**5. Управление ВЧ колебаниями. Амплитудная модуляция, основные соотношения, полоса занимаемых частот.**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Процесс изменения какого-либо из параметров ВЧ колебания по закону передаваемого сообщения называется модуляцией. |  |  |
|  |  |
|  |

Основные соотношения при АМ. В общем случае сам модулирующий сигнал (передаваемое сообщение) является случайной функцией и может иметь чрезвычайно широкий спектр:

|  |
| --- |
| . |

В большинстве практических случаев модулирующее сообщение приближенно может быть представлено в виде конечной суммы отдельных гармонических колебаний со случайными амплитудами и фазами:

|  |  |
| --- | --- |
| , | . |

При модуляции гармоническим сигналом:

|  |  |
| --- | --- |
| , | . |

где  глубина модуляции.

|  |
| --- |
| . |

При модуляции чисто гармоническим сигналом спектр содержит 3 составляющие.

|  |  |
| --- | --- |
|  | Симметрия спектра приводит к тому, что обе составляющие несут одну и ту же информацию о передаваемом сообщении. С точки зрения передаваемой информации наличие  и одной из  является излишним. |
|  | Такой вид модуляции имеет место, когда передается одна из составляющих  - однополосная модуляция.  Полоса занимаемых частот спектром АМ колебаний равна , т.е. в 2 раза больше верхней частоты спектра модулирующего колебания. Энергетически АМ не выгодна. |

В АМ различают максимальную, минимальную и усредненную за период модулирующего колебания мощности.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| , | | мощность несущего колебания.  может превосходить  в 4 раза. | |
| ; | . | | мощность боковой составляющей. |

**6. Методы получения АМ колебаний. Модуляция смещением (схемы, достоинства, недостатки).**

АМ можно осуществлять двумя методами:

• получение АМ-колебаний путем изменения параметров колебательной системы или линии передачи ВЧ тракта;

• получение АМ-колебаний путем изменения напряжения на электродах АЭ.

На начальных этапах использовался первый способ. Он используется и по сегодняшнее в СВЧ-диапазоне. В НЧ области используется второй способ. В СВЧ диапазоне получить чистую АМ вторым способом невозможно.

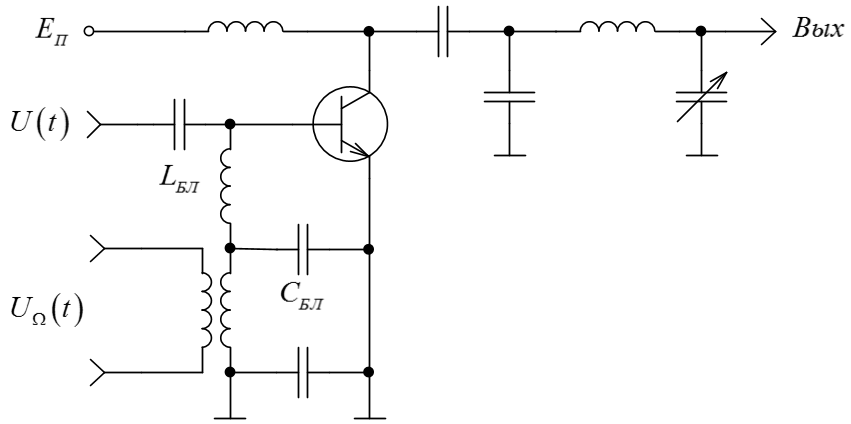
Судить о качестве модуляции можно по статическим либо динамическим модуляционным характеристикам.

|  |  |
| --- | --- |
| (СМХ) – зависимость какого-либо из выходных параметров от изменяемого в цепи модуляции напряжения: . СМХ снимаются в отсутствие модулирующего колебания. |  |
| ДМХ бывают двух видов: |  |

Базовая или сеточная модуляция (модуляция смещением) осуществляется изменением напряжения смещения на управляющем электроде АЭ в соответствии с передаваемым сообщением. СМХ будет иметь вид, аналогичный проходной характеристике АЭ. При БМ режим работы АЭ – недонапряженный.

|  |  |
| --- | --- |
| . | |
| *Недостатки:*   * низкий КПД (АЭ в НР); * глубина модуляции ; * изменение угла отсечки.   *Достоинства:*   * малый уровень мощности источника модулирующего сигнала.   Режим усиления АМ колебаний соответствует режиму модуляции смещением.  *Вывод*: осуществлять АМ следует в оконечных каскадах, чтобы избежать режима усиления. |  |

Схема базового модулятора:



**7. Методы получения АМ колебаний. Коллекторная модуляция (схема, достоинства, недостатки).**

АМ можно осуществлять двумя методами:

• получение АМ-колебаний путем изменения параметров колебательной системы или линии передачи ВЧ тракта;

• получение АМ-колебаний путем изменения напряжения на электродах АЭ.

На начальных этапах использовался первый способ. Он используется и по сегодняшнее в СВЧ-диапазоне. В НЧ области используется второй способ. В СВЧ диапазоне получить чистую АМ вторым способом невозможно.

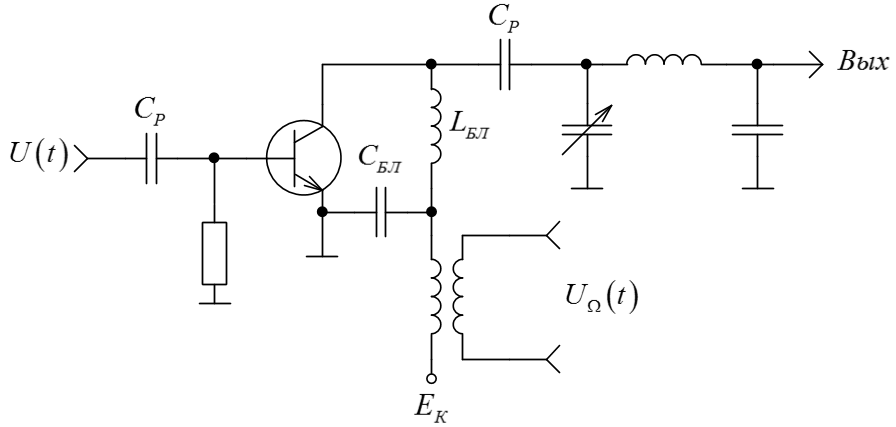
Судить о качестве модуляции можно по статическим либо динамическим модуляционным характеристикам.

|  |  |
| --- | --- |
| (СМХ) – зависимость какого-либо из выходных параметров от изменяемого в цепи модуляции напряжения: . СМХ снимаются в отсутствие модулирующего колебания. |  |
| ДМХ бывают двух видов: |  |

Коллекторная модуляция.

|  |  |
| --- | --- |
| . | |
| Режим работы АЭ – перенапряженный. Глубина модуляции может достигать 1 при допустимых нелинейных искажениях.  *Недостатки:*   * большой уровень мощности модулирующего сигнала, соизмеримый с мощностью ВЧ-колебания..   *Достоинства:*   * высокий КПД; * малые НИ. |  |

Схема коллекторного модулятора:



**8. Однополосная модуляция. Энергетический выигрыш ОМ.**

Преимущества ОМ. Узкая полоса – большее количество радиоканалов. Энергетический выигрыш (за счет лучшего использования АЭ – порядка 4 раз), за счет уменьшения полосы пропускания приемника в 2 раза, улучшение отношения сигнал/шум на входе приемника в 2 раза по мощности либо в  по напряжению. Для передатчиков КВ диапазона из-за особенностей распространения радиоволн энергетический выигрыш будет еще больше. Таким образом, суммарный энергетический выигрыш ОМ перед АМ в 10 – 16 раз выше.

В приемнике для выделения полезной информации необходимо восстановить подавленные несущие колебания передатчика. Обычно это делается при помощи местного гетеродина приемника. Однако частота несущего колебания передатчика и частота местного гетеродина приемника должны соответствовать друг другу. Расхождение несущих в телефонии не должно превышать 10 Гц, а в радиовещании 1-2 Гц. Удовлетворить требование можно двумя способами:

1) несущая передатчика подавляется не полностью, остаток ее составляет (10-15)% от номинального значения и служит опорным сигналом, по которому подстраивается частота гетеродина приемника.

2) высокая стабильность несущей частоты обеспечивается как у ЗГ передатчика, так и у гетеродина приемника.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| МГц; | Гц; | . |

Такую нестабильность частоты могут обеспечивать кварцевые генераторы с термостабилизацией.

Недостатками ОМ являются:

* необходимость высокой стабилизации частоты ЗГ передатчика и местного гетеродина приемника;
* жесткие требования линейности СМХ, что важно в многоканальных системах связи;
* усложнение схема как РПдУ, так и РПрУ.

ОМ в настоящее время широко применяется в различных системах (в том числе и многоканальных) для передачи телефонной, телеграфной и факсимильной информации. Проводятся исследования возможности использования ОМ для телефонного вещания в средневолновом диапазоне.

**9. Методы формирования однополосных сигналов.**

РПдУ с ОМ строятся по многокаскадным схемам, при этом сигнал формируется в маломощном возбудителе, а потом усиливается до требуемого уровня в каскадах с  для уменьшения НИ.

|  |  |
| --- | --- |
|  | Простой и очевидный способ формирования ОМ путем выделения нужной боковой полосы частот фильтрами практически не используется, т.к. требуемую крутизну спада АЧХ трудно обеспечить даже при использовании кварцевых фильтров на частотах свыше (0,5…1) МГц. |

Поэтому одним из реально используемых методов является фильтровой метод с повторной БМ. В основу метода повторной БМ положен принцип постепенного увеличения разности между верхней и нижней боковыми составляющими, что при исключении несущего колебания БМ существенно упрощает задачу фильтрации.

Структурная схема возбудителя с ОМ, построенного по фильтровому методу с повторной БМ, имеет вид

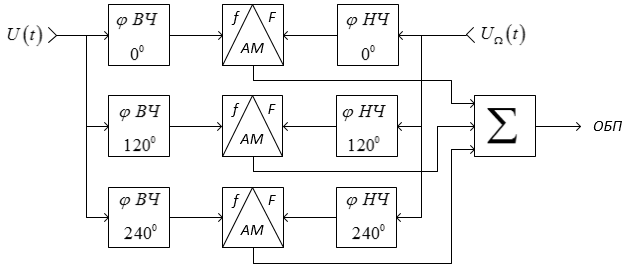




Недостатком данного формирователя является необходимость большого количества БМ и Ф, что усложняет и удорожает возбудитель, а многократное преобразование частоты приводит к появлению комбинационных частот, особенно вредных в многоканальных системах связи.

Другой метод формирования сигналов носит название фазокомпенсационного метода. Возбудитель образуется из *n*-го количества параллельных одинаковых каналов, содержащие обычные АМ каскады, работающие на общую нагрузку. Если фазы напряжений возбудителя на каскадах сдвинуть ФВ на угол , то в общей нагрузке напряжение несущей частоты будет отсутствовать. Если, кроме того, и модулирующее напряжение на каждом из каскадов сдвинуть друг относительно друга на такой же угол, то в общей нагрузке сигналы одной из боковых тоже будут компенсироваться, а другой – суммироваться. На практике применение получили 3-х или 4-х фазные схемы.

