Изменение электрофизических характеристик высоковольтных импульсных конденсаторов при различных модификациях обкладок

В. И. Гунько, А. Я. Дмитришин, Л. И. Онищенко, С. О. Топоров

Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,
пр. Октябрьский, 43-А, г. Николаев, 54018, Украина, dphc@iipt.com.ua

Рассмотрены результаты теоретических расчетов и экспериментальных исследований изменения электрофизических характеристик (емкости, тангенса угла потерь, электрического сопротивления изоляции, кратковременной и длительной электрической прочности) высоковольтных импульсных конденсаторов с пленочным диэлектриком при различных вариантах конструкции обкладок.

УДК 621.319.4

ВВЕДЕНИЕ

Проведенные ранее исследования показали, что применение в конструкции высоковольтных импульсных конденсаторов (ВИК) пленочного диэлектрика, пропитанного неполярной маловязкой жидкостью, позволяет повысить по сравнению с бумажно-плёночным диэлектриком от 1,3 до 2 раз удельную запасаемую энергию конденсатора при одинаковом ресурсе [1]. Повышение удельной запасаемой энергии ВИК достигалось за счет увеличения рабочей напряженности электрического поля в диэлектрике конденсатора, так как пленочный диэлектрик обладает наиболее высокой электрической прочностью по сравнению с традиционно применяющимися в конденсаторостроении ВИК бумажным или комбинированным бумажно-пленочным диэлектриком. Вместе с тем, как показывает опыт работ, повышение удельной запасаемой энергии конденсаторов возможно и за счет уменьшения их массогабаритных показателей.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Одним из путей снижения массогабаритных показателей высоковольтных импульсных конденсаторов является использование в конструкции секции конденсатора металлизированных обкладок, представляющих собой напыленные на диэлектрик тонкие металлические слои алюминия или цинка, которые примерно от 400 до 600 раз тоньше применяемых в конструкции ВИК фольговых обкладок [2–4]. Как показал проведенный анализ научно-технической информации, наличие металлизированных обкладок в передовых конструкциях современных ВИК с пленочным диэлектриком позволяет поднять уровень рабочей напряжённости электрического поля в диэлектрике до 350 кВ/мм и достичь удельной запасаемой энергии конденсатора 0,9 Дж/г при ресурсе конденсатора 10^4 зарядов-разрядов или 1,6 Дж/г при ресурсе 10^3 зарядов-разрядов [5–7].

Кроме того, такой тип обкладок позволяет обеспечить возможность самовосстановления электрической прочности конденсатора, так как при локальном пробое диэлектрика в местах пониженного значения электрической прочности возникает большая величина плотности тока пробоя и выделяется энергия, достаточная для локального выгорания тонкой металлизированной обкладки вокруг канала пробоя. Образуемая таким образом зона деметаллизации изолирует место пробоя от остальной части обкладки, и конденсатор восстанавливает свою электрическую прочность.

Цель данной работы – оценить влияние введения в конструкцию секции металлизированных обкладок на электрофизические характеристики (емкость, тангенс угла потерь, электрическое сопротивление изоляции, кратковременную и длительную электрическую прочность) ВИК с пленочным диэлектриком.

АНАЛИЗ РАСЧЕТНЫХ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИК

Сравнительный анализ пленочных диэлектрических систем секций конденсаторов с обкладками из металлической фольги (рис. 1) и с металлизированными обкладками (рис. 2) показывает, что в пленочной диэлектрической системе секции с металлизированными обкладками на одну прослойку жидкого диэлектрика между плёнками и обкладками меньше, чем в диэлектрике с фольговыми обкладками. Проанализируем, к чему это приводит.

С учетом прослоек пропитывающей жидкости между слоями пленки фактическая толщина диэлектрика d при применении фольговых обкладок определяется по формуле [8]:

© Гунько В.И., Дмитришин А.Я., Онищенко Л.И., Топоров С.О., Электронная обработка материалов, 2013, **49**(2), 94–101.

$$d = \frac{d_н}{K_з}, \quad (1)$$

где $d_н$ – номинальная толщина диэлектрика, мкм; $K_з$ – коэффициент запрессовки диэлектрика.

