

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

Московский технический университет связи и информатики

Г.М.Аристархов, А.А.Елизаров, В.И.Николотов

**ПРИБОРЫ СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ
И ОПТИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА
в вопросах и ответах**

Часть 1

ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЕ ПРИБОРЫ СВЧ

Учебное пособие

Москва 2010

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Московский технический университет связи и информатики

Г.М.Аристархов, А.А.Елизаров, В.И.Николотов

**ПРИБОРЫ СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ
И ОПТИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА
в вопросах и ответах**

Часть 1

ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЕ ПРИБОРЫ СВЧ

Учебное пособие

*Рекомендовано УМО по образованию в области телекоммуникаций
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных
заведений, обучающихся по направлению подготовки
дипломированных специалистов 210400 – «Телекоммуникации».
Протокол № 49 от 27.10.2009 г.*

Москва 2010

УДК 621.38

Аристархов Г.М., Елизаров А.А., Николотов В.И. Приборы сверхвысоких частот и оптического диапазона в вопросах и ответах. Ч. 1. Электровакуумные приборы СВЧ: Учебное пособие / МТУСИ. – М., 2010. – 47 с.

Настоящее учебное пособие содержит тестовые задания для промежуточного контроля знаний студентов 3-го курса по дисциплине «Приборы СВЧ и оптического диапазона». Тестовые задания состоят из групп контрольных вопросов по основным разделам лекционной и лабораторной тематики.

В тестовых заданиях могут содержаться несколько правильных ответов.

Базовые тестовые задания сопровождаются теоретическими пояснениями, способствующими самостоятельной работе студентов.

Ил. 14, список лит. 2 назв.

Рецензенты: В.Н.Акимов, канд.техн.наук, доцент (МТУСИ)
А.М.Прохода, канд.техн.наук, доцент (Балтийский
ВМИ им. Ф.Ф.Ушакова)
Ю.Д.Мозговой, докт.техн.наук, профессор (МИЭМ)

© Московский технический университет
связи и информатики, 2010 г.

Раздел 1. Клистроны

1.1. В основе принципа действия клистронов лежит преобразование
...?... энергии электронов в высокочастотную энергию.

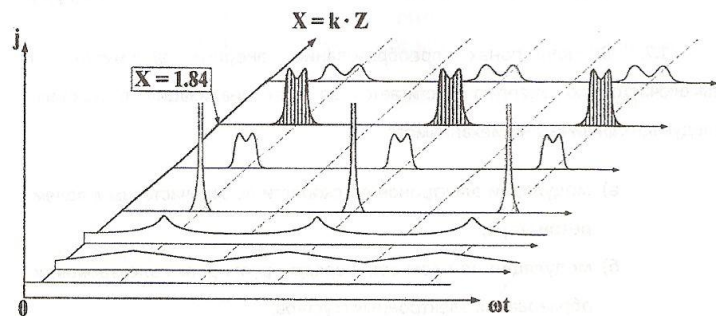
- а) кинетической;
- б) потенциальной;
- в) кинетической и потенциальной.

Верно: ?

1.2. В клистродах преобразование энергии электронов в
высокочастотную энергию достигается за счет реализации в приборе
следующих физических механизмов:

- а) модуляции электронов по скорости высокочастотным полем резонатора;
- б) модуляции по плотности заряда (группировка электронов) и образования электронных сгустков;
- в) того и другого механизмов раздельно;
- г) того и другого механизмов в поле бегущей волны.

Верно: ?



1.3. В пролетном клистроне группировка электронов в сгустки (модуляция по плотности заряда) осуществляется

- а) в области дрейфа, где они движутся по инерции и на них не действует никакое поле;
- б) в области действия тормозящего статического поля;
- в) в области поля бегущей волны.

Верно: ?

1.4. В отражательном клистроне группировка электронов в сгустки (модуляция по плотности заряда) осуществляется

- а) в области дрейфа, где они движутся по инерции и на них не действует никакое поле;
- б) в области действия тормозящего статического поля;
- в) в области поля бегущей волны.

Верно: ?

1.5. В пролетном и многорезонаторном клистронах отбор высокочастотной энергии осуществляется

- а) в том же резонаторе, в котором происходит скоростная модуляция электронов;
- б) в другом резонаторе, в котором движущаяся последовательность электронных сгустков попадает синхронно в одну и ту же тормозящую фазу высокочастотного колебания резонатора;
- в) в области поля бегущей волны.

Верно: ?

1.6. В отражательном клистроне отбор высокочастотной энергии осуществляется

- а) в том же резонаторе, в котором происходит скоростная модуляция электронов;
- б) в другом резонаторе, в котором движущаяся последовательность электронных сгустков попадает синхронно в одну и ту же тормозящую фазу высокочастотного колебания резонатора;
- в) в области поля бегущей волны.

Верно: ?

1.7. Клистрон относится к типу электровакуумных приборов СВЧ

- а) с длительным взаимодействием электронов с СВЧ-полем. При этом должно выполняться условие *пространственного* синхронизма, т.е. скорость распространения электромагнитной волны (обычно фазовая скорость) и начальная скорость электронов должны быть близки друг к другу;
- б) с кратковременным взаимодействием электронов с СВЧ-полем. При этом должно выполняться условие *пространственного* синхронизма, т.е. скорость распространения электромагнитной волны (обычно фазовая скорость) и начальная скорость электронов должны быть близки друг к другу;
- в) с длительным взаимодействием электронов с СВЧ-полем. При этом должно выполняться условие *временного* синхронизма, т.е. частота следования электронных сгустков

через область взаимодействия (резонатор) должна быть близка к собственной частоте колебательной системы или кратна ей;

- г) с кратковременным взаимодействием электронов с СВЧ полем. При этом должно выполняться условие *временного* синхронизма, т.е. частота следования электронных сгустков через область взаимодействия (резонатор) должна быть близка к собственной частоте колебательной системы или кратна ей;
- д) для работы которого должны одновременно выполняться условия *пространственного* и *временного* синхронизма.

Верно: ?

1.8. На рис. 1 укажите условные графические обозначения (УГО) клистронов:

а) Пролетного клистрона 1а); 1б); 1в); 1г); 1д); 1е); 1ж); 1з)

Верно: ?

б) Отражательного клистрона 1а); 1б); 1в); 1г); 1д); 1е); 1ж); 1з)

Верно: ?

в) Многорезонаторного клистрона 1а); 1б); 1в); 1г); 1д); 1е); 1ж); 1з)

Верно: ?

1.9. На рис. 1 укажите:

- а) схему включения отражательного клистрона с заземленным резонатором 1а); 1б); 1в); 1г); 1д); 1е); 1ж); 1з)

Верно: ?

- б) схему отражательного клистрона с заземленным катодом
1а); 1б); 1в); 1г); 1д); 1е); 1ж); 1з)

Верно: ?

- в) схему пролетного клистрона с заземленным катодом
1а); 1б); 1в); 1г); 1д); 1е); 1ж); 1з)

Верно: ?

