

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ШУМОВ В ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРАХ

Глумова М. В., Воробьев М. Д.

*Аннотация* - Рассмотрены способы моделирования основных компонент низкочастотного (НЧ) шума, проведено сопоставление результатов моделирования при использовании различных алгоритмов с экспериментальными данными

Как известно, шумовые способы контроля качества электровакуумных приборов /ЭВП/ являются основой для диагностирования состояния наиболее подверженного деградации катодно-подогревательного узла и своевременного выявления содержащихся в нем дефектов. Максимально информативными шумовыми компонентами, измерение и моделирование которых может быть положено в основу создания комплекса неразрушающих методов контроля, являются компоненты низкочастотного шума тока, отбираемого с катода.

Традиционной основой для моделирования шумовых компонент в ЭВП является классическое решение Ленгмюра для токопрохождения в плоском диоде с термокатодом [1]. Как известно, полномасштабное решение с учетом распределения эмиттированных электронов по начальным скоростям требует использования численных методов. Этапы моделирования зависят от вида рассматриваемой шумовой компоненты и включают в себя использование аналитических соотношений, полученных в результате теоретического анализа с рядом упрощающих предположений. Именно по такому принципу созданы модели дробовой и фликкерной компонент НЧ шума в плоском диоде, которые описаны ниже.

С использованием современных вычислительных средств стало возможным достаточно быстрое проведение громоздких вычислений, связанных с реализацией алгоритмов расчета дробового шума, и в том числе с расчетом основной величины, определяющей уровень дробового шума – коэффициента депрессии  $\Gamma^2$ . Следует отметить, что расчеты  $\Gamma^2$ , выполненные с минимальным числом упрощений, требуют больших затрат машинного времени, в то время как занимающие незначительное машинное время расчеты этой же величины по известному упрощенному алгоритму дают мало отличающиеся результаты. Последние, однако, ограничены режимом глубокого пространственного заряда, вследствие чего недоступной для расчета оказывается переходная область к режиму насыщения.

Важной проблемой при моделировании является неоднородность прикатодного электрического поля, для решения которой приходится прибегать к значительным приближениям и упрощениям. Очевидно, что сложности, связанные с расчетами в переходном режиме и при неоднородном электрическом поле, представляют серьезное препятствие на пути развития моделирования в принятом направлении. Дополнительным препятствием служит также значительное расхождение результатов моделирования и экспериментальных значений уровней шума реальных ЭВП (рис.1).

Модель другой компоненты НЧ шума – фликкер- шума катодного тока, также основана на решении Ленгмюра [1]. Хотя расчеты фликкер-шума переходных режимов, в отличие от дробовой компоненты, не требуют больших затрат машинного времени из-за большей чувствительности фликкер-шума к запасу катода по эмис-

сии, проблемы, связанные с учетом неоднородности электрического поля в прикатодной области, сохраняются.

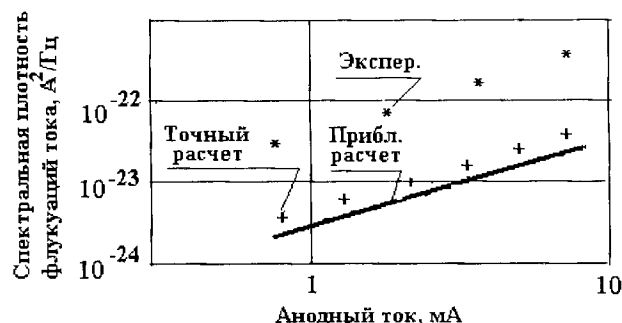


Рис.1. Зависимость шума от анодного тока, рассчитанная с использованием уточненного и приближенного алгоритмов, полученная в результате эксперимента температура катода-970 К, межэлектродное расстояние- 0,04см, площадь катода- 0,113см<sup>2</sup>

Шагом вперед, позволяющим, на наш взгляд, подойти к принципиально иному решению описанных проблем при моделировании НЧ шумов, является использование динамической модели электронного потока. Для создания модели был применен метод крупных частиц [2]. Математическое обоснование разработанной динамической модели, алгоритм и численные методы ее реализации приведены в [3,4].

