

Коньков Н.А.,

магистр

Институт Электроэнергетики

ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»

Россия, г. Москва

Хамдард Р.М.,

бакалавр

Институт Электроэнергетики

ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»

Россия, г. Москва

Теплов Г.А.,

бакалавр

Институт Электроэнергетики

ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»

Россия, г. Москва

Стрюков А.Н.,

бакалавр

Институт Электроэнергетики

ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»

Россия, г. Москва

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖИЗНЕРЕСУРСА КАБЕЛЯ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Аннотация: Статья посвящена разработке высоковольтного стенда и проведению высоковольтных испытаний изоляции из сшитого полиэтилена при различном уровне питающего напряжения и частоты.

Ключевые слова: оценка срока службы кабеля, изоляция из сшитого полиэтилена, кабельные линии, изоляция, испытания.

Annotation: *The article is devoted to the development of a high-voltage test bench and the conduct of high-voltage tests of XPLE at different levels of voltage and frequency.*

Key words: *Evaluation of the service life of the cable, XPLE insulation, cable lines, insulation, tests.*

Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена повсеместно используются в распределительных сетях среднего и высокого напряжений. Одним из недостатков изоляции кабеля такого типа – это отсутствие самовосстановления, как, например, у кабелей с бумажно-масляной изоляцией.

Изоляция кабеля из сшитого полиэтилена из-за воздействия ОЗЗ теряет свои диэлектрические свойства, которые не восстанавливаются со временем, при этом от кратности перенапряжения напрямую зависит возможный срок службы такого кабеля.

Целью данной работы является разработка собственного стенда для высоковольтных испытаний и изучения влияния кратности перенапряжения на срок службы изоляции кабеля из сшитого полиэтилена.

Разработка стенда

Данный стенд разработан для проведения высоковольтных испытаний изоляции кабеля из сшитого полиэтилена. Выходное напряжение имеет диапазон частот от 47 Гц до 457Гц.

Разработка стенда проводилась в несколько этапов

- 1) Подбор компонентов.
- 2) Создание прототипа.
- 3) Проверка работоспособности прототипа.
- 4) Внесение изменений в схему сборки.
- 5) Создание стенда.

При решении задачи о изменении частоты был выбран таймер на базе микропроцессора NE555 «Интегральный таймер» (The IC Time Machine). Использование данного таймера является надежным решением, так как за все

время существования этого устройства накопилась достаточно информации о всех его аспектах и недостатках.

Описание составляющих высоковольтного стенда

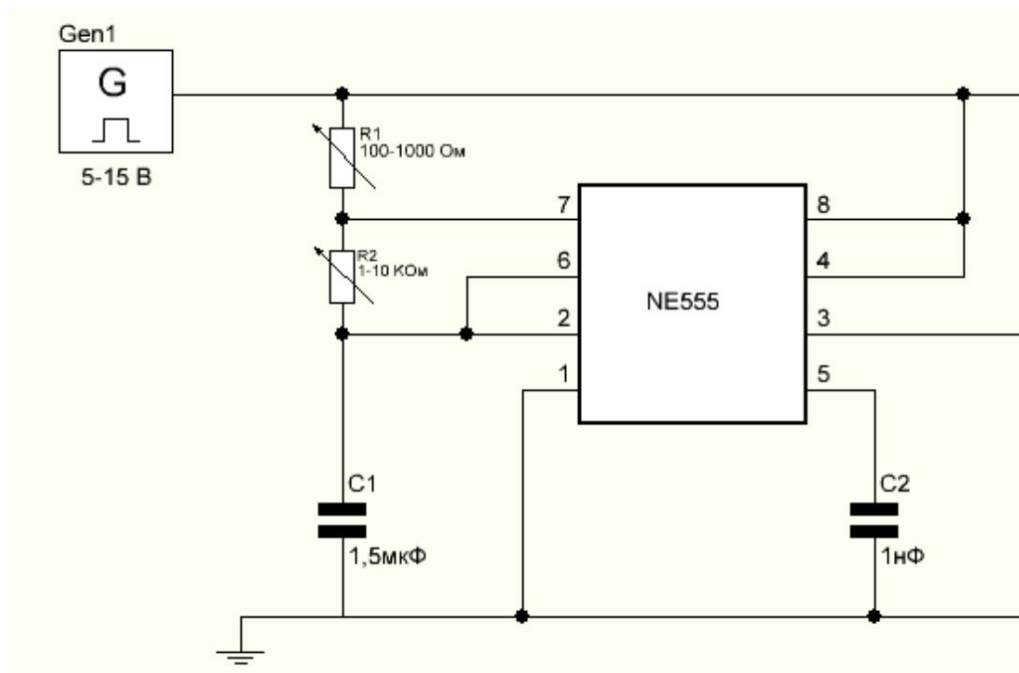


Рис. 1 Схема платы таймера

На плате были размещены два переменных резистора каждый мощностью 2 Ватт, R1 имеет диапазон сопротивления от 100 до 1000Ом, R2 работает в диапазоне от 1 до 10 КОм. Конденсатор С1 является керамическим емкостью 1,5 мкФ, С2 имеет емкость 1нФ, этого достаточно для предотвращения помех выходного сигнала.

