

Г. М. МАЛЫШЕВ и В. Л. ФЕДОРОВ

ПРИМЕНЕНИЕ УЗКОПОЛОСНОГО УСИЛИТЕЛЯ
ДЛЯ ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИЙ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ПО СКОРОСТЯМ
В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ РАЗРЯДЕ

(Представлено академиком А. А. Лебедевым 30 VI 1953)

В последнее время уделяется большое внимание методам исследования функции распределения электронов по скоростям в электрическом разряде в газе. Этому вопросу посвящен ряд экспериментальных работ (1-4), большинство из которых основываются на методе зондов.

Как известно (5), нахождение функции распределения при помощи зондов сводится в основном к получению второй производной от зондового тока по потенциалу зонда d^2I/dV^2 . Последний из прилагавшихся методов получения второй производной d^2I/dV^2 заключается в применении однократного электрического дифференцирования с последующим графическим дифференцированием. Этот метод требует довольно громоздкой обработки результатов, что затрудняет исследование.

Применявшиеся ранее методы наложения переменного потенциала на потенциал зонда (6, 7) неудовлетворительны, главным образом, потому, что в этих методах вторая производная получается по точкам. Нахождение всей кривой требует большого промежутка времени, в течение которого могут изменяться условия разряда. Последнее может вносить значительные ошибки в получаемую кривую.

В настоящей работе описывается метод, позволяющий получать на экране осциллографа всю кривую второй производной от зондового тока по потенциалу зонда.

На рис. 1 приведена упрощенная блок-схема установки. Цепь зонда состоит из последовательно включенного источника напряжения U , комплексного сопротивления R и трансформатора Tr . Напряжение U вместе с падением напряжения на сопротивлении R определяет постоянную составляющую потенциала зонда \mathcal{Z} относительно катода K разрядной трубки. При помощи трансформатора на постоянную составляющую потенциала зонда накладывается переменное напряжение $\Delta V = V_0(1 + \cos \omega_1 t) \sin \omega_2 t$, которое представляет собой

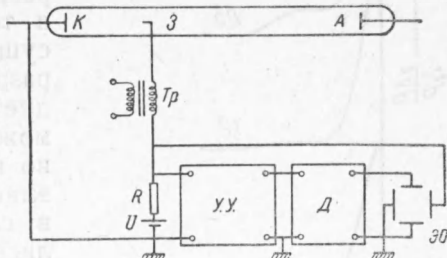


Рис. 1

синусоидальное напряжение частоты ω_2 , модулированное на 100% частотой ω_1 . Считая сопротивление R малым и разлагая получающееся выражение для зондового тока в ряд по степеням ΔV , можно приближенно получить:

$$I(V + \Delta V) = I(V) + \frac{3}{8} V_0^2 I''(V) + \dots \\ \dots \left[\frac{V_0^2}{2} I''(V) + \frac{7}{64} V_0^4 I''''(V) + \dots \right] \cos \omega_1 t + \Sigma,$$

где Σ — сумма убывающих по амплитуде составляющих частот $2\omega_1, 3\omega_1, \dots, \omega_2, 2\omega_2, 3\omega_2, \dots, \omega_2 \pm \omega_1, \omega_2 \pm 2\omega_1, \omega_2 \pm 3\omega_1, \dots$

Тот факт, что переменные составляющие зондового тока оказываются разной частоты, позволяет выделить составляющие частоты ω_1 . Это осуществляется узкополосным усилителем УУ (рис. 1) с полосой пропускания в области частоты ω_1 . Как видно из разложения, при достаточно малом V_0 амплитуда переменной составляющей частоты ω_1 пропорциональна второй производной от зондового тока по потенциалу зонда d^2I/dV^2 .

После усиления сигнал подается на детектор D . В результате детектирования появляется постоянное напряжение, также пропорциональное d^2I/dV^2 . Это напряжение и подается на вертикально отклоняющие пластины электронного осциллографа ЭО. На горизонтально отклоняющие пластины подается напряжение, пропорциональное постоянной составляющей потенциала зонда.

