

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕМА НОМЕРА:

“Системы подвижной связи и цифрового телерадиовещания”

Абрамов В.А., Попов О.Б., Ождин Г.М., Черников К.В. Повышение эффективности регулирования громкости сигналов телерадиовещания	4
Абрамов В.А., Попов О.Б., Ождин Г.М., Рихтер С.Г. Оценка качества обработки звуковых сигналов в радиовещательных студиях	6
Александрова О.Ю., Бондаренко С.М., Гутцайт Э.М., Жидков Р.А. Плазменные осветительные устройства на основе СВЧ-разряда	9
Андрейко Д.Н., Комаров П.Ю., Игнатов Ф.М. Основные методы сжатия данных в передаче цифровых видеоизображений	12
Белов А.С. Адаптивный способ сжатия изображений	16
Борисов А.А., Глебович А. А., Ождин Г.М., Чернышева Т.В. Накопление искажений в многозвенных трактах первичного распределения канала звукового вещания	19
Бушин Д.С., Игнатов Ф.М. Методы оптимизации определения направления предсказания intra модели кодирования	23
Быков В.В., Меньшиков К.В. Помехоустойчивые коды цифрового телевидения	30
Быховский М.А. Повышение эффективности использования РЧС при применении в телерадиовещании синхронных сетей	34
Варламов О.В. Разработка требований к приемному оборудованию сетей цифрового радиовещания стандарта DRM	39
Варламов О.В. Особенности частотно-территориального планирования сетей радиовещания DRM диапазонов НЧ и СЧ	43
Варламов О.В. Разработка отечественной нормативной базы цифрового радиовещания стандарта DRM	47
Гайнутдинов Т.А., Гаранкина Н.И. Кочержевский В.Г. Исследование способов модернизации действующей передающей радиовещательной антенны АМШП для работы в стандарте DRM	51

Заказ журналов:

- по каталогу "Роспечать" (индекс 80714)
- "Деловая пресса" (www.delpress.ru)
- в редакции (info@media-publisher.ru)

Возможен также заказ через региональные альтернативные подписные агентства
<http://www.media-publisher.ru/raspr.shtml>

Стоимость одного экземпляра 300 руб.

Целевая аудитория по распространению

- Телекоммуникационные компании;
- Дистрибьюторы телекоммуникационного оборудования и услуг;
- Контент-провайдеры;
- Разработчики и производители абонентского оборудования;
- Предприятия и организации нефтегазового комплекса;
- Энергетические компании;
- Автотранспортные предприятия;
- Крупные организации с собственным автомобильным парком;
- Компании, занимающиеся железнодорожными, воздушными и морскими перевозками;
- Логистические и экспедиционные компании;
- Провайдеры охранно-поисковых услуг;
- Геодезические и картографические организации;
- Государственные ведомства и организации;
- Строительные компании;
- Профильные учебные заведения

Тираж 3000 экз. + Интернет-версия

Адрес редакции

111024, Россия, Москва,
ул. Авиамоторная, д. 8, офис 512-514
e-mail: ds@media-publisher.ru
Тел.: +7(495) 957-77-43

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации: ПИ № ФС77-27364

Мнения авторов не всегда совпадают с точкой зрения редакции. За содержание рекламных материалов редакция ответственности не несет

Материалы, опубликованные в журнале — собственность ООО "ИД Медиа Паблшер".
Перепечатка, цитирование, дублирование на сайтах допускаются только с разрешения издателя.
All articles and illustrations are copyright.
All rights reserved. No reproduction is permitted in whole or part without the express consent of Media Publisher Joint-Stock Company

Вниманию авторов!

Для начисления авторского гонорара необходимо указать ваши ФИО, почтовый адрес (с индексом), паспортные данные (серия, номер, кем и когда выдан), ИНН, номер свидетельства пенсионного страхования, дату и место рождения, номер телефона.

Плата с аспирантов за публикацию рукописи не взимается

© ООО "ИД Медиа Паблшер", 2013

www.media-publisher.ru

Груздев В.В.

Ключевые генераторы с внешним возбуждением класса Е с ППГ-ферровариометром в формирующем П-контуре 57

Гутцайт Э.М., Маслов В.Э., Агафонова Т.А.