По формуле:

$$f = \frac{1}{\ln 2(R1 + 2 * R2) * C} \quad (1)$$

Диапазон частот при использовании таких компонентов будет следующим: от 47.76 Гц до 457.14 Гц

Как видно, при проведении опытов есть возможность работы в широком диапазоне частот, здесь стоит заметить, что наибольший результат регулировки частоты достигается изменением сопротивления R2, при этом R1 позволит настроить частоту точнее.

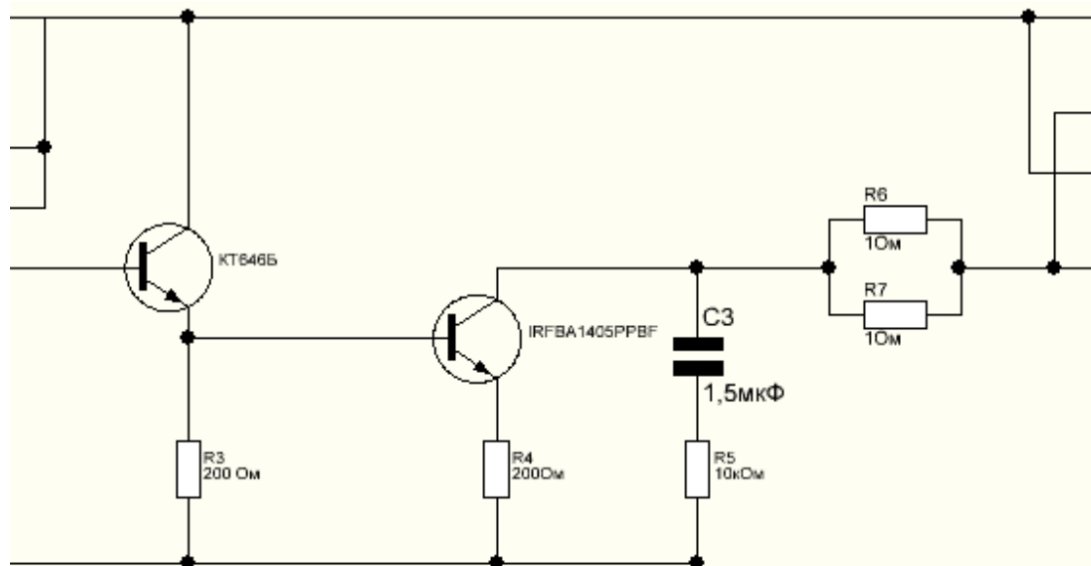


Рис. 2 Схема транзисторной платы.

На выходе третьего пина установлен транзистор КТ646Б, следом за ним установлен IRFBA1405PPBF. Транзисторы имеют NPN переход, обладают малым сопротивлением открытого канала и хорошей рассеивающей мощностью. В ходе испытаний было выявлено, что установка резисторов параллельно на эмиттер КТ646Б и базу IRFBA1405PPBF снижают их нагревание, что очень важно особенно для первого транзистора. При этом принятые меры не снижают конечный уровень выходного сигнала, в любом случае, техническое исполнение блока позволяет отключить эти резисторы.

Во время испытаний на активную нагрузку транзистор IRFBA показывал нормальную работу и наблюдался стабильный сигнал, однако, при подключении на индуктивную нагрузку транзистор выходил из строя примерно через минуту работы. Как оказалось, необходимо подключать к такому транзистору активно-емкостную нагрузку между коллектором и эмиттером, такая сборка позволяет подавлять броски напряжения. Подключение диода-супрессора тоже является хорошим альтернативным вариантом, но ввиду отсутствия информации о направлении внутреннего диода транзистора в инструкции, подключать его было нецелесообразно, при этом, как оказалось, необязательно, так как при уже принятых мерах транзистор работал исправно даже при длительной серии испытаний.

Последним элементом на схеме является балласт, он выполнен в виде параллельной сборки двух резисторов номиналом 1 Ом и мощностью 50 Ватт, данное решение позволило снизить уровень тока примерно на 30%, что очень хорошо сказалось на температуре транзистора IRFBA.

