

Повышение точности определения температуры КСУ в форсированном режиме нагрева

А.В. Сторублев^{1,2}, Г.В. Сахаджи¹, Т.М. Крачковская¹, С.Д. Журавлев¹

¹АО «НПП «Алмаз»

²СГУ им. Н.Г. Чернышевского

Аннотация: в данной работе исследовалось время форсированного разогрева катода до рабочей температуры. Измерение проводилось с использованием нового метода, включающего определение соответствия между температурой катода и потенциалом, до которого заряжаются околокатодные электроды при попадании на них электронов с нагретой эмиссионной поверхности катода. Данный способ позволяет снизить погрешность измерения температуры до 0,6% и устранить перегрев катода при подборе температур в форсированном режиме.

Ключевые слова: ЛБВ, металлопористый катод, долговечность, определение температуры, форсированный разогрев.

1. Введение

Несмотря на всё большее распространение электронных устройств, работающих с применением полупроводниковых материалов, существуют технические отрасли, где решение поставленных целей достигается лишь с применением электровакуумных приборов (ЭВП). В частности, в системах связи, радиолокации и навигации, а также в широкополосных системах специального назначения успешно применяется такой прибор, как лампа бегущей волны (ЛБВ) [1]. В современных лампах, как правило, в качестве источника электронов выступает металлопористый катод (МПК), работающий на принципе термоэмиссии. Во многом режим работы и долговечность ЛБВ определяется конструктивными и технологическими параметрами катода. Долговечность работы ЛБВ не может превышать долговечность работы катода, которая, кроме прочих факторов, связана с испарением активного вещества, на скорость которого напрямую влияет температура [2]. Следовательно, точность определения температуры катода, при любых допустимых для конкретного типа ЛБВ режимах разогрева, а также сама возможность её определения в приборах с непрозрачными для электромагнитного (ЭМ) излучения стенками, являются важными вопросами при исследованиях МПК.

Традиционным методом определения температуры катода является пирометрирование [3]. Эксперимент, как правило, подразумевает помещение катода в стеклянный объём с вакуумом, его разогрев в необходимых режимах работы подогревателя, фокусировка на заранее определённую часть катода, получение необходимого значения температуры, например, сопоставляя цвета катода и нити, расположенной в пирометре. Данный метод имеет следующие существенные недостатки: а) значительное время, между имеющейся в данный момент температурой катода и получением численного результата измерения, связанное, как отмечалось, с оптической фокусировкой на измеряемой поверхности, а также с сопоставлением цветов; б) наличие вакуумной оболочки, прозрачной для ЭМ-излучения, например, как в описанном случае, в видимом диапазоне излучения. Очевидно, что значимость времени проведения замера может быть существенной в случае, когда за период измерения температура катода может измениться на величину, превышающую погрешность замера. Такие ограничения контроля температуры катода возникают,

например, при форсированном разогреве катода, когда требуется стремительный разогрев эмиттера до рабочей температуры, а затем, после её достижения, поддержание при установившемся значении. Практически такая задача сводится к выявлению значения времени с точностью до десятых долей секунды, в течении которого катод будет разогреваться до нужной температуры. В случае слишком длительной работы катода в форсированном режиме возникает вероятность появления неисправимого повреждения эмиттера, а также подогревателя с изолирующим составом. В случае, если за время прогрева катод не достигнет необходимой температуры, появляется вероятность возникновения проблемы с недостаточностью тока эмиссии и отсутствием усиления или отравлением катода остаточными газами. Одновременно с этим, может ставиться задача определения закона, по которому изменяется температура катода во время разогрева или остывания, т.е. практически мгновенное определение температуры в любой момент времени прохождения процесса. Другой указанный недостаток не позволяет, в случае возникшей необходимости, определять температуру катода в составе готового изделия с металлической оболочкой.

Для устранения указанных недостатков предлагается способ, основанный на эмиссии электронов с поверхности катода, их попадании на поверхности электродов, расположенных, прежде всего, вблизи катода, установлении связи между количеством такого тока или зарядом, до которого заряжаются околоскатодные электроды, с температурой катода [4]. Выбор электродов, на которых необходимо определять ток термоэмиссии без приложения внешнего электрического поля, необходимо осуществлять в зависимости от их геометрической формы, расположения относительно катода, а также их количества, в каждом конкретном типе пушечного узла.

2. Экспериментальная часть

В данной работе решалась задача определения времени форсированного разогрева катода до рабочей температуры, для чего был использован катодно-сеточный узел (КСУ), который был предварительно обезгажен на откачном посту до $P \sim 10^{-7}$ мм рт. ст., а затем, после спая с поста, включен в цепь как показано на рисунке 1.

