность в нагрузке снижается всего в 2 раза. Одновременно обход моста позволяет устанавливать его балластное сопротивление на рассеиваемую мощность, существенно меньшую $0,25 P_{\text{н ном}}$.

Принцип работы и свойства мостовой схемы рассмотрим на примере суммирования мощностей двух идентичных синфазных генераторов Г1, и Г2. Классическая мостовая схема, содержит четыре резистивных нагрузочных сопротивления.

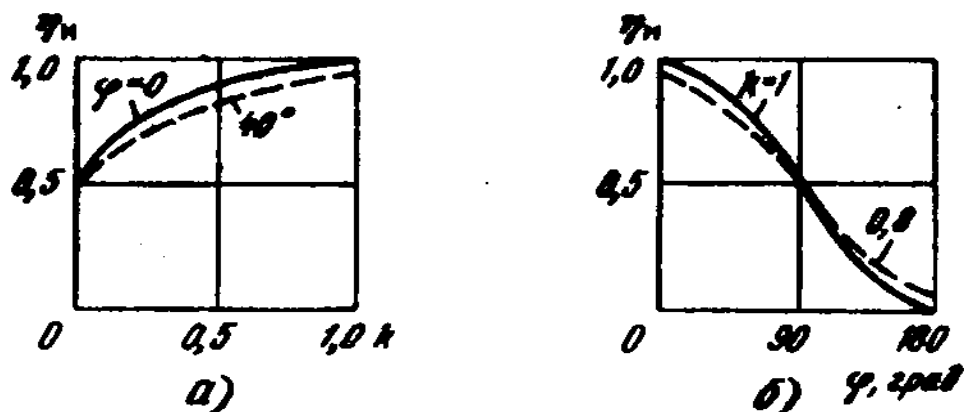
При выполнении условия баланса моста, т. е. напряжение от одного из генераторов не поступает на выход другого, и генераторы работают независимо друг от друга. При равенстве $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ генераторы нагружены на сопротивления $Z_{BX1} = R$ и $Z_{BX2} = R$. Токи обоих генераторов суммируются в двух нагрузочных сопротивлениях $R_H = R$ и вычитаются в двух балластных сопротивлениях $R_B = R$. В результате мощности, выделяющиеся в нагрузочных и балластных резисторах, соответственно равны:

$$P_n = 0,5 I_1^2 + I_2^2 R_n \text{ и } P_б = 0,5 I_1^2 - I_2^2 R_б.$$

В общем случае, когда КПД моста, равный отношению мощности в нагрузке к суммарной мощности, определяется отношением

$$\eta_m = P_n / (P_n + P_б) = (1 + k^2 + 2k \cos \varphi) / 2(1 + k^2),$$

где φ — фазовый сдвиг между токами двух генераторов. На основании этого соотношения, справедливого и для других рассмотренных ниже мостовых схем, построены графики зависимости КПД от k и φ соответственно.

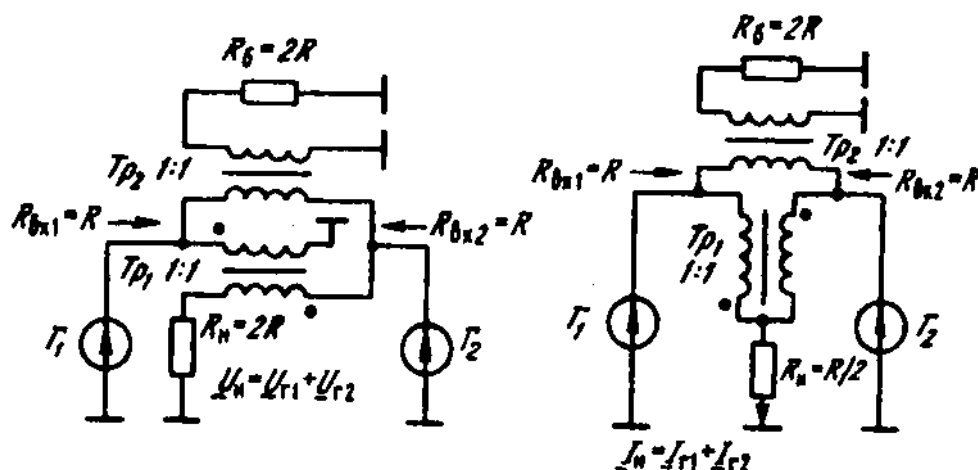


Видно, что КПД мостовой схемы остается высоким даже в том случае, когда токи неточно равны по амплитуде и неточно синфазны. Если амплитуды различаются не более чем на 20 %, а сдвиг фаз не превышает 40%, КПД снижается до 0,87, т. е. только 13 % суммарной мощности теряется на сопротивлении R_B .