Суммарная толщина прослоек жидкости в диэлектрике

$$d_ж = d – d_н. \quad (2)$$

Толщина одной прослойки жидкости

$$d_{ж1} = \frac{d_ж}{n}, \quad (3)$$

где n – число прослоек жидкости в диэлектрике.

Таким образом, фактическая толщина диэлектрика с металлизированными обкладками d' будет уменьшена:

$$d' = d - d_{ж1}. \quad (4)$$

Уменьшение фактической толщины диэлектрика при неизменных номинальной толщине диэлектрика и толщине слоя жидкого диэлектрика приводит к увеличению коэффициента запрессовки $K'_з$ при металлизированных обкладках:

$$K'_з = \frac{d_н}{d'} = \frac{d_н}{d - d_ж}. \quad (5)$$

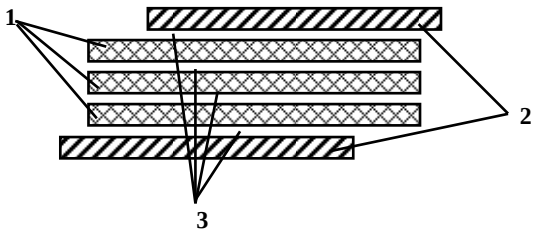


Рис. 1. Пленочная диэлектрическая система секции конденсатора с обкладками из металлической фольги. *1* – полимерная пленка; *2* – фольговая обкладка; *3* – слой жидкого диэлектрика.

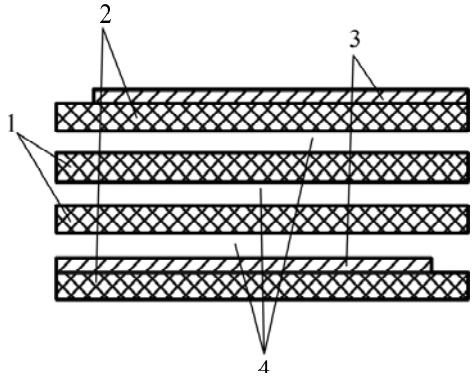


Рис. 2. Пленочная диэлектрическая система секции конденсатора с металлизированными обкладками. *1* – полимерная пленка; *2* – полимерная пленка со слоем металлизации; *3, 4* – слой жидкого диэлектрика.

В настоящее время в ИИПТ НАН Украины при создании высоковольтных импульсных конденсаторов на основе плёночных диэлектрических систем для обеспечения качественной пропитки выбран коэффициент запрессовки, равный 0,83. На основе указанных формул для применяемых в конструкциях создаваемых конденсаторов плёночных структур получено, что коэффициент запрессовки в случае металлизированных обкладок будет равен 0,87. По формулам, приведенным в [8], можно вычислить значения эквивалентной относительной диэлектрической проницаемости $\varepsilon_{экв}$ и эквивалентного тангенса угла потерь $\mathrm{tg}\delta_{экв}$ диэлектрических систем с фольговыми и металлизированными обкладками с коэффициентами запрессовки 0,83 и 0,87 соответственно.

Значения эквивалентной относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь определялись по формулам:

$$\varepsilon_{экв} = \frac{d}{\frac{d_{н1}}{\varepsilon_1} + \frac{d_{н2}}{\varepsilon_2} + \frac{d_ж}{\varepsilon_ж}}, \quad (6)$$

где $d_{н1}$, $d_{н2}$ – суммарная толщина первой и второй полимерных пленок соответственно, мкм; ε_1, ε_2 – относительная диэлектрическая проницаемость первой и второй полимерных пленок соответственно; $\varepsilon_ж$ – относительная диэлектрическая проницаемость пропитывающего диэлектрика;

$$\mathrm{tg}\delta_{экв} = \frac{x \cdot \varepsilon_{экв}}{\varepsilon_1} \cdot \mathrm{tg}\delta_1 + \frac{(1-x) \cdot \varepsilon_{экв}}{\varepsilon_2} \cdot \mathrm{tg}\delta_2 + \frac{(1-K_з) \cdot \varepsilon_{экв}}{\varepsilon_ж} \cdot \mathrm{tg}\delta_ж, \quad (7)$$

где $\mathrm{tg}\delta_1$, $\mathrm{tg}\delta_2$ – тангенс угла потерь первой и второй полимерных пленок соответственно; $\mathrm{tg}\delta_ж$ – тангенс угла потерь пропитывающего диэлектрика; x – относительное содержание одного типа пленки в твердом диэлектрике,

$$x = \frac{d_{н1}}{d_н}. \quad (8)$$

Формулы (6) и (7) приведены для диэлектрика с фольговыми обкладками, для диэлектрика с металлизированными обкладками в формуле (6) d заменяется на d', $d_ж$ – на $d'_ж = d_ж – d_{ж1}$, а в формуле (7) $K_з$ – на $K'_з$ соответственно.