Достоинствами предлагаемой модели являются ее возможности, явно недоступные при моделировании с использованием аналитических соотношений. Перечислим некоторые из них: расчет характеристик электронных потоков в переходных режимах к насыщению, расчет шумовых характеристик с учетом различного расположения флукутаторов на эмиттирующей поверхности, возможность непосредственного определения демпфирующего влияния на шум прикатодного пространственного заряда, возможность изучения переходных процессов формирования электронного потока при изменении потенциалов электродов, возможность осуществления широкого спектра численных экспериментов в ЭВП со сложной системой электродов.

Исследованию флуктуационных процессов на базе предложенной динамической модели электронного потока должно предшествовать проведение численных экспериментов с целью определения работоспособности и ограничений при использовании. В плане таких экспериментов смоделированы ВАХ плоских диодов, имеющих одинаковую площадь эмиттирующей поверхности катода и различные площади анода и катодной поверхности (рис.2). Случай а - соответствует равным площадям катода, анода и эмиттирующей поверхности, в случае б - площадь эмиттирующей поверхности значительно меньше, чем площади катода и анода.

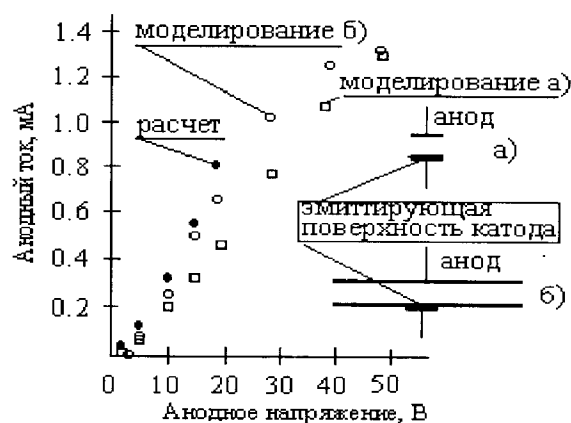


Рис.2. Вольт-амперные характеристики плоских диодов, имеющих одинаковую площадь эмиттирующей поверхности катода и различные площади анода и катодной поверхности (случай а и б)

Здесь же приведена ВАХ, рассчитанная с учетом начальных скоростей электронов по известным аналитическим соотношениям [1] для идеального диода. Из сопоставления полученных данных очевидно, что предлагаемая модель обеспечивает формирование непрерывного переходного участка ВАХ. В целом рассчитанные значения токов оказываются завышенными по сравнению с численным экспериментом, причем, как и следовало ожидать, расхождение снижается при подавлении краевых эффектов за счет протяженного катода, но не устраняется полностью.

Таким образом в работе показаны недостатки расчетных моделей, использующих аналитические соотношения, сводящиеся в основном к трудностям описания переходных режимов токопрохождения и приближенному характеру учета неоднородности электрических полей. Предложено использовать для моделирования НЧ шумов динамическую модель электронного потока. Приведены некоторые результаты численных экспериментов.

### Литература

1. Шумы в электронных приборах и устройствах. Под ред Л.Смулина и Г.Хауса. М.1964г. с.47-51
2. А.С.Рошаль Моделирование заряженных пучков М.Атомиздат.1979г. с 497.
3. М.В.Глумова, М.Д.Воробьев Моделирование шумов в электронном потоке //Шумовые и деградиационные процессы в полупроводниковых приборах (метрология, диагностика, технология): Материалы докладов международного науч.-техн. семинара М:1999.с.249-253.
4. М.В.Глумова, А.А.Шадрин Динамическое моделирование электронно-лучевых приборов методом крупных частиц. сб. Динамические системы. вып.13,1994.с.57-60.