

М. А. КОПОТЬ, В. П. ГЕРАСИМОВ, канд. физ.-мат. наук

ВОЗМОЖНОСТЬ РЕГЕНЕРАЦИИ МОЩНЫХ ЭВП СВЧ. 3 КАТОДНЫЙ УЗЕЛ

Понижение стоимости любого изделия (без изменения его технических характеристик) является основной экономической задачей производства. Вопросы регенерации наравне с созданием новых приборов как раз и решают поставленную задачу. Анализ причин отказа ЭВП СВЧ показывает, что в большинстве случаев такой причиной является потеря эмиссии катодом, что делает невозможным дальнейшую эксплуатацию прибора. Кроме повышенных температур, фактор присутствия электронной и ионной бомбардировки усиливает процесс переноса материалов и примесей с одних деталей на другие, что приводит к изменению свойств поверхностей и отравлению катодов. Как показывает имеющийся опыт проектирования, производства и эксплуатации мощных ЭВП, основными факторами, определяющими стабильность во времени их динамических параметров, а в конечном итоге и срок службы, являются эмиссионные свойства катодов. Обзор применяемых катодов в настоящее время приведён в [1].

Относительная стоимость катодного узла составляет примерно 10 процентов стоимости магнетронных генераторов. Становится очевидным, что достаточно недорогостоящая часть прибора играет существенную роль в его долговечности.

Из выше сказанного следует вывод о нецелесообразности реставрации или регенерации катодов, поскольку деградация катода необратима. Таким образом, можно вести речь только о повышении срока службы катодного узла, а соответственно и об общей долговечности прибора в целом. Учитывая, что в настоящий момент технологии восстановления эмиссии без нарушения вакуума в приборе не существует, регенерация приборов в этом случае связана с заменой катодного узла.

С теоретической точки зрения самым лучшим путём увеличения долговечности является создание приборов с одинаковым «временем жизни» его составляющих узлов. На практике такой подход реализовать пока не представляется возможным. Поэтому создание долговечных катодов остаётся достаточно актуальной задачей.

Повысить срок службы катода можно двумя путями:

1. Создание новых материалов.
2. Создание новых конструкций и принципов работы.

Вопрос о создании новых материалов не является предметом рассмотрения в данной статье.

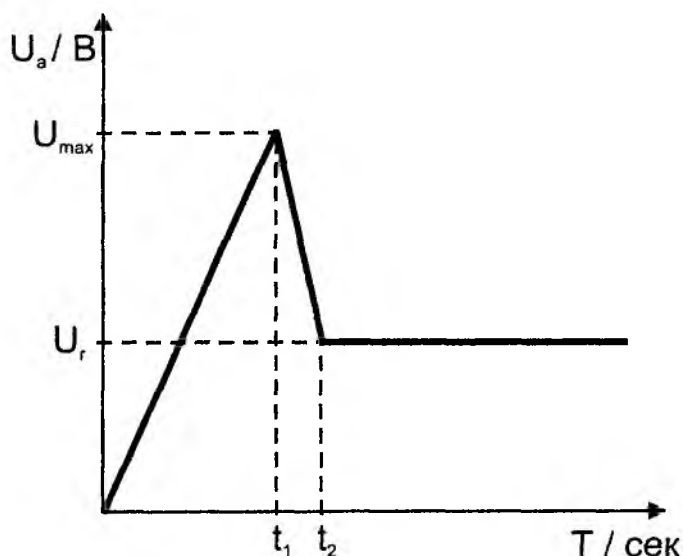


Рис. 1

Остановимся на втором пути. Относительно вопроса о создании новых конструкций можно утверждать, что конструкции приборов, описанных в [2-4], дают возможность повысить срок службы катода, но не решают задачу кардинально. Что же касается второй части этого утверждения, то достаточно перспективным для магнетронных генераторов является применение принципа, использованного в магнетронной пушке [5]. Суть принципа заключается в использовании выброса анодного напряжения на фронте его нарастания с амплитудой большей, чем у рабочего напряжения. Форма импульса анодного напряжения приведена на рис. 1.

Условия поддержания процессов вторичной эмиссии в магнетронной пушке и самом магнетроне существенно различаются. Это связано с тем, что в магнетронной пушке имеется продольно действующее электростатическое поле, которое обеспечивает необходимую добавку энергии электронам для поддержания вторичноэмиссионного размножения. В магнетроне же таким источником добавки энергии может служить только дополнительное действие ВЧ-поля.