Результаты расчета по оценке влияния введенных металлизированных обкладок на электрофизические параметры диэлектрических систем ВИК, создаваемых ИИПТ, приведены в табл. 1.

При анализе данных, приведенных в таблице, видно, что при введении металлизированных об-

Таблица 1. Результаты расчета по оценке влияния введенных металлизированных обкладок на электрофизические параметры плёночных диэлектрических систем

Тип диэлектрика	$d_н$, мкм	Пропитка	Фольговые обкладки ($K_з$ = 0,83)		Металлизированные обкладки ($K'_з$ = 0,87)		$\Delta\varepsilon_{экв}$, %	$\Delta tg\delta_{экв}$, %
			$\varepsilon_{экв}$	tgδ	$\varepsilon'_{экв}$	tg′δ		
$П_1 12 П_2 6 П_1 12$	30	Т-1500	2,320	$9{,}369\cdot10^{-4}$	2,327	$9{,}28\cdot10^{-4}$	+0,3	-0,95
$П_1 12 П_2 10 П_1 12$	34		2,382	$1{,}291\cdot10^{-3}$	2,391	$1{,}284\cdot10^{-3}$	+0,38	-0,54
$П_1 12 П_2 15 П_1 12$	39		2,444	$1{,}652\cdot10^{-3}$	2,457	$1{,}649\cdot10^{-3}$	+0,53	-0,5
$П_1 12 П_2 6 П_1 12$	30	ПМС-20	2,386	$9{,}567\cdot10^{-4}$	2,377	$9{,}43\cdot10^{-4}$	-0,38	-1,43
$П_1 12 П_2 10 П_1 12$	34		2,451	$1{,}322\cdot10^{-3}$	2,444	$1{,}308\cdot10^{-3}$	-0,29	-1,06
$П_1 12 П_1 12 П_1 12$	36		2,259	$2{,}41\cdot10^{-4}$	2,245	$2{,}3\cdot10^{-4}$	-0,6	-4,5
$П_1 12 П_2 15 П_1 12$	39		2,517	$1{,}695\cdot10^{-3}$	2,513	$1{,}681\cdot10^{-3}$	-0,16	-0,83

Примечание. $П_1$, $П_2$ – плёнка полипропиленовая, полиэтилентерефталатная соответственно; цифра, стоящая после обозначения плёнки, – толщина одного листа плёнки в мкм; Т-1500 – трансформаторное масло; ПМС-20 – полиметилсилоксановая жидкость; $\Delta\varepsilon_{экв}$ – относительное изменение эквивалентной относительной диэлектрической проницаемости; $\Delta tg\delta_{экв}$ – относительное изменение эквивалентного тангенса угла потерь.

кладок параметры и характеристики диэлектрических систем изменяются незначительно.

При определении достижимого уровня повышения энергоемкости ВИК на основе пленочных диэлектрических систем за счет введения в конструкцию секции металлизированных обкладок в качестве функции отклика бралась емкость секции – какой станет емкость конденсатора, если в его секцию, при неизменной толщине последней, вместо двух фольговых обкладок толщиной 9 мкм каждая ввести две металлизированные обкладки с толщиной слоя металлизации по 0,014 мкм. Толщина слоя металлизации выбрана по рекомендациям работ [4, 5].

Снижение толщины обкладки секции с 9 до 0,014 мкм, то есть уменьшение толщины почти в 640 раз, приводит к значительному увеличению её активного сопротивления, а соответственно и самого конденсатора в целом, что накладывает определённые ограничения на режим его работы.