Эффективные светодиодные модули с высоким качеством цветопередачи 60

Дулов И.В.

Вопросы коррекции характеристик усилителя мощности цифрового СВЧ радиовещания с АРР по питающему напряжению 63

Елизаров А.А., Ефремова М.В.

Системы формирования электронных пучков в электровакуумных СВЧ-приборах: современное состояние и тенденции развития 70

Елизаров А.А., Закирова Э.А.

Моделирование излучения крамок многослойных печатных плат СВЧ-диапазона 74

Елизаров А.А., Каравашкина В.Н.

Конструктивно-технологические особенности устройств на замедляющих системах с аномальной дисперсией 77

Елизаров А.А., Шаймарданов Р.В.

Исследование электродов для внутриволновой микроволновой физиотерапии с экранировкой магнитного поля 82

Жук А.П., Орёл Д.В.

Ускоренный численный метод приближенного вычисления значений логарифмической функции для решения задачи формирования систем квазиортогональных кодовых последовательностей 85

Иванюшкин Р.Ю., Юрьев О.А.

Проблематика построения РЧ-тракта передатчиков цифрового радиовещания диапазона СВЧ на основе метода Л. Кана 91

Карлушин К.А., Медведева Е.В.

Метод выделения движущихся объектов в видеозображениях на основе трехмерных цепей маркова 94

Комаров С.Н., Тertyшников А.В.

Разработка и исследование многофазных синтезаторов радиочастот с мощным выходом 97

Косичкина Т.П., Хасьянова Е.Р.

Анализ влияния характеристик квадратурных преобразователей на работу радиоприемных устройств цифровых сигналов радиосвязи и телерадиовещания 100

Кузнецов А.Л., Бусаев О.Г. Исследование различимости цвета	104
Лорей Н.А. Оценка требований к производительности измерительного комплекса, обслуживающего средства подвижной радиосвязи	106
Мирошникова Н.Е. Обзор систем когнитивного радио	108
Мирошникова Н.Е. Влияние ошибок синхронизации на прием цифровых сигналов	112
Орлов В.Г., Пушкарев А.В. Перспективы развития мобильного видео	115
Панкратов Д.Ю. Моделирование пропускной способности радиоканала системы MIMO в условиях пространственно коррелированных замираний	118
Петренко А.А., Кирик Ю.М. Перспективы применения радиорелейных линий в новых частотных диапазонах 60-80 ГГц	120
Рихтер С.Г., Смирнов А.В. Оценка скорости абонента системы Mobile Wimax ...	123
Самойлов А.Г., Самойлов С.А. Концепция согласования радиопередающих устройств с нагрузками	127
Смирнов А.В., Горгадзе С.Ф. Принципы повышения эффективности усиления сигнала с большим пик-фактором	132
Захарова С.С., Солнцев В.А. Свойства излучения синхронной спирали на обратной волне	135
Суворов К.А. Системы виртуальной реальности и их применение ...	140
Федотова Т.Н. Исследование фазовых и частотных характеристик многослойных взаимных ферритовых фазовращателей	144

Журнал включен в перечень периодических научных изданий, рекомендуемый ВАК Минобрнауки России для публикации научных работ, отражающих основное научное содержание кандидатских и докторских диссертаций.

Учредитель
ООО "Издательский дом Медиа Паблицер"

Главный редактор
В.О. Тихвинский

Издатель
С.С. Дымкова
ds@media-publisher.ru

Редакционная коллегия
А.С. Аджамов, Е.Б. Алексеев,
Альберт Вааль, А.А. Гоголь,
Юлиус Головачев, В.Л. Горбачев,
Ю.А. Громаков, А.И. Демьянов,
Б.В. Зверев, Ю.Б. Зубарев, В.Р. Иванов,
Юрий Кирхгесснер, Т.А. Кузюкова,
В.Н. Лившиц, С.Л. Мищенко,
О.Е. Наний, Н.П. Резникова,
И.В. Парфенов, Ш.Ж. Сеилов,
В.О. Тихвинский, В.В. Фронов,
Майкл Шарп, А.Б. Юрчук

