

Е. Я. ПУМПЕР

ФЛУКТУАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА В ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМПАХ С ВОЛЬФРАМОВЫМ КАТОДОМ

(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 19 I 1948)

Электронная лампа с вольфрамовым катодом представляет яркий пример физической системы, в которой флуктуации, кроме гауссовского процесса, содержат дополнительный статистический процесс с существенно отличным законом распределения вероятностей. Этот пример дает возможность очень наглядно изучить то влияние, которое, при определенных условиях, может оказать этот дополнительный процесс на общую картину флуктуаций анодного тока, несмотря на малость его энергии.

В данном случае такое исследование может привести к новым представлениям о характере испарения вольфрамового катода.

Экспериментальная возможность изучения таких явлений обусловлена применением осциллографического метода наблюдения, использовавшегося нами ранее (1).

Объектом исследования служили лампы с вольфрамовыми катодами: П-7 и ГУ-4, а также диоды с вольфрамовыми катодами с геттером и без него, изготовленные специально для этой цели.

Наблюдения на осциллографе производились при медленной развертке, с периодом порядка 0,1—0,2 сек. на частотах от 4000 до 50 000 Hz. Выдержка при фотографировании осциллограмм составляла примерно 0,2 сек. Таким образом, каждая из осциллограмм соответствует наложению на снимок одной или двух картин на осциллографе, появляющихся при каждом цикле развертки. Наблюдаемая на экране картина, а также соответствующие ей снимки, показанные на фотографиях, дают возможность сделать следующие заключения о характере флуктуаций анодного тока.

При пониженном токе накала, равном 1,25 А, когда отсутствует пространственный заряд (нормальный ток накала данного диода 1,5 А), картина на осциллографе (рис. 1, а) имеет вид нестационарно модулированного колебания, основная частота которого равна резонансной частоте контура применявшегося резонансного усилителя. В данном случае она равнялась 15 000 Hz. Такой характер имеет обычно картина флуктуаций, наблюдаемая при тепловом эффекте, а также при шротт-эффекте в лампах с оксидными катодами.

При незначительном повышении тока накала до 1,3 А (рис. 1, б) в лампе возникает пространственный заряд, вызывающий депрессию дробового эффекта. Картина, видимая ранее на осциллографе, сжимается в линию, но на экране появляются редкие выбросы большой интенсивности.

Величина некоторых из них значительно превышает уровень пробового эффекта без депрессии. На рис. 1, б можно видеть 2 таких особо интенсивных выброса и еще несколько выбросов меньшего размера. Если уменьшить период развертки осциллографа, то можно убедиться, что каждый из этих выбросов имеет форму правильного тока в диоде мало по сравнению с временем затухания контура в усилителе, т. е. длительность выброса во всяком случае менее 10^{-4} сек. Число таких выбросов в секунду составляет несколько десятков.

Если снова уменьшить ток накала диода до 1,25 А, то картина на осциллографе вернется к виду, показанному на рис. 1, а. Если при этом снизить анодное напряжение, то опять возникает депрессия и интенсивные редкие выбросы (рис. 1, в). При увеличении тока накала до нормального, равного 1,5 А (рис. 1, г), число редких выбросов возрастает. С дальнейшим увеличением тока накала число выбросов возрастает

еще больше. Они сливаются, образуя сплошной нестационарный процесс. Интенсивность каждого из них несколько падает.

Особенно увеличивается число этих выбросов в течение нескольких секунд после изменения тока, что, вероятно, обусловлено возникновением температурных градиентов нити накала при установлении теплового режима. В лампах с оксидными и бариевыми катодами все указанные особые явления не наблюдаются. Для вольфрамовых катодов они всегда имеют место.

На основании этих опытов можно сделать следующие заключения.

Обнаруженный процесс, наблюдаемый на осциллографе в виде редких интенсивных выбросов, существует тогда, когда в лампе с вольфрамовым катодом есть пространственный заряд. Интенсивность его возрастает с температурой и градиентами температуры нити накала.

Для объяснения механизма этих явлений следует прежде всего учесть роль пространственного заряда, который может быть причиной скачков анодного тока, когда он взаимодействует с медленными заряженными частицами.

Такая идея впервые была высказана Лэнгмюром. Впоследствии был опубликован ряд работ ⁽²⁻⁴⁾, теоретических и экспериментальных, в которых рассматривалось действие потока ионов, отрывающихся от накала и взаимодействующих с пространственным зарядом. Эти работы приводят к результату, что поток ионов, взаимодействуя с пространственным зарядом, уменьшает депрессию, т. е. увеличивает уровень шумов в лампе.

