

И. С. СТЕКОЛЬНИКОВ

## ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ПРОДВИЖЕНИЯ ГЛАВНОГО КАНАЛА ВЫСОКОВОЛЬТНОГО РАЗРЯДА

(Представлено академиком Г. М. Кржижановским 16 VI 1952)

В числе задач, возникающих при исследовании природы главного канала высоковольтного разряда, весьма важное место занимает вопрос о скорости  $v_k$  продвижения головки канала вдоль по пути, проложенному лидером. До сих пор определялось лишь среднее значение скорости продвижения головки канала для всего разрядного промежутка <sup>(1)</sup>. В настоящей работе излагается метод определения скорости движения головки главного канала с помощью электрооптического затвора (ЭОЗ), состоящего, как известно, из поляризатора, ячейки Керра и анализатора. Из литературы известно применение ЭОЗ для регистрации процесса развития короткой искры (около 5 мм), возникающей от источника постоянного напряжения. Исследования главного канала разряда длиной 100—400 см при помощи ЭОЗ встречает ряд трудностей, которые еще не были преодолены.

Принципиальная постановка задачи поясняется рис. 1. Кривая  $anmd$  показывает изменение тока в течение развития разряда. При этом стадия тока  $an$  соответствует образованию лидера, участок  $nmp$  соответствует стадии главного канала, а часть кривой  $pd$  есть дуговая стадия <sup>(2)</sup>. Если ЭОЗ «открывает» фотокамеру на время  $\Delta t$  в различные моменты ( $t_a, t_b, t_c, t_d$ ), на фотопластинке будут получаться изображения отдельных стадий разряда (лидерной  $B$ ,  $C$ , канальной  $K$ , дуговой  $D$ ). Для управления работой ЭОЗ нами использовано напряжение, обусловленное прохождением тока разряда через сопротивление  $R_1$  (рис. 2). Импульс напряжения действует на ячейку Керра до пробоя разрядника  $S_k$ . Срезы напряжения происходят весьма быстро (линия  $kr$  на рис. 1), чем обеспечивается быстрое действие затвора.

Пунктирная линия характеризует световой поток, пропускаемый ЭОЗ, при приложении импульса напряжения.

Изображение получающееся на фотопленке, обусловлено световым потоком, пропущенным ЭОЗ. Экспозиция пленки определяется выра-

жением  $W = \int_{t_a}^{t_b} j p dt$ , где  $j$  — интенсивность света фотографируемого объекта (лидера, канала дуги),  $p$  — пропускная способность ЭОЗ, зависящая от напряжения, приложенного к ячейке Керра.

Следует иметь в виду, что плотность изображения на пленке не будет строго пропорциональна величине  $W$  из-за наличия эффекта Клейдена, согласно которому последовательные экспозиции от кратковременного источника весьма большой интенсивности и более длительно действующего источника относительно умеренной интенсивности не могут просто суммироваться. С другой стороны, известно, что при широких колебаниях в интенсивности света фотографируемого объекта экспозиция зависит не только от произведения  $jt$ , но и от абсолютной величины обеих компонент. В связи с изложенным затруднительно рассчитать условия получения изображения на пленке даже с ее известными фотографическими характеристиками.

Основываясь на различных значениях  $j$  лидера и главного канала, обнаруживаемых фотографиями с временными развертками (<sup>1</sup>), были экспериментально подобраны такие условия получения изображений (светофильтры, пленка\*, напряжение на ЭОЗ), при которых лидер на пленке не обнаруживается. В этих условиях фотографирование при срезах напряжения импульса до момента  $t_n$  на пленке не видно следа разряда. При срезах напряжения на фронте канального тока (например, в момент  $t_k$ ) на фотографии обнаруживается часть главного канала длиной  $l_k$ .

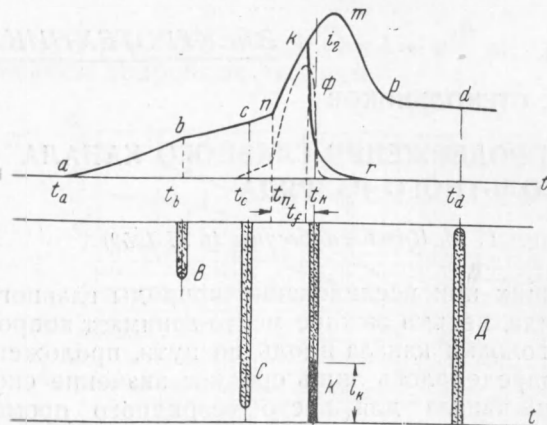


Рис. 1

развитие главного канала разряда (в промежутке + игла — плоскость длиной  $S_0 = 200$  см; при тормозном сопротивлении  $R_T = 4,0$  к $\Omega$ ) от момента его зарождения до перехода канальной стадии в дуговую.

