

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ КАБЕЛЯ С ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ НА ИМПУЛЬСНОМ НАПРЯЖЕНИИ

Г. Э. КЛЕЙН, В. С. КОРОЛЕВ, Н. М. ТОРБИН

(Представлена научным семинаром научно-исследовательского института  
высоких напряжений).

Исследованию полиэтиленовой изоляции в последнее время уделяется большое внимание как в отечественной, так и в зарубежной литературе [1—5]. Однако в настоящее время еще недостаточно разработан вопрос о закономерностях электрического пробоя полиэтиленовой изоляции на импульсных напряжениях и, в частности, весьма мало работ по экспериментальным исследованиям длительно допускаемого импульсного напряжения кабелей с полиэтиленовой изоляцией.

В работах [3—5] проводятся исследования зависимости электрической прочности полиэтиленовой изоляции на импульсных напряжениях от толщины изоляции, диаметра жилы и температурных условий.

В [3—4] имеются данные по исследованию электрической прочности полиэтиленовых кабелей на импульсных напряжениях, однако измерение  $E_{пр}$  проводится по ступенчатой методике, т. е. когда напряжение, начиная с исходного, соответствующего максимальной рабочей напряженности электрического поля, повышалось с каждым импульсом на определенную величину [3].

Этот метод не может быть использован для определения электрической прочности изоляции в зависимости от числа импульсов.

Делекторский [1—2] предложил аналитический метод выражения кривой жизни кабеля с полиэтиленовой изоляцией в зависимости от времени для переменного и импульсного колебательного напряжений. Этот метод и полученные закономерности могут быть использованы для кабелей с применением полупроводящих экранов и пригодны лишь для некоторых конструкций кабелей. Нами было проведено экспериментальное исследование электрической прочности изоляции кабеля ИК-2 на импульсных напряжениях различной амплитуды в зависимости от числа импульсов до пробоя от максимального значения  $U_{пр}$  до воздействия  $10^6$  импульсов при ступенчатом понижении амплитуды импульсов напряжения. Кривая жизни  $U_{пр} = f(n)$  на импульсном напряжении дает наиболее точные результаты о допустимом рабочем напряжении изоляции кабеля, но требует большой затраты времени и материала.

Для проведения работ нами был сконструирован и изготовлен генератор импульсных напряжений на 150 кВ (рис. 1), на конденсаторах типа ПКГИ-50/0,01 с частотой следования импульсов до 20 гц в секунду. Параметры генератора: длина волны  $\tau_B = 10$  мксек; минимальная длина фронта импульса  $\tau_\phi = 0,35$  мксек, форма импульса близка к прямоугольной. Емкость генератора в ударе  $C_{уд} = 6660$  пф.

Для поджигания ГИНа применен вращающийся разрядник, представляющий собой изоляционный диск с запрессованным двухсторонним сектором из алюминия. Для вращения разрядника установлен электромотор с регулируемым числом оборотов.

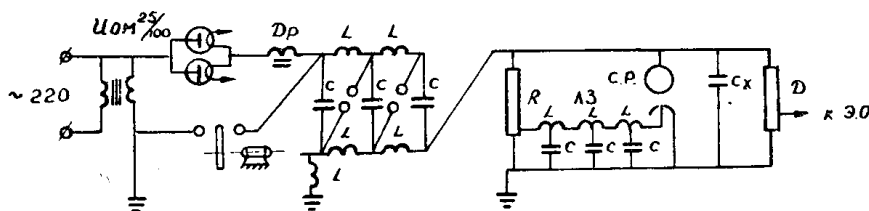


Рис. 1. Принципиальная схема установки.

Такая схема поджига обеспечивает более плавную регулировку частоты срабатывания генератора и имеет большую стабильность работы, чем в случае работы ГИНа на самоходе.