- г) схему многорезонаторного клистрона с заземленным
катодом

1а); 1б); 1в); 1г); 1д); 1е); 1ж); 1з)

Верно: ?

1.10. На рис. 1 1а); 1б); 1в); 1г); 1д); 1е); 1ж); 1з) в устройствах
клистронов укажите:

- а) подогревный катод (к)

Верно: ?

- б) нить накаливания (н.н.)

Верно: ?

- в) фокусирующий электрод (ФЭ)

Верно: ?

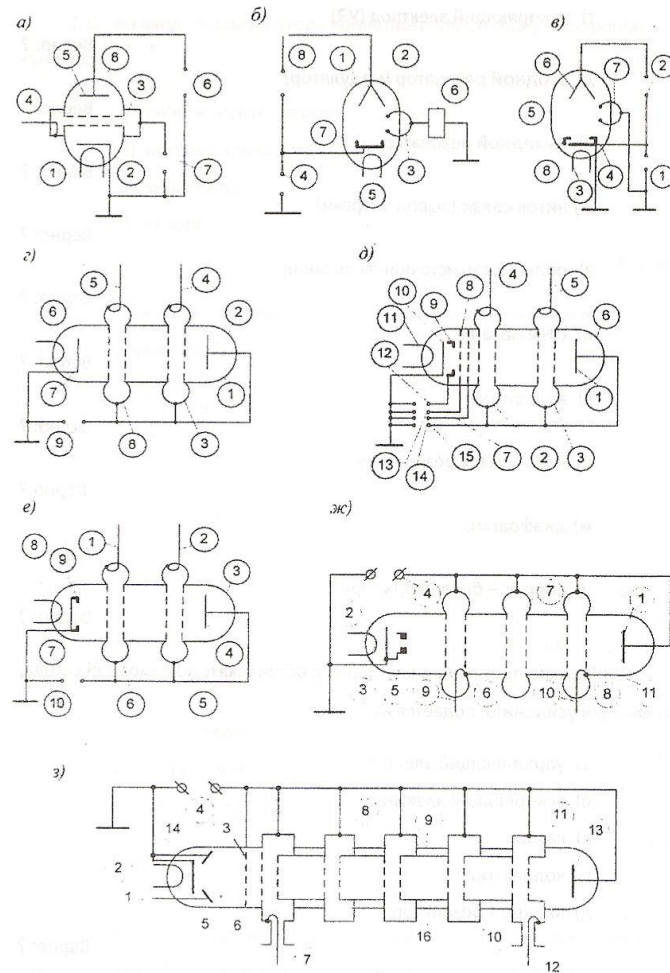


Рис. 1

г) ускоряющий электрод (УЭ)

Верно: ?

д) входной резонатор (модулятор)

Верно: ?

е) выходной резонатор

Верно: ?

ж) виток связи (вывод энергии)

Верно: ?

з) полярность источников питания

Верно: ?

и) отражатель

Верно: ?

к) коллектор

Верно: ?

л) «холостые» резонаторы

Верно: ?

м) диафрагмы

Верно: ?

н) корпус – баллон прибора

Верно: ?

1.11. В схеме пролетного клистрона с общим катодом входной сигнал, подлежащий усилению, подается на

а) управляющий электрод;

б) ускоряющий электрод;

в) катод;

г) коллектор;

д) входной резонатор.

Верно: ?

1.12. Во входном резонаторе пролетного клистрона у электронов изменяется

а) кинетическая энергия;

б) потенциальная энергия;

в) мощность;

г) скорость.

Верно: ?

1.13. Угол пролета электронов $\theta_{пр}$ во входном резонаторе пролетного клистрона должен быть

а) $\theta_{пр} = 2\pi$;

б) $\theta_{пр} = 4\pi$;

в) $2\pi < \theta_{пр} < 4\pi$;

г) $\theta_{пр} \leq \pi$;

д) $\theta_{пр} \rightarrow 0$.

Верно: ?

1.14. Время пролета электронов $\tau_{пр}$ во входном резонаторе пролетного клистрона должно быть

а) длительным;

б) кратковременным;

в) средним $\tau_{пр}(б) < \tau_{пр}(в) < \tau_{пр}(а)$

Верно: ?

1.15. Во входном резонаторе пролетного клистрона коэффициент взаимодействия СВЧ – поля с электронным потоком M должен быть

- а) $M \gg 1$;
- б) $M \ll 1$;
- в) $M \rightarrow 1$.

Верно: ?

1. 16. На участке катод – входной резонатор протекает электрический ток

- а) переменный высокой частоты;
- б) постоянный;
- в) импульсный;
- г) переменный ток низкой частоты;
- д) переменный ток сверхвысокой частоты.

Верно: ?

1.17. Во входном резонаторе пролетного клистрона на модуляцию электронного потока по скорости энергия

- а) затрачивается значительная;
- б) затрачивается незначительная;
- в) практически не затрачивается.

Верно: ?

1.18. Какие величины откладываются на осях пространственно – временной диаграммы

по оси абсцисс:

- а) время ωt ;
- б) расстояние катод – входной резонатор;
- в) угол пролета электрона.

Верно: ?

по оси ординат:

- а) время;
- б) угол пролета электрона;
- в) расстояние входной резонатор – коллектор;
- г) расстояние катод – входной резонатор.

Верно: ?

1.19. Если угол пролета невозмущенного электрона в зазоре первого резонатора пролетного клистрона равен 2π , то скоростная модуляция

- а) достигает большой глубины;
- б) достигает средней глубины;
- в) отсутствует.

Верно: ?

1.20. Если угол пролета невозмущенного электрона в зазоре первого резонатора пролетного клистрона равен 4π , то скоростная модуляция

- а) достигает большой глубины;
- б) отсутствует;
- в) достигает средней глубины.

Верно: ?

1.21. Если угол пролета невозмущенного электрона в зазоре первого резонатора пролетного клистрона равен $\pi/2$, то скоростная модуляция

- а) достигает большой глубины;
- б) достигает средней глубины;
- в) отсутствует.

Верно: ?

1.22. Коэффициент эффективности M_1 показывает

- а) взаимодействие электронного потока со сверхвысокочастотным полем первого резонатора;
- б) во сколько раз уменьшается эффективность взаимодействия по сравнению с идеальным случаем мгновенного пролета пространства взаимодействия, когда угол пролета равен нулю;
- в) частотную зависимость скоростной модуляции.

Верно: ?

1.23. Самая эффективная модуляция электронного потока в первом резонаторе пролетного клистрона происходит при времени пролета между его сетками

- а) $\omega\tau_{\max}$ максимальном;
- б) $\omega\tau_{\max} \rightarrow 0$;
- в) $\omega\tau_0 < \omega\tau_{\text{ср}} < \omega\tau_{\max}$.

Верно: ?

