

А. М. БОНЧ-БРУЕВИЧ

## ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА С ПОМОЩЬЮ ЗОНДОВ

(Представлено академиком П. И. Лукирским 30 IX 1951)

1. Введение. При исследовании электрического разряда в газе широко применяется предложенный около 30 лет тому назад метод зондов (1). Снятие зондовых характеристик по точкам требует довольно много времени, в связи с чем этот метод пригоден только для исследования стационарного разряда. Между тем, в ряде случаев необходимо быстро получить сведения о параметрах разряда в той или иной точке разрядного промежутка. Предложение использовать для этой цели метод электрического логарифмирования (2) и наблюдения зондовых характеристик на экране осциллографической трубки в полулогарифмическом масштабе не нашло практического применения вследствие трудности постройки усилителя, обладающего логарифмической переходной характеристикой. Кроме того, точность этого метода не может быть высокой из-за небольших размеров экрана трубки и зависимости ее чувствительности от положения светящегося пятна на экране. Другой описанный недавно метод определения параметров разряда с применением двух зондов (3) сильно ограничен в своих возможностях.

Здесь предлагается простой осциллографический метод наблюдения зондовых характеристик, позволяющий быстро и с большой точностью определять параметры разряда.

2. Принцип метода. Суть предлагаемого метода заключается в следующем. Зонд, помещенный в разрядный промежуток, питается периодическим пилообразным напряжением. В цепь питания зонда включено небольшое сопротивление. Падение напряжения, возникающее на этом сопротивлении при протекании по нему тока зонда, после усиления с помощью обычного, пропорционального усилителя подается на отклоняющие пластины осциллографической трубки. При этом в области значений потенциала зонда, в которой величина текущего на него тока описывается выражением  $i_{\text{зонд}} = I_0 e^{-eU_{\text{зонд}}/kT_0}$ , отклонение луча на экране трубки следует закону  $y = Y_0 e^{-\frac{ep}{kT_0} t}$ , где  $p$  — скорость изменения потенциала зонда. На вторую пару отклоняющих пластин трубки подается напряжение, изменяющееся синхронно с напряжением питания зонда и в течение полупериода следующее зависимости  $u = U_0 e^{-t/\tau_p}$ . На экране трубки наблюдается зондовая характеристика, причем величина тока, текущего на зонд, откладывается в линейном, а напряжение в экспоненциальном масштабе. При выполнении условия

$$\tau_p = \frac{k}{pe} T_0 \quad (1)$$

экспоненциальный участок зондовой характеристики в таких «полуэкспоненциальных» координатах изображается прямой линией. Отсюда следует, что, зная величину  $p$  и подбирая такое значение постоянной времени развертки  $\tau_p$ , при которой значительный участок зондовой характеристики наблюдаемой на экране трубки представляет собой прямую линию, без каких-либо дополнительных построений или измерений легко найти температуру электронов в разряде\*. Так как при этом температура электронов с точностью до постоянного коэффициента равна постоянной времени развертки  $\tau_p$  (при заданном значении  $p$ ), то развертывающееся устройство может быть проградуировано прямо в градусах абсолютной шкалы температуры. Это позволяет непосредственно по шкале прибора отсчитывать температуру электронов в разряде после спрямления характеристики на экране трубки.

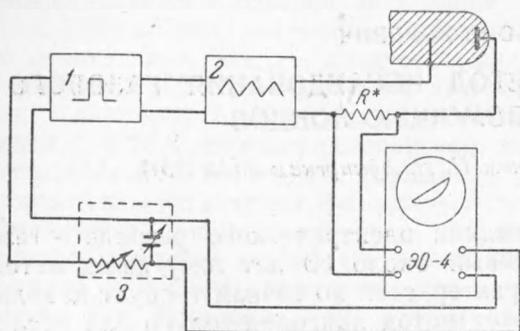


Рис. 1. Блок-схема установки. 1 — генератор импульсов, 2 — источник питания зонда, 3 — источник напряжения развертки

Увеличивая амплитуду переменного напряжения, питающего зонд, можно найти такое ее значение, начиная с которого на экране осциллографа будет наблюдаться отклонение зондовой характеристики от прямолинейной. Это соответствует переходу к замедленному (по сравнению с экспоненциальным) нарастанию тока, текущего на зонд, если его потенциал близок или превосходит потенциал пространства в той области разряда, в которую он помещен. Отмечая величину напряжения, при которой на зондовой характеристике появляется изгиб, легко непосредственно, без дополнительных построений, прямо по шкале прибора определить потенциал разрядного промежутка вблизи зонда ( $U_{пр}$ ).

Зная величины  $T_e$  и  $U_{пр}$ , можно определить концентрацию электронов в разряде и оценить среднее значение энергии положительных ионов.

3. Описание установки. Схема установки для исследования зондовых характеристик по предлагаемому методу приведена на рис. 1. Первичным источником напряжения, питающего зонд, служит генератор прямоугольных электрических импульсов. Эти импульсы в специальном устройстве преобразуются в пилообразные и подаются между зондом и анодом разрядного промежутка. Напряжение, снимаемое с сопротивления в цепи питания зонда ( $R^*$  на рис. 1), подается на вход вертикального отклонения луча в осциллографе ЭО-4. Характеристики усилителя осциллографа таковы, что при выборе частоты чередования импульсов в интервале от нескольких десятков герц до многих килогерц напряжение, возникающее на сопротивлении  $R^*$ , передается без искажений его формы. Для отклонения пятна на экране трубки в горизонтальном направлении используются прямоугольные импульсы, даваемые тем же генератором, прошедшие через  $RC$ -цепочку с емкостью на выходе (интегрирующая цепочка). Как известно, при этом на выходе цепочки получаются импульсы экспоненциальной формы, причем после

\* Если ни при каком значении  $\tau_p$  на зондовой характеристике не обнаруживается прямолинейного участка, то это означает, что распределение скоростей электронов в разряде отличается от максвелловского.