Крутизна как нарастания, так и спада этого выброса, а также его амплитуда однозначно определяются типом материала применённого катода, так как каждому материалу соответствуют собственные значения первого и второго критического потенциала, а также максимальный коэффициент вторичной эмиссии. При таком подходе в магнетронной пушке используется холодный катод, причём в качестве катода могут быть использованы обычные материалы, такие как медь и алюминий, то есть требования к коэффициенту вторичной эмиссии материала катода минимальны. Это объясняется тем, что каждый появившийся электрон осуществляет всего одно движение по циклоиде и попадает на катод, вызывая тем самым появление новых электронов за счёт вторичной эмиссии. Время этого движения очень мало, поэтому размножение происходит практически мгновенно. В магнетроне же процессы формирования втулки происходят гораздо медленней.

В последнее время появляется всё больше работ по использованию именно холодных катодов в магнетронных генераторах, для запуска работы которых используются различные принципы получения первичных электронов: термоэмиссии с отдельно расположенного торцевого катода [6]; явления фотоэмиссии [7]; явления автоэмиссии [8, 9].

Использование подхода [5] в магнетронных генераторах ставит следующие вопросы:

1. Появление первичных (начальных) электронов и их размножение.
2. Процесс возбуждения прибора.

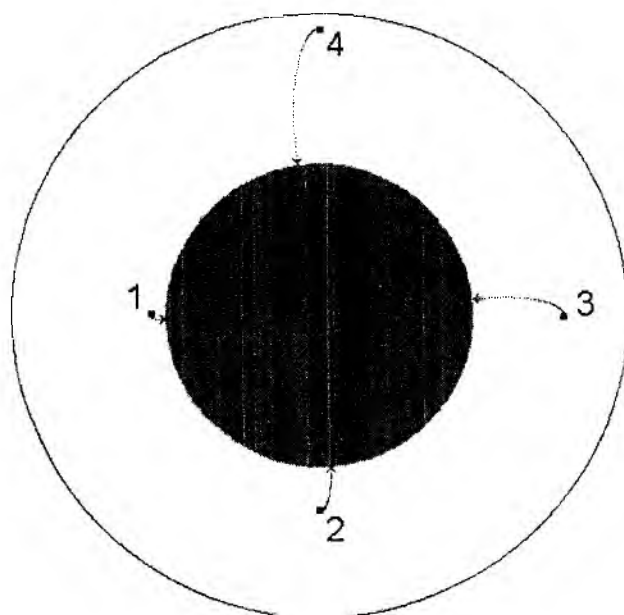


Рис. 2

Рассмотрим эти вопросы. В предлагаемом подходе специальный источник первичных электронов отсутствует, и сделано предположение о том, что электроны появляются за счёт явления ионизации остаточных газов в приборе. Таким образом, первичные электроны появляются при напряжениях порядка 20-30 В, так как именно в этих пределах лежат значения напряжений ионизации остаточных газов. Причём появившиеся электроны начинают двигаться по направлению к катоду. Для примера взяты четыре частицы, появившиеся на различной высоте над катодом. Траектории движения этих частиц приведены на рис. 2. Энергия электронов зависит от высоты их появления над катодом [10], чем выше появится электрон над катодом, тем с большей энергией он на него оседет. Крутизна фронта нарастания импульса анодного напряжения практически не влияет на энергии оседающих частиц, так как время этого движения несоизмеримо мало по сравнению со временем оседания электронов на катод.

Процесс запуска механизма вторичной эмиссии начинается с момента оседания кольца из электронов на ниспадающем участке импульса анодного напряжения. На рис.3 приведена зависимость энергии падения частицы от величины крутизны спада анодного напряжения. Этот график представляет качественную зависимость, так как на количественные характеристики существенное влияние оказывает и крутизна нарастания фронта анодного импульса и значение максимального анодного напряжения. Как видно из графика, существует минимальная крутизна спада импульса, естественно при фиксированном E_{\max} , при которой электрон будет достигать анода с минимальной энергией. Другими словами, существует возможность того, что частица не оседет на катод, если величина крутизны будет меньше S_{\min} , и таким образом не прозойдёт запуск процессов вторичной эмиссии.

