

М. А. БАК, А. С. ЗИНГЕРМАН и Н. Н. НИКОЛАЕВСКАЯ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБОЯ ВОЗДУХА В КОРОНИРУЮЩИХ  
ПРОМЕЖУТКАХ ПРИ НИЗКИХ НАПРЯЖЕНИЯХ**

(Представлено академиком П. И. Лукирским 11 VII 1949)

В предыдущих работах (1) было показано, что в неравномерном поле запаздывание пробоя воздушного промежутка состоит из „холостого“ времени, в течение которого в газе никаких процессов не происходит, и „рабочего“ времени, в течение которого развивается пробой. Было показано, что запаздывание пробоя подчиняется статистическому закону, характер которого сильно зависит от величины приложенного напряжения. При больших перенапряжениях запаздывание подчиняется нормальному закону, при этом „холостое“ время отсутствует и запаздывание определяется „рабочим“ временем. При понижении напряжения статистика запаздывания усложняется.

Напряжение, при котором „холостое“ время становится равным нулю, условимся называть „критическим“,  $U_0$ .

На рис. 1 приведены экспериментальные данные функции вероятности запаздывания пробоя в стержневых промежутках разной длины при разных напряжениях прямоугольной бесконечной волны (волна с длиной фронта 0,2—0,3 мсек. и временем спада напряжения на половину 5000—6000 мсек.).

Как видно из рис. 1, по мере понижения напряжения статистика запаздывания усложняется и при некоторых напряжениях ниже критического,  $U < 0,9 U_0$ , наблюдается появление отдельных групп запаздывания. Среднее время запаздывания в каждой группе и число групп зависят от величины напряжения.

Такое резкое изменение статистики запаздывания пробоя в стержневых промежутках при напряжении ниже критического указывает на изменение роли физических процессов лидерной стадии пробоя. Процессы, которые не имеют существенного значения при напряжениях выше критического, начинают играть значительную роль при более низких напряжениях и оказывать решающее влияние на характер статистики запаздывания.

В настоящей работе исследуется пробой воздуха в коронирующих промежутках при напряжениях ниже критического значения.

Появление характерных для напряжения ниже критического отдельных групп запаздывания, резко отличающихся по среднему времени, дает основание для предположения о прерывистом характере процесса пробоя. Если при подаче напряжения пробой не мог завершиться за обычный промежуток времени, то начавшийся рост лидера прекращается, наступает пауза, во время которой начинают действовать факторы, подготавливающие условия для дальнейшего развития пробоя. Через некоторое время условия становятся доста-

точно благоприятными для продолжения развития пробоя и лидер вновь **начинает** расти или образуется новый лидер. Второй этап роста лидера продолжается так же кратковременно, как и первый, и может опять не привести к полному пробоя, тогда рост лидера вновь прекращается, наступает вторая пауза и т. д., пока, наконец, не произойдет полный пробой.

