

УДК 621.319.4
П 76

ПРИМЕНЕНИЕ УНИФИЦИРОВАННЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ СОЗДАНИИ СЕРИИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ С ПЛЕНОЧНЫМ ДИЭЛЕКТРИКОМ

В. И. Гунько, зав. сектором;
А. Я. Дмитришин, мл. науч. сотр.;
Л. И. Онищенко, зав. сектором;
И. А. Перекупка, инж.-конструктор I кат.;
С. О. Топоров, вед. инж.

Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, г. Николаев

Аннотация. Рассмотрены результаты исследований по созданию серии из 12 типономиналов высоковольтных импульсных конденсаторов с пленочными диэлектрическими системами на базе унифицированных конструктивных элементов.

Ключевые слова: высоковольтный импульсный конденсатор, пленочная диэлектрическая система, унификация, конструктивные элементы.

Анотація. Розглянуто результати досліджень зі створення серії з 12 типономіналів високовольтних імпульсних конденсаторів з плівковими діелектричними системами на базі уніфікованих конструктивних елементів.

Ключові слова: високовольтний імпульсний конденсатор, плівкова діелектрична система, уніфікація, конструктивні елементи.

Abstract. The results of research on the series development with 12 part types of high-voltage pulse capacitors with the film dielectric systems based on the unified structural elements have been considered.

Keywords: high-voltage pulse capacitor, film dielectric system, unification, structural elements.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Анализ научно-технической информации показывает, что в настоящее время основные фирмы-разработчики в области силового конденсаторостроения таких стран, как США, Китай, Россия, Казахстан, Украина, активно ведут работы по усовершенствованию высоковольтных импульсных конденсаторов (ВИК), которые являются основным энергетическим элементом высоковольтных разрядно-импульсных устройств различного технологического назначения. Работы главным образом направлены на повышение удельной запасаемой энергии и ресурса импульсных конденсаторов [2, 5, 7–9].

Вместе с тем было установлено, что применение в конструкциях ВИК пленочного диэлектрика и унифицированных конструктивных элементов, в том числе и конденсаторных секций, позволяет сократить номенклатуру приобретаемых материалов, расширить количество типономиналов конденсаторов и сократить сроки их изготовления.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Как показывают исследования [1, 4, 9] в области создания современных ВИК, применение в конструкциях конденсаторов, наряду с пленочным рабочим диэлектриком, изоляционных корпусов приводит к дальнейшему увеличению их удельной энергоемкости за счет более рационального использования рабочего

объема конденсатора, в отличие от конструкций с металлическими корпусами, вследствие отказа от использования корпусной изоляции. Кроме того, использование изоляционных корпусов позволяет отказаться от необходимости применения дорогих проходных керамических изоляторов, что в свою очередь приводит к снижению себестоимости конденсаторов. Вместе с тем изготовление изоляционных корпусов конденсаторов в сравнении с изготовлением металлических корпусов менее материалоемкое и более технологичное.

Использование в конструкции секции диэлектрика на основе полимерных пленок позволяет повысить рабочую напряженность электрического поля в диэлектрике в сравнении с секциями, в конструкциях которых применен бумажный или бумажно-пленочный диэлектрик. Напряженность электрического поля в диэлектрике секций является одним из основных факторов, которые влияют на старение диэлектрика, а также на надежность импульсных конденсаторов [6].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – создание серии высоковольтных импульсных конденсаторов с пленочным диэлектриком на базе унифицированных конструктивных элементов.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для достижения поставленной цели на основе проведенных ранее исследований было предложено использовать в секциях конденсатора трехслойные полипропиленово-полиэтилентерефталатные диэлек-

трические системы толщиной 34 и 39 мкм, пропитанные трансформаторным маслом Т-1500 [3].

Исследования кратковременной и длительной электрической прочности этих пленочных диэлектрических систем на макетах секций позволяют обоснованно, в зависимости от заданного ресурса и режима работы конденсаторов, выбрать конкретную конструкцию рабочего диэлектрика.

Кратковременная электрическая прочность $E_{пр.сп}$ определялась путем доведения секций до электрического пробоя.

Определение длительной электрической прочности (ресурса) макетов секций с различными кон-

струкциями диэлектрика проводилось в режиме колебательного разряда с декрементом колебаний разрядного напряжения 10 и частотой следования зарядов-разрядов 0,2 Гц.

