

**ТЕРМОЭМИССИОННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ (ТЭП)** — устройство для прямого преобразования тепловой энергии плазмы в электрическую. ТЭП обычно представляет собой диод, тепловая энергия подводится к катоду, а электрическая выделяется на нагрузочном сопротивлении  $R_0$ . Принцип действия ТЭП поясняется рис. 1, где

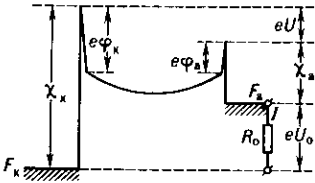


Рис. 1. Потенциальная диаграмма электронов в ТЭП в режиме низковольтной дуги:  $F_k$  и  $F_a$  — уровни Ферми катода и анода;  $e\phi_k$  и  $e\phi_a$  — падения напряжения в приэлектродных ленгмюровских слоях.

приведена потенц. диаграмма для электронов. Тепловая энергия  $Q_k$ , подводимая к катоду, отчасти расходуется в зазоре ТЭП, отчасти выделяется в виде тепла  $Q_a$  на аноде и в виде полезной электр. мощности в нагрузочном сопротивлении:  $P_0 = U_0 I = [(\chi_k - \chi_a)/e - U] I$ . Здесь  $\chi_k$  и  $\chi_a$  — работы выхода катода и анода ( $\chi_k > \chi_a$ ),  $U$  — падение напряжения в зазоре,  $I$  — ток в цепи. Кпд ТЭП  $\eta = P_0/Q_k$ . Для компенсации пространственного заряда электронов в зазоре ТЭП вводится легко ионизирующийся газ, как правило, пары Cs. Контактная разность потенциалов  $\Delta\chi/e = (\chi_k - \chi_a)/e$  создается за счёт разной степени покрытия цезием горячего катода и холодного анода. По способу ионизации Cs различают ТЭП с поверхностной и с объёмной ионизацией. В первом случае ионы  $Cs^+$  создаются, как правило, за счёт *поверхностной ионизации* на горячем катоде. Во втором случае ионы  $Cs^+$  образуются в объёме, где поджигается низковольтная дуга (НД). Режимы с поверхностной ионизацией, в свою очередь, подразделяются на кнудсеновские, когда длина свободного пробега электрона  $l_e \gg L$  — длины зазора, и диффузионные, когда  $l_e \ll L$ .

При рассмотрении режимов с поверхностной ионизацией существенно, каково распределение потенциала на контакте катод — плазма в условиях термодинамич. равновесия

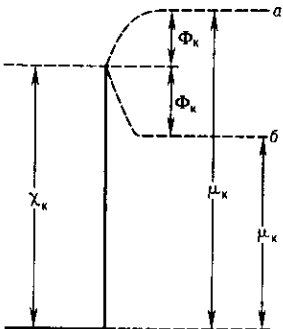


Рис. 2. Распределение потенциала в прикатодном слое при термодинамическом равновесии плазмы с катодом (диффузионный режим): а — для  $\chi_k < \mu_k$ ; б — для  $\chi_k > \mu_k$ .

барьер в ленгмюровском слое;  $n(T_k) = (g_i Z_e N_a / g_a)^{1/2} \times \exp(-\mathcal{E}_i/2kT)$  — равновесная концентрация плазмы при темп-ре  $T_k$ ;  $Z_e = 2(2\pi m_e kT/h^2)^{3/2}$ ;  $g_i = 1$  и  $g_a = 2$  — статистич. суммы свободных электронов, ионов и атомов;  $N_a$  — концентрация атомов Cs в плазме. Оптим. режим ТЭП реализуется при  $\chi_k \approx \mu_k$ . В режимах с поверхностной ионизацией ток прибора зависит от величины равновесной концентрации  $n(T_k)$  электронов в прикатодной плазме. При сравнительно малом давлении Cs ( $p_{Cs} \sim 10^{-2}$  Тор) в кнудсеновском режиме, когда рассеяние электронов в зазоре отсутствует, макс. плотность тока порядка хаотической:  $j_e \approx en(T_k) \bar{v}_e$ . Однако, т. к. с уменьшением давления  $\mu_k$  увеличивается, для реализации больших значений  $n(T_k)$  и соответственно большой мощности  $P_0 \sim (1-10)$  Вт/см<sup>2</sup> нужны высокие темп-ры катода  $T_k > 2000$  К, что уменьшает ресурс работы катода. Увеличение давления до величины  $p_{Cs} \sim 1$  Тор позволяет понизить  $T_k$  и увеличить срок его работы. При этом реализуется диффузионный режим, когда плазма в приэлектродном слое находится примерно в термодинамич. равновесии с катодом, а ток в зазоре

переносится за счёт диффузии электронов от горячего прикатодного конца плазмы к прианодному. В диффузионном режиме, однако, ток и полезная мощность  $P_0$  существенно уменьшаются за счёт рассеяния электронов в плазме. Поэтому при  $p_{Cs} \geq 1$  Тор предпочтительно работать в режиме с объёмной ионизацией Cs, когда за счёт некрого увеличения напряжения  $U$  реализуется режим НД.