В результате проведенных авторами исследований установлено, что для ВИК, эксплуатирующихся в нормальных климатических условиях, с рабочим напряжением до 10 кВ, в конструкции которых задействовано большое количество параллельно соединенных секций, при частоте следования зарядов-разрядов до 0,1 Гц возрастание активного сопротивления не приводит к значительному перегреву конденсатора.

Для конденсаторов с номинальным напряжением выше 10 кВ, когда необходимо применять в его конструкции большое число последовательных соединений групп параллельно соединенных секций, обеспечение теплового баланса конденсатора достигается только при работе с низкой частотой следования зарядов-разрядов.

При создании конденсаторов с частотой следования зарядов-разрядов свыше 0,1 Гц целесообразно применять диэлектрические системы одновременно с фольговыми и металлизированными обкладками (рис. 3).

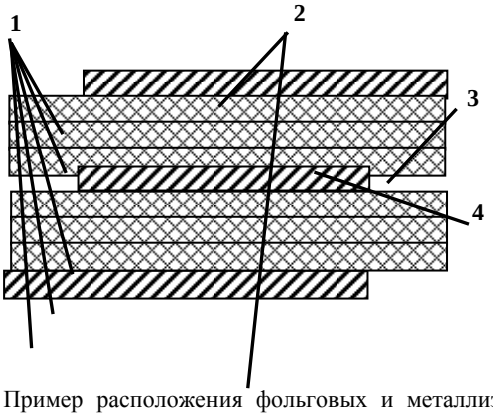


Рис. 3. Пример расположения фольговых и металлизированной обкладок в секциях конденсатора. *1* – полимерная пленка; *2* – фольговая обкладка; *3* – полимерная плёнка со слоем металлизации *4*.

При таком конструктивном решении металлизированная обкладка играет роль так называемой «плавающей» обкладки, позволяющей выравнивать электрическое поле на ее краю. В зависимости от количества «плавающих» обкладок, например одна или две, конденсаторная секция преобразуется в два или три последовательно соединенных емкостных элемента, и разрядный ток протекает только по фольговым обкладкам.

Результаты расчетов по определению запасаемой энергии высоковольтных импульсных

Таблица 2. Результаты расчета по определению запасаемой энергии ВИК, в конструкциях секций которых применены металлизированные обкладки, в сравнении с фольговыми

$d_н$, мкм	Тип диэлектрика	Пропитка	$U_н$, кВ	Тип обкладки							
				фольговые		металлизированные			фольговые и «плавающие»		
				$C_н$, мкФ	$W_к$, Дж	$C_н$, мкФ	$W_к$, Дж	ΔW, %	$C_н$, мкФ	$W_к$, Дж	ΔW, %
30	$П_1 12 П_2 6 П_1 12$	Т-1500	6	200,0	3600	280,0	5040,0	40,0	240,0	4320,0	20,0
34	$П_1 12 П_2 10 П_1 12$		25	5,0	1562	7,2	2263,0	44,8	6,1	1906,2	22,0
34	$П_1 12 П_2 10 П_1 12$	ПМС-20	30	1,2	540	1,6	733,5	35,8	1,4	630,0	16,7
39	$П_1 12 П_2 15 П_1 12$	Т-1500	50	1,0	1250	1,4	1736,5	38,9	1,22	1525,0	22,0
36	$П_1 12 П_1 12 П_1 12$	ПМС-20	50	0,5	625	0,7	850,0	36,0	0,59	737,5	18,0
36	$П_1 12 П_1 12 П_1 12$		100	0,1	500	0,14	745,0	40,0	0,12	600,0	20,0

Примечание. ΔW – относительное изменение запасаемой энергии конденсатора.