1.24. Наиболее эффективная модуляция электронного потока в клистроне обеспечивается при

- а) длительном воздействии $\tau_{\text{длит}}$ сверхвысокочастотного поля на электроны, пролетающие между сетками первого резонатора;
- б) мгновенном взаимодействии ($\tau_{\text{мгнов}} \rightarrow 0$) поля СВЧ и электронного потока;
- в) $\tau_{\text{мгнов}} < \tau_{\text{среднее}} < \tau_{\text{длит}}$.

Верно: ?

1.25. Форма импульсов конвекционного тока зависит от

- а) амплитуды напряжения СВЧ между сетками первого резонатора;
- б) постоянного ускоряющего напряжения;
- в) угла пролета в первом резонаторе;
- г) напряжения коллектора;
- д) времени пролета в области дрейфа.

Верно: ?

1.26. Спектральный состав конвекционного тока зависит от

- а) постоянного напряжения коллектора;
- б) угла пролета в области дрейфа;
- в) постоянного напряжения на первом резонаторе;
- г) времени пролета в первом резонаторе;
- д) относительной амплитуды напряжения на первом резонаторе.

Верно: ?

1.27. Оптимальный параметр группирования в пролетном клистроне определяется

- а) напряжением на коллекторе;
- б) напряжением на фокусирующем электроде;
- в) максимальным значением наведенного тока 1-ой гармоники во втором резонаторе.

Верно: ?

1.28. Конвекционный ток представляет собой

- а) синусоидальный ток;

- б) постоянный ток;
- в) несинусоидальный ток;
- г) однородный ток;
- д) неоднородный ток.

Верно: ?

1.29. В пролетном клистроне амплитуда первой гармоники наведенного тока в резонаторе зависит от

- а) угла пролета невозмущенного электрона в зазоре резонатора;
- б) напряжения коллектора;
- в) амплитуды первой гармоники конвекционного тока.

Верно: ?

1.30. При каком значении угла пролета (в пролетном клистроне) амплитуда первой гармоники наведенного тока равна нулю?

- а) $\theta_2 < 2\pi n$ ($n=1,2,3\dots$);
- б) $\theta_2 = 2\pi n$;
- в) $\theta_2 > \pi$.

Верно: ?

1.31. Отличается ли спектральный состав наведенного тока в резонаторе пролетного клистрона от спектрального состава конвекционного тока?

- а) может отличаться;
- б) не может отличаться.

Верно: ?

Может отличаться в зависимости от X.

1.32. Наведенный ток в выходном резонаторе пролетного клистрона создает

- а) тормозящее поле для летящих электронов;
- б) ускоряющее поле для электронов.

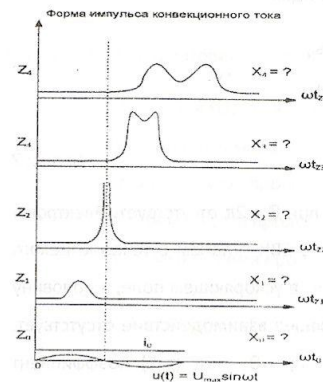
Верно: ?

1.33. Оптимальный параметр для пролетного клистрона принимает значение

- а) $X = 1.84$;
- б) $X = 2.54$;
- в) $X = 0$;
- г) $X < 1$;
- д) $X = 1$.

Верно: ?

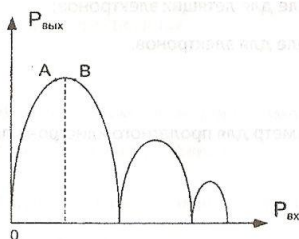
1.34. В различных сечениях Z_0, Z_1, Z_2, Z_3 области дрейфа пролетного клистрона укажите для параметров группирования X знаки неравенства, соответствующие этим сечениям



- а) $X = 0$;
- б) $X = 1$;
- в) $X > 1$;
- г) $X < 1$;
- д) $X = 1.84$.

Верно: ?

1.35. На амплитудной характеристике клистронного усилителя укажите участок характеристики, который используется для



- а) режима наибольшего усиления напряжения входного сигнала;
- б) режима максимального усиления мощности входного сигнала;
- в) режима наибольшего КПД.

Верно: ?

1.36. Если угол пролета невозмущенного электрона в зазоре первого резонатора равен 2π , то скоростная модуляция

- а) достигает большой глубины;
- б) достигает средней глубины;
- в) отсутствует.

Верно: ?

Скоростная модуляция электронов при $\theta = 2\pi$ отсутствует. Электроны пролетают пространство взаимодействия с СВЧ – полем в течение целого периода. Поэтому половину пути они летят в ускоряющем поле, а половину пути – в тормозящем поле, и результирующее взаимодействие отсутствует. При этом нет никакой модуляции, т.е. при $\theta = 2\pi$ ($\tau = T$) коэффициент

взаимодействия между полем и электронным потоком равен нулю и, таким образом, воздействие напряжения на электроны в этом случае отсутствует.

1.37. Коэффициент M_1 характеризует взаимодействие в зазоре входного резонатора между

- а) СВЧ – полем и плотностью тока луча;
- б) ускоряющим полем U_0 и током электронной пушки;
- в) СВЧ – напряжением в зазоре и потоком электронов.

Верно: ?

1.38. С ростом рабочей частоты клистрона омические проводимости его реактивных «паразитных» параметров X_c, X_L :

- а) растут;
- б) уменьшаются;
- в) X_c растут, а X_L уменьшаются;
- г) X_c уменьшаются, а X_L растут;
- д) остаются постоянными.

Верно: ?

1.39. Основными параметрами, характеризующими инерцию электронов в резонаторах клистрона, являются:

- а) заряд и масса электронов;
- б) скорость и масса электронов;
- в) заряд и угол пролета электронов;
- г) время и угол пролета электронов;
- д) масса и время пролета электронов.

Верно: ?

1.40. В межэлектродном промежутке клистрона протекает:

- а) наведенный ток и ток смещения;
- б) конвекционный ток;
- в) емкостной ток;
- г) конвекционный ток и ток смещения;
- д) емкостной ток и ток смещения.

Верно: ?

Ток смещения $I_{см}$ – величина, пропорциональная скорости изменения переменного электрического поля в вакууме. Ток смещения – емкостной ток $i_{емк}(t) = c \cdot \frac{dU(t)}{dt}$. Он порождает магнитное поле по тому же закону.

Наведенный ток I_n – это ток во внешней цепи, обусловленный движущимися электронами в межэлектродном пространстве. Направление наведенного тока совпадает с электронным (конвекционным) током. По величине наведенный ток I_n в выходном резонаторе клистрона равен $I_n = M_2 \cdot I_{емк}$.

Полный ток $I_{полн}$ – это емкостной ток + наведенный ток $I_{полн}(t) = i_{емк}(t) + I_n(t) = \frac{dQ_0}{dt} + \frac{qU_n}{d}$.

1.41. Во внешней цепи клистрона протекает:

- а) ток смещения;
- б) наведенный ток и емкостной ток;
- в) конвекционный ток и ток смещения;
- г) конвекционный ток и наведенный ток;
- д) емкостной ток и ток смещения.