Структурная схема трехфазного возбудителя:

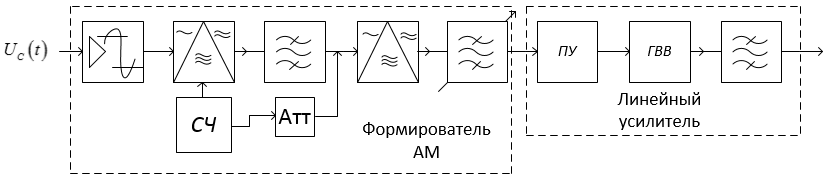


Достоинством следует считать возможность формирования однополосного сигнала непосредственно на заданной частоте с меньшим числом нелинейных преобразований, что уменьшает уровень рабочих частот на выходе возбудителя.

Недостатком является более низкий уровень подавляемого несущего колебания и второй полосы ( дБ) из-за нечетной симметрии схемы и трудности создания широкополосного НЧ ФВ.

Все методы обладают сложной аппаратурой и к ней предъявляются жесткие требования. Построение структурных схем передатчиков с ОМ имеет ряд особенностей по сравнению с передатчиками с АМ.

Обобщенная структурная схема РПдУ с ОМ имеет вид:



**10. Угловые виды модуляции. Основные соотношения.**

К УМ относятся ЧМ и ФМ. Передатчики с ЧМ и ФМ широко применяются в системах низовой телефонии, радиосвязи, на УКВ в радиовещании, для звукового сопровождения ТВ программ, а также в радиорелейной, тропосферной и космической линиях связи.

Общие сведения об УМ. Модулирующее колебание . ; ;; .

Частотная модуляция. ; ; ; ; .

 девиация частоты – максимальное отклонение частоты от своего номинального значения, *а* – коэффициент пропорциональности.

;;.

Фазовая модуляция. ; ;  девиация фазы;  ;  девиация частоты; .



.

|  |  |
| --- | --- |
| функции Бесселя 0-го и *n*-го порядков. | diffint101r |

|  |  |
| --- | --- |
| Спектр колебания с УМ. Так как на практике с бесконечно большими величинами мы работать не можем, то спектр колебания с УМ приходится ограничивать в некоторой полосе занимаемых частот (в отличие от АМ). |  |

Под полосой занимаемых частот колебаний с УМ понимают только те спектральные составляющие, амплитуда которых не менее 1 – 5 % от *Um*.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Для ЧМ при .

Благодаря более широкой полосе занимаемых частот УМ обладает лучшей помехоустойчивостью по сравнению с АМ. Однако, т.к. *Пзч* шире, использовать УМ можно только на достаточно высоких частотах. На практике УМ используют в диапазоне ОВЧ и выше (с 30 МГц).

|  |  |
| --- | --- |
| ЧМ | ФМ |
|  |  |
|  | |
| Полная трансформация амплитуд всех составляющих спектра, *Пзч* не изменилась. | Амплитуда составляющих не изменилась, *Пзч* увеличилась. |
|  | - в спектре только 3 составляющие  Узкополосная ЧМ |

Получение колебаний с УМ. Угловые виды модуляции можно получить двумя способами:

- прямым;

- косвенным.

При прямых методах модулирующее колебание непосредственно воздействует на необходимый для данного вида модуляции параметр. Косвенные же методы предполагают получение нужного вида модуляции путем осуществления модуляции другого вида и соответствующим преобразованием модулирующего колебания. Т.е. при косвенных методах модуляции используется взаимная связь между ЧМ и ФМ.

**12. Методы получения ЧМ колебаний (схемы, достоинства, недостатки).**

Прямой метод получения ЧМ-колебаний осуществляется подключением к колебательной системе АГ некоторого реактивного элемента, способного изменять свои параметры под воздействием прикладываемого к нему напряжения либо тока.

Структурная схема прямого метода:



Достоинство: простота реализации, возможность получения большой девиации частоты.

Недостатки: невысокая стабильность средней частоты выходных колебаний.

Косвенный метод получения ЧМ колебаний использует известную взаимную связь между ЧМ и ФМ. При этом делается некоторое преобразование с модулирующим сигналом.

|  |  |
| --- | --- |
|  | При ФМ девиация частоты , т.е. зависит от частоты модулирующего сигнала. При ЧМ девиация частоты , т.е. не зависит от . Следовательно, на фазовый модулятор модулирующий сигнал следует подавать через КЦ. |
|  |  |
| Достоинство: высокая стабильность средней частоты колебаний.  Недостатки: малая девиация частоты на выходе ФМ, существенное усложнение схемы (многократное умножение и усиление). |

**11. Частотно-модулированные автогенераторы.**

Существует много приборов и устройств, которые обладают реактивной проводимостью, управляемой напряжением либо током. Это может быть емкость закрытого p-n-перехода (варикап), реактивные лампы либо реактивные транзисторы, ключевые диоды и различные ферритовые управители. Наиболее часто в качестве управителей частоты используются варикапы, которые представляют собой полупроводниковый диод, барьерная емкость закрытого перехода которого зависит от прикладываемого ко входу напряжения. Основным достоинством варикапов является простота схемы, малые габариты и ничтожная мощность источника модулирующего напряжения.

Эквивалентная схема закрытого p-n-перехода:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | емкость варикапа при ;  контактная разность потенциалов (0,3…0,5) В;  коэффициент, зависящий от концентрации примесей в p-n-переходе ( плавный,  резкий,  сверх резкий), . | |
|  | | | Отклонение емкостей оказывается неодинаковым:  .  Это явление оказывается нежелательным, т.к. приводит к изменению средней частоты в процессе модуляции.    Условия выбора *Есм*:  ;  . |

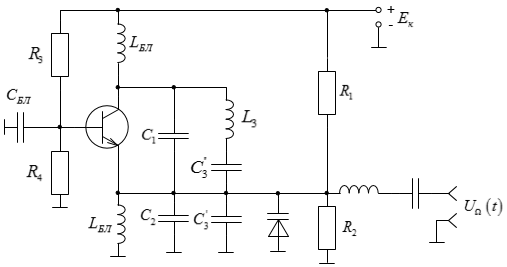
Для уменьшения этого явления стремятся уменьшать *Есм*, что с одной стороны приводит к уменьшению амплитуды колебаний при одной и той же девиации частоты, либо к увеличению девиации частоты при одной и той же амплитуде модулирующих колебаний.

Включать варикап можно последовательно либо параллельно. Следует подключать к тому элементу, который в большей степени влияет на частоту и не оказывает влияния на коэффициент передачи.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

ЧМАГ строятся по схеме с ОЭ но заземленными по ВЧ либо базой, либо коллектором.

Схема ЧМАГ с ОЭ и заземленной по ВЧ базой:



**13. Фазовая модуляция. Методы получения ФМ колебаний.**

Осуществить ФМ можно двумя способами: прямым и косвенным.

Наиболее просто прямую ФМ можно осуществить, пропустив ВЧ колебание через колебательную систему, резонансную частоту которой можно изменять по закону модулирующего сигнала. Изменять резонансную частоту колебательной системы можно при помощи варикапа. В пределах полосы пропускания контура фаза колебаний на выходе изменяется в пределах . Такой одиночный ФМ может обеспечивать девиацию фазы порядка 300 при КНИ порядка (5…7)%. Повысить девиацию частоты можно включив последовательно несколько ФМ либо использовать многоконтурные схемы. Схема ФМ, выполненного в виде трехзвенного ПФ, состоит из одинаковых контуров, которые перестаиваются при помощи варикапов.



Такой трехзвенный ФМ при соответствующей настройке может обеспечить девиацию фазы до 40% на каждое звено при НИ не превышающих 2% и практически полностью отсутствующей паразитной АМ.

Косвенный метод получения ФМ-колебаний.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

На верхних модулирующих частотах ухудшается отношения сигнал/шум принимаемого сигнала, что ведет к ухудшению качества в радиовещании или помехоустойчивости в системах связи. Поэтому для устранения этого недостатка применяют предварительную коррекцию  так, чтобы с ростом частоты модулирующего сигнала  возрастало бы пропорционально и амплитуда этого сигнала – коррекция в 6 дБ на октаву.

Обобщенная структурная схема передатчика для формирования ЧМ колебаний имеет вид:



ЧМ передатчик излучает ФМ-колебания, поэтому в приемнике после ЧД нам понадобится обратная коррекция принимаемого сообщения.

**20. Методы повышения линейности, широкополосности и стабильности средней частоты при угловой модуляции.**

Существует несколько направлений.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1) Рациональный выбор варикапа и схемы его включения в контура АГ. Целесообразно использовать варикап с резким переходом, правильно выбирать напряжение смещения, а также применять встречно-последовательное либо встречно-параллельное включение варикапов. | | |  |  |
| 2) Применение предварительной коррекции модулирующего сигнала. Схема амплитудного предкорректора имеет следующий вид ->> | |  | | |
| По мере увеличения входного сигнала последовательно открываются с обратным смещением диоды и *Кп* будет уменьшаться. |  | | | |

3) Применение двухтактных ЧМ. Ранее рассматриваемые схемы относились к однотактным ЧМ, применяемых при небольшой девиации , при этом . При необходимости иметь большую девиацию частоты используют двухтактные ЧМ. Структурная схема двухтактного ЧМ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | ; МГц;  МГц; МГц.  Достоинством является то, что уменьшается девиация частоты в каждом из генераторов, что приводит к уменьшению НИ. Девиация на выходе увеличивается в 2 раза. НИ четных порядков частично компенсируется. |

Недостатком является то, что генераторы работают на разных частотах, соответственно имеют различные параметры колебательных систем, поэтому отклонение частоты под воздействием одних и тех же факторов будут разными, что скажется на стабильности промежуточной частоты.

|  |  |
| --- | --- |
| 4) Использование двухтактных генераторов с двойным преобразованием частоты, что позволяет получать широкополосную модуляцию с кварцевой стабилизацией частоты. |  |

5) Использование управляемых реактивностей, которые позволяют обеспечить лучшую линейность модуляционной характеристики. Использование реактивных транзисторов позволяет обеспечить  50 кГц при КНИ < 0,5 % на *f* = 15 МГц либо  600 кГц при КНИ < 1 % на *f* = 15 МГц. .

Повышение стабилизации средней частоты при УМ:

1) Применение косвенного метода получения ЧМ-колебаний. При этом процесс получения ВЧ-колебаний не взаимосвязан с изменением их параметров.

2) Использование в качестве ЧМАГ кварцевых генераторов. Хотя стабильность генератора несколько снижается, она все же остается достаточной для некоторого класса РПдУ.

|  |  |
| --- | --- |
| 3) Использование системы ЧАП. В системе с ЧАП в установившемся режиме всегда будет некоторое рассогласование. Системы ЧАП обеспечивают широкие полосы захвата и удержания. |  |
| 4) Использование системы ФАПЧ.  В установившемся режиме частоты равны. |  |

Наличие делителя обусловлено преобразованием широкополосного ЧМ колебания в узкополосное, чтобы ФД работал именно на среднюю частоту.