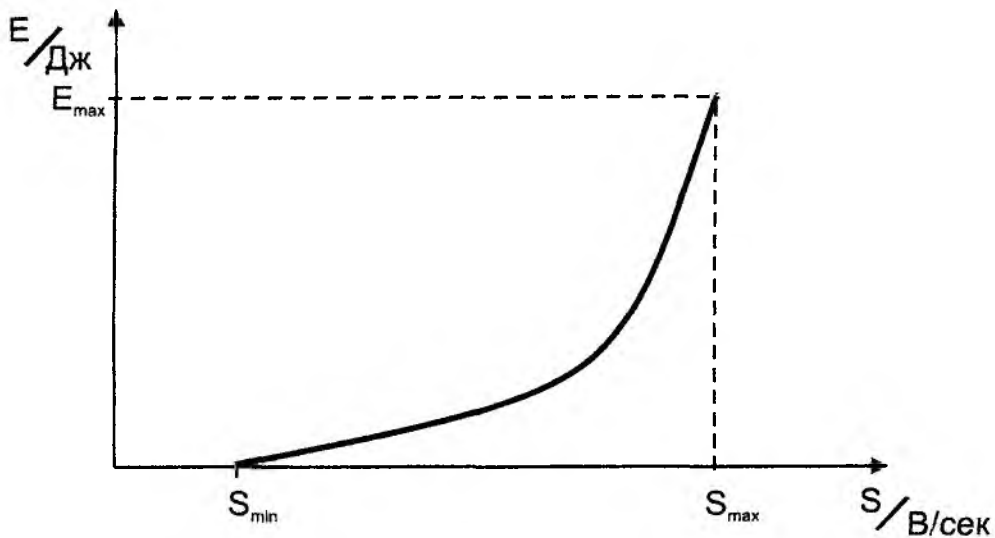


Рис. 3

Единственным условием для возбуждения прибора остаётся появление достаточной амплитуды ВЧ-поля, необходимой для дальнейшего размножения и пополнения пространства взаимодействия электронами. ВЧ-поле в свою очередь начнёт появляться с некоторой достаточной плотности пространственного заряда, прошедшего определённую группировку. Если же в результате одного выброса анодного напряжения не произойдёт образование необходимой плотности пространственного заряда, то очевидно, что нужно повторить выброс анодного напряжения над рабочим значением необходимое количество раз. Характеристики последующих пиков будут существенно отличаться от первого (запускающего) импульса, так как электроны будут находиться в разных начальных условиях. Все же последующие импульсы, если они необходимы для запуска, идентичны второму.

Список литературы: 1. *Звіт з НДР*; № ГР 0101U005127, інв. № 0203U008255. Харків. 2003. С. 74. 2. *Деклараційний пат.* 61797 А. Україна. 7 Н 01 J 19/10. Катод / Копоть М.А. Заяв. 30.04.2003. Опубл. 17.11.2003, Бюл. № 11. 3. *Деклараційний пат.* 47632 А. Україна. 7 Н 01 J 25/50. Магнетрон / Копоть М.А., Чурюмов Г.І., Козорезов Г.Г., Грицунов О.В. Заявл. 31.05.2001. Опубл. 15.07.2002, Бюл. № 7. 4. *Деклараційний пат.* 58753 А. Україна. 7 Н 01 J 25/50. Магнетрон / Копоть М.А., Чурюмов Г.І., Козорезов Г.Г., Грицунов О.В. Заявл. 07.10.2002. Опубл. 15.08.2003, Бюл. № 8. 5. *Закутин В.В.* Исследование генерации электронных пучков в магнетронных пушках с холодным вторично-эмиссионными катодами // Вопросы Атомной науки и техники. 1999. №1. С. 91 – 94. (Сер: Ядерно-физические исследования (33)). 6. *В.Д. Науменко, А.Н. Суворов, А.Р. Сыров.* Исследование температурного режима стартового катода в магнетроне миллиметрового диапазона // Радиофизика и электроника. 2003. Т. 8, №1. Харьков: Изд-во института радиофизики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины. С. 99 – 101. 7. Патент 2007777. Российская Федерация. 5 Y 01 J 25/50. Магнетрон / Копылов М.Ф., Бондаренко Б.В., Махов В.Н., Назаров В.А. Заявл. 15.04.1992. Опубл. 15.02.1994, Бюл. № 3, 1994 г. 8. *Деклараційний пат.* 45712 А. Україна. 7 Н 01 J 25/50. Магнетрон / Ванцан В.М., Карушкин М.Ф., Фролова Т.І., Чурюмов Г.І. Заявл. 12.06.2001. Опубл. 15.04.2002, Бюл. №4. 9. *Деклараційний пат.* 62691 А. Україна. 7 Н 01 J 25/50. Магнетрон / Копоть М.А. Заявл. 30.04.2003. Опубл. 15.12.2003, Бюл. № 12. 10. *Копоть М.А., Никитенко А.Н.* Создание эффективных эмиттеров для магнетронных генераторов // III Междунар. Сем. «Компьютерное моделирование электромагнитных процессов в физических, химических и технических системах». Воронеж. 2004.

*Харьковский национальный
университет радиоэлектроники*

Поступила в редколлегию 16.03.2004