Редакция

Выпускающий редактор
Андрей Волков
va@media-publisher.ru

Специалист по маркетингу и PR
Кристина Маркарова
kristina@media-publisher.ru

Директор отдела развития и рекламы
Ольга Дорошкевич
ovd@media-publisher.ru

Отдел распространения и подписки
info@media-publisher.ru

Предпечатная подготовка
ООО "ИД Медиа Паблицер"

Поддержка Интернет-портала
Сергей Алексанян

www.media-publisher.ru

Системы формирования электронных пучков в электровакуумных СВЧ-приборах: современное состояние и тенденции развития

Проведен обзор современных систем формирования электронных пучков в вакуумных СВЧ приборах O-типа. Рассмотрены основные параметры и конструктивно-технологические особенности электронных пушек для формирования сплошных и полых аксиально-симметричных пучков. Особое внимание уделено системам формирования электронных пучков с низковольтной модуляцией. Проанализированы также тенденции развития конструкций электронных пушек с сеточным управлением и электронных пушек с управляющим электродом. Показана перспективность разработки электронных пушек с развитыми в радиальном направлении элементами, которые позволяют добиться снижения модулирующих напряжений, а также обеспечивать работу в режимах большой и малой мощности с различной скважностью. Формирование и фокусировка интенсивных электронных пучков — одни из основных задач, решаемых при разработке современных электронных приборов.

Ключевые слова: вакуумные СВЧ приборы, электронный пучок, электронная пушка, низковольтная модуляция, фокусировка.

Елизаров А.А., д.т.н., профессор кафедры радиоэлектроника и телекоммуникации МИЭМ НИУ ВШЭ

Ефремова М.В., аспирант кафедры радиоэлектроника и телекоммуникации МИЭМ НИУ ВШЭ

В настоящее время продолжается совершенствование различных радиотехнических устройств для радиолокации, связи и навигации, которое выдвигает ряд специальных требований к применяемым в них вакуумным сверхвысокочастотным (СВЧ) приборам. Важнейшими становятся требования по миниатюризации, мобильности и многофункциональности, включающие в себя улучшение выходных параметров, снижение габаритов и массы СВЧ-приборов. Большинство современных мощных электронных приборов радиотехнического назначения является лучевыми приборами, в которых используются различные по конфигурации и длине интенсивные электронные пучки. В приборах с электродинамическим управлением эта особенность связана непосредственно с самим принципом управления током, основанном на использовании длительного пребывания электронов в рабочем пространстве.

Основная задача электронной пушки заключается в формировании интенсивного электронного пучка определенной конфигурации с заданными значениями тока и скорости и, по возможности, ламинарным движением электронов. В клистронах и лампах бегущей волны типа O с целью получения большой высокочастотной мощности без существенного сокращения срока службы катода очень часто используются аксиально-симметричные электронные пучки с плотностью тока, превышающей допустимую плотность тока катода. Получить такие пучки можно при помощи пушки Пирса [1], конструкция которой состоит из вогнутого сферического эквипотенциального катода, широко раскрытого фокусирующего электрода и анода с центральным отверстием. Обычно фокусирующий электрод имеет потенциал, одинаковый с катодом, и располагается так, что его поверхность является как бы продолжением поверхности катода. Это дает основание называть такую пушку диодной.

Путем соответствующего выбора формы электродов, производимого расчетным путем, в пушке создается такая конфигурация электрического поля, при которой электроны со всей поверхности

катода равномерно фокусируются в узкий электронный пучок, проходящий сквозь отверстие анода.

Следует подчеркнуть, что в диодных пушках Пирса, которые обычно работают в режиме пространственного заряда, величина первеанса $P = I/U^{3/2}$ не зависит от анодного напряжения и, как следует из закона "степени 3/2" для диода, определяется только геометрическими размерами пушки. Поэтому первеанс, являясь параметром электронного пучка, мерой его интенсивности, одновременно является параметром самой пушки, т. е. ее конструкции.

Степень фокусирования, или сходимости, электронов характеризуется так называемым коэффициентом сжатия или компрессии. Различают коэффициент сжатия по плотности тока или площади поперечного сечения пучка S_p , равный отношению максимальной плотности тока в электронном пучке к плотности тока, снимаемого с катода и коэффициент сжатия по радиусу S_r , определяемый отношением радиуса катода к радиусу минимального сечения (кроссовера) пучка.