Достоинством является большая стабильность частоты. Однако системы с ФАПЧ имеют меньшие полосы захвата и полосы удержания, чем системы а ЧАП.

На практике используют комбинированные системы ЧАП-ФАПЧ, позволяющие устранить недостатки обоих систем.

**21. Импульсный модулятор с частичным разрядом накопителя.**

|  |  |
| --- | --- |
| Принципиальная схема модулятора имеет следующий вид.  НЭ – емкость,  К – электронная лампа. |  |

В паузах между импульсами лампа закрыта отрицательным напряжением на сетке (-*Ес*). Поскольку , но для создания цепи заряда *Сн* в схему включено сопротивление *R2*. На время генерирования импульса на сетку лампы подается положительный импульс, который открывает ее. При этом сопротивление лампы резко уменьшается и *Сн* начинает разряжаться через нее и нагрузку. Во время разряда накопителя резиcтор *R1* ограничивает ток источника питания через открытую модуляторную лампу. При этом форма напряжения на выходе импульса будет иметь следующий вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | обычно зависит от того, какую функцию выполняет АЭ: |
| - для ;  - для . |
| . |
| Крутизна нарастания модулирующего напряжения является важным параметром. |

Заряд и разряд накопителя можно пояснить при помощи эквивалентных схем.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Эквивалентная схема заряда *Сн*:  ; *R1* и *R2* – малые;  Для зарядной цепи при рациональном выборе *R1* и *R2*: | |  |
| Эквивалентная схема разряда *Сн*:  *R1* и *R2* – большие; .  Исходя из компромиссных условий, выбирают , тогда . |  | |

Рассмотрим влияние паразитных емкостей на форму выходного сигнала модулятора. *Сп* разряжается через *R2*, т.е. медленно, поэтому время спада импульса велико и значительно превышает . Поэтому дополнительно включается индуктивность и диод.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| , .  - ток модуляторной лампы |

Достоинства: работа с переменными *Тп* и .

Недостатки: низкий КПД (70%), большие габариты.

**22. Импульсный модулятор с полным разрядом разрядом накопителя.**



Во время паузы между импульсами тиратрон закрыт, и накопитель энергии заряжается от источника питания через зарядный дроссель и импульсный трансформатор. Положительный импульс открывает тиратрон и накопитель энергии начинает разряжаться, отдавая энергию в нагрузку. Однако тиратрон не закрывается после снятия поджигающего импульса, и накопитель энергии продолжает разряжаться. Закрыться тиратрон может тогда, когда напряжение на его аноде упадет практически до 0, т.е. накопитель энергии разрядится полностью. Обычный конденсатор при полном разряде создает на нагрузке напряжение, спадающее по экспоненте. Искусственная длинная линия ведет себя как конденсатор во время заряда, но во время разряда формирует импульс, по форме весьма близкий к прямоугольному.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | |
|  | |  | |
|  | |  | |
|  |  | |  |

Форма импульса близка к прямоугольной, когда . ИТ трансформирует  в .

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | |
| Чтобы обеспечить разряд линии на согласованную нагрузку во время формирования фронта импульса, первичную обмотку трансформатора шунтируют цепочной RC, где . | |
|  |  |
|  | |

Достоинства: малые масса-габаритные показатели.

Недостатки: *Тп*,  зависят от элементов схемы.

**23. Усилительные клистроны (КПД, основные характеристики).**

Клистронные генераторы применяются в диапазоне от 2 до 30 ГГц. Преобразование энергии источников постоянного тока в энергию ВЧ поля в клистронах осуществляется с помощью динамического управления электронным потоком. При этом используется конечность времени пролета электронов между электродами лампы. В клистронах, так же, как и в ЛБВ, в процессе управления электронным потоком главную роль играет модуляция электронного потока по скорости, которая в результате длительного взаимодействия приводит к модуляции его по плотности.

Схемотехнически двухрезонаторный пролетный клистрон изображается следующим образом:



Электронный поток, сформированный в области электронного прожектора, направляется под влиянием ускоряющего напряжения в область входного объемного резонатора. В первом приближении все электроны поступают в зазор резонатора с одной и той же скоростью, определяемой величиной напряжения между катодом и резонатором прибора. При этом плотность потока электронов до его прохождения через зазор резонатора считается неизменной во времени. При наличии во входном резонаторе ВЧ поля, электроны будут покидать зазор входного резонатора с разными скоростями, т.е. в зазоре входного резонатора электроны будут подвергаться модуляции по скорости. Причем скорость, с которой электроны покидают зазор входного резонатора, будет зависеть от момента времени прохождения электронами зазора входного резонатора. Под влиянием скоростной модуляции плотность потока электронов в процессе его дальнейшего движения будет становиться неоднородной по плотности. При этом будут образованы сгустки или пакеты электронов. Процессы образования сгустков в пролетном и отражательном клистронах различны, но эти различия не носят принципиального значения. Физически картину группирования электронов в клистроне рассмотрим при помощи пространственно-временных диаграмм. На этой диаграмме угол наклона линий, эквивалентных траекториям электронов, к оси времени *t* тем больше, чем выше скорость электронов. Формирование сгустков электронов в пролетном клистроне происходит вокруг электронов, проходящих через зазор входного резонатора, когда ВЧ поле в нем равно нулю и изменяет свой знак с тормозящего на ускоряющий.

Для того, чтобы сгруппированный электронный поток при взаимодействии с полем выходного резонатора отдавал ему энергию, необходимо, чтобы электронные сгустки попадали в зазор выходного резонатора в те моменты времени, когда СВЧ напряжение на зазоре будет тормозящим. Поскольку время пролета электронов пространства дрейфа зависит от ускоряющего напряжения, то клистрон может генерировать (усиливать) только в пределах отдельных областей значений ускоряющего напряжения, которые называются зонами генерации.

Двухрезонаторным пролетным клистронам присущи следующие недостатки:

* относительно невысокий КПД (теоретически до 58 %, а практически не более 30…35 %);
* относительно малый коэффициент усиления;
* большое значение тока луча из-за влияния пространственного заряда;
* трудности обеспечения прямоугольной АЧХ.

|  |  |
| --- | --- |
| Перечисленные недостатки в какой-то степени устраняются при использовании многорезонаторных пролетных клистронов (МРК). У МРК в пространстве дрейфа установлены дополнительные резонаторы, не связанные ни со входным, ни с выходным резонаторами. На практике наибольшее применение находят 4-х и 5-ти резонаторные клистроны. |  |

Коэффициент усиления 4-х резонаторного клистрона достигает 45 дБ, а 5-ти резонаторного – 55 дБ. Выходная мощность пролетного клистрона может достигать десятков мегаватт в импульсном режиме и сотен киловатт в непрерывном.

Основными характеристиками клистронов являются:

|  |  |
| --- | --- |
| 1) Анодные характеристики представляют собой зависимости выходной мощности и фазового сдвига, вносимого прибором, от ускоряющего напряжения.  Из этих характеристик следует, что при питании клистрона нестабильным или плохо сглаженным напряжением в выходном сигнале будет появляться паразитная амплитудная и фазовая модуляции. Пользуясь этими характеристиками можно определить допустимый коэффициент пульсации питающего напряжения.  . |  |
| 2) Амплитудные характеристики  представляют собой зависимости выходной мощности от входной и снимаются при различных типах настройки резонаторов. При синхронной настройке все резонаторы настраиваются на частоту входного сигнала. При этом достигается максимальный коэффициент усиления по мощности, однако выходная мощность и КПД не максимальны. |  |

На практике чаще применяется такой вид настройки, когда резонаторы несколько расстроены друг относительно друга. При такой настройке обеспечивается максимальная выходная мощность и КПД, полоса пропускания прибора увеличивается.

|  |  |
| --- | --- |
| 3) АЧХ представляет собой зависимость выходной мощности от частоты входного сигнала и снимаются при различных уровнях входного сигнала.  ; ; |  |

Из АЧХ видно, что с увеличением уровня входного сигнала полоса пропускания прибора будет увеличиваться. Однако, расширение полосы пропускания за счет увеличения уровня выходного сигнала возможно лишь до определенного предела, т.к. с ростом уровня входного сигнала увеличивается неравномерность АЧХ, а коэффициент усиления уменьшается.

Пролетные клистроны в основном применяются в РПдУ в качестве усилителей мощности и умножителей частоты.

**24. Генераторный клистрон.**

Клистронные генераторы применяются в диапазоне от 2 до 30 ГГц. Преобразование энергии источников постоянного тока в энергию ВЧ поля в клистронах осуществляется с помощью динамического управления электронным потоком. При этом используется конечность времени пролета электронов между электродами лампы. В клистронах, так же, как и в ЛБВ, в процессе управления электронным потоком главную роль играет модуляция электронного потока по скорости, которая в результате длительного взаимодействия приводит к модуляции его по плотности.

Отражательный или одноконтурный клистрон является автогенераторным прибором. Выходная мощность отражательного клистрона невелика и может изменяться от единиц милливатт до единиц ватт. Электронная перестройка частоты в отражательном клистроне лежит в пределах от 0,3 до 0,5 % относительно средней частоты. В технике РПдУ отражательные клистроны находят основное применение в качестве задающего генератора, а в РПрУ в качестве гетеродинов. Схематически отражательный клистрон имеет вид:



Формирование сгустков электронов в отражательных клистронах происходит вокруг тех электродов, которые проходят зазор резонатора, когда поле в нем равно нулю и изменяет свой знак от ускоряющего к тормозящему. При определенном напряжении на резонаторе и отражателе возможно несколько зон генерации. *Vотр* отвечает за изменение частоты генерации прибора.

Отражательный клистрон позволяет осуществлять ЧМ и ИМ. ЧМ в отражательном клистроне осуществляется по изменению напряжения на отражателе, а ИМ – по изменению ускоряющего напряжения. Отражательный клистрон позволяет формировать сигналы с ЛЧМ, либо сигналы с внутриимпульсной ЛЧМ.

**26. Магнетронные генераторы**

В магнетроне электроны взаимодействуют с электромагнитными волнами в пространстве постоянно взаимно перпендикулярных (скрещенных) электрическом и магнитном полях. Приборы со скрещенными электрическим и магнитным полями относятся к приборам типа М. Приборы М-типа характеризуются высоким КПД (до 60-70 %) и они широко используются в качестве УМ и АГ.