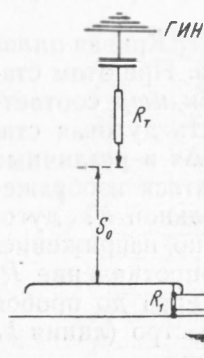


Рис. 2

На рис. 3 показан пример одновременного получения осциллограммы и фотографии через ЭОЗ главного канала\*\*. Осциллограмма и фотография канала относятся к случаю  $t = 8,0 \cdot 10^{-8}$  сек. (т. е.  $t_f = 10,3 \cdot 10^{-8}$  сек.) и  $l_k = 92$  см. Срез импульса произошел на максимуме канального тока. Подчеркнем, что к моменту образования амплитудного значения тока головка канала прошла меньше половины междуэлектродного расстояния  $S_0$ .

С помощью специального подбора электродов искрового промежутка  $S_k$  удалось произвести срезы и на хвостовой части импульса канального тока и, следовательно, проследить развитие канала вплоть до дуговой стадии разряда.

На рис. 4 представлены зависимости длины\*\*\* главного канала  $l_k$  от времени его развития и скорости  $v_k$  продвижения его головки на разных расстояниях от плоскости. При расшифровке регистраций учитывались следующие обстоятельства:

1. ЭОЗ закрывается (допустим сначала мгновенно) в момент  $t_k$ . Это закрытие опаздывает относительно фазы канального тока  $i_2$  и его действительной длины  $l_k$  на время  $\Delta t_2' = L_w / v$ , где  $L_w$  — длина пути по кабелю, подводящему напряжение к пластинам осциллографа.

Если бы свет распространялся мгновенно, то  $v_k$  определялось бы выражением  $v_k = \frac{l_k}{t_1 + \Delta t_1}$  (где  $t_1 = t_k - t_n$ , см. рис. 1). Однако при ко-

\* Существенную помощь при подборе элементов ЭОЗ и его осуществлении оказали С. Л. Мандельштам и П. Г. Тагер, которым автор выражает глубокую благодарность.

\*\* В экспериментальной работе принимал участие С. П. Владимиров.

\*\*\* При определении длины канала зигзагообразность его не учитывалась. Учет этого обстоятельства может повысить отдельные значения на 15—20%.

нечной скорости  $c$  распространения света время его пробега по пути  $L_c$  между искрой и фотопленкой будет  $\Delta t_2 = \frac{L_c}{c}$ . Благодаря этому

$v_k = \frac{l_k}{t_1 + \Delta t_0}$ , где  $\Delta t_0 = \Delta t'' - \Delta t'$ . В существующей схеме  $\Delta t_0 \approx 1,4 \cdot 10^{-8}$  сек.

2. Время закрытия ЭОЗ в действительности определяется кривой спада напряжения на ячейке Керра (4) и ее кривой пропускания света.

Для применявшейся керровской ячейки напряжение  $U_m$  максимального пропуска света (которое условно принимаем за 100%) равно 15,3 кв.

Предварительные опыты показали, что при на-

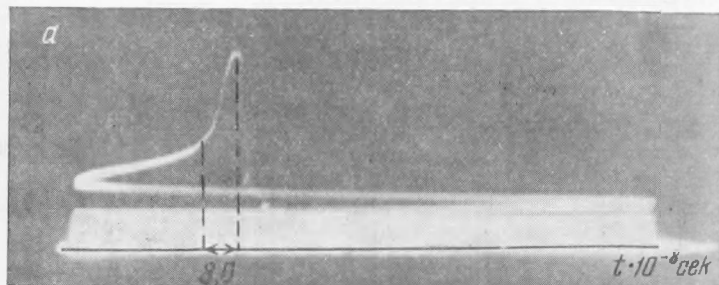


Рис. 3

пряжении на ячейке 4—5 кв, что составляет 26—33% от  $U_m$  (пропускаемое количество света здесь составляет 2—7% от полного потока), пропускаемый в стадии главного канала свет не производит отпечатка на фотопленке. С другой стороны, время среза напряжения искровым промежутком  $S_k$  от  $U_m$  до  $\frac{1}{3} U_m$  может быть оценено приблизительно  $t_3 = 0,9 \cdot 10^{-8}$  сек. (5).

Таким образом, момент фактического закрытия затвора определится суммой  $t_f = t_1 + \Delta t_0 + t_3$  (рис. 1), в силу чего скорость  $v_k$  на пленке будет равна  $v_k = l_p / t_f$ .

3. В течение времени  $\Delta t_3$  закрытия ЭОЗ количество света, проходящего через него, изменяется, что при неизменности интенсивности источника поведет к постепенному побледнению отпечатка; при увеличивающейся интенсивности источника «замирание» отпечатка будет происходить на меньшей длине изображения канала.