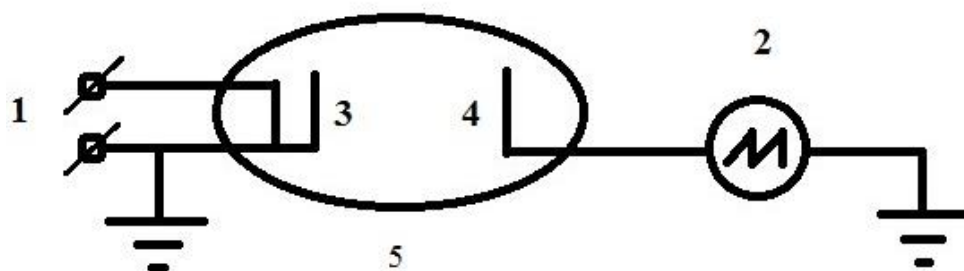


Рисунок 1. Электрическая схема для определения эмиссии катода без подачи напряжения между электродами.

КСУ находился в стеклянной колбе 5. К выводам подогревателя катода 3 был подключен источник питания 1. К сетке 4 подключался осциллограф 2. Также для проведения работы был использован оптический пирометр с исчезающей нитью накала, не приведённый на рисунке 1.

На первом этапе устанавливалась связь между температурой катода и показаниями осциллографа 2. Для этого на подогреватель катода 3 с помощью источника 1 дискретно с выдержкой при каждом устанавливаемом значении в течение времени стабилизации температуры подавалось напряжение накала (U_n), фиксировалась мощность накала. После стабилизации температуры на каждой из ступеней

определялся заряд сетки. Работа проводилась в диапазоне температур, с одной стороны ограниченном видимым свечением катода и возможностью замера пирометром, с другой – недопущением выплавления активного вещества из вольфрамовой таблетки. Полученные значения представлены в таблице 1.

Таблица 1. Связь заряда электрода с температурой катода

$U_n, \text{В}$	Температура катода, $^{\circ}\text{С}_{\text{ярк}}$	Потенциал заряда сетки, В
4,6	751	1,28
5,5	860	1,66
6,3	942	1,87
7,5	1050	2,20
8,5	1128	2,33
9,2	1190	2,40

Среди полученных данных выделялся потенциал заряда сетки при условно рабочей температуре катода. В данном случае рабочая температура составила $942^{\circ}\text{С}_{\text{ярк}}$, при этом потенциал, до которого заряжалась сетка, составил 1,87 В. Результаты, полученные с помощью осциллографа, представлены на рисунке 2.

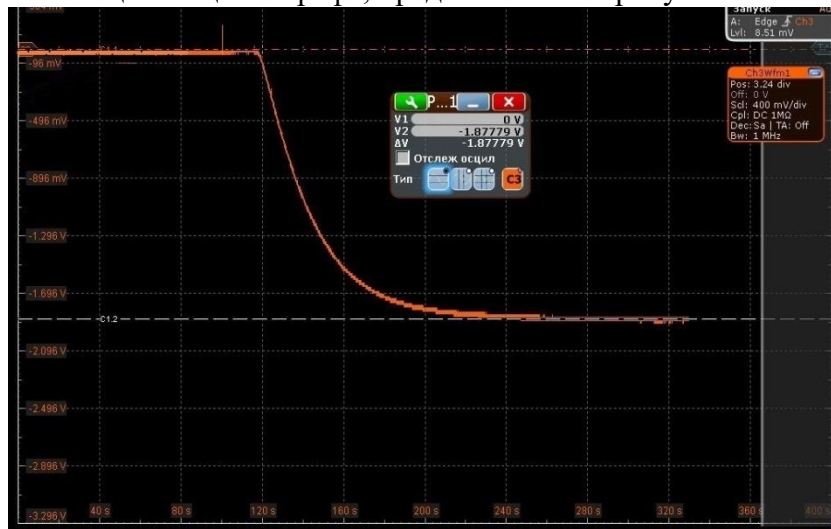


Рисунок 2. Разогрев катода в составе КСУ при $U_n = 6,3 \text{ В}$ (рабочая величина).

На втором этапе источник 1 программировался на заданный форсированный режим, при котором затем происходил разогрев катода. В данном случае был выбран режим форсажа при $U_n = 9,2 \text{ В}$. После заряда сетки до потенциала, определённого на первом этапе, температура катода считалась рабочей, а время разогрева до рабочей температуры и было искомой величиной. Процесс заряда сетки в форсированном режиме нагрева показан на рисунке 3.