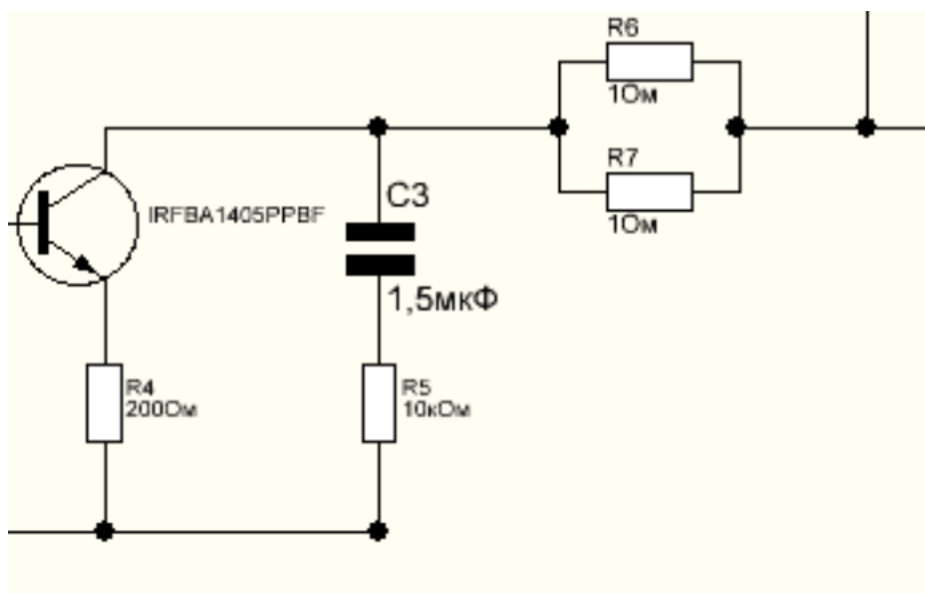


Рис. 3 Схема платы вспомогательного блока.

Силовая часть данного проекта реализована на двух катушках зажигания ЗМЗ-406, первичные обмотки которых соединены параллельно, а вторичные последовательно. Таким образом, напряжение на первичных обмотках будет в диапазоне до 12В, а на выходе со вторичной обмотки варьироваться до 48кВ. На первичные обмотки подается напряжение питания и сигнал с транзисторной сборки, тем самым обеспечивая условия работы катушек. На выходе напряжение будет зависеть от поданного напряжения, а частота от время задающей цепочки таймера, о которой говорилось выше.

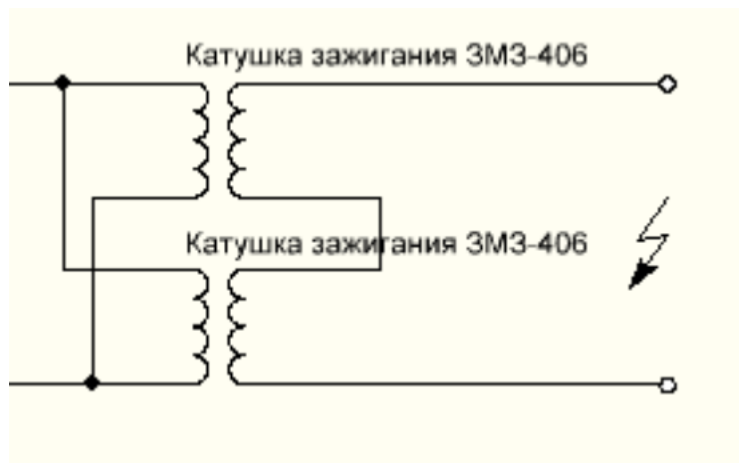


Рис. 4 Схема силового блока.