Верно: ?

1.42. Угол пролета электронов в резонаторе – это:

- а) средний угол вылета электронов с катода;
- б) угол наклона траектории электронов к продольной оси прибора;
- в) среднее время вылета электронов из резонатора при максимальном напряжении;
- г) угол наклона траектории электронов к поверхности катода;
- д) среднее время влета электронов в резонатор при минимальном напряжении.

Верно: ?

Угол пролета электронов $\theta_{пр} = \omega t_{пр}$ показывает, насколько изменяется фаза СВЧ-поля за время пролета электронов $t_{пр}$ между сетками резонатора.

1.43. Коэффициент взаимодействия электронного потока с СВЧ-полем резонатора определяется величиной:

- а) ускоряющего напряжения;
- б) угла пролета электронов в резонаторе;
- в) скорости промодулированных электронов;
- г) тока электронного пучка;
- д) волновым сопротивлением резонатора.

Верно: ?

Коэффициент взаимодействия электронного потока с СВЧ-полем $M = \frac{\sin \frac{\theta}{2}}{\frac{\theta}{2}}$ характеризует эффективность этого процесса.

1.44. Параметр группирования электронов в пролетном клистроне определяется

- а) электронным потоком на участке катод - модулятор;
- б) напряжением на выходном резонаторе;
- в) скоростной модуляцией электронного потока;
- г) временем пролета в области дрейфа.

Верно: ?

Параметр группирования X характеризует содержание амплитуды

$$X = \frac{U_m}{2U_0} \cdot \frac{\sin \frac{\theta_1}{2}}{\frac{\theta_1}{2}} \cdot \omega \tau_0 = \frac{U_m}{2U_0} \cdot M_1 \cdot \theta_0,$$

где U_m – амплитуда напряжения на резонаторе;

M_1 – коэффициент взаимодействия СВЧ-поля и электронного потока;

θ_1 – угол пролета в модуляторе;

θ_0 – угол пролета в области дрейфа, $\theta_0 = \omega \tau_0$.

1.45. В маломощных электровакуумных приборах электростатическое управление электронным током достигается:

- а) изменением напряженности электростатического поля в объеме электронной лампы, вызывающим изменение высоты потенциального барьера для электронов в области пространственного заряда у катода, приводящее в итоге к изменению анодного тока;
- б) изменением волнового сопротивления в объеме электронной лампы, вызывающим изменение тока в области пространственного заряда у катода, приводящее в итоге к изменению анодного напряжения;

в) изменением тока в объеме электронной лампы, вызывающим изменение реактивного сопротивления между анодом и катодом, приводящее в итоге к изменению плотности тока катода;

г) изменением напряжения в объеме электронной лампы, вызывающим изменение реактивного сопротивления между анодом и катодом, приводящее в итоге к изменению плотности тока катода;

д) изменением индукции магнитного поля в объеме электронной лампы, вызывающим изменение высоты потенциального барьера для электронов в области пространственного заряда у катода, приводящее в итоге к изменению анодного тока.

Верно: ?

1.46. В специальных мощных электровакуумных приборах СВЧ динамическое управление электронным током достигается:

- а) фазовой модуляцией; модуляцией электронов по скорости и образованию сгустков; отбором энергии в выходном резонаторе;
- б) частотной модуляцией; модуляцией электронов по плотности и образованию сгустков; отбором энергии в выходном резонаторе;
- в) амплитудной модуляцией; модуляцией электронов по фазе и образованию сгустков; отбором энергии в выходном резонаторе;

- г) скоростной модуляцией; модуляцией электронов по плотности и образованию сгустков; отбором энергии в выходном резонаторе;
- д) поляризационной модуляцией; модуляцией электронов по частоте и образованию сгустков; отбором энергии в выходном резонаторе.

Верно: ?

1.47. Каскадная группировка электронов достигается:

- а) каскадным соединением нескольких секций резонаторов с интенсивной амплитудной модуляцией;
- б) применением дополнительного резонатора – группирователя с интенсивной скоростной модуляцией;
- в) применением каскадной группирующей секции с интенсивной частотной модуляцией;
- г) применением каскада резонаторов с разными частотами настройки и интенсивной фазовой модуляцией;
- д) применением дополнительных ускоряющих электродов с интенсивной скоростной модуляцией.

Верно: ?

1.48. Рекуперация энергии – это:

- а) метод снижения потерь выходной мощности клистрона, при котором неиспользованная электронами энергия расходуется на повышение тока пучка;

- б) метод повышения коэффициента усиления клистрона, при котором энергия электронов частично расходуется на нагрев коллектора;
- в) метод повышения КПД клистрона, при котором энергия электронов, расходуемая на нагрев коллектора, возвращается для повышения напряжения на резонаторной системе;
- г) метод повышения выходной мощности клистрона, при котором энергия электронов возвращается дополнительной секции коллектора;
- д) метод повышения КПД клистрона, при котором неиспользованная электронами энергия возвращается в источник постоянного тока.

Верно: ?

1.49. Пространственный заряд, образующийся вблизи катода электронной пушки клистрона,

- а) расширяет электронный пучок;
- б) сужает электронный пучок;
- в) служит для фокусировки электронного пучка;
- г) повышает ток электронного пучка;
- д) повышает напряжение электронного пучка.

Верно: ?

1.50. Совокупность каких факторов является необходимым и достаточным условием, определяющим возможность самовозбуждения отражательного клистрона:

- а) мощность, передаваемая электронным потоком СВЧ – полю в зазоре резонатора (электронная мощность) P_3 ;
- б) суммарная мощность потерь автоколебательной системы P_{Π} ;
- в) проводимость активной нагрузки G_{Π} ;
- г) параметр группирования X ;
- д) баланс фаз $\sum \varphi = 2\pi k$.

Верно: ?

Необходимым и достаточным условием для возбуждения автоколебательной системы является одновременное выполнение совокупности двух условий: баланса мощностей и баланса фаз.

В отражательном клистроне баланс мощностей можно представить в виде неравенства $P_3 \geq P_{\Pi}$, где $P_3 = \frac{M \cdot I_0 \cdot 2 \cdot I_1(X) \cdot U_1}{2}$ – поступающая мощность от электронного потока; $P_{\Pi} = \frac{G U_1^2}{2}$ – мощность потерь (совокупность факторов а) и б)).

Баланс фаз (фактор д) в общем случае отражает увеличение угла пролета θ на $2\pi n$ при любом номере n , где $\theta = \omega t_{\text{пр}}$, $-\frac{\pi}{2} < \varphi < \frac{\pi}{2}$.

1.51. В отражательном клистроне величина нагрузки $G_{\text{опт}}$, $G_1 < G_{\text{опт}}$, $G_2 > G_{\text{опт}}$, влияет на форму и номер зоны n генерации, которая при этом

- а) изменяет высоту зоны генерации;
- б) не изменяет высоту зоны генерации;
- в) изменяет ширину зоны генерации;
- г) не изменяет ширину зоны генерации.