В том и другом случае, однако, определение длины  $l_p$  канала на пленке связано с дополнительной погрешностью. Естественно, что большие ошибки в определении  $l_p$  и  $t_f$  свойственны малым значениям определяемых величин. Здесь можно скорее иметь в виду порядок величин  $v_k$ , в то время как при больших значениях  $l_p$ , достигающих 40—60% длины разрядного промежутка, погрешность в определении  $v_k$  уменьшается, и при значительном числе замеров  $l_p$  и  $t_f$  разброс величины не превосходит  $\pm 30 \div 50\%$ .

По сделанным с помощью ЭОЗ фотографиям были определены диаметры канала вблизи плоскости в различные моменты его существования (ширина изображения канала сравнивалась при этом со снимками щелей различной ширины, снимавшихся через ЭОЗ при различных экспозициях). Оказалось, что канал уже в момент, близкий к его зарождению, имеет диаметр около 5 мм. Этот размер мало изменяется в течение развития всей канальной стадии.

Оценка плотности тока, произведенная с токораспределением, описанным в (2), приводит к значению  $j$  порядка  $5 \div 6$  ка / см<sup>2</sup>.

Были сняты другие серии снимков, при которых условия фотографирования позволяли наблюдать развитие лидера и переход его в стадию главного канала. Всего было получено свыше 150 пар осциллограмм и фотографий.

Анализ полученных материалов по развитию канальной стадии в промежутке + стержень — плоскость позволил прийти к следующим основным выводам.

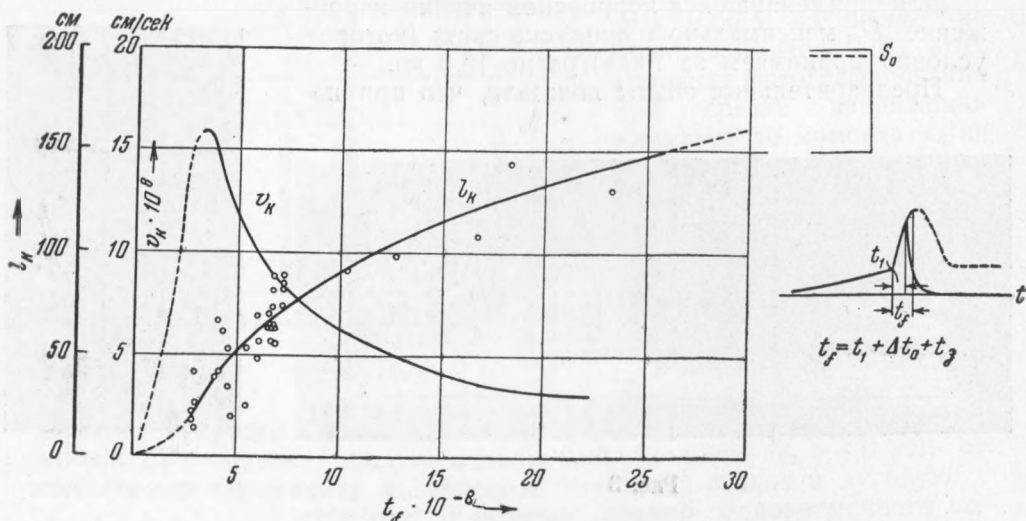


Рис. 4. Скорость движения головки главного канала и положение головки в различные моменты времени

1. Образование видимого главного канала начинается в момент, соответствующий резкому повышению тока на осциллограмме  $i = f(t)$ .

2. Максимум тока наступает при достижении головкой канала 35 ÷ 50% длины разрядного промежутка  $S_0$ , считая от плоскости.

3. Головка канала достигает стержневого электрода одновременно с переходом импульса канального тока в ток дуговой стадии.

4. Максимальная скорость головки канала достигает в исследованных условиях разряда  $16 \cdot 10^8$  см/сек, а затем плавно уменьшается до величины  $3 \cdot 10^8$  см/сек при  $l_k = 140$  см.

В области промежутка времени  $0 - 3 \cdot 10^{-8}$  сек. материалы замеров недостаточны для однозначного построения зависимости  $l_p = f(t)$  и  $v_k = f(t)$ , однако следует заметить, что изменение  $v_k$  естественно должно иметь нижним пределом скорость лидерной головки  $v_l$ , которая, по имеющимся данным, не превышает  $2 \div 5 \cdot 10^7$  см/сек.

Изменение  $v_k$  от  $v_l$  до  $v_{k \text{ макс}}$ , согласно нашим представлениям о развитии главного канала, должно происходить плавно (3).

Поступило  
21 IV 1952

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> И. С. Стекольников и А. П. Беляков, ЖЭТФ, 8, № 4, 944 (1938).  
<sup>2</sup> И. С. Стекольников, ДАН, 85, № 6 (1952). <sup>3</sup> И. С. Стекольников, Физика молнии и грозозащита, Изд. АН СССР, 1943. <sup>4</sup> П. Г. Тагер, Ячейка Керра, 1937. <sup>5</sup> И. С. Стекольников, Импульсная осциллография и ее применение, Изд. АН СССР, 1949, стр. 152 и дальше.