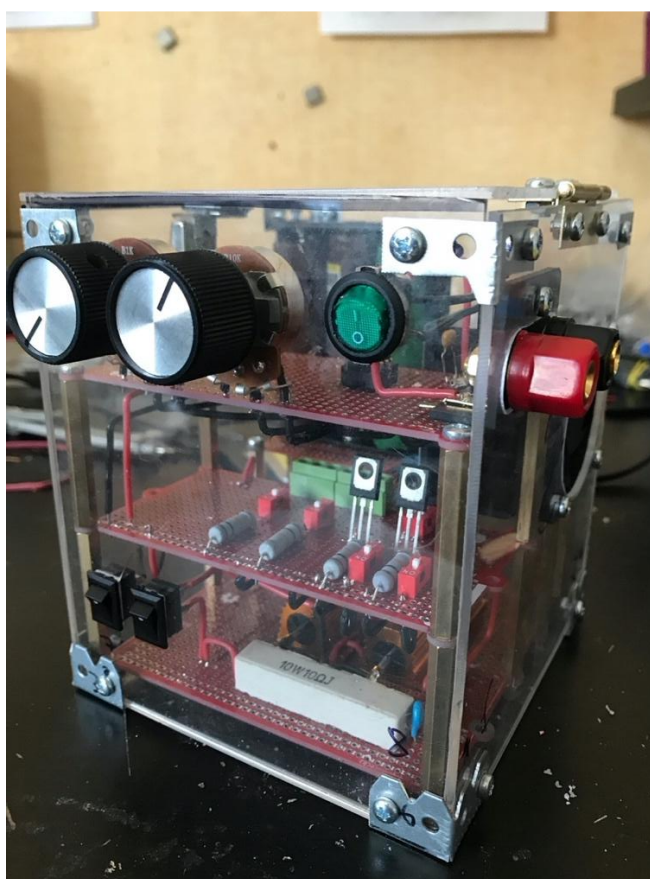


Рис. 5 Общий вид стенда.

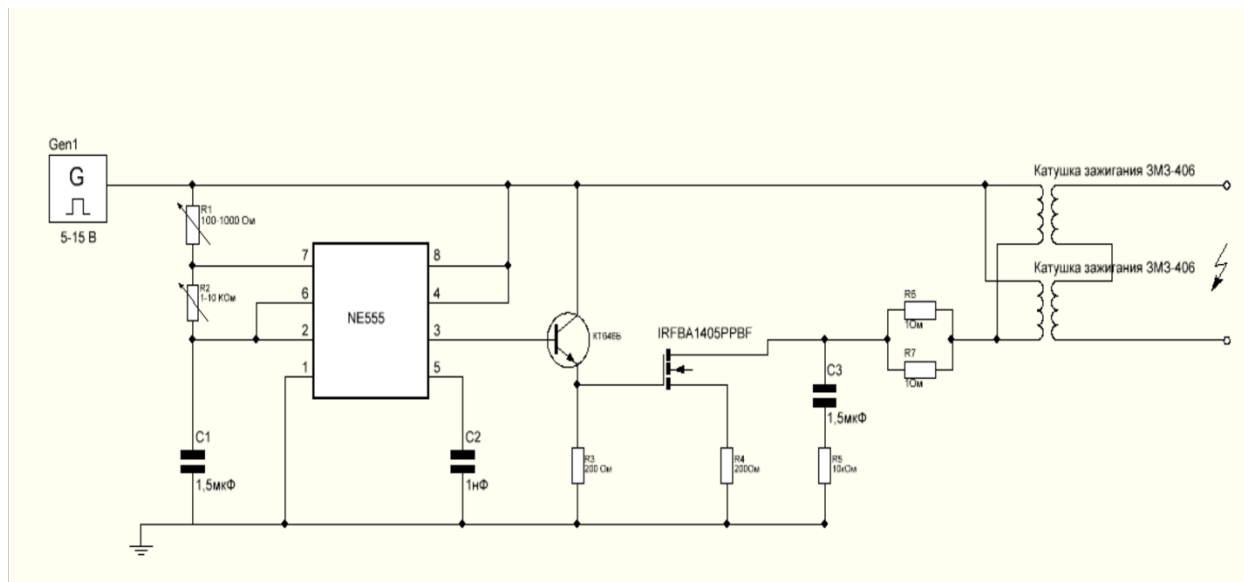


Рис. 6 Схема высоковольтной установки.

Проведение высоковольтных испытаний изоляции из сшитого полиэтилена

В ходе первых испытаний была выявлена недостаточная мощность данной установки, уже при достижении уровня напряжения в 19-20 кВ транзистор IRFBA нагревался до недопустимых рабочих температур. В итоге, было принято решение о рассмотрении образцов изоляции толщиной 1,2 и 3мм. Каждый образец подвергся испытательному напряжению с частотой 450 Гц, что попадает в диапазон частот ОЗЗ в распределительных сетях с большими емкостными токами.

При уровне напряжения в 15-16кВ транзистор нагревался до высоких температур, ввиду этого производился перерыв после каждой проработанной в таком режиме минуты. При достижении уровня напряжения в 19-20кВ временной промежуток, в течение которого стенд мог нормально функционировать, был сокращен до 15 секунд, в противном случае потребляемый ток резко возрастал до 5-6 А, выходное напряжение при этом уменьшалось – транзистор IRFBA выходил из строя. Таймер NE555 так же мог перестать выполнять свои функции после нескольких тестов на предельно допустимом для стенда напряжении. После длительных серий испытаний

балласт так же нагревался, и, так как этот элемент является трудно заменяемым, время между повторными включениями стенда было увеличено.