По мере увеличения коэффициента сжатия в пучке возрастают электростатические силы поперечного расталкивания, препятствующие сходимости электронов. Следовательно, величина коэффициента сжатия пушки будет зависеть от величины объемного заряда в формируемом пучке, которая определяется первеансом.

При помощи рассмотренной пушки Пирса можно получить сходящиеся электронные пучки с первеансом $P \leq 1$ мка/в^{3/2}. При малых значениях первеанса коэффициент сжатия по плотности может составлять 100 и более. При больших значениях P коэффициент сжатия обычно составляет несколько единиц.

Для получения сходящихся потоков с более высоким первеансом используются различные модификации пушек Пирса, к которым в частности, относится пушка Миоллера. Они характеризуются относительно небольшими расстояниями катод — анод и применением фокусирующих электродов закрытой конструкции (рис. 1). Благодаря таким фокусирующим электродам электрические поля пушек более эффективно компенсируют поперечные расфокусирующие силы объемного заряда, возрастающие по мере повышения первеанса, и тем самым обеспечивают формирование высокопервеансных сходящихся пучков с минимальными потерями катодного тока на аноде.

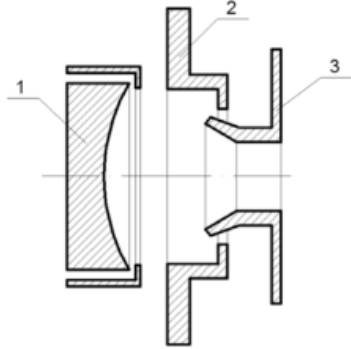


Рис. 1. Модифицированная пушка Пирса:
1 — катод 2 — фокусирующий электрод 3 — анод

Для решения задач формирования электронных пучков используются два метода: метод анализа и метод синтеза.

Метод анализа состоит в последовательном изменении геометрии электродов пушки и формы магнитного поля до тех пор, пока параметры формируемого пушкой пучка не будут близки к заданным. Этот процесс включает в себя следующие основные этапы: выбор исходного варианта геометрии пушки и конфигурации магнитного поля, траекторный анализ, по результатам которого определяются параметры пучка, внесение изменений в исходную геометрию и последующий траекторный анализ нового варианта и т.д.

В методе синтеза определение геометрии электродов и конфигурации магнитного поля, обеспечивающих формирование пучка с известными параметрами, осуществляется прямым способом без применения процесса подбора. Классическим примером синтеза является расчет электронных пушек по Пирсу. Этот расчет базируется на использовании известных соотношений, описывающих движение одномерных потоков в декартовой, цилиндрической и сферической системах координат. В соответствии с методом Пирса из этого потока "вырезается" пучок конечного поперечного размера, остальная часть потока отбрасывается, а ее действие заменяется эквивалентным действием поля фокусирующих электродов. Эти электроды должны создавать вдоль границы пучка такое же распределение потенциала и его нормальной производной, которое существовало в исходном потоке.

Проанализируем далее на основе метода Пирса электронные пушки для формирования сплошных аксиально-симметричных пучков. Рассмотрим сферический диод (рис. 2), образованный из двух сфер с общим центром. Наружная сфера с радиусом R_k является катодом, внутренняя с радиусом R_a — анодом. Электроны в таком диоде движутся по прямым линиям (по радиусам).

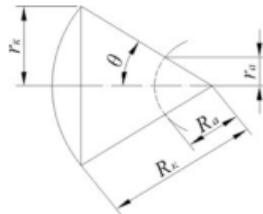


Рис. 2. Часть сферического диода с наружным катодом и внутренним анодом

Связь между полным током сферического диода $I_{сф}$, напряжением на аноде U_a и геометрическими размерами анода определяются решением уравнения Пуассона в сферической системе координат с соответствующими граничными условиями. Это решение имеет следующий вид:

$$I_{сф} = \frac{16}{9} \pi \epsilon_0 \sqrt{2\eta} \frac{U_a^{3/2}}{[-\alpha(R_k / R_a)]^2}, \quad (1)$$

где $[-\alpha]^2$ — функция Лэнгмюра, учитывающая кривизну катодной и анодной поверхностей.