Отметим, что при $\varphi = 180^\circ$ — противофазной работе двух генераторов — сопротивления R_H и R_B меняются «ролями».

Наихудшим случаем является отключение одного из генераторов, что приводит к уменьшению КПД до 0,5, а мощности в нагрузке в 4раза, так как половина мощности второго работающего генератора выделится в балластном резисторе. Поэтому при выключении одного из генераторов целесообразно, особенно в мощных устройствах, переключить второй работающий генератор с моста сложения непосредственно на нагрузку, с тем чтобы избежать потери мощности в балластном резисторе. Обычно это делается автоматически с помощью системы обхода моста.

Для практического применения рассмотренная схема оказывается непригодной, поскольку, во-первых, содержит по два нагрузочных и балластных резистора и, во-вторых, даже при соединении с корпусом одной из точек схемы оказываются не соединенными с корпусом один из генераторов и по одному из нагрузочных и балластных резисторов. Включением дополнительных трансформаторов, осуществляющих переход от симметричной к несимметричной нагрузке, можно соединить с корпусом второй генератор и вторые нагрузочный и балластный резисторы. Одновременно можно объединить в один нагрузочный и один балластный резисторы. При этом возможно большое многообразие вариантов построения мостовых схем.



Можно осуществлять сложение мощностей нескольких ВЧ генераторов, выполненных в виде идентичных модулей и подключаемых параллельно либо последовательно с помощью широкодиапазонных трансформаторов или резонансных ЦС к общей нагрузке Z_n .

Однако при таком суммировании сохраняются недостатки параллельного и двухтактного включений ламп и транзисторов: требуются идентичность и синфазность работы отдельных генераторов, симметрия схемы, сохраняется взаимное влияние и, значит, резко снижается надежность работы всего устройства. В частности, авария одним из генераторов или модулей (короткое замыкание или разрыв его выходных клемм) может привести к аварийному режиму работ всех остальных, поскольку нагрузка для них может стать близкой к нулю или холостому ходу. Поэтому такой способ сложения используется сравнительно редко, например при построении сверхмощных относительно низкочастотных транзисторных генераторов, в которых при работе транзисторов в ключевом режиме с высоким КПД обеспечивается высокая надежность, а разброс параметров транзисторов сводится к минимуму.

Сложение мощностей можно осуществлять в пространстве при работе двух или более автономных передатчиков на одной частоте от одного возбудителя на разные антенны. В этом случае происходит сложение электромагнитных полей, создаваемых антеннами. Для ослабления связи между передатчиками, точнее между их выходными каскадами через антенны, последние располагают на расстоянии не менее $3\lambda/4$ одна от другой. При этом антенны должны питаться синфазными токами. Если вводить некоторую разность фаз в токи, питающие антенны, то можно изменять (поворачивать) диаграмму излучения антенн.

МО-11 02 03-ОП.11.СР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА	С.15/25

Введением специальных фазовращателей можно поворачивать диаграмму направленности излучения.

В диапазонах ДВ к СВ из-за больших геометрических размеров антенн ограничиваются сложением мощностей, как правило, не более двух передатчиков. В диапазоне КВ такой способ повышения излучаемой мощности и изменения диаграммы направленности используется широко. Например, четыре передатчика мощностью по 1 кВт при расстановке штыревых антенн на 5 м и соответствующем фазировании эквивалентны одному передатчику мощностью 16 кВт. На радиопередающих центрах внедрено в эксплуатацию пространственное сложение четырех передатчиков мощностью 250 кВт каждый.

В диапазоне сантиметровых волн, где геометрическая длина отдельных элементарных полуволновых вибраторов и расстояния между ними получаются небольшими, а ВЧ генераторы на полупроводниковых приборах при уровне мощности 1... 10 Вт имеют малые габаритные размеры, удастся в небольшом объеме на малой площади установить до 100... 1000 отдельных ВЧ генераторов и антенн. Тем самым колебательная мощность повышается на два-три порядка при высокой надежности, поскольку выход из строя единиц и даже десятков отдельных ВЧ генераторов незначительно сказывается на работе такого передатчика и снижении его мощности. Введением соответствующей фазировки отдельных ВЧ генераторов формируется узкая, поворачивающаяся в широких пределах диаграмма направленности. Такие устройства принято называть фазированными антенными решетками.