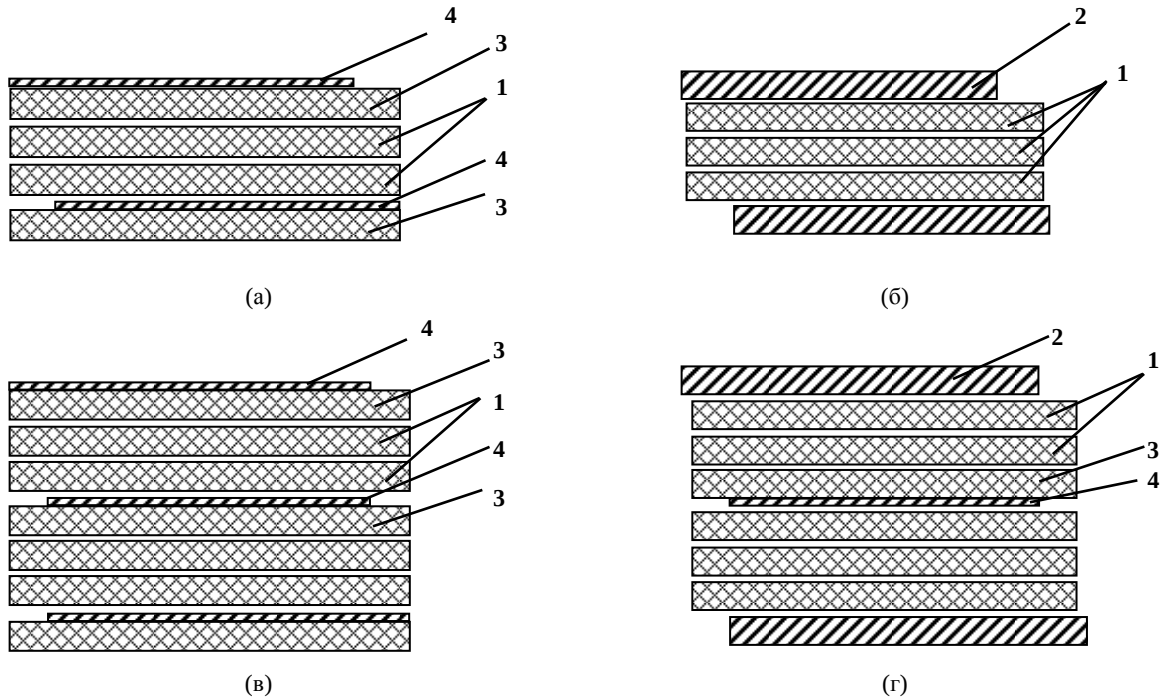


Рис. 4. Варианты расположения обкладок и слоев пленочного диэлектрика в макетах секций. *1* – полимерная пленка; *2* – фольговая обкладка; *3* – полипропиленовая пленка со слоем металлизации *4*.

конденсаторов, в конструкциях секций которых применены только металлизированные или одновременно фольговые и металлизированные обкладки, в сравнении с фольговыми, приведены в табл. 2.

При анализе данных таблицы видно, что применение в конструкции конденсаторов секций металлизированных обкладок приводит к повышению запасаемой энергии конденсатора в среднем на 40%, а с фольговой и «плавающей» металлизированной обкладками – в среднем на 20% по сравнению с конденсаторами на основе фольговых обкладок.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проверки полученных теоретических результатов проводились экспериментальные исс-

Таблица 3. Данные по измерению емкости, тангенса угла потерь и электрического сопротивления изоляции макетов секций с различными вариантами расположения обкладок