Для сравнения макетов секций одной и той же конструкции, которые испытывались на ресурс при различных величинах напряженности электрического поля в диэлектрике, введен коэффициент запаса по электрической прочности $K_{зап}$, равный отношению $E_{пр.сп}$ к величине рабочей напряженности электрического поля $E_{раб}$.

Результаты испытаний макетов секций с пленочным диэлектриком приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты испытаний макетов секций с пленочным диэлектриком

Толщина диэлектрической системы, мкм	$E_{пр.сп}$, кВ/мм	Коэффициент вариации, %	$U_{раб}$, кВ	$E_{раб}$, кВ/мм	$K_{зап}$	$N_{сп}$ зарядов-разрядов	Коэффициент вариации, %
34	418,2	2,5	6,0	183,8	2,28	$5,3 \cdot 10^5$	9,1
			7,5	220,6	1,90	$9,74 \cdot 10^4$	31,6
39	388,3	2,3	6,0	153,8	2,52	$1,2 \cdot 10^6$	6,2
			7,5	192,3	2,02	$4,83 \cdot 10^5$	10,6

Из анализа полученных результатов испытаний для полипропиленово-полиэтилентерефталатной диэлектрической системы толщиной 34 мкм видно, что средняя величина пробивной напряженности электрического поля для нее составляет 418,2 кВ/мм при коэффициенте вариации 2,5 %, а для диэлектрической системы толщиной 39 мкм – 388,3 кВ/мм при коэффициенте вариации 2,3 %.

Сравнивая между собой результаты ресурсных испытаний макетов секций, видим, что при меньшем коэффициенте запаса результаты испытаний имеют высший коэффициент вариации.

Зависимость ресурса от коэффициента запаса по электрической прочности заметна при испытании макетов секций с диэлектрической системой толщиной 34 мкм с коэффициентом запаса по электрической прочности, равным 1,9 ($E_{раб} = 220,6$ кВ/мм), которые имеют средний ресурс $9,74 \cdot 10^4$ зарядов-разрядов, в то время как у секций с коэффициентом запаса, равным 2,28 ($E_{раб} = 183,8$ кВ/мм), средний ресурс составляет $5,3 \cdot 10^5$ зарядов-разрядов.

Аналогично эта зависимость проявляется и у диэлектрической системы толщиной 39 мкм.

На основании результатов проведенных исследований были выполнены электрические и тепловые расчеты ряда типоминералов высоковольтных импульсных конденсаторов с рабочим диэлектриком на основе указанных двух диэлектрических систем, применительно к размерам одного изоляционного корпуса.

Как показали результаты электрических расчетов и технические решения, направленные на унификацию основных конструктивных элементов конденсаторов, при создании серии высоковольтных импульс-

ных конденсаторов на базе одного изоляционного корпуса могут быть применены такие унифицированные конструктивные элементы, как секция, вставной вывод, стяжные щеки и хомуты, выводы конденсатора, токоведущие шины, изоляционные прокладки. Это приводит к единообразию способов изготовления конденсаторов, использованию одной и той же технологической оснастки, сокращению времени на проектирование. Секции имеют одно и то же конструктивное исполнение – плоскопрессованные со скрытыми обкладками и с двумя токовыводами с одной торцевой стороны.

Параметры и характеристики серии высоковольтных импульсных конденсаторов 12 типоминералов приведены в табл. 2.

При создании указанной серии неизменной величины для всех 12 типоминералов конденсаторов являлись внутренние размеры корпуса конденсатора. Обеспечение этого размера потребовало подборки толщины секций для каждого из 12 типоминералов конденсаторов путем изменения числа рабочих витков в секциях, что привело к изменению первоначальной расчетной величины емкости секций конденсатора и, соответственно, к изменению емкости самого конденсатора. При этом изменение емкости конденсаторов происходит в положительную сторону в пределах допуска 10 %. В результате реализации выбранного технического решения – подборки толщины секций – было установлено, что для каждой из трех групп конденсаторов разных типоминералов, например для ИМП-10-30, ИМП-20-8, ИМП-25-5; для ИМП-10-25, ИМП-20-6,3, ИМП-25-4; для ИМП-50-1 и ИМП-70-0,71, применяются одни и те же секции.