Магнетрон подобен цилиндрическому диоду, на оси которого находится нагревательный катод, а анодный блок вместе с резонатором образуют свернутую в кольцо ЗС. В одном из резонаторов размещен элемент связи, с помощью которого энергия ВЧ поля отводится в нагрузку.

|  |  |
| --- | --- |
| В пространстве между анодом и катодом параллельно оси прибора создается постоянное магнитное поле. Постоянное электрическое поле образуется напряжением источника анодного питания. Из конструктивных соображений анодный блок заземляется, а отрицательное напряжение источника питания подается на катод.  Траектория движения электронов в скрещенных электрическом и магнитном полях соответствует циклоиде, что приводит к появлению вращающегося вокруг катода электронного облака. |  |

Под влиянием потенциальной составляющей ВЧ поля некоторые электроны будут покидать электронное облако и устремляться к аноду. В результате электронный поток будет представлять собой вращающееся колесо со спицами.

В установившемся режиме средняя скорость электронов в спице будет постоянной и равной фазовой скорости распространения электромагнитной волны вдоль ЗС. Поэтому, поднимаясь к аноду, электроны будут двигаться в одной и той же тормозящей фазе бегущей волны, т.е. отдавать ВЧ полю почти всю свою потенциальную энергию.

В технике РПдУ основное применение магнетроны находят в качестве мощных АГ при однокаскадном построении передатчиков. РЛС магнетронного типа используется в некогерентных импульсных РЛС, а также в когерентных импульсных РЛС с внутренней когерентностью.

Основной недостаток магнетрона – невысокая стабильность частоты выходных колебаний.

В магнетронах возможна ИМ и ЧМ. Генерируемая частота в магнетронах сильно зависит от анодного тока прибора. Эту зависимость можно использовать и для получения ЧМ-колебаний. Однако, зависимость частоты в магнетроне от анодного тока не линейна и имеет нерегулярный характер. Кроме этого, выходная мощность зависит от анодного тока. Эти факторы не позволяют получать в магнетроне качественную ЧМ путем изменения анодного тока. Более перспективным является получение ЧМ-колебаний в магнетроне с помощью цепи внешней обратной связи.

|  |  |
| --- | --- |
| Структурная схема такого ЧМАГ на магнетроне имеет следующий вид 🡪.  Изменением фазы можно эффективно управлять частотой генерации прибора. При этом крутизна модуляционной характеристики:  МГц/град. |  |

Платинотроны, как и магнетроны, принадлежат к классу приборов со скрещенными полями (М-типа). У платинотрона электронный поток замкнут, а ЗС разомкнута. По устройству платинотрон отличается от магнетрона тем, что имеет 2 вывода энергии: вход и выход ВЧ энергии. Второе отличие платинотрона от магнетрона в количестве резонаторов. У платинотрона количество резонаторов нечетное, что необходимо для предотвращения возбуждения в приборе.

Платинотрон, выполняющий функцию усиления ВЧ колебаний, называется амплитроном. Для высокого коэффициента усиления прибора необходимо, чтобы спицы пространственного заряда проходили по щелям резонаторов в те моменты, когда поле резонатора тормозящее и максимальное. Поэтому наибольшее усиление в амплитроне будет соответствовать некоторой частоте , на которой полный набег фазы будет кратен , т.е. периоду ВЧ колебаний.

|  |  |
| --- | --- |
| Зависимость выходной мощности от входной имеет следующий вид 🡪    Относительно невысокий коэффициент усиления, относительно узкая полоса усиливаемых частот и невозможность работы прибора при малых уровнях входного сигнала является недостатками амплитрона. |  |

Достоинствами амплитрона является высокий КПД (70 % и более), значительная выходная мощность прибора, достигающая сотен кВт в непрерывном и десятком МВт в импульсном режимах.

Платинотрон в специальной схеме с внешними резонаторами и дополнительной ОС используется как АГ и тогда он называется стабилотроном.Схема стабилотрона:



Добротность более высокая, чем у ЗС магнетрона  выше стабильность частоты выходных колебаний.

**14. Структурная схема передатчика с ЧМ колебаниями.**

Данный передатчик состоит из четырех основных блоков: подмодулятора (каскады 1 - 5), возбудителя с модулятором (6, 11, 12), блока усиления (7 - 10) и антенны.

Структурная схема передатчика с прямой частотной модуляцией кварцевого автогенератора варикапом имеет вид:



В блоке подмодулятора низкочастотный сигнал  от микрофона 1 усиливается в УНЧ 2. В предкорректоре 3 осуществляется подъем верхних модулирующих частот со скоростью 6 дБ на октаву, что обеспечивает повышение помехоустойчивости передачи речи. Затем производится его ограничение по амплитуде (или сжатие динамического диапазона) в ограничителе 4 и ограничение спектра модулирующего сигнала приблизительно до 3,5 кГц с помощью ФНЧ 5. В кварцевом автогенераторе 6 осуществляется прямая частотная модуляция. Затем с целью повышения глубины модуляции  и увеличения частоты до рабочего диапазона системы радиосвязи производится умножение частоты (каскад 7). ПФ 8 ослабляет нежелательные спектральные составляющие, возникающие при умножении частоты. Усилитель мощности ВЧ-сигнала 9 обеспечивает необходимый уровень выходной мощности передатчика, ФНЧ 10 – ослабление излучения высших гармоник (около 40-60 дБ) и согласование с антенной.

Структурная схема передатчика, использующего косвенный метод получения ЧМ-колебаний имеет вид:



В фазовом модуляторе 6 осуществляется модуляция несущего колебания, спектр модулирующего сигнала перед входом модулятора может подвергаться дополнительной коррекции в интеграторе 3. Частота задающего генератора 12 стабилизируется кварцевым резонатором, а буферный усилитель 11 уменьшает влияние последующих цепей на частоту АГ. Назначение остальных элементов аналогично первой схеме.

**27. Принцип работы, основные характеристики и режимы ЛБВ.**

Мощные ЛБВ импульсного и непрерывного действия по сравнению с усилительными клистронами обладают значительно большей полосой пропускания при сравнимом коэффициенте усиления, но уступают клистронам по КПД. Широкополосные ЛБВ обеспечивают коэффициент усиления в 25-30 дБ при КПД порядка (10-15)%, а узкополосные ЛБВ при коэффициенте усиления 25-30 дБ имеют КПД порядка (20-25)%. ЛБВ могут использоваться не только как УМ, но и как эффективные УЧ и АГ. Причем по сравнению с двухрезонаторными умножительными клистронами они более широкополосны, а коэффициент умножения частоты в них достигает 10-15 раз. В технике РПдУ ЛБВ находят место в качестве промежуточных каскадов, а в технике РПрУ – в качестве малошумящих входных широкополосных усилителей.

|  |  |
| --- | --- |
| ЛБВ представляет собой электронный СВЧ прибор с длительным взаимодействием между электромагнитной волной и электронным потоком, движущимся синхронно с электромагнитной волной.  Схемотехнически ЛБВ изображается следующим образом 🡪 |  |

Электромагнитное поле распространяется вдоль замедляющей системы (ЗС). Скорость движения электромагнитных колебаний в ЗС уменьшается по сравнению со скоростью света в число раз, равное отношению длины витка к шагу спирали: .

Внутри ЗС движется электромагнитный поток, сформированный электронным прожектором. Чтобы электроны в процессе их распространения вдоль ЗС не оседали на спирали служит магнитная фокусировка электронного потока. Магнитная фокусировка может быть как электромагнитной, так и при помощи постоянного магнита.

Под воздействием электромагнитного поля будет происходить модуляция скорости движения электронов. Эта скоростная модуляция электронов в процессе движения их вдоль ЗС будет преобразовываться в модуляцию электронного потока по скорости, что будет приводить к формированию сгустка (пакета) электронов. Если скорость электронов будет несколько превышать фазовую скорость распространения электромагнитных колебаний , то большая часть электронов будут отдавать свою кинетическую энергию ВЧ полю, т.е. будет происходить усиление бегущей волны. Оптимальное значение начальной скорости электронов .

По мере передачи своей энергии полю скорость электронов будет уменьшаться и при равенстве их скоростей процесс будет прекращен.

Основными характеристиками ЛБВ являются коллекторные и амплитудные характеристики.

|  |  |
| --- | --- |
| Коллекторные характеристики ЛБВ:    Крутизна зависимости фазового сдвига от ускоряющего напряжения высока и достаточно линейна. |  |

Амплитудные характеристики.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| I – область слабых сигналов;  II – область сильных сигналов. |

Первая область АХ используется для усиления АМ-сигналов и однополосных сигналов. Вторая область используется при усилении колебаний с УМ. Однако, если входной сигнал будет флуктуировать по амплитуде, то эта паразитная АМ в выходном сигнале будет снижаться, но при этом появится паразитная ФМ.

**28. Усилители и автогенераторы на ЛБВ.**

Мощные ЛБВ импульсного и непрерывного действия по сравнению с усилительными клистронами обладают значительно большей полосой пропускания при сравнимом коэффициенте усиления, но уступают клистронам по КПД. Широкополосные ЛБВ обеспечивают коэффициент усиления в 25-30 дБ при КПД порядка (10-15)%, а узкополосные ЛБВ при коэффициенте усиления 25-30 дБ имеют КПД порядка (20-25)%. В технике РПдУ ЛБВ находят место в качестве промежуточных каскадов, а в технике РПрУ – в качестве малошумящих входных широкополосных усилителей.

|  |  |
| --- | --- |
| ЛБВ представляет собой электронный СВЧ прибор с длительным взаимодействием между электромагнитной волной и электронным потоком, движущимся синхронно с электромагнитной волной.  Схемотехнически ЛБВ изображается следующим образом 🡪 |  |

Электромагнитное поле распространяется вдоль замедляющей системы (ЗС). Скорость движения электромагнитных колебаний в ЗС уменьшается по сравнению со скоростью света в число раз, равное отношению длины витка к шагу спирали: .

Внутри ЗС движется электромагнитный поток, сформированный электронным прожектором. Чтобы электроны в процессе их распространения вдоль ЗС не оседали на спирали служит магнитная фокусировка электронного потока. Магнитная фокусировка может быть как электромагнитной, так и при помощи постоянного магнита.

Под воздействием электромагнитного поля будет происходить модуляция скорости движения электронов. Эта скоростная модуляция электронов в процессе движения их вдоль ЗС будет преобразовываться в модуляцию электронного потока по скорости, что будет приводить к формированию сгустка (пакета) электронов. Если скорость электронов будет несколько превышать фазовую скорость распространения электромагнитных колебаний , то большая часть электронов будут отдавать свою кинетическую энергию ВЧ полю, т.е. будет происходить усиление бегущей волны. Оптимальное значение начальной скорости электронов .

По мере передачи своей энергии полю скорость электронов будет уменьшаться и при равенстве их скоростей процесс будет прекращен.

ЛБВ могут использоваться не только как усилители, но и как АГ, некоторые свойства которых не реализуются с помощью других СВЧ приборов. Для получения генерации в ЛБВ используется внешняя обратная связь между выходом и входом прибора. Причем эта обратная связь может быть как широкополосной, так и узкополосной, т.е. содержать в составе резонатор.

|  |  |
| --- | --- |
| Функциональная схема АГ на ЛБВ 🡪  Т.к. прибор весьма широкополосен, то это позволяет строить многочастотные генераторы. Возможно построение комбинированного прибора: АГ и УМ одновременно. |  |

Т.к. зависимость фазового сдвига в ЛБВ от ускоряющего напряжения весьма линейна, то можем получать линейную зависимость частоты генерации от ускоряющего напряжения. Это свойство позволяет осуществлять глубокую ЧМ в ЛБВ, т.е. создавать весьма эффективные ЧМАГ.