Контрольные вопросы

1. Перечислите способы суммирования мощностей однотипных генераторов.
2. Каким требованиям должен отвечать сумматор мощностей сигналов?
3. Нарисуйте схему по суммированию мощностей четырех генераторов с помощью мостовых устройств.
4. Что представляет собой фазированная антенная решетка (ФАР)? Почему с ее помощью можно суммировать в пространстве мощности генераторов?
5. Какие из рассмотренных схем нашли применение в судовых радиопередатчиках?

Литература.

1. В.И.Каганов «Радиопередающие устройства» М.2002г.

МО-11 02 03-ОП.11.СР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА	С.16/25

2. Синхронизация и сложение мощностей излучения активных антенн на полевых транзисторах в свч-диапазоне © 2010 г. В. И. Калинин, В. Д. Котов, В. Е. Любченко, Е. О. Юневич

3. Радиотехника и электроника, 2010, том 55, № 8, с. 995-998

4. Любченко В.Е. // Радиотехника. 2002. № 2. С. 16.

5. И.И.Гавриленко «Радиопередающие устройства»

Самостоятельная работа: №4. Усилители с распределенным усилением – 2 часа

Цель работы:

1. Повторение и закрепление темы 2.4 Усилительные каскады радиопередатчиков

2. Знакомство со схемами широкополосных усилителей с распределённым усилением.

Выполнение работы:

1. Познакомиться с содержанием изучаемой темы.

2. Рассмотреть работу схем УРУ. Обратит внимание на состав звеньев длинных линий, включение согласующего и балластного резисторов, сопротивления нагрузки, обеспечивающих режим бегущей волны.

3. Обратит внимание на волновые процессы в длинных линиях.

4. Составить отчёт:

Отчёт должен содержать письменные ответы на контрольные вопросы.

Содержание работы

Наиболее простым широкополосным усилителем является резисторный, однако его полоса пропускания ограничивается действием паразитных ёмкостей (междуэлектродных, ламп и транзисторов, и монтажных), шунтирующих нагрузку. Для расширения полос частот надо уменьшить шунтирующее действие ёмкостей путём уменьшения сопротивления нагрузки, но это приведёт к уменьшению коэффициента усиления. Применение в усилителе обратной связи, различных цепей коррекции и усилительных элементов (УЭ) с повышенным коэффициентом качества может увеличить коэффициент усиления. Однако при достаточно широкой полосе пропускания коэффициент усиления одного каскада усилителя неизбежно оказывается близким к единице. При этом каскадный принцип построения широкополосных усилителей, когда коэффициент усиления всего усилителя

определяется произведением коэффициентов усиления входящих в него каскадов, становится неэффективным.

В связи с этим возникла идея такого соединения выходных цепей ламп или транзисторов многолампового (многотранзисторного) каскада, при котором крутизны отдельных ламп (транзисторов) складывались бы без сложения их входных и выходных ёмкостей. Эта идея увеличения коэффициента усиления усилителя при широкой полосе частот нашла воплощение в усилителях с распределённым усилением (УРУ), в схемах которых, вместо колебательных систем, включенных между входными и выходными электродами усилительных элементов (УЭ), включены длинные линии. В длинных линиях устанавливается режим бегущей волны.

Включение усилительных приборов (ламп или транзисторов) рассредоточено по длине линии с таким расчётом, чтобы фазовые сдвиги (задержки) обеспечили синфазное суммирование прямых волн от отдельных УЭ в нагрузке.

Рассмотрим устройство и принцип действия УРУ (рис. 1.1). Управляющие сетки и аноды идентичных электронных ламп, число которых равно n , подключены соответственно к входной и выходной однородным передающим линиям, состоящим из фильтров нижних частот (ФНЧ) типа k с постоянными распространения $\gamma_{1,2} = \alpha_{1,2} + j\beta_{1,2}$, где $\alpha_{1,2}$ - собственное затухание, $\beta_{1,2}$ - фазовые постоянные фильтров входной и выходной ПЛ. В состав ёмкостей $C_{1,2}$ входят межэлектродные ёмкости ламп. Внутреннее сопротивление источника э. д. с. R_1 нагрузочное сопротивление R_4 и балластные сопротивления $R_{2,3}$ согласованы с волновыми сопротивлениями линий, что обеспечивает в них режим бегущей волны. Конденсаторы C_p и C_6 выполняют роль соответствующих разделительных и блокировочных элементов.