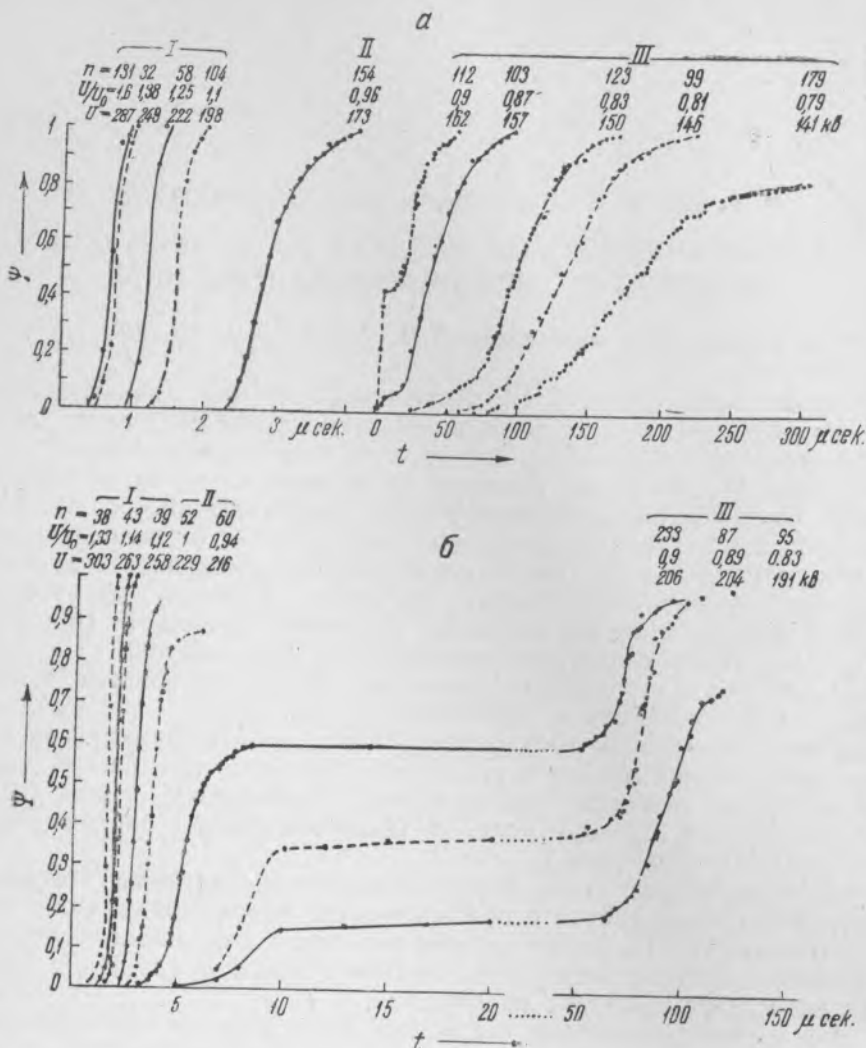


Рис. 1. Функции вероятности запаздывания пробоя в стержневом промежутке: а — при положительной волне, б — при отрицательной волне;  $n$  — число осциллограмм

Основным фактором, определяющим прерывистый характер формирования лидера, несомненно, является корона, образующаяся около электродов. Визуальные наблюдения показывают наличие интенсивной короны, которая около электрода имеет вид пучка нитей ярко белого цвета длиной в несколько миллиметров и лучей фиолетового свечения различной длины (до 10 см) и значительного сечения. Некоторые из лучей иногда достигают противоположного электрода и в них наблюдаются небольшие участки с ярко белым свечением.

Таким образом, до пробоя, около электрода, где градиенты достаточно велики, возникает интенсивная корона, которая является источником зарядов, продвигающихся в глубь промежутка. Эти заряды,

не способные ионизовать, производят интенсивное возбуждение, что значительно облегчает развитие лидера. Наблюдаемые лучи фиолетового цвета представляют собой объемы с возбужденными атомами, в которых развивается прерывистый лидер, когда степень возбуждения становится достаточно большой.

Естественно было ожидать, что прерывистый характер формирования лидера отразится на токовой характеристике лидерной стадии пробоя. Появление каждого отдельного лидера или ступени лидера

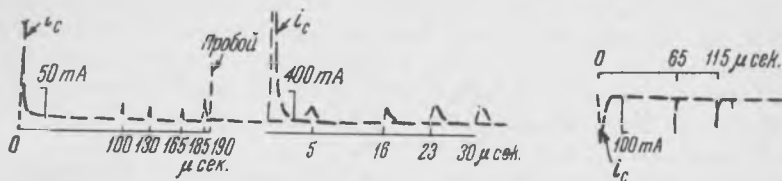


Рис. 2. Осциллограммы тока при положительной и отрицательной волнах

должно сопровождаться кратковременным импульсом тока в разрядном промежутке. Измерения тока в разрядном промежутке при напряжениях ниже критического подтвердили эти ожидания.

Измерения токов производились методом шунтов, катодным осциллографом в качестве регистрирующего прибора. Для возможности обнаружения весьма слабых токов чувствительность была доведена до 4 ма на миллиметр отклонения луча катодного осциллографа.

В результате проведенных исследований было обнаружено появление отдельных импульсов тока задолго до полного пробоя, амплитуда которых меняется от 10 до 100 ма с длительностью  $\sim 1$  мсек. и с интервалами в несколько десятков и сотен мсек.

