

ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОЭЛЕКТРОННОГО УМНОЖИТЕЛЯ К ИССЛЕДОВАНИЮ ДЛИННЫХ ИСКР

Студент ШКИЛЕВ А. В.

Руководитель профессор доктор И. С. Стекольников

(Представлено научным семинаром по диэлектрикам)

Познание грозного явления природы — молнии уже давно занимало умы людей. Первые научные опыты были сделаны Ломоносовым, Рихманом и Франклином. Особенно интенсивно изучение физики молнии началось в 20—30-х годах нашего столетия. За короткое время был накоплен большой экспериментальный материал. Было установлено, что механизм разряда в длинных промежутках аналогичен явлению молнии. В обоих случаях разряд состоит из двух основных стадий: 1) лидерной и 2) стадии главного канала. Поэтому более доступное экспериментирование искрового разряда в лабораторных условиях дало возможность близко подойти к решению многих вопросов, связанных с выяснением механизма молнии и с грозозащитой.

Основными методами [1, 2] изучения длинной искры в лаборатории являются осциллографирование токов разряда совместно с оптическими методами (непосредственное фотографирование, бойсографирование, кернографирование). Однако оптические методы имеют ряд недостатков, которые существенно сказываются при обработке результатов.

Наука и техника в настоящее время располагает высококачественными электрооптическими приборами — это фотоэлектронные умножители (ФЭУ) [4], характеристики которых позволяют использовать их для изучения световых процессов, изменяющихся с большой скоростью, что имеет место при искровом разряде. Поэтому в лаборатории высоковольтного газового разряда (ЛВГР) энергетического института Академии наук СССР проделан ряд исследований по применению ФЭУ для изучения длинных искр.

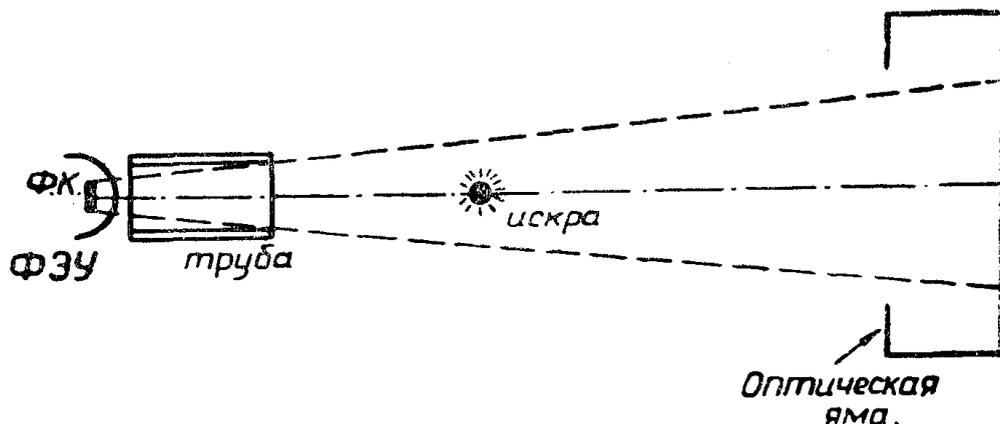
Ниже будут показаны два принципиально отличных случая применения фотоумножителя при исследовании искрового разряда: 1) ФЭУ — как вспомогательный прибор для синхронизации ГИНа с осциллографом при измерении тока на высоком потенциале;

2) ФЭУ — как регистрирующий прибор для изучения характера свечения разряда.

ФЭУ для синхронизации ГИНа с осциллографом при измерении лидерного тока на высоком потенциале