Верно: ?

Форма зоны генерации существенно зависит от величины проводимости нагрузки G . В каждой зоне генерации имеет место оптимальная нагрузка $G_{\text{опт}}$, обеспечивающая максимальную мощность $P_{\text{вых, макс}}$ (наибольшую высоту зоны генерации на рис. 4). Эта нагрузка $G_{\text{опт}}$

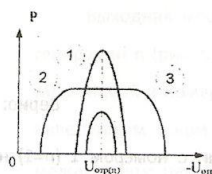


Рис. 4

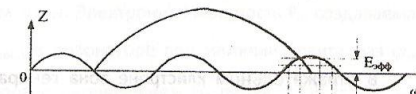


Рис. 5

соответствует оптимальному параметру $X_{\text{опт}}=2.4$.

При очень большой нагрузке $G_2 > G_{\text{опт}}$ выходная мощность зоны генерации будет небольшая (наименьшая высота), а ширина зоны самая узкая.

Ширина каждой зоны определяется условиями самовозбуждения (мощность потерь должна быть скомпенсирована поступающей электронной мощностью).

При большой проводимости нагрузки автоколебания будут существовать в меньшем интервале углов пролета $\Delta\theta_0$ (ширина зоны генерации оказывается уже), при которых выполняются условия самовозбуждения.

Чем больше проводимость нагрузки, тем больше требуется энергии, чтобы восполнить потери. Когда не восполняются потери, колебания исчезают. При увеличении G , увеличивается величина поля, необходимая для восполнения потерь, уменьшается угол пролета, уменьшается ширина зоны. Интервал углов $\Delta\theta_0$ определяет ширину генерации, в пределах

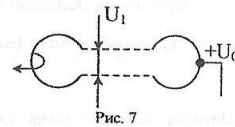
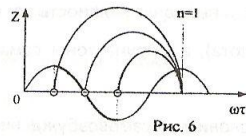
которой $E_{эф.}$ – эффективная энергия, отдаваемая электронами, достаточная для восполнения потерь (рис.5).

1.52. В зоне генерации с номером $n=1$ автоколебания

- а) возбуждаются;
- б) не возбуждаются.

Верно: ?

В отражательном клистроне зона генерации с номером 1 ($n=1$) не может возбуждаться. Для $n=1, M \leq 1$ из выражения $X_{отг} = \frac{U_1}{2U_0} \cdot M \cdot \theta = \frac{U_1}{2U_0} \cdot 2\pi \left(n - \frac{1}{4} \right)$, следует, что величина $X_{отг} = 2.4$.



Определим отношение величины $\frac{U_1}{U_0} : \frac{U_1}{U_0} = \frac{2X}{2\pi(n-\frac{1}{4})} \approx 1$, т.е. амплитуда напряжения на контуре U_1 должна быть соизмерима (больше), чем U_0 ; $U_1 > U_0$, если учесть, что $M < 1$. При таком неравенстве первая зона генерации ($n=1$) не возбуждается из-за невыполнимости условия $U_1 > U_0$.

1.53. В отражательном клистроне с увеличением номера зоны n мощность, отдаваемая в нагрузку,

- а) увеличивается;

- б) уменьшается;
- в) не изменяется.

Верно: ?

Выходная мощность $P_{вых.}$ уменьшается с ростом номера зоны генерации n (рис. 8), т.к. она определяется одновременно ее первой гармоникой и номером зоны. Электронная мощность $P_э$, создаваемая наведенным током $I_{нав(1)}$ в резонаторе при наличии сдвига фаз $\varphi_{рез}$ между током резонатора и напряжением U_1 , равна: $P_э = \frac{1}{2} I_{рез(1)} \cdot U_1 \cdot \varphi_{рез}$.

Ток резонатора равен наведенному току, поэтому $P_э = \frac{1}{2} I_{рез(1)} \cdot U_1 \cdot \varphi_{рез}$. Так как $I_{нав(1)}$ – функция параметра группирования X , который связан с напряжением U_1 , то $P_э$ оказывается сложной функцией от U_1 , в то время как мощность потерь P_n связана с U_1 квадратичным законом:

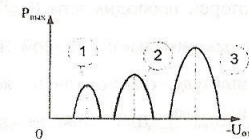


Рис. 8

$P_n = \frac{GU_1^2}{2}$, где $G = G_p + G_n$ – полная проводимость колебательной системы, которая включает G_p – проводимость резонатора (учитывая потери в самом резонаторе) и G_n – проводимость активной нагрузки. При оптимальном угле пролета $\varphi_{рез} = 0$, следовательно, можно записать $P_{э(ц)} = \frac{1}{2} I_{нав(1)} \cdot U_1$, где индекс «ц» означает, что режим соответствует центру зоны генерации $n=4$. Зависимости $P_{э(ц)}$ от U_1 показаны на рис. 9 для зон генерации $n=4, n=3$ при различных

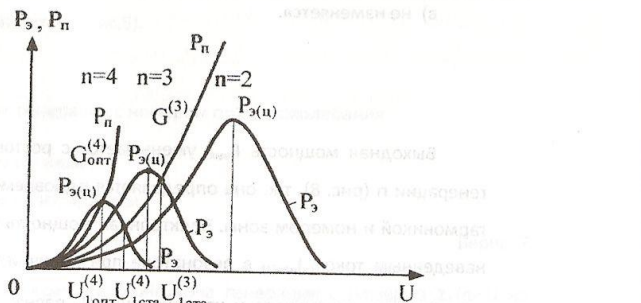


Рис. 9

значениях G . Точки пересечения кривых поступающей мощности $P_{э(u)}$ к затраченной мощности P_n соответствуют балансу мощностей, определяя амплитуду стационарных колебаний $U_{1стац}^{(4)}$, $U_{1стац}^{(3)}$. Для любого номера зоны n амплитуда стационарных колебаний зависит от проводимости, рост которой всегда приводит к уменьшению амплитуды. При некоторой проводимости $G_{опт}^{(4)}$ точка пересечения кривой совпадает с максимальной кривой $P_{э(u)}$. В этом случае проводимость и амплитуду стационарных колебаний называют оптимальными ($G_{опт}^{(4)}$, $U_{1опт}^{(4)}$). Для каждой зоны имеется своя оптимальная проводимость. Оптимальные значения стационарных амплитуд напряжения уменьшаются с ростом n , так что $U_{1опт}^{(4)} < U_{1опт}^{(3)} < U_{1опт}^{(2)}$. Если кривая P_n при проводимости $G_{опт}^{(2)}$ не пересекается с кривой $P_{э(u)}^{(2)}$ для зоны $n=2$, то баланс мощностей не выполняется и колебания в зоне $n=2$ не могут возбудиться из-за больших потерь. Из-за уменьшения $U_{1стац}$ и перегруппирования мощность падает при увеличении номера зоны n .