Источник напряжения U представляет специальный генератор, дающий медленно меняющееся периодическое напряжение. Ввиду того что изменение потенциала зонда имеет периодический характер, электронный луч описывает (в течение 25 сек.) на экране осциллографа всю кривую второй производной.

Для оценки погрешности можно произвести более строгий расчет с учетом величины сопротивления R . При этом в разложении появятся добавочные члены. Определенная по ним погрешность для наших измерений не превосходила 10%.

Исследования велись в разрядной трубке диаметром 37 мм, с оксидным подогреваемым катодом, в парах ртути.

Как показали исследования, в таком разряде при давлении $2,5 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст. и токе через трубку 32 ма возможно существование устойчивого слоистого разряда с затухающими слоями. Следует заметить, что в этих же условиях может существовать разряд без визуально наблюдаемых слоев, но увеличение эмиссии катода переводит этот разряд в слоистый. Исследования производились в пределах первого и второго от катода слоя при помощи подвижного цилиндрического зонда. Здесь приводятся результаты исследования во втором слое. Для первого слоя результаты были аналогичными. Длина каждого

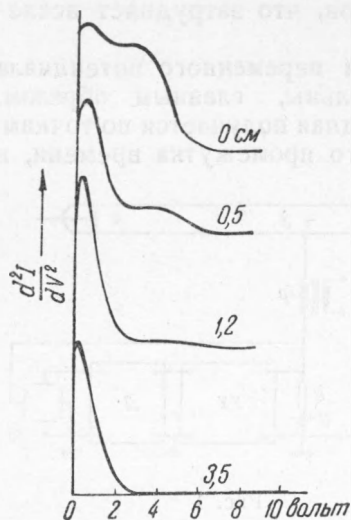


Рис. 2

слоя составляла примерно 5 см.

На рис. 2 представлены осциллограммы вторых производных от зондового тока по потенциалу зонда, которые с точностью до множителя, пропорционального V , представляют функции распределения

электронов по скоростям. У каждой из осциллограмм указано расстояние от начала слоя до точки, в которой эта осциллограмма получена. Кривые приведены в разных масштабах. Для того чтобы получить их в одинаковом относительном масштабе, надо домножить кривые для 0, 0,5, 1,2 и 3,5 см на 1, 2, 4 и 10, соответственно.

Одновременно снятые полулогарифмические характеристики, полученный из них ход потенциала пространства и плотности беспорядочного электронного тока имели вид, аналогичный полученному Б. Н. Клярфельдом⁽⁸⁾.

Из осциллограмм видно, что в начале слоя имеется группа быстрых электронов. Эта группа возникает сразу после прохождения скачка потенциала в начале слоя. По мере удаления от начала слоя число быстрых электронов уменьшается при одновременном росте числа медленных электронов. Подобное резкое изменение скоростей электронов можно объяснить неупругими соударениями электронов с атомами газа. Это подтверждается тем, что часть группы быстрых электронов обладает скоростями около 4,9 в, а также тем, что исчезновение этой группы происходит на расстоянии нескольких длин свободного пробега от начала слоя.

В заключение выражаем благодарность чл.-корр. АН СССР проф. С. Э. Фришу за интерес и внимание к настоящей работе.

Ленинградский государственный
университет
им. А. А. Жданова

Поступило
30 VI 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. Haigh, T. Smith, Phil. Mag., 41, 557 (1950). ² Ю. М. Каган, В. Л. Федоров, Г. М. Малышев, Л. А. Гаваллас, ДАН, 76, 215 (1951). ³ А. М. Бонч-Бруевич, ДАН, 81, 371 (1951). ⁴ Ю. М. Каган, В. М. Захарова, Труды 8-го Всесоюзн. совещ. по спектроскопии, 1952. ⁵ H. M. Druyvesteyn, Z. f. Phys., 64, 781 (1930). ⁶ A. H. Van Gorscum, Physica, 3, 207 (1936). ⁷ R. H. Sloane, E. I. R. Mac-Gregor, Phil. Mag., 18, 193 (1934). ⁸ Б. Н. Клярфельд, ЖЭТФ, 22, 66 (1952).