В режиме НД за счёт образования достаточно большого прикатодного падения напряжения  $\phi_k$  (рис. 3), препятствующего возврату плазменных электронов на катод, снимаемый ток близок к эфф. току эмиссии:  $I_{s\text{эфф}} = I_s \exp(-e\phi_m/kT_k)$ , где  $\phi_m$  — потенциал *виртуального катода*, к-рый возникает в условиях, когда  $\chi_k < \mu_k$ . Для этих условий типичная *вольт-амперная характеристика* (ВАХ) ТЭП приведена на рис. 4; здесь  $AB$  — диффузионная ветвь;  $BC$  — неустойчивый участок ВАХ, соответствующий поджигу НД;  $CD$  — участок пинирования тока;  $DE$  — участок виртуального катода (режим с объёмной ионизацией).

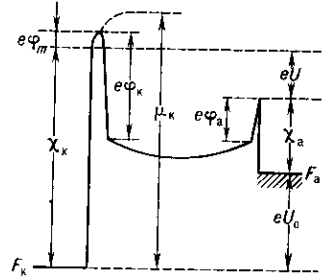
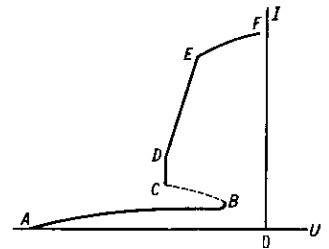


Рис. 3. Распределение потенциала в низковольтной дуге в режиме с виртуальным катодом.

рис. 3). Участок  $EF$  соответствует монотонному распределению потенциала в прикатодном ленгмюровском слое (рис. 1). Точка  $E$ , соответствующая исчезновению виртуального катода, является рабочей точкой ТЭП. Ионизация Cs в режиме НД обеспечивается обычно разогретыми электронами плазмы ( $T_e \approx 0.2-0.3$  эВ), имеющими максвелловское распределение. В режиме НД осн. потери энергии в зазоре связаны с разогревом электронов плазмы.

Классифицировать ТЭП можно по величине барьерного индекса  $U_B \approx U + \chi_a/e$ . К т. н. 1-му поколению ТЭП относятся созданные в 1970-х гг. преобразователи с  $U_B \geq 2$  В. К ТЭП 2-го и 3-го поколений, возможность создания к-рых исследуется в 1990-х гг., относят преобразователи с  $U_B \approx 1,5$  В и  $U_B \approx 1$  В. При  $U \approx 1,5$  В ТЭП становится экономи-

Рис. 4. Вольт-амперная характеристика ТЭП в диффузионном ( $AB$ ) и дуговом ( $CDEF$ ) режимах.



чески выгодным в качестве высокотемпературной надставки в промышл. энергетич. установках. Исследуются пути уменьшения  $U_B$  за счёт уменьшения  $U$  и  $\chi_a$ . Основные предлагаемые способы уменьшения  $U$  связаны с переходом к механизмам ионизации, не использующим разогрев тепловых электронов. Это — ТЭП со вспомогат. разрядом, в частности трёхэлектродный ТЭП с инертным газом-наполнителем; ТЭП с импульсной внеш. ионизацией и с разделением во времени процесса генерации ионов и рабочей стадии ТЭП, в частности азотно-цезиевые ТЭП с накоплением энергии импульса в колебаниях молекул азота; триод с эмиттером ионов; ТЭП с ионизацией УФ-излучением или продуктами распада радиоизотопов и др. Рассматривается увеличение эфф. эмиссии катода за счёт развития его поверхности. Исследуются способы уменьшения  $\chi_a$  путём применения электродов со сложными поверхностными покрытиями. Большое внимание уделяется цезиевым триодам с сеточным управлением тока, используемым для непосредств. преобразования пост. напряжения, генерируемого ТЭП, в перем. напряжение.

Лит.: Добрецов Л. Н., Термоэлектронные преобразователи тепловой энергии в электрическую, «ЖТФ», 1960, т. 30, с. 365;