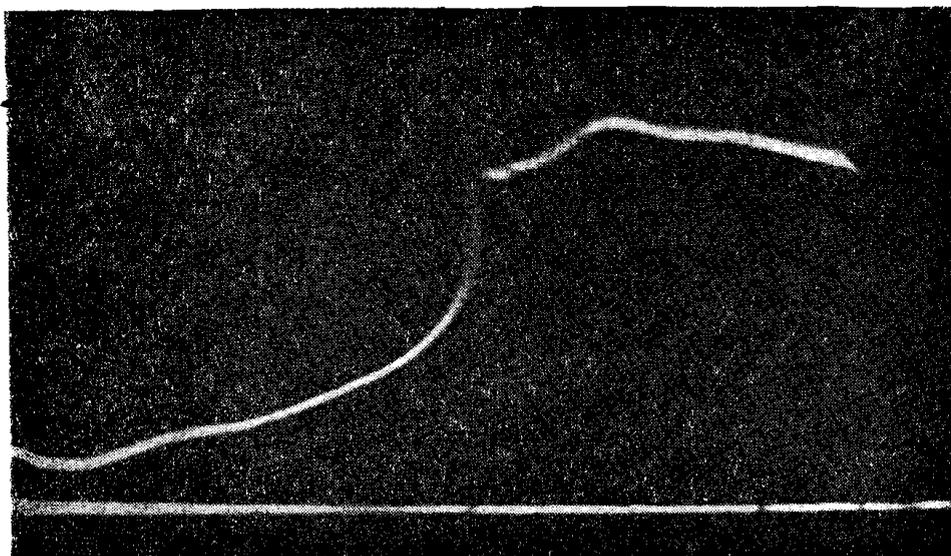
В ЛВГР была разработана методика регистрации лидерного тока «снизу» (точка *a*, фиг. 1) и «сверху» (точка *б*, фиг. 1) [1].

Для осциллографирования тока лидера в точке «б» была смонтирована подвесная кабина, в которой помещался осциллограф. Питание осциллографа постоянным напряжением $U=15$ кВ осуществлялось от ба-



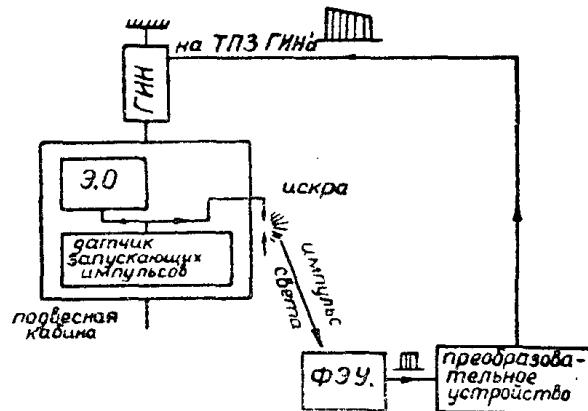
Фиг. 1. Схема регистрации тока лидера длинной искры.

тарей аккумуляторов с помощью преобразователя с напряжением на выходе 110 в при частоте 400 гц и выпрямительного устройства. Зажигающий импульс напряжения с сопротивления $R_3=(10\div 100)$ ком, включенного перед тормозным сопротивлением R_T , синхронизирует включение осциллографа (открытие луча и запуск временной развертки) с исследуемым явлением (фиг. 1). Существенным недостатком такой непосредственной синхронизации является запаздывание включения осциллографа по отношению к явлению. На фиг. 2 приведена осциллограмма лидерного тока, полученная при описанном способе синхронизации.



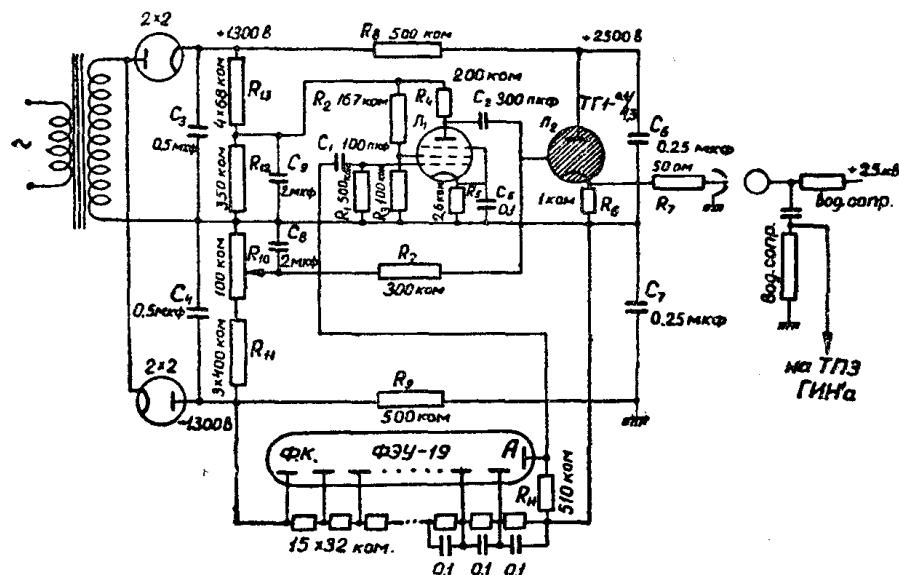
Фиг. 2. Осциллограмма лидерного тока при измерении на высоком потенциале в случае непосредственной синхронизации.