Испытуемые образцы были помещены между двумя электродами на подготовленном стенде. Для предотвращения пробоя по воздуху был задействован дополнительный слой изоляции. Концы электродов были подвергнуты механической обработке для придания им конусовидной формы.

Каждый образец изоляции был испытан не менее пяти раз на одном и том же уровне напряжения для получения статистики по пробоям изоляции.

Данные проведенных опытах указаны ниже.

Образец 1мм.

Таблица 1. Время до пробоя изоляции толщиной 1мм

U,кВ \ t,с	Время до пробоя изоляции					Среднее Значение
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	757,23	850,07	776,48	792,35	809,51	797,12
17	274,98	320,04	283,76	289,62	305,83	294,84
18	63,40	66,27	64,49	75,16	68,52	67,56
19	24,90	27,67	32,15	28,53	29,44	28,59
20	8,96	6,43	6,75	7,59	7,26	7,39

0 – отсутствие пробоя изоляции в течении 30 мин*

X- пробой при включении*

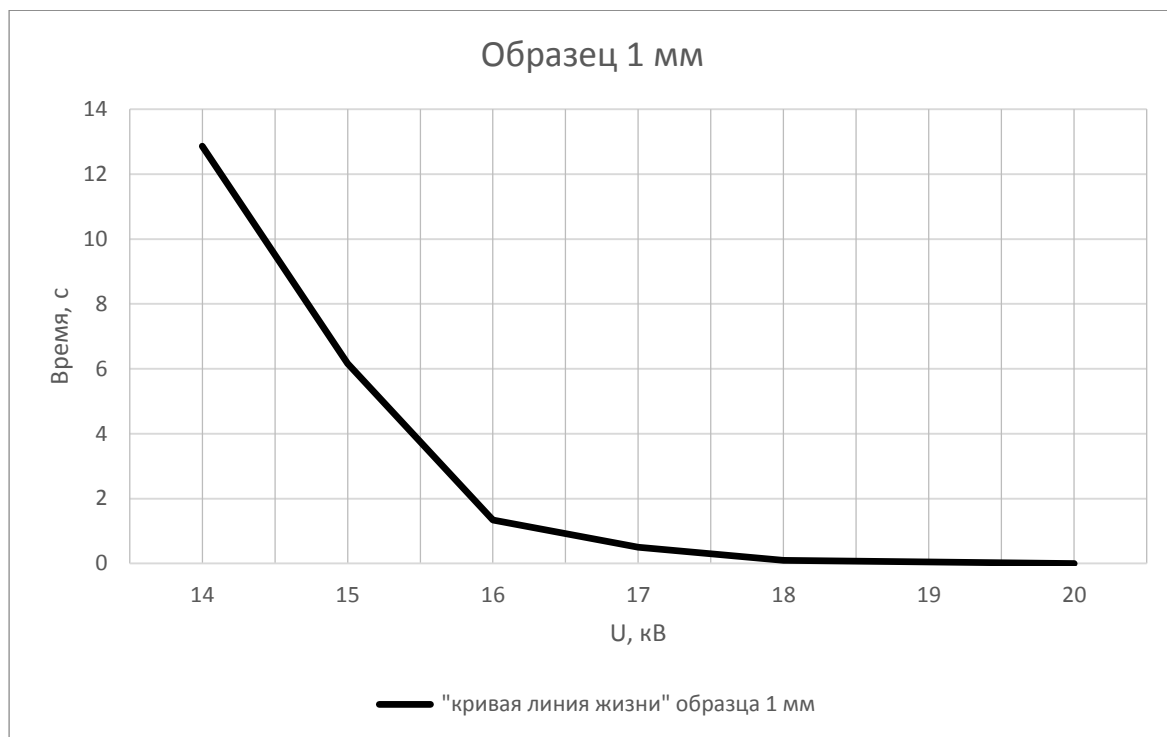


Рис. 7 График «кривой линии жизни» изоляции 1 мм.

Образец 2 мм.

Таблица 2 Время до пробоя изоляции толщиной 2мм

U,кВ \ t,с	Время до пробоя изоляции					Среднее Значение
	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	53,57	51,16	47,62	46,09	49,53	49,59
15	15,40	18,96	19,76	21,31	16,90	18,46
16	3,84	5,29	4,75	4,87	6,12	4,97
17	0,72	0,90	1,05	0,99	0,94	0,92
18	X	X	X	X	X	-
19	X	X	X	X	X	-
20	X	X	X	X	X	-