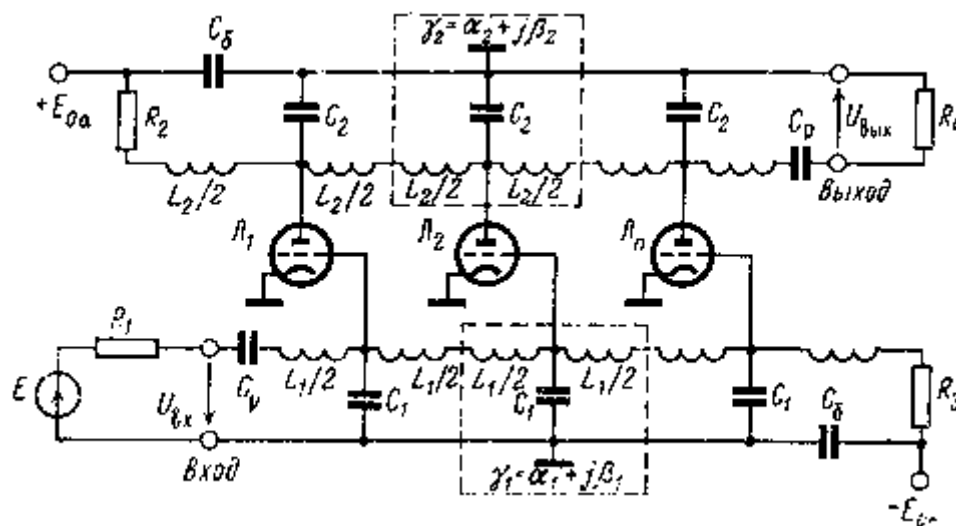


Рис. 1.1. Принципиальная схема каскада УРУ на триодах по схеме с общим катодом

Если $\alpha_{1,2}$ пренебрежимо малы, то комплексные амплитуды напряжений на сетке и аноде k -й лампы, а также на выходе каскада от действия k -й лампы равны

$$U_{gk} = 0,5E \exp\{-j[0,5\beta_1 + (k-1)\beta_1]\}, \quad k = 1, 2, \dots, n,$$

$$U_{ak} = -0,5s\omega_2 U_{gk},$$

$$U_{выхk} = \exp\{-j[\beta_2/2 + (n-k)\beta_2]\} U_{ak},$$

где s - крутизна характеристики ламп; ω_2 - характеристическое сопротивление фильтров выходной линии.

Напряжение на выходе каскада от действия всех ламп представляет собой сумму

$$U_{вых} = \sum_{k=1}^n U_{выхk}.$$

Из приведенных соотношений видно, что при одинаковых фазовых постоянных β_1 и β_2 в диапазоне частот ($\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$) амплитуды напряжений $U_{выхk}$, не зависят от номера рассматриваемой лампы:

$$U_{выхk} = -0,5s\omega_2 e^{-jn\beta} E/2,$$

и, следовательно, коэффициент усиления каскада прямо пропорционален коэффициенту усиления одной лампы и их числу

$$K_E = 2U_{вых}/E = -0,5s\omega_2 n e^{-jn\beta}.$$

Напряжение на балластной нагрузке R_2 представляет собой сумму комплексных амплитуд напряжений с различными фазами. При полном Согласовании это напряжение не влияет на работу каскада УРУ.

Таким образом, каскад усилителя с распределенным усилением реализует сложение коэффициентов усиления отдельных усилительных элементов без сложения межэлектродных емкостей, что и обеспечивает увеличение коэффициента усиления при сохранении полосы пропускания. Полоса пропускания каскада определяется частотой среза ФНЧ, обратно пропорциональной волновым сопротивлениям и емкостям $C_{1,2}$.