Как видно, начало явления на осциллограмме отсутствует. Практически время запаздывания (время от начала развития разряда до появления луча на экране электронно-лучевой трубки) достигает порядка 8 мксек. При малых тормозных сопротивлениях ($R_T=1,6\div 5,5 \text{ ком}$) время развития лидера одного порядка с временем запаздывания. Поэтому необходимо применить другую схему синхронизации, в которой включение осциллографа производилось бы раньше, чем пробивался последний искровой промежуток ГИНа. В ЛВГР ЭНИН была разработана и осуществлена схема синхронизации ГИНа с осциллографом при измерении на высоком потенциале с помощью фотоумножителя. Блок-схема ее показана на фиг. 3.



Фиг. 3. Блок-схема синхронизации ГИНа и осциллографа при помощи импульсов света с применением ФЭУ.

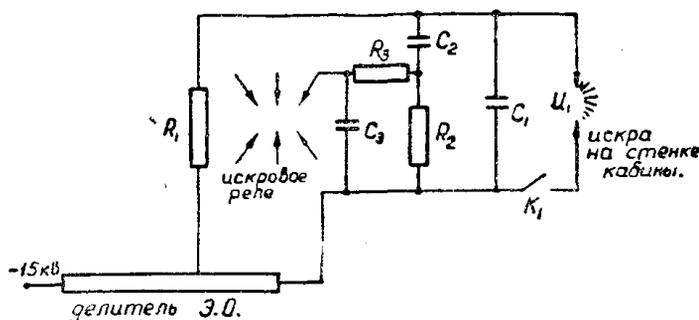
На внешней стенке подвесной кабины смонтирован искровой промежуток (пробивное напряжение $U_{пр}=5 \text{ кВ}$), при пробое которого выделяется импульс света. Последний воспринимается ФЭУ, расположенным на «земле», затем преобразуется в импульс напряжения с крутым фронтом и амплитудой 25 кВ, который производит запал ГИНа. Принципиальная схема блока ФЭУ и преобразовательного устройства показана на фиг. 4.



Фиг. 4. Электрическая схема блока ФЭУ и преобразовательного устройства схемы синхронизации

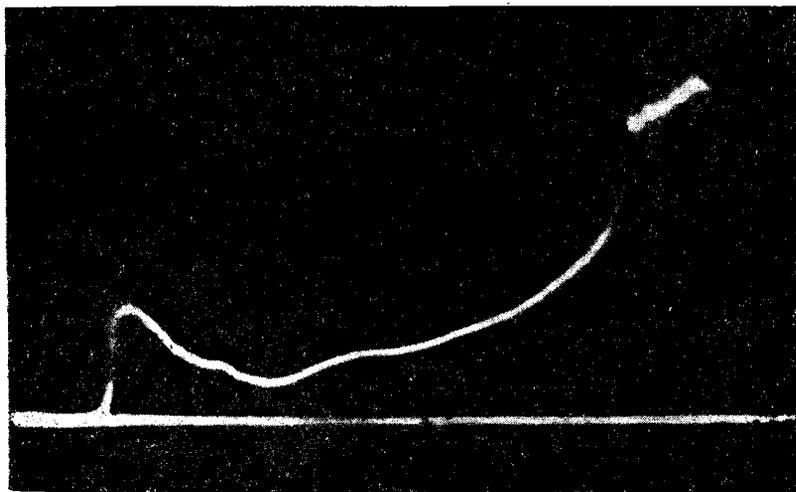
Схема включения осциллографа синхронно с выделением импульса света искрой на стенке кабины приведена на фиг. 5.

