

# Новые возможности группировки электронного пучка в свч приборах с вторичной эмиссией

А.В. Галдецкий

АО «НПП «Исток» им. Шокина»

**Аннотация:** рассмотрены особенности динамики электронного потока в зазоре при взаимодействии со статическим и СВЧ электрическим полем при наличии вторичной эмиссии. Продемонстрировано, что при определенных режимах происходит группировка потока, нарастающая во времени. Сделаны количественные оценки и проведено численное моделирование. Показано, что группирующий эффект существенно усилен в случае зазора цилиндрической формы. Рассмотрены возможности применения данного механизма для усиления СВЧ сигналов.

**Ключевые слова:** вторичная эмиссия, мультипактор, модуляция эмиссии, СВЧ усилитель

## 1. Введение

Вакуумные приборы на основе модуляции термоэмиссии (триоды, тетроды и др.) зарекомендовали себя как простые, дешевые, компактные, низковольтные усилители с высоким КПД, работающие до частот  $< 1$  ГГц [**Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. В первую очередь их преимущества обусловлены использованием модуляции эмиссии вч сигналом. В этом случае, поскольку уже на входе системы формируется электронный поток с высокой амплитудой первой гармоники тока, то в дальнейшем нет необходимости в длительном взаимодействии, и достаточно отобрать энергию от сгруппированного потока в коротком зазоре. Это, в свою очередь, означает отсутствие фокусировки пучка (и громоздкой магнитной системы), низкое напряжение питания, небольшие размеры и стоимость. Однако на частотах выше  $\sim 1$  ГГц используются в основном приборы с длительным взаимодействием (клистроны, ЛБВ) [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**], в которых отсутствует модуляция эмиссии (и значит малые зазоры), а высокие значения первой гармоники тока достигаются благодаря постепенной группировке пучка на длительном пути взаимодействия. Однако длинный путь транспортировки электронного пучка означает использование громоздкой и дорогой фокусирующей магнитной системы, высоких напряжений питания и малых токов, и в целом приводит чрезвычайно сложной, громоздкой и дорогой конструкции прибора.

По этой причине представляется привлекательным вернуться к применению короткого зазора и модуляции эмиссии, однако использовать при этом другие виды электронной эмиссии. Одним из таких перспективных механизмов является модуляция вторичной эмиссии. До сих пор вч модуляция вторичной эмиссии использовалась в основном в магнетронах и амплитронах [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Двухэлектродный вторично-эмиссионный разряд (мультипактор) в выходных резонаторах клистронов рассматривался как паразитное явление. Сравнительно недавно были выполнены теоретические и экспериментальные работы по применению двухэлектродного вторично-эмиссионного разряда (мультипактора) в качестве источника сгруппированного пучка для ускорителей электронов [**Ошибка! Источник ссылки не найден.-Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Для усиления СВЧ колебаний был предложен механизм одноэлектродного мультипактора, в котором возврат электронов к исходному электроду осуществляется

за счет приложенного к зазору дополнительного постоянного напряжения смещения [Ошибка! Источник ссылки не найден.] (Рисунок 1). В этом случае при определенных режимах происходит группировка потока внутри зазора, нарастающая во времени. Важно, что фаза сгустка жестко привязана к фазе вч сигнала, приложенного к зазору. Группирующему эффекту мешают силы пространственного заряда и разброс по скоростям эмитируемых вторичных электронов, что приводит к ограничению плотности тока эмиссии. Триодный вариант не требует компрессии пучка (и магнитного поля) и может быть использован при не слишком высоких требованиях к плотности тока, например, при невысоких частотах и мощностях.

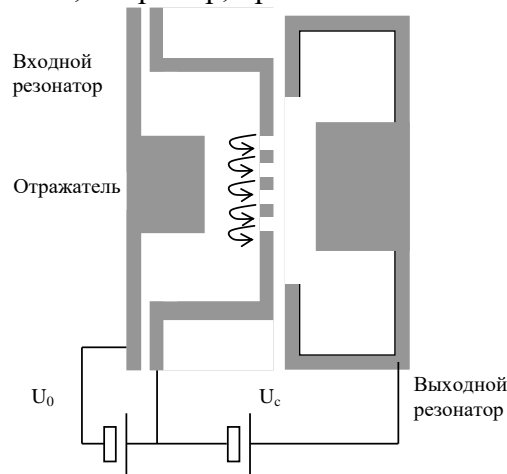


Рисунок 1. Схема возможной конструкции усилителя.

Эволюция частиц в зазоре (Рисунок 2) демонстрирует группировку и нарастание тока эмиссии (показаны также электрическое поле на катоде и средний ток эмиссии). Стационарное значение средней плотности тока эмиссии составляет  $3.7 \text{ A/cm}^2$ . Следует отметить высокое качество группировки пучка: относительная амплитуда первой гармоники электронного тока на выходе составляет 1.7.