Формула (1) является законом "трех вторых" для сферического диода. Полный ток $I_{сф}$ не зависит от абсолютных размеров диода.

Плотность тока эмиссии катода $j_{эм}$ связана с полным током соотношением $I_{сф} = 4\pi R_k^2 j_{эм}$, поэтому

$$j_{эм} = \frac{4}{9} \epsilon_0 \sqrt{2\eta} \frac{U_a^{3/2}}{[-\alpha]^2 R_k^2}.$$

Распределение потенциала по радиусу сферического диода определяется формулой

$$U(R) = U_a \left\{ \frac{[-\alpha(\rho)]}{[-\alpha(R_k)]} \right\}^{2/3}. \quad (2)$$

Здесь R — текущий радиус, проведенный из центра сферы в рассматриваемую точку.

Рассмотрим теперь электронный поток, имеющий вид конуса (точнее, шарового сектора) с углом при вершине 2θ . Он образован электронами, эмитированными с катода в виде участка сферы, ограниченного окружностью радиуса r_k (рис. 3). Площадь такого катода $S_k = 2\pi R_k^2 (1 - \cos\theta)$.

Ток с этого катода будет меньше, чем в случае замкнутого сферического диода, во столько раз, во сколько площадь катода меньше поверхности сферы $4\pi R_k^2$. Обозначив ток катода I с учетом (1) получим

$$I = \frac{8}{9} \pi \epsilon_0 \sqrt{2\eta} (1 - \cos\theta) \frac{U_a^{3/2}}{(-\alpha)^2}.$$

Для того чтобы вдоль границы конусообразного потока сохранилось же распределение потенциала (2), какое было в исходном замкнутом сферическом диоде, снаружи потока необходимо расположить фокусирующий электрод и анод специальной формы.

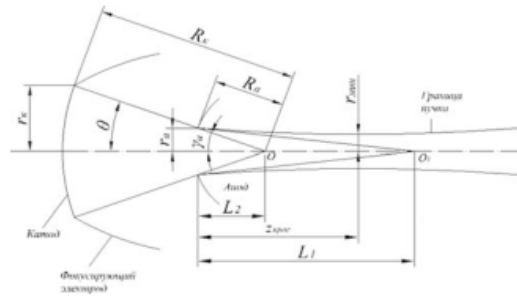


Рис. 3. Схематическое изображение сходящегося потока, сформированного пушкой сферического типа. r_k — радиус катода; R_k — радиус кривизны катодной поверхности; θ — половина угла сходимости потока в пушке; γ_a — половина угла сходимости потока за анодом; r_a — радиус потока в плоскости анода

Расчеты показывают, что поверхность с потенциалом $U = 0$ имеет форму чаши или колокола. Она подходит к границе потока вблизи катода под углом $67,5^\circ$ [2]. Сходную форму имеет анодная поверхность, но она менее волнута и подходит к границе потока под прямым углом.

Практически, однако, редко кто пользуется расчетной формой фокусирующего и анодного электродов, поскольку форма электродов сложна, и ее трудно выпалнить с необходимой точностью.

В ряде случаев выгоднее вместо сплошного пучка иметь трубчатый (полый) пучок электронов [3], имеющий в поперечном сечении форму кольца. Это позволяет, например, провести большую часть электронов пучка ближе к замедляющей системе и обеспечить более эффективное взаимодействие электронов с ее полем.

Электронная пушка, формирующая палый сходящийся поток, может быть построена на основе пушки, формирующей сплошной сходящийся поток, если представить, что сердцевина этого пучка удалена, а для сохранения условий движения оставшейся трубчатой части пучка использованы дополнительные внутренние электроды, обеспечивающие выполнение вдоль внутренней границы условий

$$U(r) = U_a \frac{(-\alpha)^{4/3}}{(-\alpha_a)^{4/3}}, \quad \frac{\partial U}{\partial r} = \theta.$$

Форма наружных фокусирующих электродов остается неизменной по отношению к электродам для фокусировки сплошного потока [4].