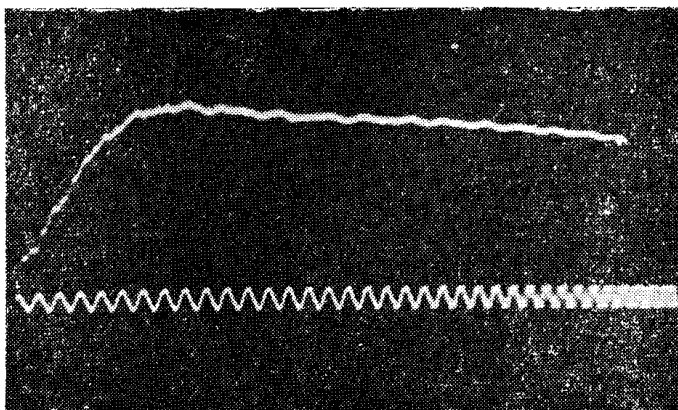


Рис. 2. Осциллограмма импульса генератора напряжений.

В целях уменьшения размеров разделительных индуктивностей, катушки сконструированы со стальными незамкнутыми сердечниками. Такая конструкция позволяет увеличить величину индуктивности, что уменьшает потери энергии импульса в контурах  $L-C$  коммутирующий разрядник при работе генератора.

Коммутирующие разрядники установлены непосредственно на выводах конденсаторов.

Срез волны осуществляется триггатром с применением линии задержки  $LC$  с сосредоточенными параметрами, смонтированной по Т-образной схеме (рис. 3).

Снятие зависимости  $U_{пр} = f(n)$  производилось воздействием отрицательной волны напряжения с  $\tau_{ф} = 0,8$  мксек,  $\tau_{гр} = 3$  мксек.

В работах [5] по исследованию полиэтиленовых кабелей при снятии кривой жизни на точку используется один образец длиной 40—50 м, что позволяет выявить лишь одно дефектное место.

Для определения большего числа дефектов на такой длине кабеля нами изготавливались образцы кабеля длиной 10,6 м, при 3—5 образцах на точку.

С обоих концов кабельного образца снималась медная оплетка на длине 30 см и производилась разделка оплетки под выравнивающий электрод. Затем на разделанные концы образца надевались выравнивающие электроды, на их хвостовую часть натягивался медный экран и закреплялся бандажом. Устранение краевого эффекта в месте раздел-

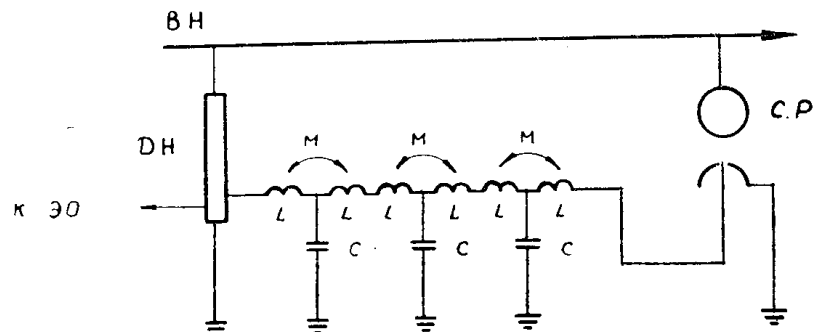


Рис. 3. Электромагнитная линия задержки со сосредоточенными параметрами.

ки образцов вызывало серьезные затруднения. При испытаниях нами было опробовано несколько конструкций выравнивающих электродов (рис. 4), из которых наилучшие результаты показали конусные электроды (рис. 4 г).

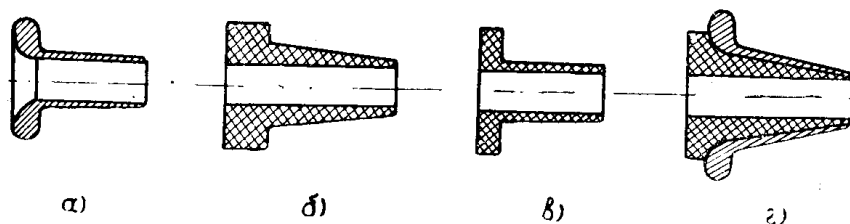


Рис. 4. Выравнивающие электроды.