Несмотря на большое разнообразие схем УРУ можно построить обобщенную структурную схему каскада (рис. 1.2). Он состоит из цепочечного соединения основных и согласующих секций. Основная секция представляет собой

усилительный элемент с примыкающими к нему фильтрами передающих линий. Согласующие секции состоят из двух четырехполюсников, обеспечивающих согласование ПЛ с нагрузочными сопротивлениями $Z_{1,4}$. При достаточно хорошем согласовании фильтров с нагрузками согласующие секции могут отсутствовать.

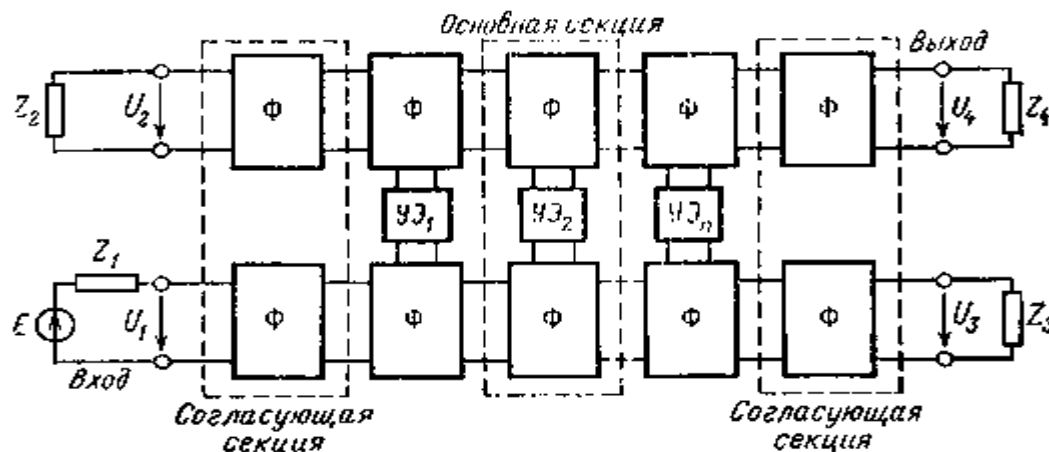


Рис. 1.2. Обобщенная структурная схема каскада УРУ

В зависимости от способа включения усилительных элементов в передающие линии секция может иметь ту или иную структуру. Различают параллельное, последовательное, последовательно-параллельное и параллельно-последовательное включение усилительных элементов в передающие линии (рис. 1.3). В зависимости от способа включения УЭ в передающие линии при его описании удобно пользоваться различными параметрами четырехполюсника: y – в параллельной схеме включения, z – в последовательной, h – в последовательно-параллельной, g – в параллельно-последовательной. Поэтому указанные схемы секций УРУ получили название соответственно y , z , h , g -структур [4].

Структура « y » является классической и используется при описании усилительных элементов с большими входным и выходным сопротивлениями, например, электронных ламп в схеме с общим катодом (рис. 1.1) или на транзисторах с составными УЭ по каскодной схеме общий эмиттер - общая база с противосвязью в эмиттере (рис. 1.4). Структура « h » может быть выполнена на транзисторах по схеме с общей базой с применением симметрирующих устройств, обеспечивающих последовательное включение УЭ во входную передающую линию. На рис. 1.5 показана одна из возможных схем структуры « h ». На принципиальную возможность построения усилителей с распределенным усилением по схемам структур « z » и « g » указано в работе [4]. Там же вводится классификация всех структур.

