

Оценка длительной электрической прочности различных конструкций пленочного диэлектрика для высоковольтных импульсных конденсаторов

А. Я. Дмитришин, И. Ю. Гребенников, С. О. Топоров, Е. Н. Слепец

*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,
пр. Октябрьский, 43-А, г. Николаев, Украина, e-mail: dphc@iipr.com.ua*

Рассмотрены результаты исследований электрической прочности различных конструкций комбинированного полипропиленово-полиэтилентерефталатного диэлектрика для высоковольтных импульсных конденсаторов. Проанализированы факторы, влияющие на кратковременную электрическую прочность таких конструкций. Проведены исследования влияния напряженности электрического поля на ресурс конденсаторов с пленочным диэлектриком. Даны рекомендации по производству высоковольтных импульсных конденсаторов.

Ключевые слова: электрическая прочность, пленочный диэлектрик, ресурс, высоковольтный импульсный конденсатор.

УДК 621.319.4

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время основной тенденцией в области создания высоковольтных импульсных конденсаторов является использование пленочного диэлектрика (полиэтилентерефталат и полипропилен), пропитанного неполярной диэлектрической жидкостью.

Это объясняется тем, что пленочный диэлектрик, в отличие от применяемых ранее бумажного и комбинированного бумажно-пленочного, позволяет существенно снизить количество слоев диэлектрика (до 2–3 против 5–10). Кроме того, его длительная электрическая прочность в 1,5–2,5 раза выше [1–3].

В работах [4–6] исследовались характеристики пленочных диэлектриков на основе полипропиленовой пленки, а в [7, 8] – на основе полиэтилентерефталатной пленки. Следует отметить, что целью исследований являлось не прогнозирование длительной электрической прочности пленочного диэлектрика в зависимости от величины рабочей напряженности электрического поля в нем, а изучение электрофизических характеристик конкретных конструкций диэлектрика.

С точки зрения полученных в ИИПТ НАН Украины результатов наиболее перспективным является применение в конструкции секций высоковольтных импульсных конденсаторов комбинированного полипропиленово-полиэтилентерефталатного диэлектрика с различным содержанием полярной и неполярной составляющих [9–12].

Цель данной работы – оценить возможность прогнозирования ожидаемого ресурса высоковольтных импульсных конденсаторов с комби-

нированным полипропиленово-полиэтилентерефталатным диэлектриком в зависимости от величины рабочей напряженности электрического поля в нем.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для достижения поставленной цели были проведены экспериментальные исследования на макетах секций с пятью конструкциями комбинированного полипропиленово-полиэтилентерефталатного диэлектрика толщиной 30, 34, 35, 39 и 55 мкм, пропитанного трансформаторным маслом Т-1500. Они изготавливались с теми же параметрами, что и реальные секции конденсаторов. Для обеспечения одинаковой площади обкладок макеты секций наматывались с одним и тем же количеством рабочих витков. При пропитке секций была задействована технология, применяемая при термовакуумной сушке и пропитке высоковольтных импульсных конденсаторов с пленочным диэлектриком.

В табл. 1 представлена конструкция исследуемых диэлектриков (ПП – двусторонне шероховатая полипропиленовая пленка, ПЭТ-КЭ – полиэтилентерефталатная пленка, а число, стоящее при обозначении, – толщина слоя пленки).

Кратковременная электрическая прочность указанных конструкций диэлектрика определялась путем доведения секций до электрического пробоя согласно стандартной методике испытаний ГОСТ 27427-87.

Результаты исследований по определению кратковременной электрической прочности комбинированных пленочных диэлектриков макетов секций приведены в табл. 2.

Проведенная дефектация макетов секций выявила пробой по толщине диэлектрика, что позволяет сделать вывод, что полученные величины

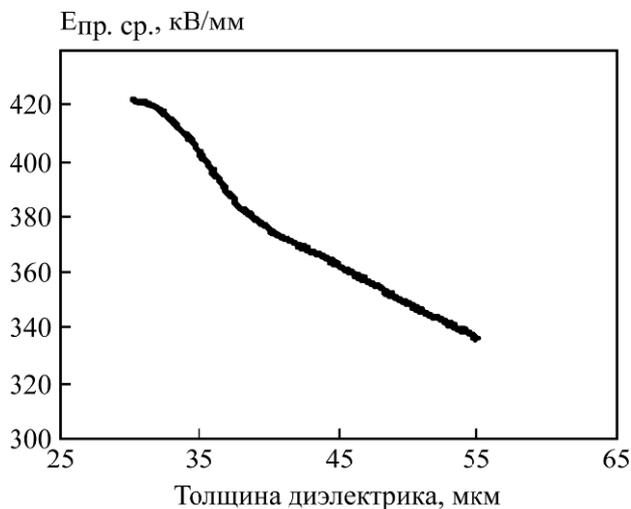
Таблица 1. Конструкция исследуемых диэлектриков