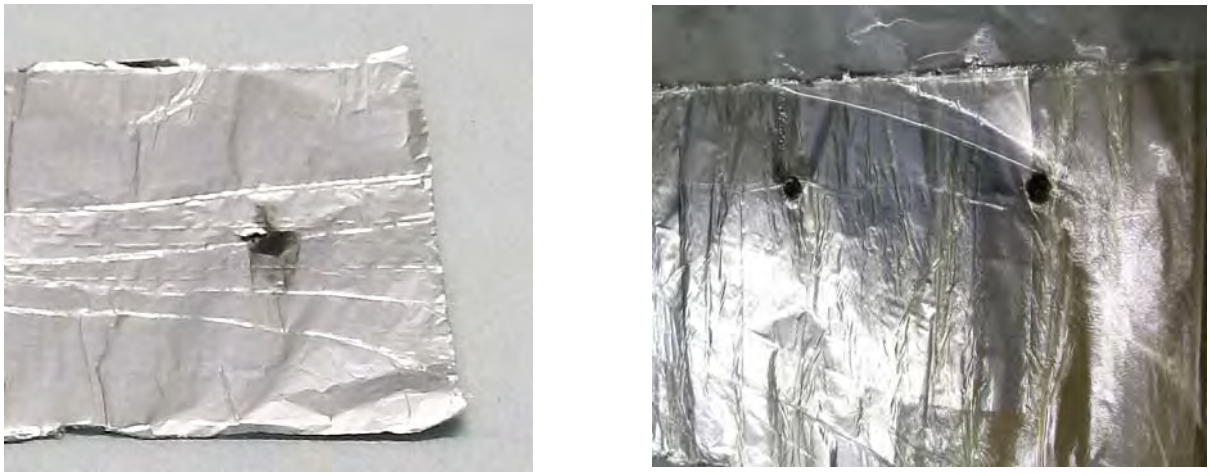
Вариант	Тип обкладок	$C_с$, мкФ	$C_{ср}$, мкФ	$R_{из}$, МОм	tg δ	tg $\delta_{ср}$
1	Металлизированные (рис. 4а)	1,836	1,809	25000	0,0025	0,00256
		1,810			0,0026	
		1,800			0,0027	
		1,767			0,0025	
		1,830			0,0025	
2	Фольговые (рис. 4б)	1,292	1,290	12500	0,0027	0,00264
		1,271			0,0026	
		1,319			0,0026	
		1,327			0,0027	
		1,241			0,0026	
3	Металлизированные с «плавающей» металлизированной (рис. 4в)	0,448	0,479	25000	0,0026	0,00258
		0,531			0,0025	
		0,461			0,0026	
		0,504			0,0025	
		0,452			0,0027	
4	Фольговые с «плавающей» металлизированной (рис. 4г)	0,391	0,395	12500	0,0026	0,00268
		0,385			0,0028	
		0,411			0,0026	
		0,383			0,0026	
		0,404			0,0028	

Таблица 4. Данные по определению кратковременной электрической прочности макетов секций с различными модификациями обкладок

Вариант	Тип обкладок	Номер секции	$d_н$, мкм	$U_{пр}$, кВ	$U_{пр.\ ср.}$, кВ	$E_{пр.\ ср.}$, кВ/мм
1	Металлизированные (рис. 4а)	1	34	от 12,5 до 14,0	13,2	388,2
		2		от 12,0 до 14,5		
		3		от 12,0 до 14,0		
2	Фольговые (рис. 4б)	1		14,0	13,67	402,1
		2		13,5		
		3		13,5		
3	Металлизированные с «плавающей» металлизированной (рис. 4в)	1		от 20,0 до 24,0	21,75	319,8
		2		от 20,0 до 22,0		
		3		от 20,0 до 24,0		
4	Фольговые с «плавающей» металлизированной (рис. 4г)	1		22,5	22,67	333,4



Рис. 5. Характерные места пробоя секций с металлизированными обкладками.



(а) (б)

Рис. 6. Характерные места пробоя секций с фольговыми обкладками: (а) – место пробоя по толщине диэлектрика; (б) – место пробоя на краю обкладки.

Таблица 5. Данные ресурсных испытаний макетов секций с разными модификациями обкладок

Вариант	Тип обкладок	Номер секции	$d_н$, мкм	$E_р$, кВ/мм	Наработка, зарядов-разрядов
1	Металлизированные (рис. 4а)	1	34	176,5	$0{,}9\cdot10^3$
		2			$1\cdot10^3$
		3			$1\cdot10^3$
		4			$1{,}1\cdot10^3$
		5			$1{,}2\cdot10^3$
2	Фольговые (рис. 4б)	1			$1{,}08\cdot10^5$
		2			$1{,}08\cdot10^5$
		3			$3{,}24\cdot10^5$
		4			$4{,}73\cdot10^5$
		5			$5{,}04\cdot10^5$
3	Металлизированные с «плавающей» металлизированной (рис. 4в)	1		147,1	$0{,}8\cdot10^3$
		2			$0{,}9\cdot10^3$
		3			$0{,}9\cdot10^3$
		4			$1\cdot10^3$
		5			$1{,}1\cdot10^3$
4	Фольговые с «плавающей» металлизированной (рис. 4г)	1			$5{,}58\cdot10^5$
		2			$6{,}28\cdot10^5$
		3			$7{,}2\cdot10^5$
		4			$8{,}43\cdot10^5$
		5			$9{,}36\cdot10^5$