Таблица 2. Параметры и характеристики серии высоковольтных импульсных конденсаторов

Тип конденсатора	Номинальное напряжение, кВ	Номинальная емкость, мкФ	Индуктивность, нГн	Режим разряда				Средний ресурс, зарядов-разрядов
				Характер	Частота следования зарядов-разрядов, Гц	Максимальная амплитуда тока, кА	Декремент колебаний напряжения	
ИМП-10-5	10	5,00	500	А	10,0	5	—	2·10 ⁹
ИМП-10-25	10	25,00	250	К	2,0	10	10,0	7·10 ⁶
ИМП-10-30	10	30,00	250	К	1,0	10	10,0	2·10 ⁶
ИМП-20-6,3	20	6,30	300	К	2,0	10	10,0	7·10 ⁶
ИМП-20-8	20	8,00	300	К	1,0	20	10,0	10 ⁶
ИМП-25-4	25	4,00	300	К	2,0	10	10,0	7·10 ⁶
ИМП-25-5	25	5,00	300	К	1,0	20	10,0	10 ⁶
ИМП-50-0,5	50	0,50	500	К	6,0	5	10,0	4·10 ⁷
ИМП-50-1	50	1,00	400	К	2,0	10	10,0	7·10 ⁶
ИМП-50-1,5	50	1,50	400	К	1,0	20	10,0	1,5·10 ⁶
ИМП-70-0,71	70	0,71	500	К	1,0	20	10,0	10 ⁶
ИМП-100-0,25	100	0,25	550	К	0,1	50	1,5	5·10 ⁵

Примечание. А – апериодический режим; К – колебательный режим разряда.

Учитывая, что среди 12 типонаименований конденсаторов имеются различные варианты электрического соединения секций между собой – с четным или нечетным количеством последовательно соединенных групп секций, конденсаторы имеют два варианта конструктивного расположения токовыводов на крышке (рис. 1).

Для проверки правильности конструктивных и технологических решений, направленных на со-

здание серии высоковольтных импульсных конденсаторов с пленочным диэлектриком на базе одного изоляционного корпуса с использованием унифицированных конструктивных элементов, разработаны и изготовлены макеты двух типов высоковольтных импульсных конденсаторов: ИМП-50-1 и ИМП-50-0,5 (рис. 2). Конденсаторы успешно прошли контрольные испытания.