При замыкании экспериментатором ключа K_1 происходит пробой промежутка U_1 . Момент включения электронного осциллографа регулируется элементом задержки.



Фиг. 5. Пусковая схема осциллографа и ГИНа

С помощью описанной схемы были получены осциллограммы лидерного тока, одна из которых приведена на фиг. 6.



Фиг. 6. Осциллограмма лидерного тока при измерении на высоком потенциале (синхронизация при помощи ФЭУ)

Экспериментальные работы со схемой синхронизации ГИНа с осциллографом с помощью ФЭУ показали следующие ее достоинства:

1. Схема позволяет получить любое практическое время запаздывания ГИНа (явления) относительно момента включения осциллографа.

2. Схема проста, стабильна и надежна в работе.

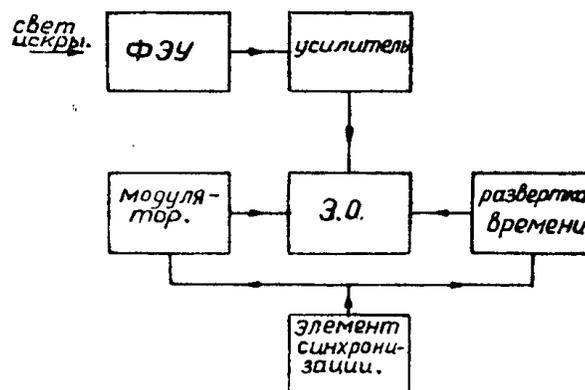
3. Схема позволяет получить полную осциллограмму лидерного тока (сравни фиг. 2 и фиг. 6) как для продолжительных лидерных процессов (длительностью порядка 300 мксек), так и для коротких (длительностью порядка нескольких десятков мксек).

ФЭУ для исследования характера свечения длинной искры во времени

Характеристики ФЭУ позволяют получать количественные соотношения с достаточной степенью точности при высоких скоростях изменения интенсивности свечения, что имеет место в лидерной и канальной стадиях развития разряда.

ФЭУ преобразует импульсы световой энергии в импульсы тока. Для регистрации свечения лидера и главного канала разряда во времени необходим высокоскоростной высоковольтный осциллограф. Чтобы произвести качественную расшифровку осциллограмм, на пластины явления осциллографа должен поступать импульс напряжения с максимальной амплитудой не ниже 150 в. На нагрузочном сопротивлении фотоумножителя, величина которого определяется выходной емкостью ФЭУ ($C_{\text{вых}} \approx 10 \text{ пкф}$) и крутизной спада исследуемого импульса, выделяется импульс с амплитудой порядка 1 в. Поэтому необходимо этот импульс усилить без искажений примерно в 200 раз.

Блок-схема регистрации характера свечения длинной искры во времени для лидерной и канальной стадий приведена на фиг. 7.



Фиг. 7. Блок-схема регистрации характера свечения длинной искры во времени.

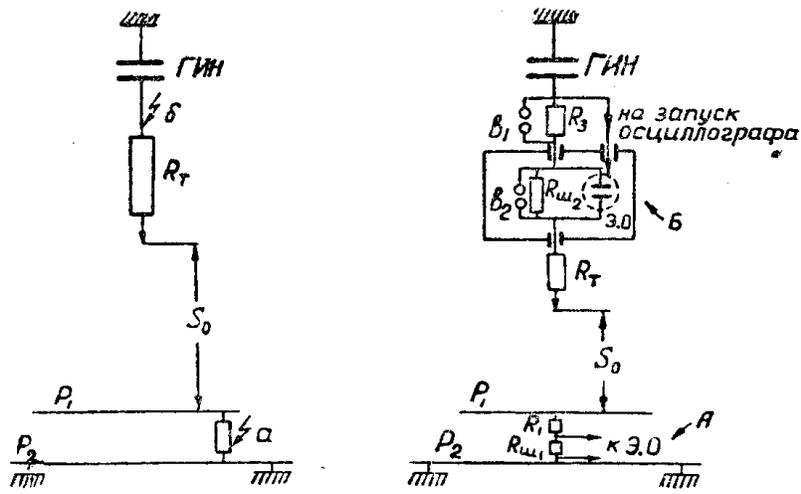
Световые импульсы разряда преобразуются фотоумножителем в электрические импульсы, усиливаются и поступают на пластины явления осциллографа. Осциллограф включается строго синхронно в нужный момент времени. Это осуществляется выбором соответствующего времени задержки.