прекращения действия напряжения на входе напряжение на выходе интегрирующей цепочки изменяется по закону  $u = U_0 e^{-t/\tau_p}$ . Величину постоянной времени  $\tau_p$  легко менять, варьируя емкость конденсатора и величину сопротивления цепочки\*.

На рис. 2 изображены изменения с течением времени напряжений в разных частях схемы (в предположении максвелловского распределения скоростей электронов зависимость  $u_{R^*} = f(t)$  изображена отрезками экспонент). Законы изменений напряжений, вызывающих отклонения луча в трубке в горизонтальном и вертикальном направлениях в интервалах времени  $t_2 - t_3$ ,  $t_4 - t_5$  и т. д., идентичны.

На рис. 3 изображена осциллограмма, наблюдаемая при выполнении условия (1). Прямолинейная ветвь петли соответствует движению луча в интервалы времени  $t_2 - t_3$ ,  $t_4 - t_5$  и т. д., а дугообразная часть петли — движению луча в интервалы времени  $t_1 - t_2$ ,  $t_3 - t_4$  и т. д. Изменение вида осциллограммы при увеличении амплитуды пилообразного напряжения с целью определения величины  $U_{пр}$  иллюстрирует рис. 3б.

Проверка показала, что величины  $T_3$  и  $U_{пр}$ , вычисленные из графика  $\ln i_3 = f(U_3)$  и измеренные описанным способом, различаются не более, чем на 10—15%. При этом существенно то, что значения  $T_3$  и  $U_{пр}$ , полученные при многократных осциллографических измерениях, различаются на 2—3%, тогда как многократно снятые обычным способом зондовые характеристики дают для этих величин значительно больший разброс.

Другой проверкой методики послужило определение средней энергии электронов, эмитированных накалившимся катодом, распределены по закону Максвелла. Поэтому при включении в описанной установке вместо промежутка зонд — анод разрядной трубки интервала анод — катод вакуумного диода и выборе такой полярности пилообразного напряжения, при которой анод лампы находится при задерживающем электроны потенциале, на экране осциллографа также наблюдается прямая линия, если выполнено условие (1). Определенная таким способом средняя энергия электронов с точностью до 3—5% совпадает с вычисленной из анодной характеристики диода.

4. **З а к л ю ч е н и е.** Описанный осциллографический метод исследования газового разряда с помощью зондов позволяет быстро получать все те сведения о параметрах разряда, которые дает обычный метод зондов в результате обработки снятой по точкам кривой. Быстрота и большая точность метода определяются тем, что установление факта

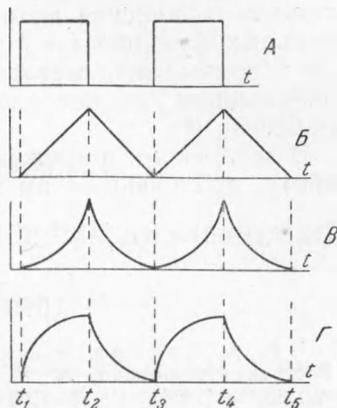


Рис. 2. Напряжения в разных частях установки. А — напряжение генератора, Б — питания зонда, В — на  $R^*$ , Г — развертки

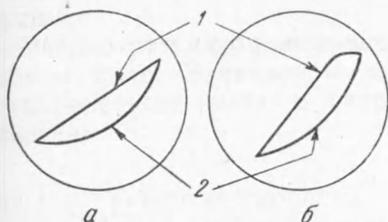


Рис. 3. Осциллограммы зондовых характеристик: а — при экспоненциальном изменении тока на зонд; б — при отклонении зондовой характеристики от экспоненциальной. 1 — рабочий ход, 2 — обратный ход

\* Аналогичный метод получения экспоненциальной развертки был с успехом применен для исследования релаксационных процессов (4).

спрямления характеристики на экране осциллографа или наличия на этой характеристике излома может быть сделано быстро и с малой погрешностью. Можно надеяться, что метод окажется полезным во всех случаях, когда по условиям эксперимента необходимо быстрое исследование состояния разрядного промежутка. Он может быть также применен при исследовании других явлений, в которых имеется экспоненциальная зависимость тока от напряжения. Наконец, описанный осциллографический метод можно расширить на случай неэкспоненциальных функций  $i = f(u)$  аналогично тому, как это было сделано при использовании метода экспоненциальной развертки и мгновенного возбуждения для исследования неэкспоненциальных релаксационных процессов (4).

В заключение выражаю благодарность В. А. Соловьеву за большую работу, сделанную им при налаживании настоящей методики.

Поступило  
19 IX 1951

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> К. А. Капцов, Электрические явления в вакууме и газе, М.—Л., 1947.  
<sup>2</sup> Вестник информации, № 17, 14 (1950). <sup>3</sup> E. Johnson and L. Malter, Phys. Rev., 80, 58 (1950). <sup>4</sup> Н. А. Толстой и П. П. Феофилов, УФН, 41, в. I (1950).