Изолирующая втулка, одеваемая под конусный электрод, должна изготавливаться из материала с  $\epsilon$  равной  $\epsilon$  полиэтиленовой изоляцией кабеля.

Применение изолирующих втулок из материалов с  $\epsilon = 5 \div 6$  с теми же конусными электродами неизбежно приводило к пробое образцов в разделке кабеля ввиду неравномерного распределения электрического поля в материалах с различными  $\epsilon$ . Предпринималась попытка устранить краевой эффект путем помещения образца с разделкой в полупроводящую среду (техническую воду).

Однако напряжение перекрытия по поверхности выведенных концов кабеля оказалось равным порядка 1—1,2 кв/см на импульсном напряжении, что привело к очень большой длине образца, идущего под разделку, учитывая величину максимального пробивного напряжения ( $U_{\text{макс пр}} = 420 \text{ кв}$ ).

Сопоставление результатов пробоя образцов с применением конусных электродов в разделке и образцов без выравнивающих электродов показало, что уменьшение максимального пробивного напряжения на импульсах происходит на 15—25% и на переменном напряжении 50 гц — на 6—8%, причем пробой происходил только в разделке кабеля. Образцы, подготовленные таким образом, свертывались в бухты и подвешивались, а разделанные концы помещались в бак с трансформа-

торным маслом. Напряжение через проходной изолятор подавалось на жилу кабеля, экран заземлялся. Момент пробоя образца регистрировался осциллографом ОК-19-2М. Снятие кривой жизни кабеля проведено по 7 точкам, на каждую точку использовались 3—5 образцов.

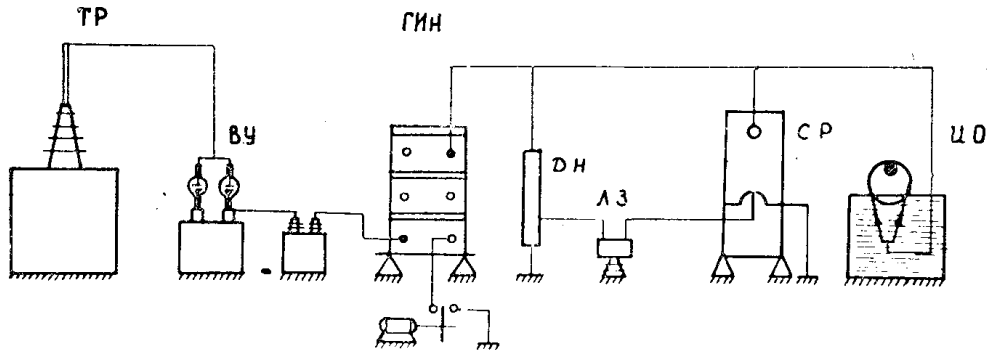


Рис. 5. Схема испытательной установки.

Количество импульсов ( $n$ ), подаваемое на образцы при одном и том же напряжении, имело значительный разброс. Это, вероятно, можно объяснить неоднородностью электрической изоляции по длине кабелей, конструктивно выполненной без полупроводящих экранов, к которой относится и исследуемый кабель ИК-2 [4]. Так, например, при  $U = 145$  кв один образец выдержал до пробоя 384 импульса, в то время как два других образца были пробиты приблизительно при  $n = 4 \cdot 10^3$  импульса (табл. 1).