1.54. При увеличении напряжения U_0 на резонаторе отражательного клистрона выходная мощность

- а) уменьшается;
- б) увеличивается;
- в) не изменяется.

Верно: ?

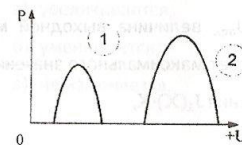


Рис. 10

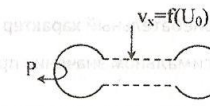


Рис. 11

Напряжение U_0 , прикладываемое к резонатору, является ускоряющим для электронного потока. Скорость электронов V_x зависит от U_0 . Чем больше скорость V_x возвращающихся электронов, тем больше энергия. Скорость V_x в первую очередь зависит от U_0 , а не от $U_{отр}$. Поэтому при увеличении ускоряющего напряжения U_0 на резонаторе выходная мощность отражательного клистрона увеличивается, как показано на рис. 10.

Максимум мощности возникает при $\theta_0 = \omega \tau_0$, где $\tau_0 = T(n \frac{1}{4})$, причем θ_0 является функцией U_0 на резонаторе. При увеличении напряжения на резонаторе U_0 возрастает выходная мощность $P_{вых}$ из-за увеличения количества электронов, участвующих в процессе, увеличения тока и напряжения в колебательной системе.

1.55. При изменении напряжения отражателя $U_{отр}$ мощность в пределах одной зоны генерации

- а) уменьшается;

- б) увеличивается;
- в) достигает максимальной;
- г) не изменяется;
- д) имеет колебательный характер.

Верно: ?

В пределах одной зоны мощность колеблется относительно P_{\max} . При изменении напряжения отражателя $U_{\text{отр}}$ величина выходной мощности имеет колебательный характер и достигает максимального значения $P_{\text{вык. макс}}$ при максимальном значении произведения $J_1(X) \cdot X$,

где $J_1(X)$ – амплитуда первой гармоники;

X – параметр группирования.

$$X = \frac{U_1}{2U_0} \cdot M \cdot \omega \tau_0; X_{\text{опт}} = 2.4.$$

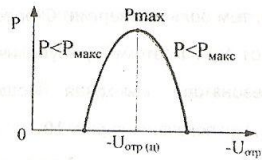


Рис. 12

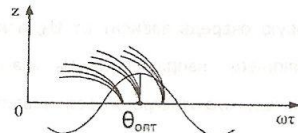


Рис. 13

При увеличении времени пролета электронов $\omega \tau_{\text{пр}}$ повышается степень группирования электронного потока, что приводит к увеличению мощности $P_{\text{вык}}$.

Напряжение отражателя $U_{\text{отр}(\omega)}$ в центре зоны, при котором выходная мощность максимальна, соответствует оптимальному углу пролета $\theta_{\text{опт}} = \omega \tau_{\text{опт}} = 1 \frac{3}{4} 2\pi$. Передача энергии от электронного потока резонатору должна уменьшиться, если $\theta \neq \theta_{\text{опт}}$, и полностью прекратиться при возвращении невозмущенного электрона в моменты нулевого поля

($\theta = \theta_{\text{опт}} - \frac{\pi}{2}$ или $\theta = \theta_{\text{опт}} + \frac{\pi}{2}$). Поэтому в пределах одной зоны мощность колеблется около P_{\max} .

1.56. Как изменяется величина пускового тока i_0 пуск, при котором возникают автоколебания в зонах генерации, при увеличении их номеров $n=1, n=2, n=3$

- а) увеличивается;
- б) уменьшается;
- в) не изменяется.

Верно: ?

Величину пускового тока i_0 пуск можно определить из условия самовозбуждения (баланс мощностей $P_{\text{эл}} \geq P_n$). Поступающая электронная мощность в отражательном клистроне $P_{\text{эл}} = U \cdot i_0 \cdot M \cdot I_1(X)$, а мощность потерь $P_n = \frac{U^2 G}{2}$.

При малых амплитудах (момент самовозбуждения) на контуре должен выполняться баланс фаз. При $U \rightarrow 0$ $I_1(X) \cong \frac{X}{2}$, таким образом, величина пускового тока i_0 пуск, при котором произойдет самовозбуждение колебаний

$$i_0 \text{ пуск} = \frac{U_0 G}{\pi \left(n - \frac{1}{4}\right) M^2}.$$

В зонах генерации с разными номерами n выходная мощность $P_{\text{вык}}$ различная, так как разный параметр группирования $X = \frac{U_1}{2U_0} \cdot M \cdot 2\pi \left(n - \frac{1}{4}\right)$ и разные углы пролета $\theta = 2\pi \left(n - \frac{1}{4}\right)$.

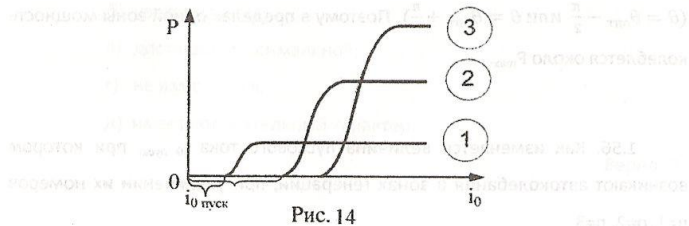


Рис. 14

Очевидно, величина $i_{0 \text{ пуск}}$ зависит от номера зоны n (рис. 14). Большим номерам зон ($n=3$) соответствуют большие времена пролета (углы пролета), а следовательно, большие параметры группирования. Поэтому при увеличении номера зоны $n=4$ требуется меньшее количество электронов, так как они плотно группируются при больших параметрах группирования X , другими словами, требуется меньшая величина $i_{0 \text{ пуск}}$ (например, для $n=3$ на рис. 14).

При уменьшении номера зоны n $i_{0 \text{ пуск}}$ возрастает. На участке I: увеличиваются i_0 ; U , X быстро растет $I_1(X)$. На участке II: $I_1(X)$ уменьшается, форма импульса конвекционного тока получается раздвоенной, но мощность P возрастает, потому что увеличивается количество электронов, которые принимают участие в процессе.

1.57. Для обеспечения генерации незатухающих колебаний в отражательном клистроне используется обратная связь

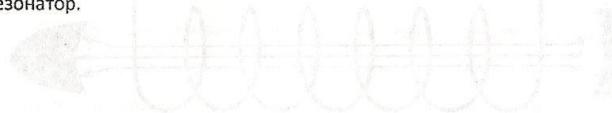
- а) положительная;
- б) отрицательная.

Верно: ?