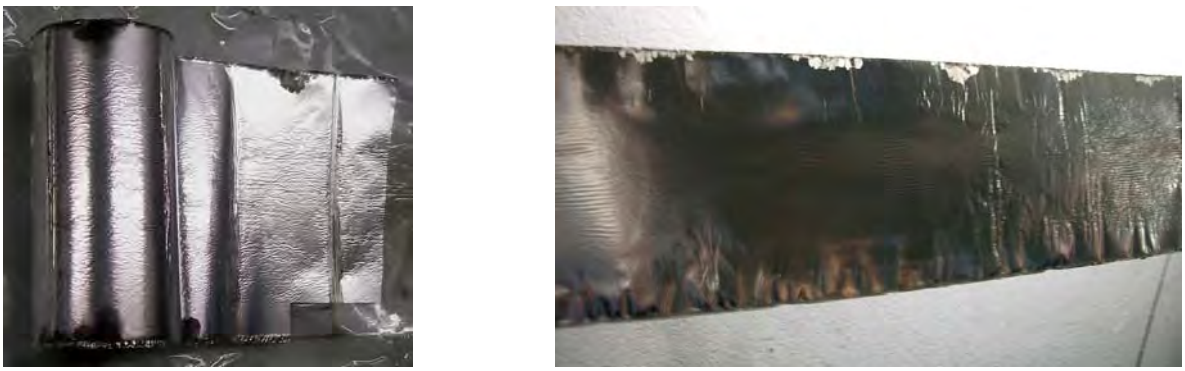


Рис. 7. Деметаллизация в месте контакта металлизированной обкладки со слоем шоопировки.



Рис. 8. Электрический пробой диэлектрика на краю обкладок секций.

ледования макетов секций с разными модификациями обкладок. При этом были выбраны четыре варианта расположения обкладок и слоев пленочного диэлектрика (рис. 4), то есть для одной и той же диэлектрической системы брались как металлизированные (рис. 4а и в), так и фольговые обкладки (рис. 4б и г). Эти варианты исполнения обкладок секций конденсатора исследовались на макетах цилиндрических секций, которые наматывались одинаковым диаметром.

Данные по измерению емкости, тангенса угла потерь и электрического сопротивления изоляции макетов секций с различными вариантами расположения обкладок приведены в табл. 3.

Из таблицы видно, что у макетов секций, в конструкциях которых применены только металлизированные обкладки (вариант *1*), по сравнению с макетами секций с фольговыми обкладками (вариант *2*) емкость выше на 40,2 %, а тангенс угла потерь ниже на 3,1%. В случае основной и «плавающей» металлизированных обкладок (вариант *3*) по сравнению с применением основной фольговой и «плавающей» металлизированной обкладок (вариант *4*) емкость макетов секций выше на 21,3%, а тангенс угла потерь ниже на 3,8%. Электрическое сопротивление изоляции макетов секций с основными металлизированными обкладками выше в два раза, чем у макетов секций с основными фольговыми обкладками. Полученные величины вполне согласуются с данными проведенных теоретических расчётов.

При исследованиях по определению кратковременной электрической прочности макетов секций с металлизированными обкладками (варианты *1* и *3*) был зафиксирован эффект самовосстановления электрической прочности диэлектрика макетов секций. Эти макеты секций доводились до электрического пробоя 20 раз, после чего испытания прекращались, так как секции по-прежнему обеспечивали высокую электрическую прочность.

Причем пробои начинались с меньших величин электрической прочности, приведенных в табл. 4, и к концу проведения испытаний секции пробивались при более высоких значениях электрического напряжения. Данный факт позволяет сделать вывод, что вначале отбраковывались слабые места пленочного диэлектрика.

Кратковременная электрическая прочность макетов секций с фольговыми обкладками несколько выше электрической прочности макетов секций с металлизированными обкладками, так как при нанесении слоя металлизации на полимерную пленку снижается электрическая прочность самой пленки.

Дефектация макетов секций с металлизированными обкладками показала множественные места пробоев диэлектрика с деметаллизацией слоя обкладки вокруг места пробоя. При дефектации макетов секций выявлены места пробоя диэлектрика как на краю обкладки, так и по толщине диэлектрика на середине ширины обкладки, и не один из этих пробоев не был преобладающим.