**29. Виды модуляции в ЛБВ.**

В ЛБВ можно осуществлять АМ, ЧМ, ФМ и ИМ. АМ в ЛБВ можно получить изменениями либо ускоряющего напряжения, либо величины тока луча. Величина тока луча в ЛБВ зависит от ускоряющего напряжения и напряжения на первом аноде. Осуществлять АМ изменением ускоряющего напряжения в ЛБВ нецелесообразно, т.к. получаем паразитную ФМ и необходима большая мощность модулятора. Осуществляется АМ в ЛБВ изменением величины тока луча, соответствующая в этом случае паразитная ФМ значительно меньше. При модуляции по первому аноду фазовое искажение будет вдвое меньше, чем при модуляции по управляющему электроду. ИМ в ЛБВ можно осуществлять путем подачи модулирующего импульса на ЗС, первый анод либо ускоряющий электрод. ИМ по первому аноду является предпочтительной, т.к. при этом фазовые искажения наименьшие, однако в ЛБВ средних и больших мощностей обычно управляющий электрод соединен с катодом, а первый анод соединен с ЗС и коллектором. В этом случае ИМ и АМ осуществляют только по управляющему электроду.

Поскольку фазовый сдвиг, вносимый ЛБВ в усиливаемый сигнал, зависит от уровня входного сигнала и ускоряющего напряжения, то ФМ в ЛБВ предпочтительнее осуществлять путем изменения ускоряющего напряжения. В обычных ЛБВ в пределах зоны усиления фаза выходного сигнала может изменяться на  радиан. В специальных ЛБВ фаза может изменяться до  радиан.

АГ на ЛБВ с ЧМ могут работать в непрерывном режиме и в импульсном режимах. Импульсный ЧМАГ на ЛБВ позволяет генерировать сигналы с внутриимпульсной ЛЧМ.

|  |  |
| --- | --- |
| Схема такого генератора имеет следующий вид 🡪  В таком АГ девиация частоты может достигать десятков МГц при длительности импульсов в единицы мкс. |  |

В настоящее время выпуск ЛБВ с мощностями от долей мВт до сотен кВт в непрерывном режиме, способны работать в диапазоне от 500 МГц до 40 ГГц. Полосы пропускания ЛБВ лежат в пределах от десятков % до нескольких октав. При этом коэффициент усиления ЛБВ может достичь 60 дБ на прибор.

**4. Влияние угла отсечки на энергетические показатели ГВВ.**

Рассмотрим влияние угла отсечки на отдаваемую полезную мощность и КПД каскада при нагрузке в виде колебательного контура. Полезная мощность при нагрузке определяется амплитудой первой гармоники выходного тока, т.е.  , а КПД соответственно , где коэффициент использования анодного напряжения,  постоянная составляющая, представляющая среднее значения тока, амплитуда 1-й гармоники. Для определения  и  необходимо знать  и .

Согласно теореме Фурье составляющие тока определяются следующим образом:

|  |
| --- |
| ; . |

Примем, что если составляющие выходного тока выразить через максимальное значение импульса выходного тока , то получим

|  |
| --- |
| ; . |

В общем случае , где  - коэффициенты Берга, зависящие от угла отсечки. Коэффициенты Берга определяются по таблице или графически.

|  |  |
| --- | --- |
| Из анализа этих зависимостей можно отметить следующее:  1) Если задана амплитуда импульса выходного тока, то максимальное значение *P1* соответствует максимальному значению , т.е. при ;  2) КПД каскада определяется отношением . КПД тем выше, чем больше эти отношения. Из графика видно, что это отношение максимально при  и достигает 2. |  |

Следовательно, для получения выского КПД нужно уменьшать . Однако, при его уменьшении падает , т.е. *Р1* – полезная мощность – пропорциональна  и для обеспечения заданной мощности приходится увеличивать максимальную величину импульса тока. Однако эта величина ограничена током эмиссии катода лампы. Кроме того, с уменьшением  приходится увеличивать , что с одной стороны приводит к увеличению обратного напряжения на сетке и возможности выхода из строя лампы, а с другой стороны к уменьшению коэффициента усиления каскада, что также невыгодно.

Таким образом, для обеспечения максимума *Р1* следует выбирать , однако однако уменьшение  с *1200* до *900* приводит к уменьшению *Р1* на 70%, зато КПД увеличивается с 0,6 до 0,71 и, что самое главное, мощность, рассеиваемая на аноде лампы или коллекторе транзистора уменьшается почти вдвое (точнее в 1,8 раза), поэтому  - наиболее выгоден.

**1. Назначение, классификация и обобщенная структурная схема РПдУ.**

РпдУ выполняют 3 основных задачи:

1) преобразование энергии источников питания в электромагнитные колебания, т.е. получение ВЧ колебаний.

2) доведение энергии ВЧ колебаний до требуемого уровня, т.е. усиление ВЧ колебаний.

3) управление тими колебаниями по закону передаваемого сообщения или по другому какому-либо заданному закону, т.е. модуляция ВЧ колебания. Модуляция – это изменение какого-либо параметра ВЧ колебания по заданному закону.

|  |  |
| --- | --- |
| Обобщенная структурная схема РПдУ устройства имеет следующий вид 🡪 |  |

ЗГ или возбудитель генерирует ВЧ колебания в заданном диапазоне. Основными требованиями к возбудителю являются обеспечение заданной стабильности частоты и перекрытия необходимого частотного диапазона. Обычно возбудитель является маломощным устройством.

ВЧ колебания усиливаются в предварительном усилителе (ПУ) и поступают на оконечный усилитель (ОУ) мощности. Довольно часто каскады ПУ работают в режиме умножения частоты, что облегчает требования к возбудителю и повышает устойчивость передатчика в целом. ОУ обеспечивает на выходе антенну требуемую мощность ВЧ колебаний. В ПУ могут использоваться как транзисторы, так и электровакуумные приборы, а в ОУ мощных РПдУ – только лампы. АФУ служит для излучения ВЧ-колебаний в свободное пространство.

Для управления ВЧ колебаниями служит модуляционное или манипуляционное устройство. Управление колебаниями может осуществляться как в маломощны, так и в ПУ и ОУ передатчика.

Кроме того, в состав РПдУ входят устройство охлаждения контуров ламп, поддерживающее тепловой режим, устройство блокировки и сигнализации, а также источники питания, необходимые для формирования требуемых напряжений для лампы и транзисторов передатчика.

Классифицировать РПдУ можно по различным признакам:

а) по назначению:

-- связные;

-- радиовещательные;

-- телевизионные;

-- радиолокационные и т.д.

б) по диапазону частот и мощностей:

-- маломощные (до 100 Вт);

-- средней мощности (до 10 кВт);

-- мощные (до 1 МВт);

-- сверхмощные (свыше 1 МВт).

в) по роду работы (или виду излучения):

-- телефонные;

-- телеграфные;

-- однополосные;

-- импульсыне и т.д.

г) по способу транспортировки:

-- стационарные;

-- подвижные.

Классификация РПдУ по диапазону частот осуществляется в соответствии с рекомендациями Международного консультативного комитета по радио (МККР). Параметры любого РПдУ должны удовлетворять требованиям ГОСТа и рекомендациям МККР. Одними из основных параметров передатчиков являются:

а) Выходная мощность. Мощность РПдУ во много определяет действие радиолинии. В зависимости от назначения она может изменяться от долей ватта до 10 и более МВт

б) Стабильность частоты – исключительно важный параметр передатчика. Современные РПдУ имеют относительную нестабильность частоты порядка 10-6 – 10-7 и даже меньше. Высокая стабильность улучшает помехозащищенность радиолинии, а также увеличивает число станций, которые могут работать в заданном диапазоне без взаимных помех.

в) КПД маломощных передатчиков определяет во многом его габаритные размеры и массу, а КПД мощных и сверхмощных передатчиков – стоимость их сооружения и эксплуатацию.

г) уровни побочных внеполосных излучений, а также электроаккустические характеристики (показатели) передатчика.

**3. Режимы работы ГВВ по напряжению. Влияние сопротивления нагрузки на энергетические показатели ГВВ.**

Основными статическими характеристиками АЭ являются проходная и выходная характеристики.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Проходные характеристики | | Выходные характеристики | |
|  | |  | |
|  | | |  |
| ДХ 🡪 |  | | |

В соответствии с тем, в каких областях статических характеристик происходит работа АЭ, различают три основных режима работы: недонапряженный режим (НР), критический режим (КР) и перенапряженный режим (ПР).

В НР  слабо зависит от выходного напряжения и сильно зависит от входного напряжения (область I). Выходной ток в этом режиме имеет форму отрезка косинусоиды, т.е. усеченной неискаженной косинусоиды.

В ПР  сильно зависит от выходного напряжения и слабо зависит от входного напряжения (область II). Импульс выходного тока в этом режиме имеет провал на вершине. ПР имеет две разновидности:

1) соответствует случаю, когда провал в импульсе не доходит до оси абсцисс и называется слабоперенапряженным режимом;

2) соответствует случаю, когда провал на вершине импульса тока доходит до оси абсчисс, т.е. импульс как бы раздваивается, называется сильно перенапряженным режимом.

КР соответствует точке перегиба на идеализированных СХ. Импульс выходного тока в этом режиме имеет слегка уплощенную вершину.

Энергетические показатели АЭ: ; ; ; ; . Поведение этих показателей в зависимости от величины сопротивления нагрузки *Rн* (нагрузочные характеристики) изображены на рисунках.

|  |  |
| --- | --- |
| При малых сопротивлениях нагрузки режим работы АЭ – недонапряженный. Выходные токи *I0* и *I1* мало меняются при увеличении сопротивления нагрузки *Rн.* Подводимая мощность *P0* в этом режиме меняется мало, а полезная *Р1* растет пропорционально *Rн*. *Кп* также возрастает.  При *Rн=Rнкр* режим становится критическим. При этом полезная мощность и *Кп* достигают максимального значения. КПД достаточно высок и близок к своему максимальному значению. |  |
| При дальнейшем увеличении *Rн* режим становится перенапряженным. В импульсе выходного тока появляется провал и составляющие выходного тока уменьшаются. Переменное напряжение на нагрузке *Uа* почти не растет, а полезная и потребляемая мощности уменьшаются. КПД в этом режиме достигает своего максимального значения и слабо уменьшается при очень больших *Rн*, т.е. в сильно перенапряженном режиме. |  |
| Отметим, что максимальная выходная мощность АЭ достигается в КР, поэтому этот режим является оптимальным с точки зрения достижения максимальной мощности. Однако в этом режиме КПД меньше своего максимального значения. Для достижения максимального КПД режим работы АЭ должен быть слабо перенапряженным, но при этом уменьшается полезная мощность. Поэтому задача достижения максимального КПД может ставиться только тогда, когда АЭ имеет запас по мощности. |  |

**2. Особенности усилителей мощности высокой частоты (ГВВ).**

Усиливаемый в РПдУ сигнал является узкополосным. Он содержит колебание несущей частоты и боковые полосы, являющиеся продуктами модуляции. Обычно ширина полосы выходного сигнала не превышает нескольких процентов от несущей. Именно поэтому усиливаемый в РПдУ сигнал представляет собой колебание, по форме весьма близкое к синусоиде. При искажении формы этой синусоиды усилителем возникают, помимо колебания основной частоты , колебания высших гармонических составляющих, имеющих частоты ,  ии т.д. Частоты гармонических составляющих лежат далеко за пределами полосы усиливаемых колебаний, и поэтому гармоники сравнительно легво подавляются фильтрами. Выходные же колебания после фильтра оказываются подобными колебаниям, подаваемым на вход усилителя. Именно поэтому искажения формы синусоидальных колебаний в усилителе РПдУ несущественны. В этом и заключается основное отличие между усилителем НЧ и усилителем резонансной частоты.

