

УДК 533.9

Исследование режима неэлектрического управления ионным слоем высоковольтного термоэмиссионного диода

Акатьев Илья Дмитриевич^{1, 2(*)}

akatevid@student.bmstu.ru

Яшин Максим Сергеевич²

yashinms@sialuch.ru

Онуфриев Валерий Валентинович¹

onufryev@bmstu.ru

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия² АО «НИИ НПО «ЛУЧ», Подольск, Россия

Аннотация. Проведено расчетное исследование режима неэлектрического управления ионным слоем высоковольтного термоэмиссионного диода. Рассматриваемый режим управления ионным слоем заключается в увеличении начальной температуры и концентрации частиц области возбужденных атомов вследствие внесения в нее порции «горячих» атомов, десорбированных с поверхности источника при импульсной подаче энергии на него. Расчетным путем определена зависимость снижения напряжения зажигания обратного дугового разряда в зависимости от вносимой в ионный слой тепловой энергии. Представлены результаты расчетного исследования режима неэлектрического управления ионным слоем в сравнении с результатами экспериментов.

Ключевые слова: система преобразования тока, высоковольтный термоэмиссионный диод, ионный слой, мощность, температура

Введение. Одним из элементов системы преобразования тока (СПТ) мощной энергодвигательной установки (ЭДУ) является управляемый термоэмиссионный вентиль с электрическим или тепловым управлением. Проектирование подобных устройств требует четкого понимания физических процессов, происходящих в ионном слое высоковольтного термоэмиссионного диода при внешнем воздействии на область возбужденных атомов. Создание физико-математической модели воздействия на ионный слой путем введения в него порции «горячих» атомов является целью данной работы. Основными задачами работы является расчетное определение зависимости снижения напряжения обратного дугового пробоя от внесенной в ионный слой тепловой энергии, а также сравнение полученных расчетных данных с результатами эксперимента [1, 2].

Методы и материалы; результаты. В данной работе проведено исследование режима неэлектрического управления ионным слоем высоковольтного термоэмиссионного диода. Исследование основывается на решении системы одномерных уравнений, описывающих процессы в межэлектродном зазоре высоковольтного плазменного термоэмиссионного диода в режиме обратного тока. Основными результатами решения системы уравнений являются выражение, позволяющее определить напряжение обратного дугового пробоя, и распределение температуры атомов в ионном слое, показывающее наличие области возбужденных атомов с температурой до 4000 К вблизи «холодного» электрода [3, 4].

Воздействие на область возбужденных атомов путем внесения в нее порции «горячих» атомов, десорбированных с источника при импульсной подаче электрической мощности на него, приводит к снижению напряжения обратного дугового пробоя [2].

Таким образом, в основе физико-математической модели лежит выражение, определяющее напряжение U_{Π} обратного дугового пробоя при воздействии на ионный слой:

$$U_{\Pi} = \left\{ \frac{\chi_a^2 m_a}{\varepsilon_0 e k} \cdot \frac{1}{n_a(Q_{\text{ВН}})} (T'_a(d_K) - T_a(0)(Q_{\text{ВН}})) \right\}^{1/3}, \quad (1)$$

где χ_a — теплопроводность пара цезия; m_a — масса атома цезия; ε_0 — диэлектрическая постоянная; e — заряд электрона; k — постоянная Больцмана; n_a — концентрация атомов цезия; $Q_{\text{ВН}}$ — вносимая в слой энергия; $T_a(d_K)$ — критическая температура атомов при пробое; $T_a(0)$ — начальная температура атомов.

Заключение. Используя выражение (1), показано, что снижение напряжения обратного дугового пробоя при воздействии на область возбужденных атомов может достигать сотен вольт. В результате получены управляющие характеристики воздействия на ионный слой.

Список источников

- [1] Онуфриева Е.В., Алиев И.Н., Онуфриев В.В., Синявский В.В. Энергетические характеристики высокотемпературных плазменных вентилях систем преобразования тока космических энергодвигательных установок. *Известия Российской академии наук. Энергетика*, 2016, № 3, с. 127–140.
- [2] Онуфриев В.В., Синявский В.В. Результаты экспериментального исследования высоковольтного термоэмиссионного вентиля с тепловым управлением. *Известия Российской академии наук. Энергетика*, 2009, № 1, с. 36–42.
- [3] Онуфриева Е.В., Онуфриев В.В., Гришин Ю.М., Сидняев Н.И., Синявский В.В., Ивашкин А.Б. О расчете характеристик разряда в высоковольтном плазменном термоэмиссионном диоде в режиме обратного тока. *Известия Российской академии наук. Энергетика*, 2017, № 6, с. 87–96.
- [4] Онуфриева Е.В., Онуфриев В.В. К вопросу о расчете напряжения обратного дугового пробоя высоковольтного термоэмиссионного диода и его предельной удельной электрической мощности. *Известия Российской академии наук. Энергетика*, 2023, № 2, с. 46–57.