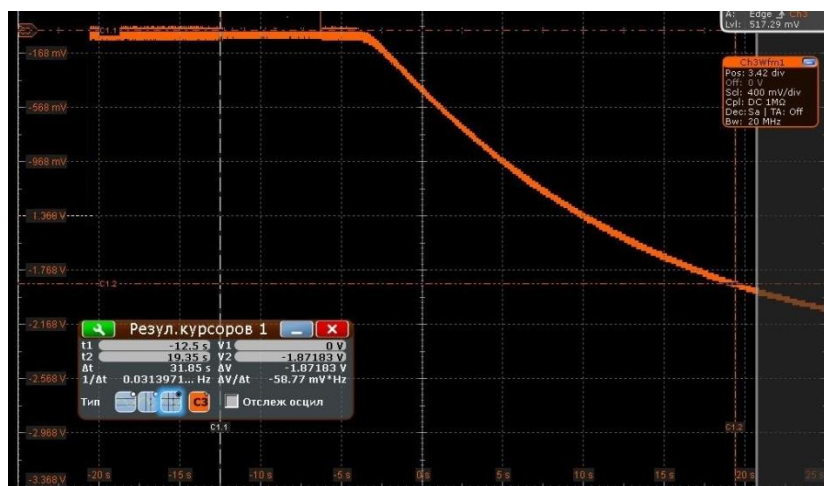


Рисунок 3. Разогрев катода в составе КСУ при $U_n = 9,2$ В.

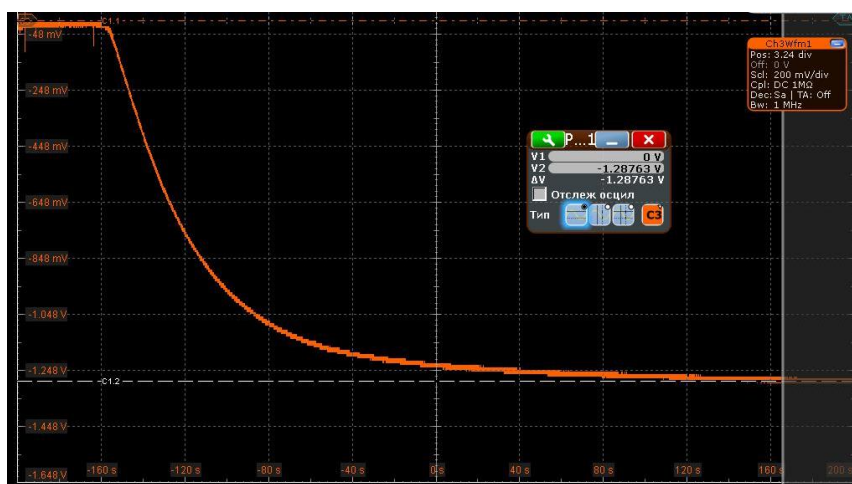


Рисунок 4. Разогрев катода в составе КСУ при $U_n = 4,6$ В.

Для сравнения с другими кривыми нагрева на рисунке 4 показано изменение потенциала сетки при разогреве катода с $U_n = 4,6$ В. Сравнивая рисунки 4 и 2 можно сделать вывод, что при более низкой мощности нагрева температура катода стабилизируется значительно медленнее.

Анализируя рисунки 2 и 3, можно видеть, что при выбранном форсированном режиме рабочая температура достигается за 31,8 с. (искомая величина), тогда как при рабочем U_n для такого разогрева требуется свыше 150 с.

3. Заключение

Очевидно, что форсированный режим подбирается индивидуально в зависимости от типа узла с катодом в зависимости от требований к длительности разогрева и долговечности, и определяется способностью подогревателя, изолирующего состава и других материалов, и соединений рассеивать заданную мощность.

Погрешность и чувствительность данного способа во многом будет зависеть от конструктивных особенностей КСУ, возможностей выбранного измерителя, экранировки используемых проводов. Показанный эксперимент проведён на неспециализированном стенде с использованием неэкранированных проводов суммарной длиной около 1м. Погрешность замера была связана с сетевыми наводками по воздуху, выражалась толщиной линии, отображаемой осциллографом, которая составляла величину порядка 30 мВ, что при заряде сетки до 1,87 В (рабочая

температура катода) даёт погрешность порядка 2 %. Погрешность оказывалась более значимой в случае, когда измеряемая величина потенциала была меньшей. Таким образом, в зависимости от измеряемой величины потенциала, требуемой погрешности к проведению эксперимента, улучшениями условий проведения эксперимента можно добиться погрешности ниже 1 %.

Предложенный способ требует минимального набора штатного оборудования, обеспечивает высокую точность при небольших временных затратах.

Список литературы

1. Гилмор, А.С., мл. Лампы с бегущей волной/ [ред.] Н.А. Бушуев. [перев.] А.Г. Кудряшов. – М.: Техносфера, 2013. - 616 с.
2. Козлов, В. И. Эмиссионные свойства и долговечность металлопористых катодов для СВЧ приборов/ В.И. Козлов// ЦНИИМ "Электроника", Обзор по электронной технике, сер.1, Электроника СВЧ. – 1983. - 8 (541). - 54 с.
3. Свет Д.Я. Оптические методы измерения истинных температур/ Д.Я. Свет. – М.: Наука, 1982. - 296 с.
4. Сторублев А.В., Крачковская Т.М., Сахаджи Г.В. Способ измерения рабочей температуры катода в пушке или в составе электронного прибора // Заявка № 2019108346 Рос. Федерация: МПК Н01J9/04. заявитель АО «НПП «Алмаз»; приоритет от 21.03.2019 г.