0 – отсутствие пробоя изоляции в течении 30 мин*

X- пробой при включени

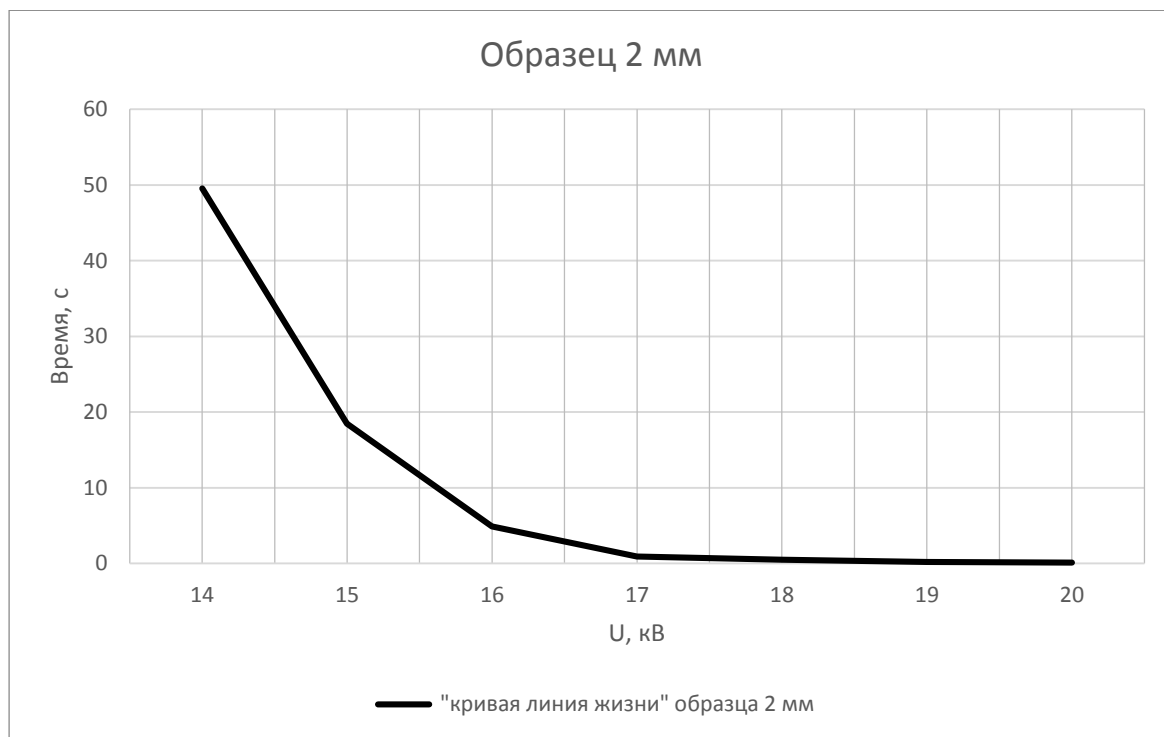


Рис. 8 «График кривой линии жизни» изоляции 2 мм.

Образец 3 мм.

Таблица 3 Время до пробоя изоляции толщиной 3мм

U,кВ \ t,с	Время до пробоя изоляции					Среднее Значение
	t,с	t,с	t,с	t,с	t,с	
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	757,23	850,07	776,48	792,35	809,51	797,12
17	274,98	320,04	283,76	289,62	305,83	294,84
18	63,40	66,27	64,49	75,16	68,52	67,56
19	24,90	27,67	32,15	28,53	29,44	28,59
20	8,96	6,43	6,75	7,59	7,26	7,39