Номер макета секции	Толщина диэлектрика, мкм	Конструкция диэлектрика	Относительное содержание пленки ПЭТ-КЭ, %
1	30	ПП 10 + ПЭТ-КЭ 10 + ПП 10	33,3
2	34	ПП 12 + ПЭТ-КЭ 10 + ПП 12	29,4
3	35	ПП 10 + ПЭТ-КЭ 15 + ПП 10	42,9
4	39	ПП 12 + ПЭТ-КЭ 15 + ПП 12	38,5
5	55	ПП 10 + ПЭТ-КЭ 10 + ПП 10 + ПЭТ-КЭ 15 + ПП 10	45,5

Таблица 2. Результаты определения кратковременной электрической прочности комбинированных пленочных диэлектриков макетов секций

Номер макета секции	Толщина диэлектрика, мкм	Среднее пробивное напряжение $U_{пр. ср.}$, кВ	Среднеквадратичное отклонение σ , кВ	Средняя величина электрической прочности диэлектрической системы $E_{пр. ср.}$, кВ/мм
1	30	12,6	0,49	420
2	34	14,4	0,2	423,5
3	35	14,1	0,4	402,9
4	39	14,8	0,4	379,5
5	55	18,5	1	336,4

являются истинной электрической прочностью данных диэлектриков. При этом сравнение полученных величин с результатами проведенных ранее исследований [10] показало, что они отличаются друг от друга в пределах статистической погрешности.

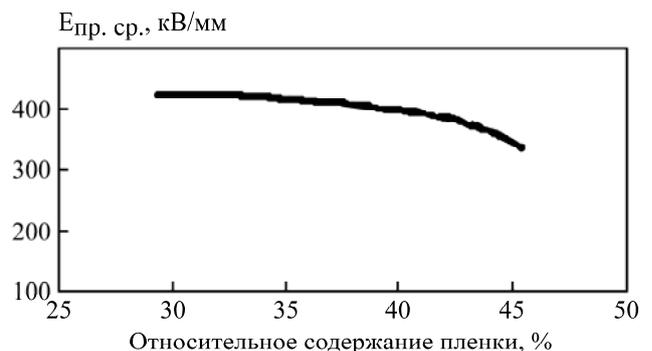
**Рис. 1.** Зависимость кратковременной электрической прочности пленочных диэлектриков от толщины диэлектрика при постоянном напряжении.

На основании полученных результатов построена зависимость кратковременной электрической прочности пленочных диэлектрических систем секций от толщины диэлектрика при постоянном напряжении (рис. 1).

При анализе результатов экспериментальных исследований по определению кратковременной электрической прочности различных конструк-

ций пленочного диэлектрика видно, что снижение $E_{пр. ср.}$ происходит с ростом толщины диэлектрика. Это можно объяснить увеличением искажения электрического поля на краю обкладок.

На рис. 2 приведена зависимость кратковременной электрической прочности исследуемых пленочных диэлектрических систем секций от процентного содержания пленки ПЭТ-КЭ при постоянном напряжении.

**Рис. 2.** Зависимость кратковременной электрической прочности исследуемых пленочных диэлектрических систем секций от относительного содержания ПЭТ-КЭ.

Анализ полученной зависимости показывает, что увеличение относительного содержания полярной полиэтилентерефталатной пленки ПЭТ-КЭ приводит к снижению кратковременной электрической прочности исследуемых диэлектрических систем, так как $E_{пр. ср.}$ этой пленки ниже в сравнении с электрической прочностью неполярной полипропиленовой пленки.

Для определения длительной электрической прочности (ожидаемого ресурса) исследовались

макеты секций в колебательном режиме разряда с близкими параметрами. При испытаниях изменялась только величина напряженности электрического поля для каждой из исследуемых конструкций диэлектрика.

Проведенные исследования позволили установить зависимость ресурса пленочных диэлектрических систем, состоящих из трех- и пяти-слойного полипропиленово-полиэтилентерефталатного диэлектрика толщиной от 30 до 55 мкм, пропитанного трансформаторным маслом Т-1500, от напряженности электрического поля в диэлектрике. Полученные экспериментальные данные позволяют выбирать рабочую напряженность электрического поля в диэлектрике при создании высоковольтных импульсных конденсаторов с необходимым ресурсом.