Расчет основных геометрических размеров пушки может быть произведен с помощью соотношения, вытекающего из закона степени $3/2$ для сферического диода:

$$I = 29,3 \cdot 10^{-6} \frac{\sin \frac{\theta_H}{2} - \sin^2 \frac{\theta_B}{2}}{(-\alpha_a)^2} U_a^{3/2},$$

где θ_H и θ_B — углы сходимости наружной и внутренней границ пучка.

Следует иметь в виду, что если не принять каких-либо специальных мер, то при движении в области за анодом формируемый пучок может превратиться в сплошной в результате пересечения электронных траекторий.

Для систем формирования электронных пучков с низковольтной модулирующей широком распространение получили конструкции электронных пушек с сеточными структурами. Основным недостатком, присущим электронным пушкам с управляющими сетками, является ограничение по мощности, рассеиваемой на сетке при оседании на ней части тока пучка. Нарушение этого ограничения приводит к потере сеткой управления из-за термоэлектронной эмиссии или к расплавлению элементов сеточной структуры из-за тепловой перегрузки [5].

Применение сеточных структур, содержащих, кроме управляющей ток пучка, "теневые" сетки, позволяет защитить управляющие сетки от нежелательного перехвата тока элементами замедляющей системы, поэтому, электронные пушки с такими структурами получили широкое распространение. Однако использование их в ЛБВ или катрионах коротковолновой части сантиметрового или миллиметрового диапазона длин волн наталкивается на технологические трудности в точном изготовлении и точном совмещении между собой миниатюрных сеточных структур. Кроме этого, в большинстве применяемых конструкций электронных пушек, использующих не перехватывающие ток сеточные структуры, теневые сетки, имеющие потенциал относительно катода, равный нулю, приподняты над поверхностью катода [6]. Это приводит к очень сильному возмущению пучка вблизи этих сеточных структур и появлению значительных поперечных составляющих скоростей электронов, что, в свою очередь, заставляет применять для фокусировки пучка в пролетных каналах большие уровни магнитных полей.

Наибольшую привлекательность, вследствие упрощения аппаратуры и повышения надежности работы электронно-оптических систем (ЭОС), имеют конструкции электронных пушек, в которых осуществляется так называемая модуляция "ноль-минус". Однако, применение сеточной структуры, потенциал которой в рабочем режиме равен потенциалу катода, приводит не только к сильным возмущениям пучка, но и к существенной экранировке катода, понижающей общий ток катода. Поэтому применение таких ЭОС возможно в отдельных случаях и практическое применение их невелико.

Известны конструкции электронных пушек с одиночной сеткой, в которых потенциал, управляющий током пучка, меньше "естественного" или равен потенциалу катода [7].

В одной из таких конструкций, управление электронным потоком осуществляется сеткой с квадратными ячейками и перемычками прямоугольного сечения, на которую подается постоянное отрицательное смещение, такое, что потенциал сетки никогда не превышает потенциала катода, даже в случае подачи на нее положительного импульса напряжения для включения электронного пучка. Недостатком такой конструкции является сильное возмущение электронов вблизи сеточной структуры и, как следствие этого, нарушение ламинарности пучка. Нарушение ламинарности связано с отклонением угла, под которым нулевая эквипотенциаль подходит к каждому парциальному пучку в отдельной ячейке сетки, от оптимального, равного углу Пирса $67^\circ 30'$. Поэтому применение прямоугольных или квадратных в сечении перемычек сетки всегда приводит к существенному возмущению электронного потока, к ухудшению токопрохождения в приборе и к усложнению его конструкции, при увеличении фокусирующего магнитного поля для улучшения токопрохождения или улучшения отвода тепла от замедляющей системы прибора. Уменьшить возмущающее действие сеточной структуры можно за счет изменения формы перемычек [8]. В этом случае удается обеспечить формирование электронного пучка с первансом $P_p = 0,3 \text{ мкА/В}^{3/2}$, компрессией по площади $S = 15$ и его последующей транспортировкой в пролетных каналах малого диаметра (порядка 2 мм) и относительно небольшой амплитуде поля магнитной периодической фокусирующей системы (МПФС), равной $B_0 = 0,27 \text{ Тл}$. Потенциал запирания ЭОС с одной управляющей сеткой составлял 5-6% от потенциала анода при потенциале сетки в рабочем режиме равном катодному потенциалу. На конструкцию электронной пушки с такой сеткой выдан патент [9].