Характерные места пробоя секций с металлизированными обкладками, где видна деметаллизация слоя обкладки вокруг места пробоя, приведены на рис. 5. Наиболее характерные места пробоев секций с фольговыми обкладками приведены на рис. 6.

Данные экспериментальных исследований по определению длительной электрической прочности (ресурсных испытаний) макетов секций с разными модификациями обкладок приведены в табл. 5.

При анализе результатов ресурсных испытаний видно, что все макеты секций с металлизированными обкладками (вариант *1*) вышли из строя, имея малую наработку – порядка 10^3 зарядов-разрядов. Проведенная дефектация показала, что причиной выхода макетов секций из строя явилась деметаллизация в месте контакта металлизированной обкладки со слоем шоопировки, причем электрическая прочность диэлектрика секций не была нарушена. Деметаллизация в месте контакта металлизированной обкладки со слоем шоопировки показана на рис. 7.

Макеты секций с фольговыми обкладками показали наработку от $1{,}08 \cdot 10^5$ до $5{,}04 \cdot 10^5$ зарядов-разрядов (вариант *2*) и от $5{,}58 \cdot 10^5$ до

$9{,}36 \cdot 10^5$ зарядов-разрядов (вариант *4*). Проведенная дефектация макетов секций показала, что характерной причиной выхода секций из строя являлся электрический пробой диэлектрика на краю обкладки секции, то есть в местах наибольшей неоднородности электрического поля в секции.

Электрический пробой диэлектрика на краю обкладок секций показан на рис. 8.

ВЫВОДЫ

По результатам проведенных исследований можно сделать выводы, что применение металлизированных обкладок в ВИК приводит к:

– увеличению емкости секций в среднем на 20% при применении «плавающей» обкладки и в среднем на 40% – при применении только металлизированных обкладок, что соответственно увеличивает запасаемую энергию ВИК при неизменных габаритах;

– незначительному изменению тангенса угла потерь;

– увеличению электрического сопротивления изоляции.

Эффект самовосстановления электрической прочности рабочего диэлектрика секций с металлизированными обкладками повышает надёжность конденсатора в целом.

Применение наряду с фольговыми обкладками «плавающей» металлизированной приводит к повышению ресурса ВИК.

Для исключения деметаллизации металлизированной обкладки в месте контактного перехода обкладка–контактная поверхность площадь контактной поверхности должна быть максимально возможной – такой, чтобы при этом не ухудшались условия пропитки диэлектрика секции, а край металлизированной обкладки в месте контакта должен быть выполнен с утолщением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гребенников И.Ю., Гунько В.И., Дмитришин А.Я., Михайлов И.Г., Онищенко Л.И., Фещук Т.А. Исследование зависимости ресурса высоковольтных импульсных конденсаторов с плёночным диэлектриком от режимов эксплуатации. *Электротехника*. 2006, **6**, 36–41.
2. Ренне В.Т. *Электрические конденсаторы*. Л.: Энергия, 1969. 592 с.
3. Ренне В.Т. *Плёночные конденсаторы с органическим синтетическим диэлектриком*. Л.: Энергия, 1971. 240 с.
4. Кучинский Г.С., Назаров Н.И. *Силовые электрические конденсаторы*. М.: Энергоатомиздат, 1992. 320 с.
5. Северюхин Д.Я., Коняхин В.Е., Кирьянов В.В. Токонесущая способность металлизированной обкладки импульсных энергоёмких конденсаторов. *Электротехника*. 1991, **7**, 7–10.
6. Емельянов О.А. Локальное разрушение тонких металлических плёнок при электродинамических нагрузках. *Журнал технической физики*. 2008, **78**(7), 48–55.
7. *General Atomics Energy Products*. *High voltage capacitors*. http://www.gaep.com/capacitors.html
8. Ренне В.Т., Багалей Ю.В., Фридберг И.Д. *Расчёт и конструирование конденсаторов.* К.: Техника. 1966. 328 с.

Поступила 09.04.12

Summary

The results of theoretical calculations and experimental researches of changing the electrophysical characteristics (capacity, loss tangent, resistance of insulation, short-time and long-time dielectric strength) in high-voltage pulse capacitors with a film dielectric applying different constructions of capacitor's plates, are given.