При исследовании характера свечения искры в высоковольтном зале необходимо уменьшить световые потоки, приходящие на фотокатод ФЭУ от других источников излучения (рассеянный дневной свет, электрическое освещение). Для этого используется метод «оптической ямы», применяемый в ЛВГР ЭНИН при фотографировании разряда, а также труба, устанавливаемая перед ФЭУ. Схема регистрации характера свечения длинной искры приведена на фиг. 8.

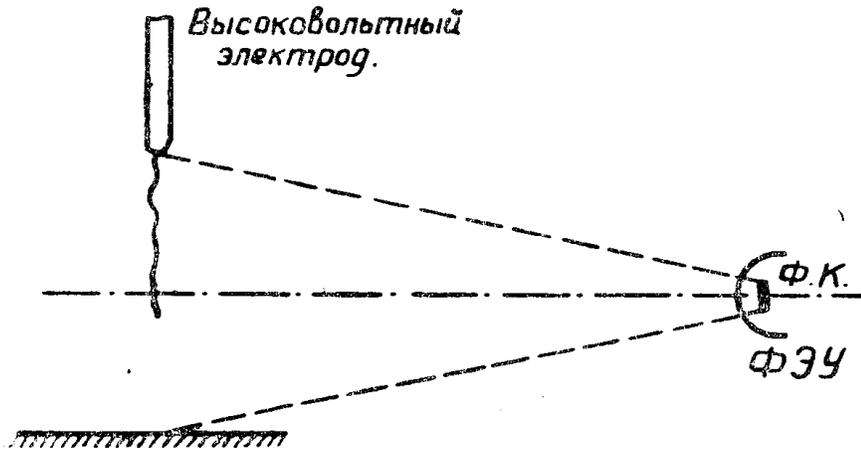
Изучение лидерной и канальной стадий с помощью ФЭУ будет проводиться двумя путями:

- 1) фотоумножитель фиксирует световой поток со всего разрядного промежутка (фиг. 9);
- 2) фотоумножитель регистрирует световой поток только с участка искрового промежутка (фиг. 10).

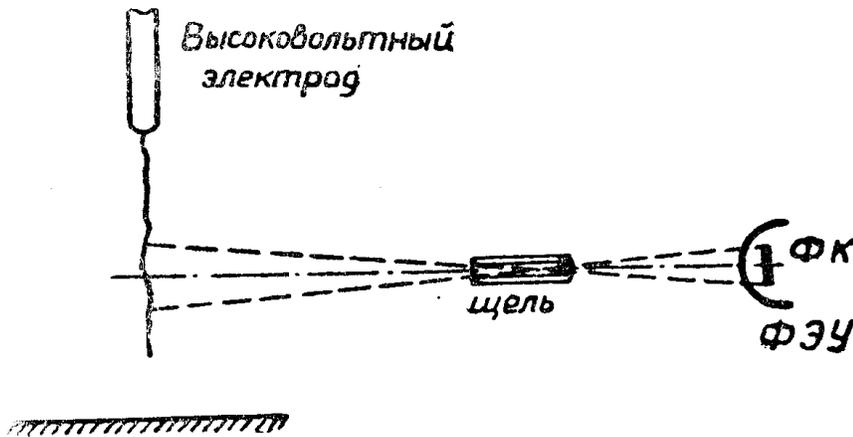
При регистрации светового потока искры по второму методу для «вырезания» небольшого участка канала разряда используется узкая