ВЫВОДЫ

При создании высоковольтных импульсных конденсаторов на основе комбинированного полипропиленово-полиэтилентерефталатного диэлектрика толщиной от 30 до 55 мкм, пропитанного трансформаторным маслом Т-1500, для достижения требуемого ресурса конденсатора требуется:

– $3,5 \cdot 10^3$ зарядов-разрядов; рабочая напряженность электрического поля в диэлектрике – 280–285 кВ/мм;

– $1,5 \cdot 10^4$ зарядов-разрядов; рабочая напряженность электрического поля в диэлектрике – 255–260 кВ/мм;

– $2 \cdot 10^5$ зарядов-разрядов; рабочая напряженность электрического поля в диэлектрике – 175–200 кВ/мм;

– $3,5 \cdot 10^5$ зарядов-разрядов; рабочая напряженность электрического поля в диэлектрике – 150–155 кВ/мм;

– $2 \cdot 10^6$ зарядов-разрядов; рабочая напряженность электрического поля в диэлектрике – 105–110 кВ/мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кучинский Г.С., Назаров Н.И. *Силовые электрические конденсаторы*. М.: Энергоатомиздат, 1992. 310 с.
2. Кучинский Г.С., Галахова Л.Н. Выбор допустимых рабочих напряженностей в силовых конденсаторах с пропиткой экологически безопасными диэлектриками. *Электричество*. 1999, (1), 33–88.
3. Рудаков В.В. Стан та тенденції розвитку високовольтних імпульсних конденсаторів. *Вісник НТУ „ХПІ”*: зб. наук. пр.: Тем. вип.: Техніка і електрофізика високих напруг. 2009, (39), 146–154.
4. Кравченко Ю.В. Ресурс секцій імпульсних конденсаторів з поліпропиленовою ізоляцією. *Матеріали XIII Міжнародної школи-семинара «Фізика імпульсних разрядів в конденсованих середовищах»*. Николаев, 2007, 138–139.

5. Бутко М.В., Бутко С.М., Дубийчук О.Ю., Рудаков В.В., Свиридок С.Н. Электрические характеристики изоляции импульсных конденсаторов, включающих слои полипропиленовой пленки толщиной 40 мкм. *Вісник НТУ „ХПІ”*: зб. наук. пр.: Тем. вип.: Техніка і електрофізика високих напруг. 2011, (49), 47–53.
6. Рудаков В.В., Кравченко В.П., Дубийчук О.Ю. Высоковольтный импульсный конденсатор с ограниченным ресурсом. *Вісник НТУ „ХПІ”*: зб. наук. пр.: Тем. вип.: Техніка і електрофізика високих напруг. 2012, (52), 154–160.
7. Ермилов И.В. Высоковольтные импульсные конденсаторы с полимерной изоляцией. *Электричество*. 2006, (9), 73–79.
8. Рудаков В.В., Касаткин В.П. Удельная энергия высоковольтных импульсных конденсаторов с лавсановым диэлектриком. *Вісник НТУ „ХПІ”*: зб. наук. пр.: Тем. вип.: Техніка і електрофізика високих напруг. 2012, (21), 233–237.
9. Гребенников И.Ю., Гунько В.И., Дмитришин А.Я., Онищенко Л.И., Швец И.С. О повышении удельных энергетических характеристик и ресурса высоковольтных импульсных конденсаторов. *Электротехника*. 2005, (12), 47–51.
10. Гунько В.И., Дмитришин А.Я., Онищенко Л.И., Топоров С.О., Фещук Т.А. Исследование конструкций пленочного диэлектрика для высоковольтных импульсных конденсаторов. *ЭОМ*. 2012, (2), 93–96.
11. Гунько В.И., Дмитришин А.Я., Онищенко Л.И., Топоров С.О., Перекупка И.А. Разработка высоковольтных импульсных конденсаторов с пленочным диэлектриком. *Вісник НТУ „ХПІ”*: зб. наук. пр.: Тем. вип.: Техніка і електрофізика високих напруг. 2012, (52), 65–71.
12. Онищенко Л.И., Гунько В.И., Дмитришин А.Я., Перекупка И.А. Создание серии высоковольтных импульсных конденсаторов с пленочным диэлектриком на базе одного изоляционного корпуса. *Матеріали XVI Міжнародної школи-семинара «Фізика імпульсних разрядів в конденсованих середовищах»*. Николаев, 2013, 200–203.

Поступила 27.03.14

После доработки 27.05.14

Summary

The paper discussed the results of research into the dielectric strength of various structures of a combined film dielectric on base of polypropylene and Mylar films for high-voltage pulse capacitors. Factors that influence the short-time dielectric strength of those structures are analyzed. A study has been made related to the influence of intensity of an electric field on the life-time of capacitors with the film dielectric. Recommendations on the manufacture of high-voltage pulse capacitors are given.

Keywords: dielectric strength, film dielectric, life-time, high-voltage pulse capacitor.