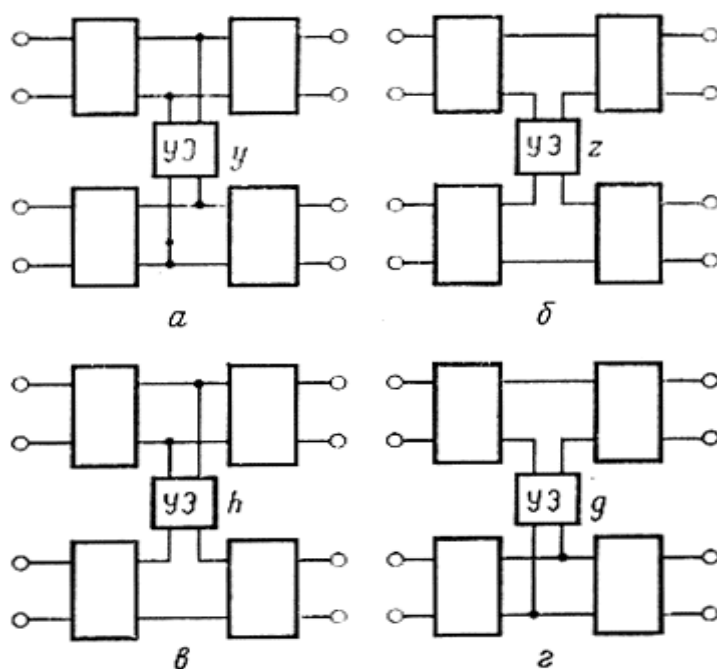


Рис. 1.3. Структурные схемы основной секции с различным включением УЭ в передающие линии: а) параллельным; б) последовательным; в) последовательно-параллельным; г) параллельно-последовательным

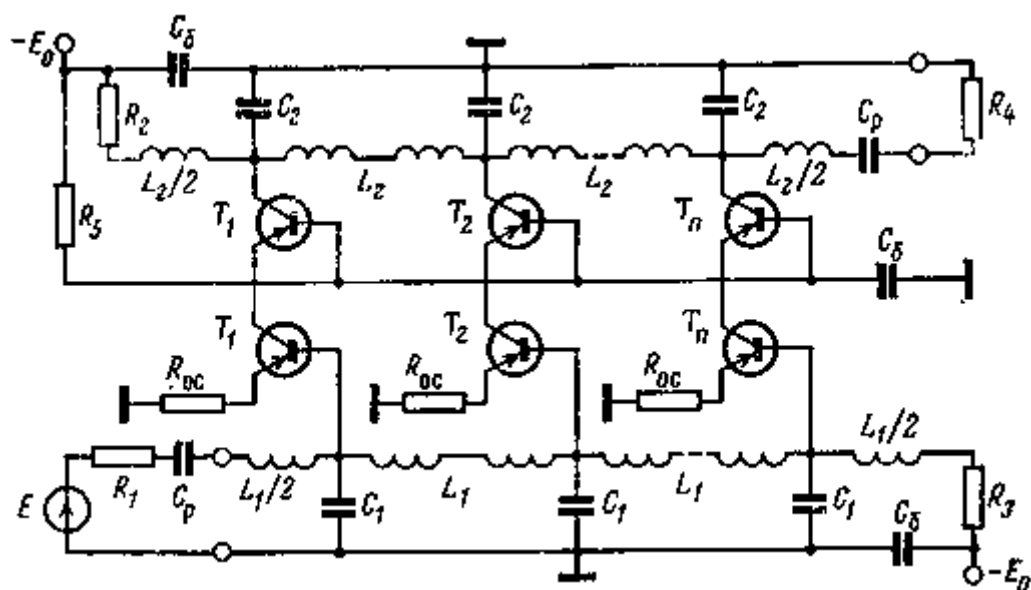


Рис. 1.4. Принципиальная схема каскада УРУ структуры у на транзисторах по каскодной схеме ОЭ-ОБ

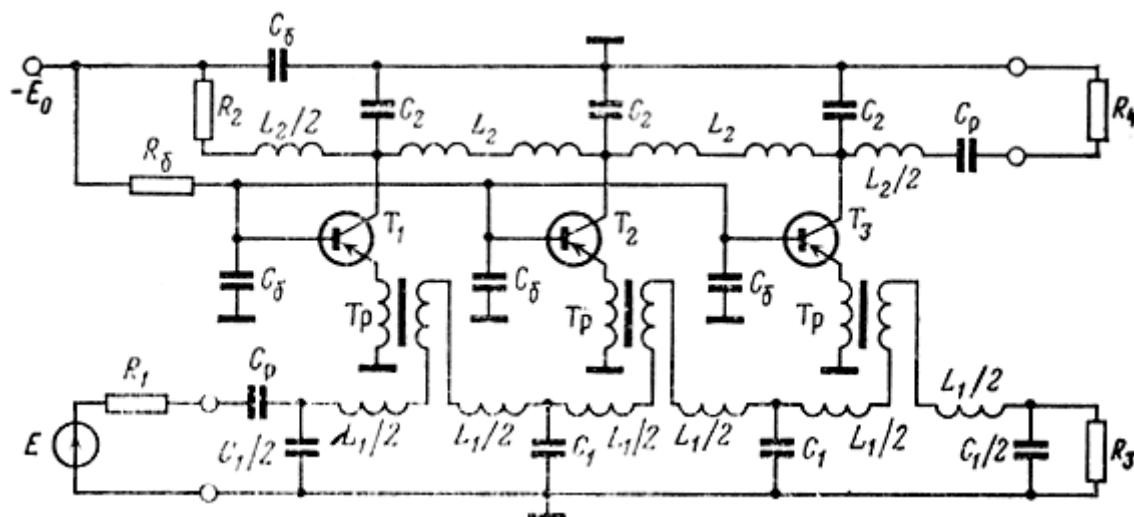


Рис. 1.5. Принципиальная схема каскада УРУ структуры h на транзисторах по схеме с ОБ