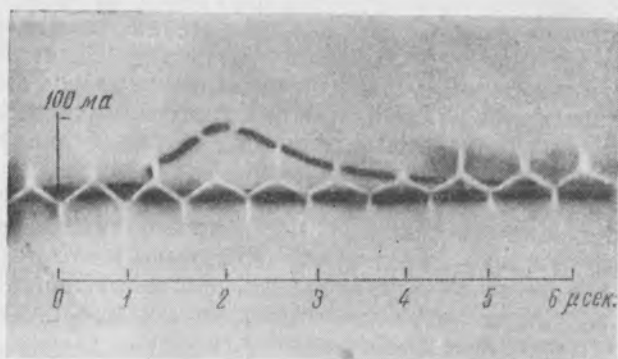


Рис. 3. Импульс тока

На рис. 2 приведены типичные осциллограммы токов лидерного процесса в стержневых промежутках длиной 15 и 65 см при напряжениях  $U < 0,9U_0$ , положительной и отрицательной волн. Первый импульс на осциллограммах (слева)  $i_c$  представляет собой ток смещения и не связан с процессами в промежутке.

Было установлено, что в случаях, когда пробой вообще не происходит, также наблюдаются отдельные импульсы тока.

Максимальное число импульсов достигает 4—5. На рис. 3 приведены осциллограммы такого отдельного импульса в увеличенном масштабе времени. Время нарастания тока  $\sim 1$  мсек. соответствует времени формирования одного неполного лидера или ступени лидера. Время спада тока определяется постоянной времени регистрирующей

системы, поэтому истинное спадание тока не может быть определено.

Специальными контрольными опытами было установлено, что импульсы тока имеют место только в коронирующих промежутках. В некоронирующих промежутках (шаровые электроды) импульсы тока не наблюдаются.

В результате проведенных исследований была установлена зависимость импульсов тока от ряда факторов: величины напряжения, длины промежутка, полярности. Наиболее сильное влияние на характер тока, как и следовало ожидать, оказывает величина напряжения, приложенного к промежутку. С увеличением напряжения: 1) резко возрастает амплитуда импульсов тока (например, с 12 ма при 107 кв до 70 ма при 118 кв), 2) уменьшается число импульсов тока, 3) уменьшаются интервалы между импульсами.

С увеличением длины промежутка уменьшаются: 1) время запаздывания первого импульса тока, 2) время между отдельными импульсами и 3) число импульсов. Наоборот, амплитуда токов резко увеличивается с увеличением длины промежутка.

При положительной волне напряжения наблюдается несколько более частое появление импульсов тока и с меньшими запаздываниями, чем в случае отрицательного напряжения.

Сопоставление статистики запаздывания пробоя со статистикой запаздывания отдельных импульсов тока показало идентичность процессов, вызывающих импульсы тока, с процессами формирования канала лидера. Были получены данные по импульсам токов для промежутка длиной 15 см при определенном напряжении (снято 146 осциллограмм токов) и произведена статистическая обработка запаздывания отдельных импульсов тока. Сопоставление полученных таким образом данных с данными по запаздыванию пробоя показывает, что статистика запаздывания первого импульса тока такая же, как статистика запаздывания пробоя при отсутствии импульсов тока, т. е. пробоя с одним лидером. Такое же хорошее совпадение получается при сопоставлении функций вероятности запаздывания второго импульса тока и двухлидерного пробоя (при наличии одного импульса тока) и т. д. Этот статистический анализ подтверждает идентичность природы импульсов тока с природой лидера.

Таким образом, в результате проведенной работы установлено, что в коронирующих промежутках при напряжениях ниже некоторого значения (критического) имеет место прерывистый характер формирования ионизованного канала — лидера, сопровождающийся кратковременными импульсами тока (порядка десятков миллиампер), каждый из которых соответствует независимому лидеру.

Ленинградский политехнический институт  
им. М. И. Калинина

Поступило  
5 VII 1949

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> М. А. Бак, А. С. Зиягерман и Н. Н. Николаевская, ЖТФ, 17, 669, 1153 (1947).