В случае необходимости осуществления низковольтной модуляции тока электронного пучка используются пушки с управляющим электродом. Простейшей из них является обычная пушка Пирса, у которой фокусирующий электрод изолирован от катода и используется в качестве управляющего электрода. Однако, как показали исследования, управление пучком при помощи напряжения фокусирующего электрода малоэффективно, особенно в пушках с большим первансом. Так, если в пушке с первансом $1 \text{ мкА/В}^{3/2}$ для полного "запирания" электронного пучка, т. е. прекращения катодного тока, требуется подать на фокусирующий электрод отрицательное напряжение $U_{ст} \approx 0,46 U_c$ то в пушке с первансом $3,6 \text{ мкА/В}^{3/2}$ напряжение $U_{ст} \approx 1,5 U_c$. Уменьшение эффективности управления с повышением перванса объясняется возрастающим влиянием анодного потенциала на поле у катода.

Характерной особенностью ЭОС, содержащих электронную пушку с фокусирующим электродом, электрически изолированным от катода, является значительная величина тока на замедляющую систему [10] при подаче отрицательного потенциала на фокусирующий электрод, вследствие чего необходимо применять специальные меры по защите замедляющей системы от тепловой перегрузки, приводящей в конечном итоге к разрушению входного участка замедляющей системы [11].

Для уменьшения потенциала запирающего в ряде конструкций электронных пушек на оси электронной пушки вблизи катода располагается штырь, электрически изолированный от катода. Потенциал, запирающий ток пучка, за счет размещения штыря может быть уменьшен примерно в два раза, однако возмущения в пучке в этом случае увеличиваются, а ток пучка, вытягиваемый из катода, уменьшается. Для преодоления этих недостатков, на управляющий электрод и штырь подают положительный относительно катода потенциал, что приводит к так называемой модуляции "плюс-минус". В такой конструкции электронной пушки, во-первых, необходимо обеспечить защиту от попадания на штырь и управляющий электрод электронов (что может привести к эмиссии с этих электродов), а во-вторых, существующие ограничения на плотность тока с катода не позволяют уменьшить поперечный размер кольцевого катода, и, соответственно, потенциал запирающего. Снять эти ограничения позволяет развитие в поперечном направлении катода электронной пушки. При увеличении диаметра катода в два раза, в соответствии с определением плотности тока на катоде через ток пучка и диаметр катода, при неизменной плотности тока общий ток пучка может быть увеличен в четыре раза. Используя катод кольцевого типа с увеличенным диаметром, можно легко найти такую ширину кольца, с которой будет отбираться требуемый ток при приемлемой плотности тока отбора. Важным обстоятельством является то, что развитие в радиальном направлении катода электронной пушки облегчает размещение электродов вблизи катода, обеспечивающих формирование почти ламинарного пучка, при потенциале, не превышающем потенциала катода. Это обеспечивает отсутствие перехвата части тока пучка управляющими электродами и предотвращает их перегрев. По сути дела получается катодно-сеточная структура кольцевого типа, в которой перемычки сетки расположены вне пучка, и поэтому возмущение пучка может быть сведено к уровню, сопоставимому с возмущениями, обусловленными температурой катода [12]. Дополнительным преимуществом является то, что все элементы конструкции электронной пушки являются крупно структурными и могут быть выполнены на стандартном оборудовании.

Применение электронных пушек с развитыми в радиальном направлении элементами позволяют в отдельных случаях добиться снижения модулирующих напряжений до уровня сопоставимого с потенциалами, характерными для ЭОС с сетками [13]. Учитывая, что в большинстве случаев не требуется полной отсеки тока пучка, а величина управляющего потенциала определяется уровнем выходной мощности в режиме "молчания", применение таких ЭОС может сулить большие перспективы [14].

Отдельным аспектом такой задачи является принципиальная возможность применения таких пушек в приборах, обеспечивающих работу в режимах большой и малой мощности с различной скажностью. Такие пушки менее критичны различного рода пробою, чем выгодно отличаются от чувствительных к броскам напряжений пушек с сеточными структурами, которые являются, кроме того, более трудоемкими и дорогостоящими.