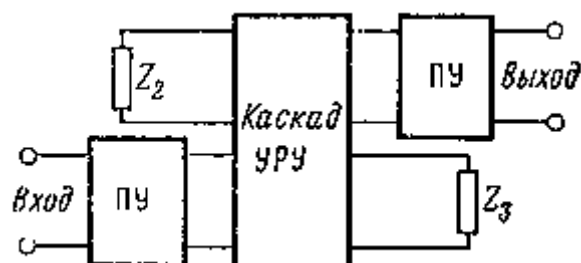


Рис. 1.6. Структурная схема ступени УРУ

На входе и выходе каскада УРУ для увеличения коэффициента усиления и обеспечения согласования могут быть включены устройства, называемые переходными (рис. 1.6). Обратимые переходные устройства (ПУ)

представляют собой пассивные трансформаторы сопротивлений. Необратимые-дополнительно содержат электронные лампы или транзисторы для обеспечения коэффициента передачи всего ПУ не менее единицы. Совокупность переходных устройств и каскада УРУ называется ступенью. При отсутствии ПУ ступень не отличается от каскада. Цепочечное соединение ступеней или каскадов, необходимое для достижения заданного коэффициента усиления, представляет собой многокаскадный УРУ.

В зависимости от диапазона применяемых фильтров УРУ подразделяются на УРУ нижних частот и полосовые УРУ. В передающих линиях первых используются ФНЧ типа k и m [8, 9] и фильтры, построенные на отрезках длинных линий [10, 11]. В полосовых УРУ могут применяться весьма разнообразные полосовые фильтры. Наибольшее распространение получили трехэлементные и четырехэлементные (типа k) полосовые фильтры [12, 13]. Каскад УРУ может состоять из одинаковых и

МО-11 02 03-ОП.11.СР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА	С.22/25

неодинаковых секций. В первом случае усилитель носит название однородного, во втором - неоднородного. Для мощных усилителей с распределенным усилением предпочтительна неоднородная схема, так как в этом случае улучшаются их энергетические показатели [14]. Маломощные широкополосные УРУ гармонических сигналов обычно строятся по однородной схеме.

Разделение усилителей с распределенным усилением на мощные и маломощные обусловлено различием областей применения, а, следовательно, выдвиганием на первый план различных комплексов технических показателей. Для маломощных УРУ, применяемых в приемной измерительной, связной радиоэлектронной аппаратуре, наиболее важными являются такие показатели, как полоса пропускания, рабочий коэффициент усиления напряжения и его неравномерность в диапазоне частот, коэффициент шума, динамический диапазон. Используемые методы анализа и схемные решения направлены на улучшение этих показателей. Использование мощных УРУ, например, в широкодиапазонных радиопередатчиках, кроме обеспечения таких показателей, как полоса пропускания, неравномерность коэффициента усиления, динамический диапазон, требует решения весьма важной специфической задачи повышения энергетической эффективности усилителя, характеризуемой энергетическими показателями: к. п. д., коэффициентом использования по мощности усилительных приборов, коэффициентом усиления мощности, мощностью выходного сигнала. Стремление получить высокие энергетические показатели существенно отражается на схемах УРУ и методике их расчета [14].

Усилители с распределенным усилением также могут быть подразделены на усилители гармонических сигналов и импульсные. Первые применяются для усиления сигналов, ширина спектра которых меньше полосы пропускания УРУ, и анализируются в установившемся режиме. Вторые применяются для усиления импульсов с весьма малыми длительностями фронтов. Анализ таких усилителей целесообразно проводить в переходном режиме [15, 16]. В настоящей работе рассматриваются маломощные широкополосные однородные УРУ гармонических сигналов на электронных лампах и транзисторах.

Контрольные вопросы.