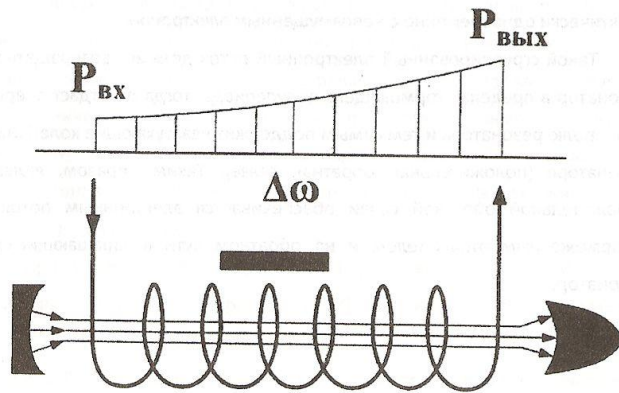
В отражательном клистроне для генерации незатухающих колебаний используется явление положительной обратной связи. В пространстве

группирования (между резонатором и отражателем) время пролета ускоренных в резонаторе электронов больше, чем у невозмущенного электрона, а время пролета заторможенных электронов соответственно меньше, чем у невозмущенного электрона. После точки поворота, на обратном пути к резонатору, происходит группирование части потока электронов около невозмущенного электрона таким образом, что ускоренные и заторможенные электроны возвращаются в резонатор практически одновременно с невозмущенным электроном.

Такой сгруппированный электронный поток должен возвращаться в резонатор в пределах тормозящего полупериода, тогда он отдаст энергию СВЧ – полю резонатора и тем самым поддержит незатухающие колебания в резонаторе (положительная обратная связь). Таким образом, явление положительной обратной связи обеспечивается электронным потоком, заторможенным отражателем и на обратном пути возвращающимся в резонатор.



Взаимодействие между электронами и электромагнитными волнами происходит в результате обмена энергией. При этом электроны передают энергию волнам, а волны передают энергию электронам. В результате этого взаимодействия происходит усиление сигнала.



РАЗДЕЛ 2. Лампы бегущей волны

2.1. Лампа бегущей волны (ЛБВ) это:

- а) электровакуумный СВЧ — прибор с длительным взаимодействием и непрерывным отбором энергии;
- б) электровакуумный СВЧ — прибор с фазо-частотным взаимодействием и непрерывным отбором энергии;
- в) электровакуумный СВЧ — прибор с кратковременным взаимодействием и непрерывным отбором энергии;
- г) электровакуумный СВЧ — прибор с длительным взаимодействием и дискретным отбором энергии;
- д) электровакуумный СВЧ — прибор с кратковременным взаимодействием и дискретным отбором энергии.

Верно ?

В ЛБВ обеспечивается длительное взаимодействие электронных пучков с электромагнитными колебаниями в замедляющей системе. Электроны прямолинейного потока движутся в продольных постоянных электрическом и магнитном полях, группируются продольной электрической составляющей СВЧ-поля и обеспечивают передачу кинетической энергии электромагнитной волне.

2.2. Условие фазового синхронизма - это:

- а) приближенное равенство скоростей электронов и скорости света;
- б) неравенство скоростей электронов и скорости света;

- в) приближенное равенство скоростей электронов и фазовой скорости электромагнитной волны;
- г) неравенство фазовой и групповой скоростей электромагнитной волны;
- д) приближенное равенство скоростей электронов и групповой скорости электромагнитной волны.

Верно: ?

Возбуждение нерезонансных колебательных структур (замедляющих систем) происходит при длительном взаимодействии электронных пучков с полем бегущей волны в согласованной линии передачи. Электроны взаимодействуют с медленными волнами, фазовая скорость которых значительно меньше скорости света и близка к скорости электронов.

2.3. Продольное электрическое поле в периодической замедляющей системе представляется:

- а) разностью временных гармоник;
- б) суммой частотных гармоник;
- в) разностью фазовых гармоник;
- г) суммой пространственных гармоник;
- д) разностью гармоник тока и напряжения.

Верно: ?

Медленные волны распространяются в замедляющих системах, поля в которых описываются суммой пространственных гармоник, состоящих из прямых и обратных волн. Электроны взаимодействуют с продольными компонентами напряженности электрического поля одной из гармоник и через нее воздействуют на суммарное поле.

2.4. Продольное электрическое поле в периодической замедляющей системе содержит пространственные гармоники, которые имеют:

- а) одинаковые групповые скорости, равные скорости света;
- б) одинаковую фазовую, но разные групповые скорости;
- в) одинаковую групповую, но разные фазовые скорости;
- г) разные групповые и фазовые скорости;
- д) одинаковые групповые и фазовые скорости.

Верно: ?

В периодической системе электромагнитное поле имеет более сложную структуру, чем в регулярном волноводе. Оно не может быть представлено одной волной, а в общем случае выражается суммой бесконечного ряда прямых и обратных волн, называемых пространственными гармониками (ПГ). Математически ПГ появляются в результате разложения периодического несинусоидального движущегося поля в ряд Фурье, каждое слагаемое которого является гармонической функцией, характеризующейся своей амплитудой, длиной волны и фазовой скоростью. ПГ определяют общий волновой процесс, имеют одинаковую групповую скорость и частоту колебаний.

2.5. Дисперсия – это зависимость

- а) групповой скорости волны от частоты;
- б) фазовой скорости волны от скорости света;
- в) групповой скорости волны от амплитуды;
- г) фазовой скорости волны от частоты;
- д) групповой скорости волны от скорости света.

Верно: ?

Распространение сигнала в линии передачи определяется групповой скоростью, так как сигнал может передаваться только группой волн, отличающихся частотой и амплитудой, но не структурой поля. Фазовая скорость характеризует распространение фазы одиночной волны. При равенстве относительных диэлектрической и магнитной проницаемостей единице, произведение фазовой и групповой скоростей равно квадрату скорости света. Линии передачи, в которых фазовая скорость зависит от частоты, называют дисперсными линиями.

2.6. Коэффициент замедления - это:

- а) произведение скорости света и групповой скорости электромагнитной волны;
- б) отношение скорости света к фазовой скорости электромагнитной волны;
- в) разность фазовой и групповой скоростей электромагнитной волны;
- г) отношение скорости света к групповой скорости электромагнитной волны;
- д) сумма скорости света и групповой скорости электромагнитной волны.

Верно: ?

Замедляющие системы (ЗС) создаются на основе периодических структур, в которых обеспечиваются достаточно большие коэффициенты замедления (десятки-сотни), определяемые отношением скорости света к фазовой скорости волны, распространяющейся вдоль ЗС.

2.7. Дисперсионная характеристика - это зависимость

- а) скорости света от групповой скорости или длины волны;
- б) коэффициента замедления от напряженности электрического или магнитного поля;
- в) фазовой и групповой скоростей от тока и напряжения пространственной гармоники;
- г) скорости света от фазовой скорости волны или частоты;
- д) коэффициента замедления от частоты или длины волны.

Верно: ?

Для построения дисперсионных характеристик (ДХ) используют зависимости коэффициента замедления от длины волны или фазовой скорости частоты. При этом необходимо знать, как изменяется фазовый сдвиг. Если он постоянен, то ДХ линейна. ДХ могут быть рассчитаны или измерены.