Фиг. 8. Схема регистрации характера свечения длинной искры



Фиг. 9. Первый способ регистрации свечения длинной искры

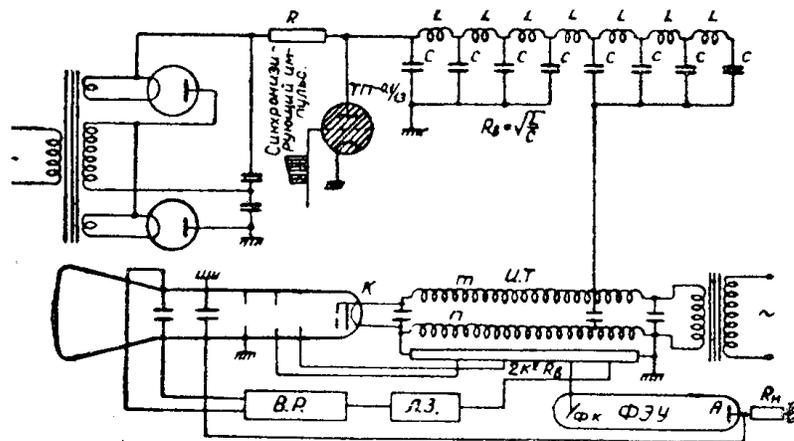


Фиг. 10. Второй способ регистрации свечения длинной искры

щель. Свет от искры может попасть на фотокатод ФЭУ только через щель. По этому методу можно провести определение скоростей развития лидера и главного канала, сравнивая осциллограммы свечения искры во времени для разных участков разрядного промежутка.

При питании фотоумножителя постоянным напряжением (1000÷1800) в анодный ток ФЭУ имеет небольшое значение (примерно 1 ма), поэтому на выходе ФЭУ напряжение имеет величину порядка 1 в. В литературе известны случаи применения ФЭУ для изучения физических процессов с импульсным питанием высоким напряжением (5 кВ). При этом возможный анодный ток ФЭУ увеличивался до 200 ма. Импульсы тока в анодной цепи ФЭУ величиной (100÷200) ма выделяют на нагрузочном сопротивлении, равном 1000 ом, импульсы напряжения с амплитудой (100÷200) в.

Таким образом, можно регистрировать такие импульсы напряжения непосредственно электронным осциллографом без усилителя при больших скоростях развертки. Поэтому целесообразно применить фотоумножитель с импульсным питанием. При этом для регистрации явления с большой скоростью развертки удобно использовать осциллограф также с импульсным питанием. Схема регистрации показана на фиг. 11.



Фиг. 11. Схема включения ФЭУ и осциллографа при импульсном питании.

В исходном состоянии две идентичные искусственные линии заряжены до напряжения $U_0 = 2$ кВ. При «опрокидывании» тиратрона ТТ—0,1/1,3 от синхронизирующего импульса на нагрузочном сопротивлении импульсного трансформатора, равном приведенному двойному волновому сопротивлению линий $2\kappa^2 R_B$ (κ — коэффициент трансформации), выделяется импульс с амплитудой κU_0 .

Обмотка импульсного трансформатора выполнена бифилярно, и через два проводника к ее «m» и «n» подводится напряжение накала от низковольтного трансформатора.

Достоинством такой схемы является малогабаритность. Кроме того, ФЭУ дает импульс явления только в момент развертки, т. е. явление всегда располагается на экране, и далее вся система приводится в действие от одного синхронизирующего импульса, который можно подавать в любой нужный момент времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стекольников И. С. Исследование природы длинной искры. Известия АН СССР; ОТН, № 11, 1952.
 2. Стекольников И. С. Исследование природы длинной искры. Известия АН СССР. ОТН, № 2, 1953.
 3. Стекольников И. С. Импульсная осциллография и ее применение. М.—Л., изд. Академии наук СССР, 1949.
 4. Чечик М. О., Файнштейн С. М. и Лифшиц Т. Н. Электронные умножители, 1954.
 5. Ицхоки Я. С. Импульсная техника. Москва, Советское радио, 1949.
-