Таблица 1

№ опы-тов	№ образ-цов	$U$ кв	Число импульсов до пробоя $n$	№ опы-тов	№ образ-цов	$U$ кв	Число импульсов до пробоя $n$
1	1	220	165	10	1	110,5	38850
2	2		157	11	2		41175
3	3		38	12	3		42407
4	4		146	13	4		41262
5	5		150	14	1		
6	1	145	384	15	2	90	467800
7	2		4115	16	3		323440
8	3		3905	17	4		290036
9	4		3640				429744

Максимальная электрическая прочность кабеля ИК-2 при толщине изоляции 5,4 мм и воздействии одного импульса отрицательной полярности с  $\tau_p = 0,8$  мксек в наших опытах составляла  $E_{\text{макс пр}} = 78$  кв/мм, а кратковременная электрическая прочность на переменном напряжении 50 гц—20 кв/мм при скорости подъема напряжения 1 кв/сек, что хорошо согласуется с данными [4] для кабелей с указанной толщиной изоляции.

Показано [2], что при воздействии очень большого числа импульсов на образец пробивные напряжения на импульсах и на переменном напряжении в зависимости от числа импульсов совпадают, поэтому при числе импульсов на точку  $n = 10^6$  и выше испытания образцов нами были проведены на переменном напряжении (табл. 2).

Таблица 2

№ обр.	$U$ кв	Время испытания (в г)	Число импульсов до пробоя $n$
1		1,1	$0,396 \cdot 10^6$
2	80	4,2	$1,51 \cdot 10^6$
3		4,15	$1,49 \cdot 10^6$
4		32,0	$1,15 \cdot 10^6$
5	74,5	32,7	$1,4 \cdot 10^6$
6		31,5	$1,13 \cdot 10^6$
7			
8	66,0	100	Пробоя нет
9			

Из рис. 6 видно, что длительная электрическая прочность кабеля ИК-2 на импульсном напряжении составляет 13 кв/мм. Длительно допустимое рабочее напряжение кабеля ИК-2 на импульсном напряжении отрицательной полярности не должно превышать 70 кв.

На основании проведенной работы можно сделать следующее заключение:

1. Краевой эффект в разделке образцов кабеля можно устранить применением выравнивающих конусных электродов.

2. Максимальная электрическая прочность кабеля ИК-2 при одном импульсе составляет  $E_{\text{макс пр}} = 78 \text{ кв/мм}$  при отрицательной полярности импульса.

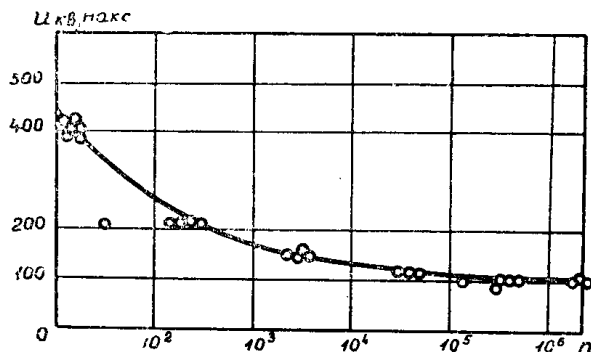


Рис. 6. Кривая жизни кабеля ИК-2.

3. Минимальная электрическая прочность при длительно допускаемом импульсном напряжении отрицательной полярности равна 13 кв/мм.

4. Кабель ИК-2 имеет неодинаковую электрическую прочность по длине, так как имеется большой разброс в числе импульсов до пробоя от образца к образцу на всех точках кривой жизни.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Г. П. Делекторский. О некоторых закономерностях пробоя полиэтиленовой изоляции, «Электричество», № 11, 1961.
2. Г. П. Делекторский. Закономерности пробоя высоковольтных кабелей с полиэтиленовой изоляцией при передаче импульсов напряжения, «Вестник электропромышленности», № 1, 1963.
3. Р. М. Лакерник и Д. Л. Шарле. Полиэтилен и применение в кабельной технике, Госэнергоиздат, 1958.
4. G. Nuht, M. Konbopoulos, P. Wage. Диэлектрическая прочность и кривая жизни полиэтилена, Power apparatus and sustems, 1958, № 35.
5. Энергетика за рубежом, кабельные линии высокого напряжения, вып. 2, Госэнергоиздат, 1959.