0 – отсутствие пробоя изоляции в течении 30 мин*

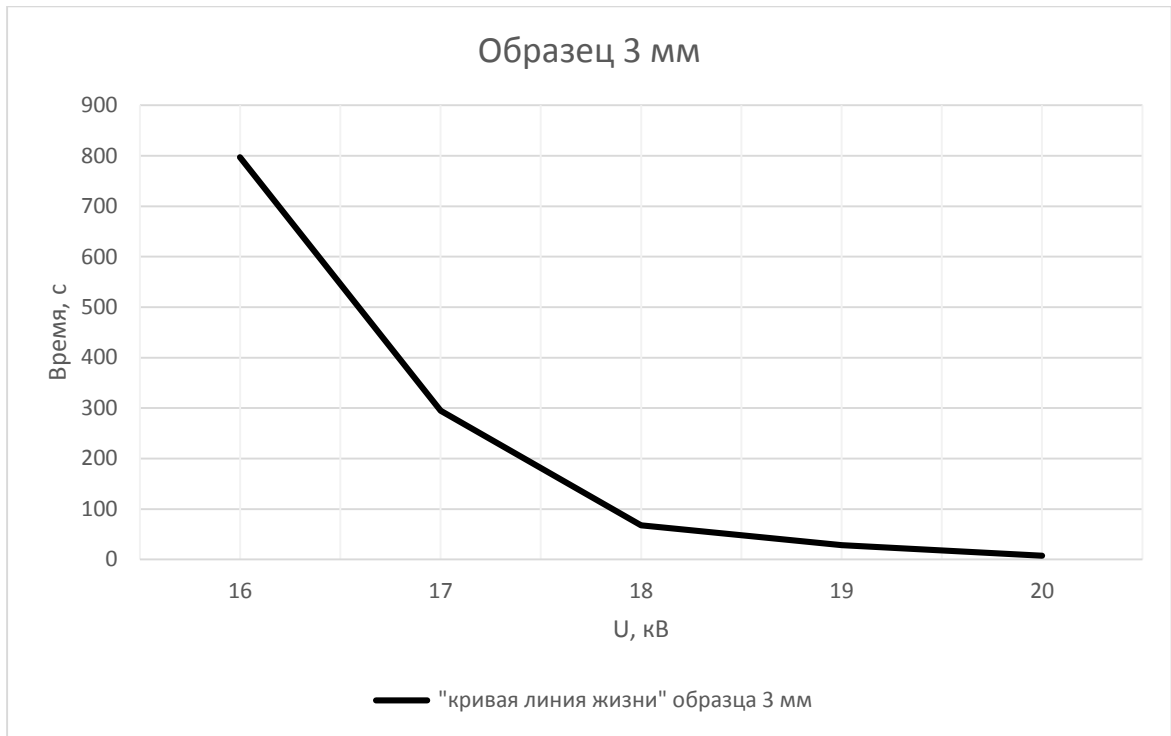


Рис. 9 График «кривой линии жизни» изоляции 3 мм.

По полученным результатам можно построить аппроксимированные «кривые линии жизни» изоляции толщиной 4 и 5 мм.

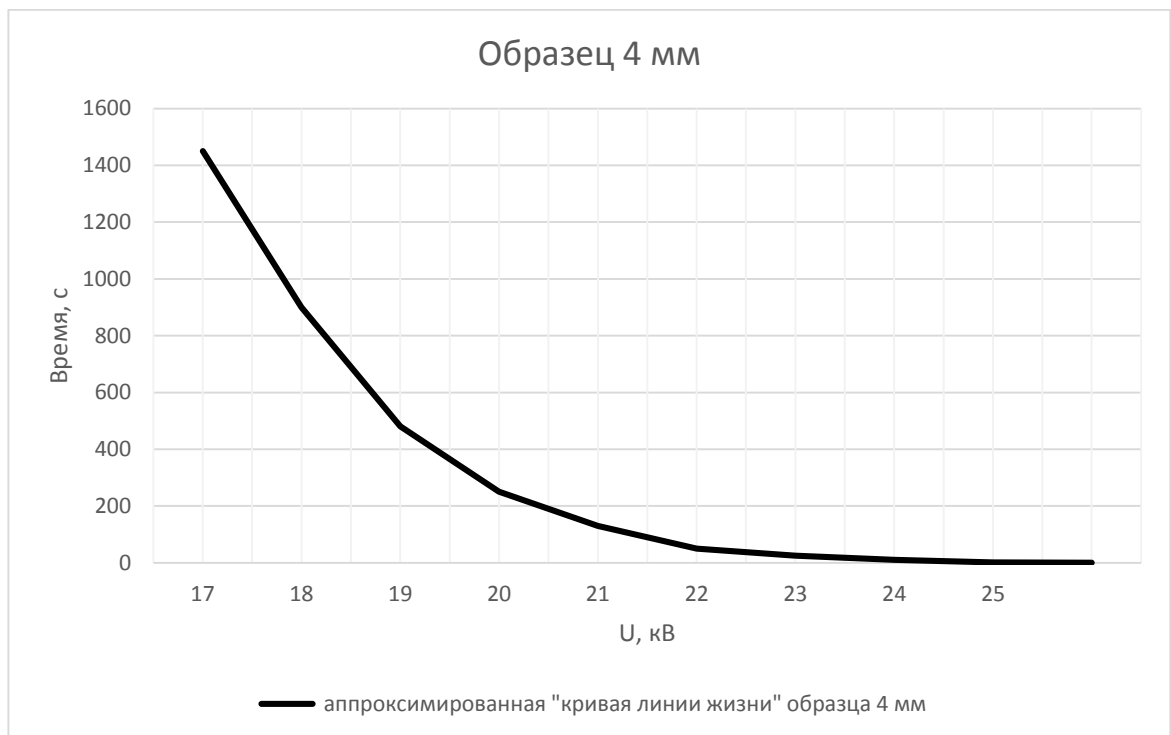


Рис. 10 График аппроксимированной «кривой линии жизни» изоляции 4 мм.