Генератором с внешним возбуждением (ГВВ) называется каскад РПдУ, преобразующий энергию источника питания в энергию колебаний ВЧ. При этом частота колебаний, полученных на выходе ГВВ, определяется частотой поданных на вход колебаний. Если частота генерируемых колебаний совпадает с частотой возбуждения, то ГВВ называют УМ. ГВВ, выходной контур которого настроен на одну из гирмонических составляющих частоты входного сигнала, называется УЧ. Структурная схема ГВВ:

|  |
| --- |
|  |

Напряжение на входе . Выходная цепь состоит из цепи согласований (ЦС) и нагрузки. ЦС трансформирует сопротивление нагрузки в некоторое сопротивление для установления оптимального режима АЭ. Мощность , отдаваемая источником питания  преобразуется в энергию ВЧ колебаний, суммарная мощность которых равна , и частично рассеивается на выходном электроде: . При избирательной нагрузке . Соотношение баланса мощностей во входной цепи: , где  - мощность, отдаваемая источников возбуждения,  - фаза первой гармоники,  - мощность, отдаваемая источником смещения,  - мощность, рассеиваемая во входной цепи,  и  - амплитуды постаянной составляющей и первой гармоники входного тока. Т.о. мощность источников  и  расходуются на управление входным током и рассеиваются в АЭ в виде тепла. Коэффициент усиления по мощности определяется как отношение мощности гармонической составляющей рабочей частоты к : . Электронный КПД равен . Полный КПД АЭ : , или , где коэффициент формы выходного тока по *N*-й гармонике,  - коэффициент использования напряжения питания выходной цепи.

КПД во многом зависит от формы выходного тока в ГВВ. В зависимоти от приложенных к АЭ напряжений смещения  и  он может работать в различных режимах: класс А – ток через АЭ течет непрерывно; классы В, С, D, Е – режим работы с отсечкой выходного тока, при этом в классах В и С выходной ток имеет вид косинусоидальных импульсов (класс В – ток через АЭ течет приблизительно в течение полупериода ВЧ; класс С – часть периода, в течение которого течет ток, меньше половины периода), в классе D – прямоуголных импульсов, в классе Е – треуголных импульсов. В режиме А амплитуда первой гармоники выходного тока меньше его постоянной составляющей. Максимальный теоретический КПД в этом режиме не превышает 50%. Реально это 35 – 40%, что очень мало для мощных ГВВ. Поэтому режим А используется толкьо в маломощных усилителях, когда низкий КПД не ухудшает энергетических показателей передатчика в целом. При работе АЭ в режиме с отсечкой импульсы тока по амплитуде больше постоянной составляющей. Если сохранять косинусоидальную форму и уменьшать ширину импульса, то теоретически можно получить КПД 100%. В реальной ситуации удается достичь КПД 65 – 75 %.

|  |  |
| --- | --- |
| Ламповый УМ на тетроде 🡪  ; .  Через *Ra* протекает переменная составляющая выходного тока .  имеет большое индуктивное сопротивление . |  |

Через  протекает постоянная составляющая выходного тока . Вследствие этого среднее напряжение на аноде лампы равно напряжению источника питания .

Мощность, отдаваемая источником питания: . Мощность переменной составляющей (полезной), которая выделяется на нагрузке: . Мощность, выделяемая на аноде ламны (нагрев), являющаяся бесполезной: . КПД: .

**19. Фазовая телеграфия. Получение сигналов с бинароной и квадратурной фазовой манипуляцией.**

При фазовой телеграфии частота ВЧ колебания остается неизменной, а фаза изменяется скачкообразно в соответствии с передаваемыми словами ЦИС. По сравнению с частотной фазовая телеграфия обеспечивает энергетический выигрыш, лучшую помехоустойчивость или при той же пропускной способности двукратный выигрыш по полосе занимаемых частот. При фазовой телеграфии передатчик излучает колебания одной частоты, фаза которого может принимать 2 или более конкретных значений. Выражение для фаза-манипулированного сигнала: . При однократной фазовой телеграфии символами 0 и 1 дискрет фазы составляет . Такая фазовая манипуляция называется бинарной (BPSK). При такой телеграфии каждый передаваемый символ соответствует 1 биту передаваемой информации. Соответственно, для бинарной телеграфии необходимо выбирать 2 значения для . При дискрете фазы логично предположить, что ; .

|  |  |
| --- | --- |
|  | Эти выражения показывают, что бинарную фазовую манипуляция можно рассматривать как форму амплитудной манипуляции с модулирующей функцией, принимающей 2 значения: ; . |

BPSK является простейшей формой фазовой манипуляции, однако и скорость передачи информации при BPSK будет наименьшей, т.к. каждый символ несет в себе только 1 бит передаваемой информации. BPSK является наиболее помехоустойчивой из всех фазовых манипуляций.

|  |  |
| --- | --- |
| Простейший фазовый манипулятор для формирования BPSK может быть выполнен по принципу коммутации фазовращателей: |  |

При этом во избежание значительного расширения внеполосного спектра коммутацию фазы лучше производить в те моменты времени, когда ВЧ колебание проходит через 0.

При BPSK в спектре отсутствует несущая и содержатся только нечетные спектральные составляющие, при этом при манипуляции сигналом  с резкими фронтами амплитуда внеполосных спектральных составляющих убывает обратно пропорционально номеру составляющей *1/n*, т.е. медленно. Для уменьшения внеполосных излучений изменение фазы следует производить плавно, т.е. сигналом  со сглаженными фронтами. При этом скорость уменьшения амплитуд спектральных составляющих *1/n2*.

Кроме бинарной, т.е. однократной, возможна двукратная фазовая телеграфия, при которой фаза ВЧ колебания может принимать 4 фиксированных значения: 00, 900, 1800, 2700, т.е. . Такая фазовая телеграфия называется квадратурной (QPSK).

Холя QPSK можно считать квадратурной манипуляцией, ее проще рассматривать как две независимые модулированные несущие, сдвинутые друг относительно друга на 900. При таком подходе четные (нечетные) биты используются для модуляции синфазной составляющей (I), а нечетные (четные) – квадратурной составляющей (Q). Поскольку BPSK используется для обеих составляющих несущей, то они могут быть демодулированы независимо.

|  |  |
| --- | --- |
| Фазовое созвездие для QPSK имеет следующий вид 🡪  При QPSK используются 4 значения фазы, следовательно, на 1 передаваемый символ приходится 2 бита передаваемой информации. Вследствие этого скорость передачи информации при QPSK в 2 раза больше, чем при BPSK, или при одной и той же пропускной способности *Пзч* уменьшается вдвое.  Сформируем 2-х уровневые сигналы *I* и *Q* для QPSK.  ; ; |  |



Форма спектра сигнала при QPSK соответствует форме сигнала для BPSK, а ширина главного лепестка . ; .

При 8-позиционной фазовой манипуляции, когда фаза может принимать 8 значений и , и составляющие могут принимать 3 уровня: ; .

Несмотря на многообразие многопозиционных сигналов их формирование в передатчиках и демодуляция в приемнике производится с использованием общего технического решения, основанного на двух независимых квадратурных составляющих модулирующего сигнала и их последующей передачи на одной несущей частоте методом квадратурной амплитудной модуляции. При этом структурная схема модулятора имеет вид:



Наибольшую экономию спектра и лучшую помехозащищенность обеспечивает относительная фазовая телеграфия, называемая фазоразностной манипуляцией. При относительной фазовой телеграфии изменение дискретных значений фазы происходит не при каждой смене символов, а только при переходе от 0 к 1, а при обратном переходе от 1 к 0 фаза ВЧ колебания изменяться не будет. При этом количество манипуляций фазы уменьшается вдвое, и ширина главного лепестка спектра также уменьшится в 2 раза.

В многоканальных и спутниковых системах связи в целях повышения качества, помехоустойчивости и достоверности передаваемой информации все шире применяются сигналы в цифровой форме. Для передачи одного телефонного сигнала применяется дискретизация по времени с частотой дискретизации  кГц и используется кодирование 8-разрядным двоичным кодом. При этом скорость передачи информации одного телефонного канала  кбит/сек. 32 телефонных канала объединяют в одну первичную группу, при этом  Мбит/сек. Группы могут наращиваться до 128, 512 и 2048 каналов. Передача таких больших потоков информации возможна на ОВЧ (свыше 10 ГГц) с использованием 4-х либо 8-позиционной относительной фазовой манипуляции.

|  |  |
| --- | --- |
| Сформировать 4-позиционный сигнал с относительной фазовой манипуляцией можно по коммутационной схеме 🡪 |  |

Другой вариант формирования работает по принципу сложения 2-х квадратурных амплитудно-манипулированных сигналов, оказывающихся на выходах 2-ч балансных модуляторов (БМ).

Система 4-позиционной ОФТ обеспечивает эффективное использование *Пзч* до (1,5…2) бит/сек на 1 Гц *Пзч*.

КАМ-16 обеспечивает эффективность 3,5 бит/сек на 1 Гц *Пзч*, КАМ-32 – до 5 бит/сек на 1 Гц *Пзч.*

**18. Частотная телеграфия. Спектр ЧТ-сигнала.**

Передача сообщений посредством телеграфии по сравнению с телефонией обеспечивает лучшую помехоустойчивость, может занимать меньше полос частот и позволяет лучше использовать передающую и приемную аппаратуры. При частотной телеграфии (FSK) каждому символу соответствует излучение определенной частоты: , . При двухканальной частотной телеграфии излучается 4 частоты в зависимости от сочетания символов в канале: , , , ;  разнос либо сдвиг частоты.