2.8. Самосогласованное взаимодействие бегущей волны с электронным потоком достигается в случае, когда

- а) промодулированный по плотности электронный поток передает кинетическую энергию СВЧ-полю бегущей волны, которое его промодулировало;
- б) немодулированный электронный поток передает потенциальную энергию бегущим волнам пространственного заряда;
- в) промодулированный по скорости электронный поток передает кинетическую энергию бегущей волне пространственного заряда, которая его промодулировала;
- г) немодулированный электронный поток передает кинетическую энергию СВЧ-полю бегущей волны;

д) промодулированный по фазе электронный поток передает потенциальную энергию бегущей волне пространственного заряда, которая его промодулировала.

Верно: ?

Поле бегущей волны обеспечивает модуляцию электронов по скорости, которая приводит к модуляции их по плотности при движении вдоль замедляющей системы (ЗС). В результате непрерывный электронный поток превращается в поток электронных сгустков, центрами которых являются частицы, относительно которых ВЧ-поле изменяется с ускоряющего на тормозящее. В свою очередь, сгустки наводят в ЗС бегущую волну так, что оказываются в тормозящих полупериодах возбуждаемой волны. При этом увеличивается амплитуда волны и происходит торможение сгустков, которые догруппировываются. Этот процесс продолжается по мере движения сгустков вдоль ЗС при соблюдении условий фазового синхронизма. За счет нарастания амплитуды бегущей волны вдоль ЗС происходит усиление электромагнитного поля от входа к выходу ЗС. Поле, обеспечивающее такую модуляцию электронного потока, называют самосогласованным.

2.9. В ЛБВ со спиральной замедляющей системой условие фазового синхронизма выполняется при взаимодействии электронного пучка с

- а) пространственной гармоникой $n=+1$, когда дисперсия максимальна;
- б) пространственной гармоникой $n=-2$, когда дисперсия минимальна;
- в) нулевой пространственной гармоникой, когда дисперсия минимальна;

г) пространственной гармоникой $n=+2$, когда дисперсия максимальна;

д) пространственной гармоникой $n=-1$, когда дисперсия минимальна.

Верно: ?

Коэффициент замедления спиральной замедляющей системы (СЗС) определяется отношением длины витка к шагу спирали. Эта формула применима к основной волне, т. е. к нулевой пространственной гармонике в нижней полосе пропускания. Она тем точнее, чем меньше угол намотки спирали и фазовый сдвиг. При малых значениях фазового сдвига спираль на основной волне недисперсна. СЗС является самой широкополосной системой. Со стороны длинных волн она не имеет отсечки и широко используется в длинноволновых ЛБВ.

2.10. Рабочая полоса частот широкополосной ЛБВ определяется по

- а) условно выбранному уровню;
- б) по уровню (-3) дБ;
- в) по уровню 0 дБ;
- г) по уровню (+3) дБ.

Верно: ?

Вид частотной характеристики ЛБВ определяется произведением параметра усиления на электрическую длину замедляющей системы. Это произведение изменяется с частотой немонотонно, медленно проходя через максимум на средней частоте. Рабочая полоса частот может быть ограничена из-за недостаточной широкополосности согласующих устройств на входе и выходе ЛБВ.

2.12. Замедляющую систему ЛБВ называют изохронной, если в ней

- а) фазовая и групповая скорости волны равны в любом ее сечении;
- б) фазовая скорость волны при движении от электронной пушки к коллектору увеличивается;
- в) групповая скорость волны при движении от электронной пушки к коллектору уменьшается;
- г) фазовая скорость волны при движении от электронной пушки к коллектору уменьшается;
- д) групповая скорость волны при движении от электронной пушки к коллектору увеличивается.

Верно: ?

ЛБВ, в которых синхронизм поддерживается за счет программированного изменения фазовой скорости вдоль замедляющей системы (ЗС), называются изохронными. Режим изохронности позволяет увеличить КПД ЛБВ приблизительно в 1,5 раза. Однако изготовление ЗС нетехнологично, поэтому на практике более распространены ЛБВ со скачком фазовой скорости, в которых использовано несколько секций ЗС (обычно две) с различными коэффициентами замедления.

2.13. К легко охлаждаемым замедляющим системам для мощных ЛБВ следует отнести:

- а) спиральные замедляющие системы;
- б) замедляющие системы типа цепочки связанных резонаторов;
- в) встречно-штыревые замедляющие системы;
- г) гребенчатые замедляющие системы;
- д) меандровые замедляющие системы.

Верно: ?

Тепловые ограничения связаны с поглощением СВЧ-энергии за счет потерь в металлических и диэлектрических участках замедляющих систем (ЗС). Эти потери возрастают с увеличением частоты, а геометрические размеры систем, пропорциональные длине волны, уменьшаются, что приводит к перегреву ЗС и их разрушению.

2.14. Локальный поглотитель размещают внутри баллона ЛБВ для:

- а) предотвращения самовозбуждения при отражении сигнала от выхода замедляющей системы;
- б) введения положительной обратной связи при подаче сигнала на вход замедляющей системы;
- в) предотвращения отрицательной обратной связи при отражении сигнала от выхода замедляющей системы;
- г) введения положительной обратной связи при отражении сигнала от входа замедляющей системы;
- д) предотвращения отрицательной обратной связи при подаче сигнала на вход замедляющей системы.

Верно: ?

Для предотвращения самовозбуждения ЛБВ в замедляющей системе (ЗС) размещают локальный поглотитель (ЛП), с помощью которого нарушается обратная связь при отражении части сигнала от выхода ЗС за счет неидеального согласования. Естественно, что ЛП ослабляет и прямой сигнал, распространяющийся от входа к выходу ЛБВ. ЛП действует как вентиль за счет однонаправленного возрастания сигнала в самосогласованном поле.

Список литературы

1. Федоров Н. Д. Электроника, квантовые приборы и микроэлектроника. – М.: Радио и связь, 1998. – 560 с.: ил.
2. Линде Д. П., Николотов В. И. Приборы СВЧ и оптического диапазона. – М.: ЦДО МТУСИ, 2003.–63 с.: ил.

Содержание

Раздел 1.	с.
Вопросы для тестирования по теме «Клистроны»	
(с пояснениями).....	3
Раздел 2.	
Вопросы для тестирования по теме «Лампы бегущей	
волны» (с пояснениями).....	35

План УМД на 2009/2010 уч.г.
С. 7, п. 40.

Григорий Маркович Аристархов
Андрей Альбертович Елизаров
Виталий Иванович Николотов

**ПРИБОРЫ СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ
И ОПТИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА**

в вопросах и ответах

Часть 1

ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЕ ПРИБОРЫ СВЧ

Учебное пособие

Подписано в печать 01.12.2009. Формат 60x84/16.

Объем 2,9 усл.п.л. Тираж 250 экз. Заказ 155.

Цена договорная.

ООО «Инсвязиздат». Москва, ул. Авиамоторная, 8.