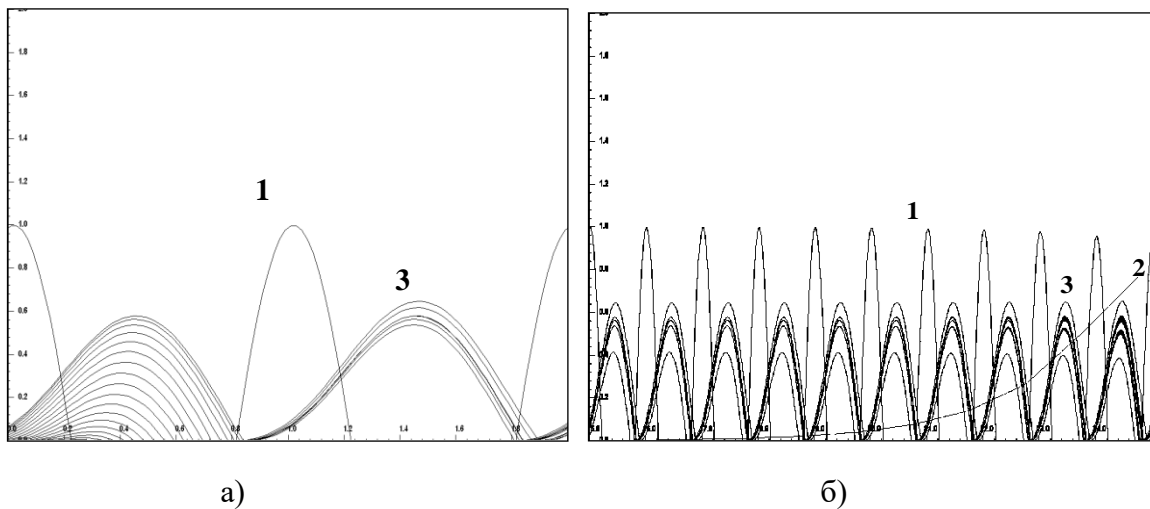


Рисунок 2. Временные зависимости поля на катоде (1), среднего тока эмиссии (2) и положения частиц (3) в процессе развития мультипактора. а) периоды 1 и 2, б) периоды с 3 по 12.

#### Ожидаемые преимущества:

- ◆ Значительная плотность тока

- ◆ «Мгновенное» время включения
- ◆ «Холодный» катод, отсутствие мощности накала
- ◆ Отсутствие магнитной системы.

## 2. Цилиндрический диод

Моделирование показало, что в плоском диоде группирующий эффект не слишком силен и ограничивает достижимую плотность тока эмиссии на уровне 1-3 А/см<sup>2</sup>. Мы предлагаем усилить эффект группировки за счет реализации неоднородного поля в зазоре. Проще всего это выполнить в цилиндрическом диоде с большим отношением внешнего и внутреннего радиусов. Численное моделирование показало, что для такой геометрии плотность тока эмиссии может достигать 10 А/см<sup>2</sup>.

## 3. Сравнение с клистронным механизмом группировки

В клистронах или ЛБВ происходит «накопление» группировки пучка в пространстве, при дрейфе пучка вдоль прибора. В отличие от этого в рассмотренном механизме в одном и том же входном зазоре осуществляется «накопление» группировки потока во времени. Нетрудно видеть, что путь транспортировки потока, а значит и габариты магнитной системы в рассмотренной модели существенно меньше, чем для клистрона (при небольших первеансах пучка магнитную систему можно вообще исключить). Кроме того, трудности настройки и обеспечения хорошего токопрохождения при проведении пучка через единственный выходной резонатор аленотрона также существенно снижены. Процесс установления колебаний занимает несколько десятков периодов вч колебаний, поэтому в макроскопическом масштабе времени включение прибора происходит мгновенно. Отсутствие мощности накала и возможность сравнительно безболезненного развития эмиттера в поперечном направлении (в отсутствие накала и магнитной системы) также являются преимуществами данного механизма.

## 4. Заключение

**I. экспериментально продемонстрирован холодный источник электронного пучка на базе мультипактора. Полученные токи соответствуют расчетным.**

Показана возможность получения тока без накала, присутствия высоких напряжений или полей.

Показана возможность работы в импульсном режиме при управлении вч сигналом: время установления тока заведомо меньше долей микросекунды.

Новый механизм группировки электронов позволяет развивать новый класс мощных СВЧ усилителей, потенциально имеющих преимущества перед традиционными клистронами и ЛБВ:

- Отсутствие необходимости в высоковольтном модуляторе
- Малые размеры, масса, стоимость
- Малые поперечные размеры – применения в АФАР и мощном СВЧ модуле
- Потенциал продвижения в область высоких частот (мм диапазон)
- Отсутствие потребления мощности накала
- «Мгновенное» время включения
- Возможны широкополосные варианты прибора (полоса ~20%)
- Простота и высокая технологичность в производстве

- Простота настройки: минимум резонаторов, ослабление проблем с токопрохождением
- Отсутствие магнитной системы
- Холодный катод - формоустойчивость электродов
- Разумный зазор сетка-катод ( $>0.1$  мм)

#### Список литературы

1. М. С. Нейман. Курс радиопередающих устройств. М., «Советское радио». 1958.
2. С. Д. Гвоздовер. Теория электронных приборов сверхвысоких частот. М., ГИИТТЛ, 1956.
3. Л. А. Вайнштейн, В. А. Солнцев. Лекции по сверхвысокочастотной электронике. М., «Советское радио», 1973.
4. J. R. M. Vaughan. Multipactor //IEEE Trans. Electron Devices. – 1988. - Т. 35, № 7. С. 1172-1180.
5. F. Mako, W. Peter. A high-current micro-pulse electron gun //Proc. Particle Accelerator Conf., 1993, p. 2702.
6. S. Ryopoulos, D. Chernin, D. Dialetis. Effect of random secondary delay times and emission velocities in electron multipactors //IEEE Trans. Electron Devices. – 1997. Т.44, № 3. - С. 489-497,.
7. А. В. Галдецкий. Аленотрон – новый класс вакуумных СВЧ-приборов на основе модуляции вторичной эмиссии //Электронная техника Сер. «СВЧ-техника». - 2001. № 2, С. 24-32.