Скорость передачи информации определяет полосу частот цифрового информационного сигнала, а, следовательно, и полосу радиоканала. Минимальная частота, которой может быть ограничен спектр группового модулирующего сигнала со скоростью передачи цифровых информационных сигналов (ЦИС) следующим соотношением: , *В* – скорость передачи информации.

|  |  |
| --- | --- |
| Упрощенный спектр частотно-манипулированного сигнала можно получить из соотношения для спектра ЧМ-колебания, подставив в качестве модулирующей функции выражение для дискретного телеграфного сигнала. |  |

При передаче символов 0 и 1 упрощенный спектр частотно манипулированного сигнала можно представить в виде суммы спектров для 2-х несущих частот *f1* и *f2*, манипулированных по амплитуде с частотой манипуляции *Fm=B/2*.

При модуляции сигналом прямоугольной формы  в спектре будут присутствовать только нечетные гармоники, амплитуды которых уменьшаются обратно пропорционально номеру гармоники *1/n*, т.е. достаточно медленно. При частотной телеграфии с резкими скачками частоты от  до  т обратно, спектр сигнала будет содержать большое количество спектральных составляющих, не попадающих в полосу пропускания приемника, но создающих значительные уровни внеполосных излучений на входе передатчика. Проблема ЭМС требует подавления внеполосных излучений передатчиков. Добиться этого можно, если при формировании частотно-манипулированных сигналов изменять частоту не скачком, а в течение некоторого времени, т.е. использовать сигналы манипуляции со сглаженными фронтами , то скорость уменьшения амплитуд гармоник *1/n2*.

|  |  |
| --- | --- |
| Сформировать частотно-манипулированный сигнал можно переключением частот 2-х независимых кварцевых генераторов, при этом структурная схема имеет вид: |  |

При таком способе в моменты коммутации частот имеют места скачки фазы до 1800, что приводит к увеличению уровней внеполосных излучений. Уменьшить этот недостаток можно используя делитель частоты, однако при этом будет уменьшаться несущая частота. Кроме того, скачки фазы можно устранить, если использовать в качестве частот *f1* и *f2* боковые составляющие спектра АМ-колебания при модуляции несущей частоты *f0* сигналом с частотой .

|  |  |
| --- | --- |
| Структурная схема такого манипулятора имеет вид 🡪 |  |

Более сложная схема формирования ВЧ манипулированного сигнала содержит АГ, управляемый напряжением, частота которого стабилизируется системой ФАПЧ и содержит делитель с переменным коэффициентом деления.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

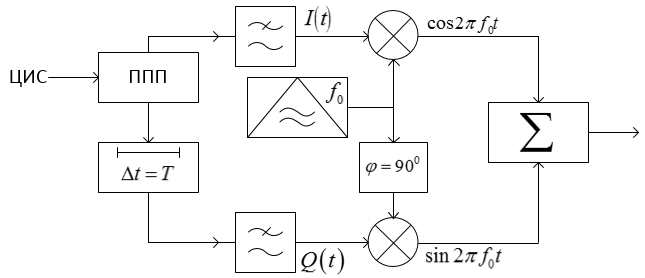
Гауссовская манипуляция с минимальным частотным сдвигом (GMSK) по сути есть ни что иное как двоичная цифровая частотная манипуляция с предварительной гауссовской фильтрацией. Эта фильтрация сглаживает фронты. Если в РПдУ частотная модуляция производится в соответствии с выражением , то можно реализовать когерентную модуляцию/демодуляция сигнала с минимальным частотным сдвигом, что улучшает соотношение сигнал/шум. При этом между передаваемыми частотами и ботовой скоростью необходимо обеспечить соотношение когерентности, которому соответствует индекс ЧМ . Метод минимального частотного сдвига обычно рассматривается как метод квадратурной фазовой манипуляции со смещением.

Частотно-манипулированный сигнал можно рассматривать как гармонический сигнал, частота которого может принимать 2 значения: ; . Частотно-манипулированный сигнал:

|  |
| --- |
| . |

При когерентной демодуляции  выбирается из условия: .





**30. Конструктивные особенности электронных ламп СВЧ диапазона.**

С ростом частоты на работу УМ, УЧ и АГ все сильнее оказывают влияние реактивности лампы (индуктивности выводов и межэлектродные емкости). В этом диапазоне сказывается инерция электронов, т.е. время пролета электронов между электродами АЭ оказывается соизмеримым с периодом ВЧ колебания. Поэтому в СВЧ применяют лампы специальной конструкции, чаще всего металлокерамические триоды и тетроды, работающие на частоте до 10 ГГц. Металлокерамические лампы имеют плоские электроды с цилиндрическими выводами, разделенными кольцами из керамики с малыми потерями на СВЧ. Индуктивности выводов при этом очень малы. Для уменьшения межэлектродных емкостей площади электродов делаются небольшими, а для увеличения мощности рассеяния, а, следовательно, и полезной мощности, используется принудительное воздушное охлаждение. Время пролета электронов между электродами лампы сокращено разумным выбором расстояний сетка-катод и сетка-анод. Расстояние между сеткой и катодом уменьшено до долей миллиметра.

Схемы УМ и УЧ. Реактивности лампы создают нежелательные связи между выходом и входом прибора. С ростом частоты степень связи увеличивается, что может привести к потере устойчивости и самовозбуждению каскада. На СВЧ выбирают такую схему включения АЭ, у которой паразитные связи будут минимальными. У металлокерамических ламп индуктивности выводов лампы малы и паразитная связь в основном определяется емкостями. Поскольку емкость анод-катод в 50-100 раз меньше емкостей анод-сетка и катод-сетка, то усилители мощности строят по схеме с общей сеткой.

|  |  |
| --- | --- |
| Структурная схема такого усилителя 🡪  Цепь согласования с нагрузкой (ЦСН) включена между анодом и сеткой, а цепь согласования с возбудителем (ЦСВ) – между катодом и сеткой. Емкости *Сас* и *Сск*входят в соответствующие цепи согласования. Паразитная же связь имеет место через малую емкость *Сак*. |  |

На СВЧ цепи согласования чаще всего представляют собой контур, составленный из емкости, может быть и межэлектродной, и объемного резонатора с индуктивным входным сопротивлением. Лампы с цилиндрическими, дисковыми или кольцевыми выводами хорошо сочленяются с объемными резонаторами на отрезках коаксиальных линий, закороченных на конце, т.е. с коаксиальными резонаторами.

Непосредственная связь между ЦСН и ЦСВ в данном случае отсутствует, т.к. ВЧ колебание будет сосредоточено внутри объемного резонатора и не выйдет на внешнюю поверхность этих труб

В зависимости от конструкции ламп используют два вида компоновки усилителей мощности: двухстороннюю и одностороннюю. Двухстороннюю конструкцию реализуют на лампах, у которых наибольший диаметр имеет вывод сетки.

|  |  |
| --- | --- |
| Возможный вариант двухсторонней компоновки УМ имеет следующий вид 🡪  Из схемы видно, что внешний цилиндр соединен с выводами сетки и является общим для входного и выходного контуров. Внутренний цилиндр ЦСН служит продолжением вывода анода лампы, а в ЦСВ – катода лампы. |  |

Коаксиальные линии закорочены поршнями и размещены по обе стороны лампы. Перемещая поршни, изменяется длина линий, соответственно, настраиваются контура. Связь с нагрузкой – трансформаторная, а с возбудителем – емкостная. По постоянному току заземлена сетка и внешний цилиндр, что удобно при эксплуатации. Блокировочные конденсаторы *СБЛ1* и *СБЛ2* встроены в поршни и отделяют анод и катод от сетки по постоянному напряжению. Необходимое смещение на сетке создается автоматически напряжением за счет протекания постоянной составляющей катодного тока через резистор *Rк*.

Вариант УМ с односторонней конструкцией используется для ламп с радиатором воздушного охлаждения, диаметр которого оказывается наибольшим по сравнению с диаметрами выводов сетки и катода.

|  |  |
| --- | --- |
| Схема односторонней конструкции имеет следующий вид 🡪  Из схемы видно, что ни один из электродов лампы не соединен с корпусом по ВЧ. Это объясняется тем, что глубина проникновения СВЧ поля в металл ничтожна и составляет тысячные доли миллиметра, что значительно меньше толщины труб коаксиальных линий. |  |

Поэтому СВЧ поле сосредоточено внутри объема между внутренним и наружным цилиндрами, а на внешней поверхности отсутствует. Вследствие этого ВЧ-потенциал точек на внутренней и внешней поверхностях труб не связаны между собой.

Применение коаксиальных линий в УМ облегчает построение цепей питания, поскольку трубы можно использовать для подачи постоянного напряжения и заземления корпуса УМ. При этом стенки труб линий играют роль блокировочных дросселей.

Ламповые умножители частоты (УЧ) СВЧ диапазона, подобно УМ, строят по схеме с общей сеткой, что связано с конструктивными особенностями металлокерамических ламп. В отличие от УМ, входная и выходная ЦС УЧ работают на разных частотах, что заметно ослабляет паразитные связи между каскадами и увеличивает устойчивость и надежность работы передатчика в целом. Поскольку с ростом кратности умножения КПД умножителя падает, то кратность умножения не превышает 2-3 раз.

Ламповые АГ СВЧ двухконтурные, с включенным АЭ по схеме с общей сеткой и по своему конструктивному исполнению аналогичны УМ, что связано с особенностями ламп, удобством настройки и подачи питающих напряжений. Отличие АГ от УМ состоит только в том, что вместо элемента связи с возбудителем включают дополнительную ОС между контурами для увеличения *Кос*, поскольку связь через емкость *Сак* может оказаться недостаточной для самовозбуждения.

|  |  |
| --- | --- |
| Схема АГ имеет вид: |  |

Упрощенная эквивалентная схема такого АГ имеет следующий вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

В соответствии с обобщенной 3-точечной схемой АГ анодный контур АГ должен иметь индуктивный характер, катодный – емкостной. При этом частота генерации находится из условия .

Поскольку частота колебаний близка к собственной частоте анодного контура, то настраивать АГ на заданную частоту можно изменяя положение поршня анодного контура.

**25. Модуляция в пролетных клистронах.**

В клистронных генераторах можно осуществлять АМ, ЧМ, ФМ и ИМ. Причем АМ и ФМ осуществляются в пролетном клистроне, а ЧМ – в отражательном. ИМ может осуществляться как в пролетном, так и в отражательном клистронах. ИМ в клистронах осуществляется подачей импульсного ускоряющего напряжения на резонаторы от импульсного модулятора. При этом уровень входного сигнала должен быть постоянным. Требования к постоянству уровня входного сигнала на вершине модулирующего импульса определяется допустимым изменением фазы входного сигнала за время действия модулирующего импульса.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Схема импульсной модуляции на пролетном клистроне🡪  В схему включены контрольно-измерительные приборы. |  | |
| Если в клистроне имеется дополнительная управляющая сетка между электронным прожектором и входным резонатором, то изменением напряжения на ней можно эффективно управлять плотностью потока электронов, т.е. осуществлять АМ либо ЧМ. Такой режим у клистрона аналогичен модуляции смещением в НЧ области. | |  |

Отражательный клистрон позволяет осуществлять ЧМ и ИМ. ЧМ в отражательном клистроне осуществляется по изменению напряжения на отражателе, а ИМ – по изменению ускоряющего напряжения. Отражательный клистрон позволяет формировать сигналы с ЛЧМ, либо сигналы с внутриимпульсной ЛЧМ.