1. Назначение усилителей с распределенным усилением?
2. Почему усилители с резистивной нагрузкой обладают наибольшей шириной полосы?

МО-11 02 03-ОП.11.СР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА	С.23/25

3. Что ограничивает ширину полосы пропускания широкополосного усилителя?

4. Как связаны коэффициент усиления усилителя с шириной полосы пропускания?

5. Когда в качестве усилителя используются схемы УРУ?

6. По каким признакам классифицируются схемы УРУ?

7. В чём назначение переходных устройств на входах и выходах схем УРУ?

8. Из каких участков состоят длинные линии в схемах УРУ?

9. Как в длинных линиях УРУ создаётся режим бегущей волны?

10. В чем преимущества и недостатки схем УРУ по сравнению с другими схемами?

Литература.

3. В.И.Каганов «Радиопередающие устройства» М.2002г.

4. И.И.Гавриленко «Радиопередающие устройства» М 2010г.

Самостоятельные работы по проработке конспектов занятий

Раздел 2. Основы теории и расчет генераторов с внешним возбуждением (ГВВ)

Тема 2.2. Схемы питания основных цепей усилителя

Самостоятельная работа: №5. Проработка конспектов занятий. Подготовка к практическим и лабораторным работам

Цель занятия: Повторение и закрепление темы 3.2

При самостоятельной работе с конспектом необходимо:

1. Внимательно изучить изложенный в конспекте материал, если этого недостаточно, повторить его по учебнику;

2. Ответить на вопросы:

- назвать условия самовозбуждения автогенератора;

- как определить частоту генерации автогенератора?

- описать физические процессы при самовозбуждении генератора;

- назвать режимы самовозбуждения генератора, дать им оценку, практическое применение;

3. При подготовке к выполнению практического задания и лабораторной работы необходимо самостоятельно изучить методические указания к выполнению

МО-11 02 03-ОП.11.СР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА	С.24/25

работы, в тетради для выполнения практических работ подготовить требуемые рисунки, схемы, таблицы. Продумать ход работы и ожидаемый результат.

Самостоятельная работа: №6. Проработка конспектов занятий. Подготовка к практическим и лабораторным работам

Цель занятия: Повторение и закрепление темы 3.3

1. Внимательно изучить изложенный в конспекте материал, если этого недостаточно, повторить его по учебнику;

2. Ответить на вопросы:

- что такое стабильность частоты? Как она оценивается? В каких единицах измеряется?

- назовите дестабилизирующие факторы;

- дайте понятие способам стабилизации частоты (параметрический и кварцевый);

- изобразите одну из схем автогенераторов с элементами параметрической стабилизации частоты (на выбор), объясните работу;

- дайте понятие кварцевой стабилизации частоты генератора;

- изобразите одну из схем кварцевых автогенераторов (на выбор), объясните работу;

- объясните назначение и принцип построения схем опорных генераторов.

Литература и методические пособия

Виды источников	Наименование рекомендуемых учебных изданий
Основные	Радиопередающие устройства в системах радиосвязи : учебное пособие / Ю. Т. Зырянов [и др.]. - 5-е изд. - Санкт-Петербург : Лань, 2021.
Дополнительные , в т.ч. курс лекций по учебной дисциплине, методические пособия и рекомендации для выполнения практических занятий и самостоятельных работ	Каганов В.И. Радиопередающие устройства. – М.:ИРПО: Издательский центр «Академия», 2002
	Радиопередающие устройства. Учебник. Л. Клягин, В. Козырев 2010
	Ельцов А.К. Радиопередающие устройства. Лекции. 2010
	Рамлау П.Н. Радиопередающие устройства. Лекции. 2012
Электронные образовательные ресурсы	Шахгильдян В.В. Радиопередающие устройства. 2003г,
	ЭБС «Book.ru», https://www.book.ru
	ЭБС « ЮРАЙТ» https://www.biblio-online.ru
	ЭБС «Академия», https://www.academia-moscow.ru Издательство «Лань», https://e.lanbook.com Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн», https://www.biblioclub.ru
Периодические издания	Журнал «Радио»; Журнал «Эксплуатация морского транспорта»; Журнал «Морские вести России»;

МО-11 02 03-ОП.11.СР	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА	С.25/25

	Журнал «Морской Флот»; Журнал «Стандарты и качество». Научно-технический сборник российского морского регистра судоходства.
--	--