Таким образом, выполнен аналитический обзор современных систем формирования электронных пучков в электровакуумных СВЧ приборах О-типа. Рассмотрены основные параметры и конструктивно-технологические особенности электронных пушек для формирования сплошных и полых пучков. Подчеркнута роль формирования и фокусировки интенсивных электронных пучков как одной из основных задач, решаемых при разработке современных электронных приборов СВЧ.

Литература

1. Дж. Р. Пирс. Теория и расчет электронных пучков. — М.: "Мир", 1986.
2. Алямовский И.В. Электронные пучки и электронные пушки. — М.: Советское радио, 1966.
3. Шерстнев Л.Г. Электронная оптика и электроннолучевые приборы. — М.: Энергия, 1971.
4. Малковский С.И., Сушков А.Д. Интенсивные электронные и ионные пучки. — Л.: "Энергия", 1972.
5. Pallakoff O.E. To grid or not to grid? // Microwave J, 1974. Vol.13, № 5. P.52-56.
6. Григорьев Ю.А., Правдин Б.С., Шестеркин В.И. Электронно-оптические системы с сеточным управлением: Обзор по электронной технике. Сер.1, Электроника СВЧ. М.: ЦНИИ "Электроника", 1987. Вып.7 (1 264). 71 с.
7. Saloom J.A., Lee R.A. Monterey revisited // Microwave J, 1978. Vol.21, №7. P.14.
8. Журавлева В.Д., Морев С.П., Роговин В.И., Сакалова Т.Н., Юдин Г.Ю. Перспективы применения низковольтного сеточного управления электронным пучком в ЭВП СВЧ О-типа непрерывного действия // Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-98 / Материалы международной научно-технической конференции, 1998. — Т.1. — С.165-171.
9. Морев С. П., Роговин В. И., Юдин Г. Ю. Электронная пушка для СВЧ прибора О-типа. Патент РФ № 2212728. Приоритет от 28.09.01 г. Зарегистрирован в Гос. реестре изобретений РФ, г. Москва, 20.09.03.
10. Морев С.П., Якунин А.Н. Исследование особенностей процессов управления током пучка в электронно-оптических системах приборов О-типа // Электронная техника. Сер.1, Электроника СВЧ, 1987. Вып.5. С.31-35.
11. Морев С.П. Уменьшение величины и протяженности области оседания пучка на пролетный канал ЛБВО в режимах модуляции с помощью потенциала фокусирующего электрода электронной пушки // Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-2000 / Материалы международной научно-технической конференции, 2000. — С. 150-155.
12. Журавлева В.Д., Морев С.П., Роговин В.И., Пенязков В.В. Пути уменьшения возмущений в пучке в ЭВП СВЧ О-типа непрерывного действия с низковольтным управлением // Радиотехника и электроника, 2001. Т.46. №5. — С.611-616.
13. Морев С.П., Роговин В.И. Применение в радиально развитых ЭОС в ЛБВО с низковольтным управлением // Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП - 2000 / Материалы международной научно-технической конференции, 2000. — С. 189-193.
14. Бурцев А.А., Тарасов Е.А., Навроцкий И.А., Григорьев Ю.А. Многолучевые автономные электронные пушки с сеточным управлением и углеродными наноструктурными катодами // Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-2012 / Материалы международной научно-технической конференции, 2012. — С.87-91.

System of electron beams forming in vacuum microwave devices: modern state and tendencies of equipment

Yelizarov A.A., Yefremova M.V.

Abstract

Conducted a review of the modern systems of electron beams forming in vacuum microwave devices O-type. Discusses the basic parameters and design-technological features of the electron guns for the formation of solid and hollow axially-symmetrical beams. Special attention is paid to systems of electron beams forming with a low-voltage modulation. Analysed also tendencies of equipment of the designs of electronic guns with the grid control and electronic guns with the control electrode. The illustrated the development of electronic guns and developed the radial direction of the elements, which allow to reduce the modulating voltage, as well as to ensure the functioning in modes of high and small power with varying pulse ratio. Emphasized that the focusing of intense electron beams — one of the main tasks to development of modern electronic devices.

Keywords: microwavedevices, electronbeams, electron guns, low-voltage modulation, focusing.