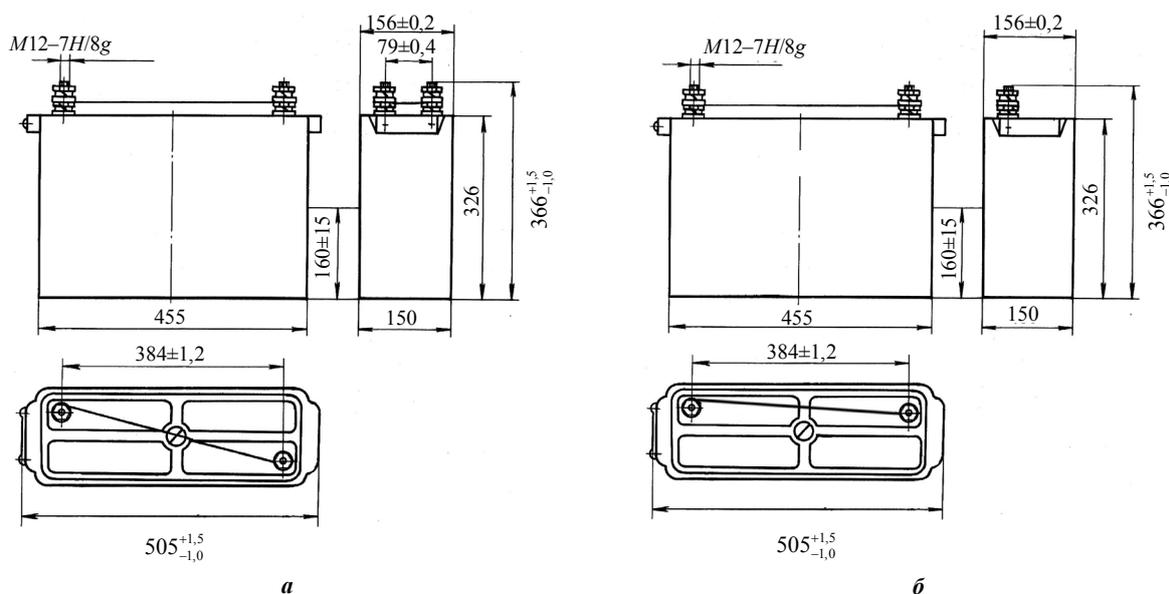


Рис. 1. Расположение токовыводов на крышках конденсаторов: *а* – ИМП-10-5, ИМП-25-4 и ИМП-25-5 с нечетным количеством последовательно соединенных групп секций; *б* – ИМП-10-25, ИМП-10-30, ИМП-20-6,3, ИМП-20-8, ИМП-50-0,5, ИМП-50-1, ИМП-50-1,5, ИМП-70-0,71 и ИМП-100-0,25 с четным количеством последовательно соединенных групп секций



Рис. 2. Высоковольтные импульсные конденсаторы ИМП-50-1 и ИМП-50-0,5 с пленочным диэлектриком на базе одного изоляционного корпуса

ВЫВОДЫ

1. Проведены исследования электрической прочности двух пленочных диэлектрических систем на макетах секций высоковольтных импульсных конденсаторов.
2. В результате конструктивных и технологических проработок выбраны унифицированные основные конструктивные элементы. На основе этих исследований создана серия высоковольтных импульсных конденсаторов из 12 типонаименований.
3. Испытания конденсаторов ИМП-50-0,5 и ИМП-50-1 показали правильность выбранных технических решений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ермилов, И. В. Высоковольтные импульсные конденсаторы с полимерной изоляцией [Текст] / И. В. Ермилов // Электричество. – 2006. – № 9. – С. 73–79.
- [2] Ермилов, И. В. Современные импульсные высоковольтные конденсаторы с пленочным диэлектриком [Текст] / И. В. Ермилов // Электронные компоненты. – 2005. – № 4. – С. 47–55.

- [3] Исследования конструкций пленочного диэлектрика для высоковольтных импульсных конденсаторов [Текст] / В. И. Гунько, А. Я. Дмитришин, Л. И. Онищенко [и др.] // Электронная обработка материалов. – 2012. – № 2. – С. 93–96.
- [4] Исследования по созданию гаммы высоковольтных импульсных конденсаторов с пленочным диэлектриком [Текст] / В. И. Гунько, А. Я. Дмитришин, Л. И. Онищенко, И. А. Перекупка // Физика импульсных разрядов в конденсированных средах : материалы XV Междунар. науч. конф. – Николаев, 2011. – С. 201–204.
- [5] О повышении удельных энергетических характеристик и ресурса высоковольтных импульсных конденсаторов [Текст] / И. Ю. Гребенников, В. И. Гунько, А. Я. Дмитришин [и др.] // Электронная обработка материалов. – 2004. – № 5. – С. 70–73.
- [6] Разработка высоковольтных импульсных конденсаторов с пленочным диэлектриком [Текст] / В. И. Гунько, А. Я. Дмитришин, Л. И. Онищенко [и др.] // Вісник НТУ «ХПІ». – 2012. – № 52. – С. 65–71.
- [7] **Ратахин, Н. А.** Разработка сильноточных импульсных конденсаторов на 100 кВ [Текст] / Н. А. Ратахин, Н. В. Жарова, И. В. Лавринович // Физика импульсных разрядов в конденсированных средах : материалы Междунар. науч. конф. – Николаев, 2009. – С. 140–142.
- [8] **Рудаков, В. В.** Высоковольтные импульсные конденсаторы разработки НИПКИ «Молния», НТУ «ХПИ» [Текст] / В. В. Рудаков, Н. И. Бойко, В. Д. Беспалов // Электротехника и преобразовательная техника : сб. науч. тр. НТУ «ХПИ». – 2002. – С. 47–58.
- [9] **Рудаков, В. В.** Стан та тенденції розвитку високовольтних імпульсних конденсаторів [Текст] / В. В. Рудаков // Вісник НТУ «ХПІ». – 2009. – № 39. – С. 146–154.

© Авторський колектив

Надійшла до редколегії 06.06.13

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. М. В. Рябенський