Клистронные генераторы являются одними из самых дорогих усилителей СВЧ диапазона. Однако их дороговизна окупается высоким коэффициентом усиления.

**17. Особенности телевизионных передатчиков сигнала изображения.**

Радиопередатчик сигналов изображения (ПИ) является звеном тракта передачи изображения, преобрахующим полный телефизионный сигнал (сигналы изображения, гашения и синхронизации) в модулированный радиочаститный ТВ сигнал.

Согласно принятому в СССР стандарту кадр изображения содержит 625 строк и состоит из двух полей (полукадров) с чересстрочным чередованием. Номинальная частота кадров 25, а частота полей 50 в секунду. При этом частота строк  Гц при допустимой нестабильности  Гц. Для реализации максимальной четкости по горизонтали требуется передать сигнал изображения с высшей частотой спектра  МГц, где 4/3 – формат кадра (отношение размеров по горизонтали и вертикали);  - число элементов изображения вдоль строки; множитель 0,5 учитывает передачу черных и белых точек.

Среднее значение сигнала изображения зависит от освещенности передаваемого кадра изображения и может медленно меняться во времени.

Радиосигнал изображения образуется путем амплитудной модуляции несущей канала изображения полным ТВ сигналов, причем максимум мощности соответствует синхроимпульсу (СИ), а минимум – уровню белого. Сигналы цвета передаются путем ЧМ поднесущей и спектр этих сигналов размещен в верхней части спектра яркостного сигнала.

Для экономии Пзч в спектре АМ сигнала частично подавляяется нижняя боковая полоса (НБП).

Яркостные сигналы имеют определенные уровни: 15% - белый, 70-72% - черный, 75 % - уровень гашения; поэтому интервал изменения сигнала от белого до черного 55-57% АХ РПдУ. Перепады уровней могут происходить за  мкс.

Телевизионное вещание осуществляется в диапазоне метровых и дециметровых волн.

Мощности вещательных передатчиков изображения в режиме синхроимпульсов 1…50 кВт, а ретрансляторов – 1…200 Вт.

К ТВ передатчикам предъявляются высокие требования в отношении бесперебойной работы, стабильности качественных показателей, т.е. надежности. Перерывы в работе нежелательны.

Обычно ТВ передатчики работают по определенному расписанию и сеансы работы составляют от нескольких частов до 15…20 часов в сутки, что позволяет в оставшееся время проводить профилактическое обслуживание, регулировку и ремонт. Наработка на отказ должна быть не менее 1000 ч для передатчиков без резервирования и 2000 ч для передотчиков с резервированием при времени восстановления работоспособности 2…4 ч.

ВЧ тракты передатчиков диапазона метровых волн содержат несколько ступеней усиления мощности, выполненных на тетродах, а до уровней мощности в сотни кВт все чаще применяются усилители на транзисторах. Надежность работы трактов невысока, 50-70% отказов ТВ передатчиков возникает в ступенях УМВЧ на электровакуумных приборах.

Для повышения надежности ТВ передатчики выполняются из двух в схемном и конструктивном отношении полукомплектов, мощности которых складываются на выходе с помощью мостовых устройств М. При аварии в одном из полукомплектов выходная мощность снижается сначала в 4 раза, но затем, с помощью системы коммутации исправный комплект подключается к выходу в обход моста, и мощность на выходе становится только вдвое меньше номинальной. В зоне приема при наличии АРУ в ТВ качество принимаемого сигнала снижается незначительно либо вовсе незаметно.

|  |  |
| --- | --- |
| Упрощенная структурная схема ТВ РПС:  В – возбудитель, РФ – разделит. фильтр.  При коммутации в обход моста происходит перерыв в работе продолжительностью 1…5 с, что допускается. Не считается отказом и снижение мощности вдвое на 0,5…1 ч (этого времени достаточно для восстановления работоспособности рабочего полукомплекта). |  |

Коммутация ВЧ трактов в устройствах большой мощности является сложной технической проблемой. Коаксиальные переключатели и доп. фидеры на большую мощность увеличивают габариты РпдУи могут понизить его надежность. При аварии в одном из полукомплектов ПИ для обеспеченияопределенного соотношения мощностей целесообразно снизить вдвое мощность передатчика сигналов звукового сопровождения, например, отключив один из его полукомплектов.

|  |  |
| --- | --- |
| Более рациональной оказывается построение РПС по схеме 🡪,  где в состав каждого полукомплекта входят тракты усиления мощности каналов изображения и звука, выходные сигналы которых объединяются с |  |

помощью разделительных фильтров (РФ), а затем происходит сложение мощностей полукомплектов. Каждый полукомплетк имеет автономные блоки питания, общие для УМВЧ каналов изображения и звука. При аварии все оборудование полукомплекта отключается. Схема позволяет получить выигрыш в гвбвритных размерах и надежности за счет цменьшения (в 2 раза и более) числа коммутаций ВЧ трактов.

**15. Особенности построения передатчиков радиорелейных и тропосферных линий связи.**

В радиорелейных, тропосферных, космических (спутниковых) системах связи могут использоватся различные виды модуляции несущей частоты передатчика. Чаще всего применяется угловая. Структурная схема современного РПдУ с УМ определяется основными требованиями к таким передатчикам: высокая несущая частота; частотная модуляция при малых допустимых искажениях и широкой полосе модулирующих частот; необходимость иметь передатчики с разными значениями несущих частоты; довольно высокая степень стабильности средней частоты при ЧМ и др.

Необходимость в глубокой модуляции с малыми искажениями заставляет использовать прямой метод получения ЧМ: использовать либо систему АПЧ, либо применять модуляцию на поднесущей частоте, т.е. интерполяционный метод формирования несущей частоты (смешивание двух частот АГ *f1* и *f2* и в качестве рабочей выбирать одну из комбинационных составляющих, например, *f = f1+f2*)

|  |  |
| --- | --- |
| Укрупненная структурная схема передатчика релейной, трапосферной или спутниковой связи 🡪  (оконечная)  Передатчик состоит из следующих узлов: |  |

-кварцевый АГ а частотой *fкв* и тракт умножения частоты и усиления мощности, обеспечивающие в основном заданную степень стабильности частоты РПдУ, выходная частота тракта *nfкв*, (этот узел называют гетеродином);

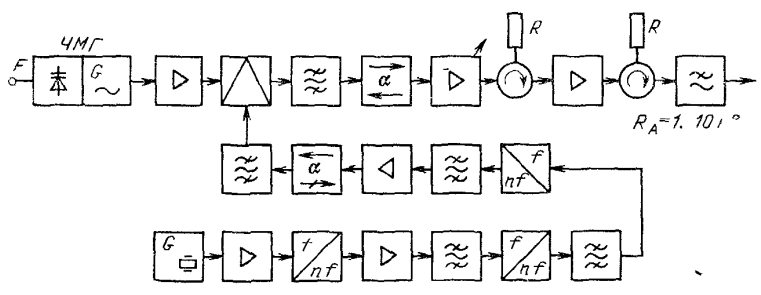
- тракт ПЧ с ЧМАГ, обеспечивающий заданную девиацию частоты при заданных показателях качества модуляции;

- смеситель (СМ), осуществляющий формирование рабочей частоты 

- тракт УМ, обеспечивающий получение заданной мощности.

Аппаратура РРЛ прямой видимости бывает двух разновидностей: оконечная и промежуточная. На оконечных станциях производится подуляция при передаче и детектирование при приеме. Задача промежуточной станции РРЛ – принять колебания с частотой fраб 1 от предшествующей станции и передать к последующей на рабочей частоты fраб 2 при заданной мощности. Промежуточная частота приемника является поднесущей частотой передатчика.

Структурная схема передатчика для трапосферной и наземной спутниковой станции. Она отличается от рассмотренной выше существенно большей мощностью, и поэтому после смесителя передатчика ставится УМ СВЧ на многорезонаторном клистроне, на ЛБВ и др. Остальные элементы структурной схемы примерно такие же.



**16. Особенности структурных схем боротовых передатчиков ИСЗ.**

Бортовой ретранслятор спутниковой (космической) системы связи близок по своей структуре к промежуточной станции РРЛ прямой видимости, т.к. в нем также не производится выделение передаваемых сообщений. Передатчик ретранслятора решает две задачи: переносит сообщение с частоты приема на частоту передачи и обеспечивает необходимую мощность. К бортовому предъявляются повышенные требования большого срока службы, малой потребляемой мощности , массы и габаритных размеров.

Различают два варианта построения ретрансляторов:

|  |  |
| --- | --- |
| с двойным преобразованием частоты  (гетеродинный) | с однократным преобразованием  (линейным или прямого усиления) |
|  |  |

Гетеродинный ретранслятор несколько сложнее, т.к. содержит два ПЧ, но основное усиление в нем производится без особого труда на относительно низкой *fпч* = 70…120 МГц. Ширина полосы пропускаемых частот обычно меньше 40 МГц.

Ретранслятор с одним преобразованием проще и потому надежнее, но усиление мощности производится на повышенных частотах  ГГц или , что связанно с дополнительными трудностями. Из-за того, что в ретрансляторе требуется большое усиление, возникают трудности с обеспечением устойчивого усиления. Но именно благодаря высокой частоте полоса пропускания может достигать 80 МГц.

При необходимости передачи очень широкой полосы частот усилительный тракт передатчика ретранслятора может состоять из нескольких «параллельных» каскадов (например, на ЛБВ), на каждый из которых через разделительные фильтры подается своя часть передаваемой полосы частот сигнала. Далее отдельные полосы объединяются.

Требования к ретранслятору и его передатчику усложняются, если ставится задача одновременной ретрансляции сигналов, принятых от разных передатчиков (многостанционный доступ). При смешивании в одном общем канале нескольких независимых сообщений получается суммарное колебание с меняющейся амплитудой необходимы усилители с линейной амплитудной характеристикой.

Следует иметь ввиду, что ретранслятор находится в условиях открытого космоса, т.е. в условии гулбокого вакуума, невесомости, метеоритной опасности, солнечной радиации, космического и рентгеновского излучения. Во время запуска на него действуют сильные вибрации и большие ускорения, температура может резко меняться. Важным является жестое ограничение по мощности источников питания.

На станциях радиорелейной связи прямой видимости и тропосферных, на наземных станциях и на борту спутников-ретрансляторов обычно имеется несколько передатчиков, используемых совместно и образующих так называемый передающий комплекс. Прежде всего, несколько передатчиков необходимы для взаимного резервирования в целях повышения надежности. Также используются для создания нескольких стволов передачи информации, т.е. для передачи большего числа телефонных каналов и программ ТВ, для организации разноса по частоте в трапосферных линиях и др.