В работе ⁽³⁾ показано, что эти эффекты имеют место в оксидных лампах, в то время как в лампах с вольфрамовым катодом

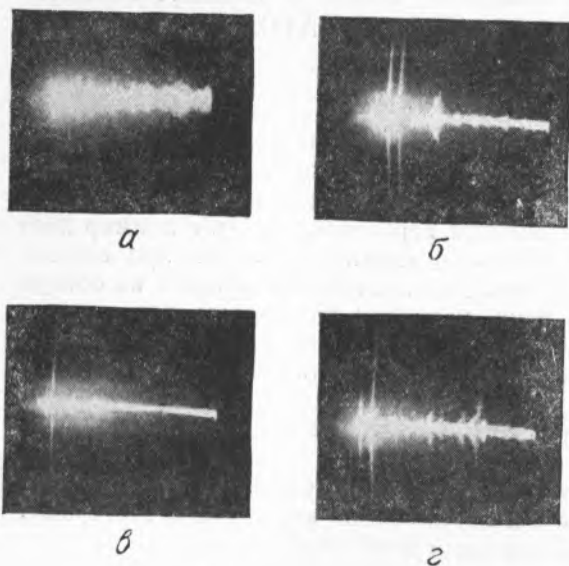


Рис. 1. а — $I_n = 1,25$ А; б — $I_n = 1,3$ А;
в — $I_n = 1,25$ А, снижено анодное напряжение;
г — $I_n = 1,5$ А

влияние ионной эмиссии на депрессию незаметно. Измерения флуктуаций в этих работах производились по средним квадратам.

Аналогичное влияние на пространственный заряд могли бы оказать и газовые ионы, но наши опыты с вольфрамовыми диодами, снабженными геттером, показали, что явление протекает в них так же, как в лампах без геттера. Следовательно, источником медленных частиц, вызывающих показанные на осциллографе выбросы, может быть только катод.

Можно показать, что каждый из наблюдаемых выбросов не может быть обусловлен действием единичного иона на пространственный заряд.

Действительно, если масса вольфрамового катода равна 0,1 г и при испарении одной десятой массы нити, т. е. 10^{-2} г, нить сгорает, то при средней долговечности лампы, равной 500 час., в секунду должно отрываться от накала $\sim 0^{-8}$ г вольфрама. Эта масса вольфрама должна содержать $\sim 10^{13}$ атомов. Если отбросить маловероятный случай, что из них только несколько десятков ионизировано, а остальные нейтральны, то ясно, что на осциллографе нельзя было бы наблюдать выброс тока, вызываемый одним ионом, так как выбросов было бы очень много и все они слились бы в сплошной нестационарный процесс типа обычного шротт-эффекта, показанного на рис. 1, а.

Кроме того, цитированные выше работы⁽³⁾ показывают, что поток ионов вызывает уменьшение депрессии, т. е. увеличение уровня шумов в 2—3 раза. Следовательно, нельзя ожидать, чтобы один ион дал выброс тока, в несколько раз превышающий уровень шротт-эффекта без депрессии.

Тогда остается предположить, что от вольфрамового катода отрываются не отдельные ионы, а более крупные образования, которые и производят замеченные эффекты.

В пользу такого предположения говорит еще и следующее рассуждение.

Как известно, долговечность оксидного катода значительно выше, чем катода вольфрамового. Вольфрамовая нить перегорает вскоре после того, как ее средний объем при равномерном испарении уменьшится на 10%, или диаметр на 5%. Время, по истечении которого происходит такое уменьшение, можно считать долговечностью катода, примерно равной 500 час. Слой оксида на оксидированном катоде примерно соответствует объему испарившегося вольфрама, но испаряется он в несколько десятков раз дольше из-за более низкой температуры. Следовательно, количество атомов, которые теряют оксидный катод в секунду, будет значительно меньше, чем для вольфрамового катода. Но опыты по депрессии⁽³⁾ показывают, что в лампах с оксидными катодами присутствуют ионы, которые влияют на депрессию, в то время как вольфрамовые катоды дают ничтожное количество ионов.

Если предполагать, что механизм испарения в обоих катодах одинаков, то мы пришли бы к противоречию. Оно может быть устранено, если предположить, что вольфрамовый катод выбрасывает не отдельные ионы, а частицы вольфрама, для которых e/m значительно меньше, чем для иона. Тогда заряд каждой частицы велик по сравнению с зарядом иона и, следовательно, может дать интенсивный выброс анодного тока. Общий ток, создаваемый такими частицами, мал по сравнению с ионным током оксидной лампы.

Разобранный случай интересен как физический пример, для которого не применима теория депрессии благодаря тому, что в системе имеется малый дополнительный редкий процесс, характеризующийся малыми скоростями частиц. При наличии пространственного заряда дробовой эффект уменьшается, в то время как дополнительный процесс, наоборот, вырастает, делаясь больше уровня дробового эффекта без депрессии.

Закон распределения вероятностей электрических флуктуаций в этом случае существенно отличается от закона Гаусса.

Физический институт им. П. Н. Лебедева
Академии Наук СССР

Поступило
17 I 1948

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Е. Я. Пумпер, ДАН, **53**, №1 (1946). ² S. Ballantine, Physics, **4**, 294 (1933).
³ N. H. Kosanowsky, Phys. Rev., **35**, 1430 (1930); **36**, 1314 (1930). ⁴ E. Spence, Wiss. Veröffn. d. Siemenswerke, **17** (1938).