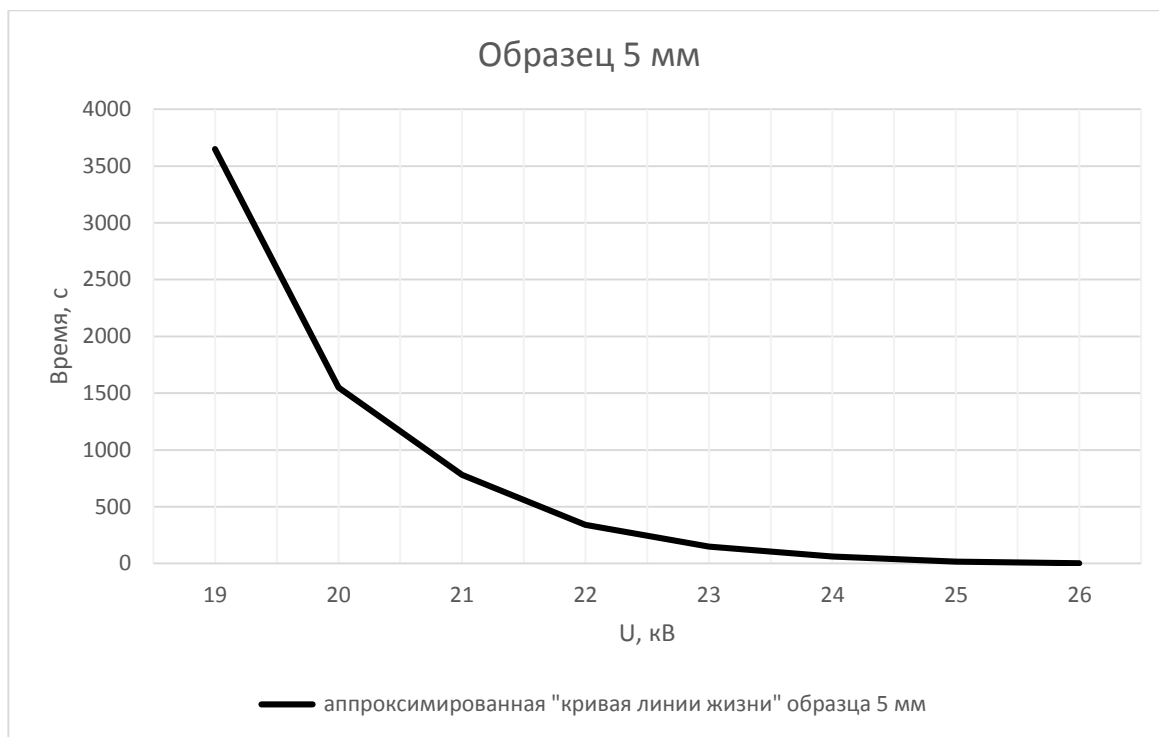


Рис. 11 График аппроксимированной «кривой линии жизни» изоляции 5 мм.

Анализ полученных результатов

1) При испытании изоляции образца толщиной 1мм напряжением в 12кВ и 13кВ в течении 30 минут на изоляции не было видимых изменений на поверхности исследуемого образца. При уровне напряжения в 14кВ на изоляции уже при достижении 5-10 секунд были видимые деформации на поверхности изоляции.

2) При испытании изоляции образца толщиной 2мм напряжением 12кВ и 13кВ в течении 30 минут так же не было видимых повреждений на поверхности изоляции. При уровне напряжения 14кВ на поверхности изоляции видимые изменения начали происходить уже примерно на 40-45 секундах с последующим пробитием.

3) При испытании изоляции толщиной 3 мм напряжением 12кВ, 13кВ и 14кВ в течении 30 минут не оставили видимых повреждений на поверхности изоляции, При напряжении 15кВ после 30 минут испытаний на поверхности материала образовалось трудно заметный деформированный участок, при

уровне напряжения 16кВ видимые изменения на поверхности появлялись, в среднем, после десятой минуты испытания.

4) Рассмотренные образцы изоляции позволяют судить о скорости роста дефекта в изоляции. Так, к примеру, изоляция толщиной 3 мм при напряжении 18кВ будет иметь скорость развития дефекта 10мм/223с или же 2,69мм/мин.

5) При аппроксимации полученных результатов можно судить о том, что для кабельных линий рассчитанных на напряжение 6кВ ОЗЗ кратностью 4 для изоляции толщиной 4 мм можно удерживать не больше 7 -10 секунд, а при напряжении 25кВ - 26кВ пробой изоляции наступит уже через 1-2 секунды.

Использованные источники:

- 1) 555 Timer IC URL: https://en.wikipedia.org/wiki/555_timer_IC (дата обращения 01.08.2020).