

# 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@iipr.com.ua](mailto:dphc@iipr.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-пленочным 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 напряженности 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. Образующаяся 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 пленками 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]:

$$d = \frac{d_n}{K_3}, \quad (1)$$

где  $d_n$  – номинальная толщина диэлектрика, мкм;  $K_3$  – коэффициент запрессовки диэлектрика.

Суммарная толщина прослоек жидкости в диэлектрике

$$d_{ж} = d - d_n. \quad (2)$$

Толщина одной прослойки жидкости

$$d_{ж1} = \frac{d_{ж}}{n}, \quad (3)$$

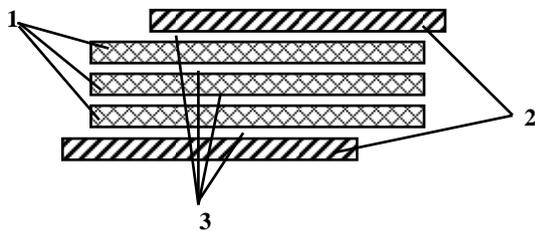
где  $n$  – число прослоек жидкости в диэлектрике.

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

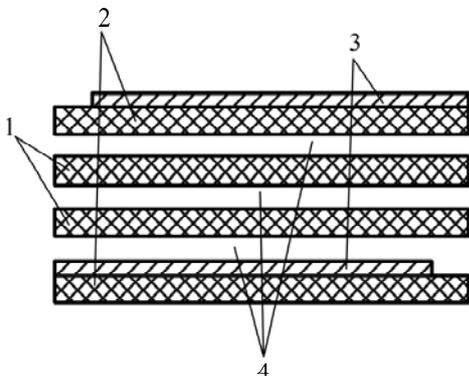
$$d' = d - d_{ж1}. \quad (4)$$

Уменьшение фактической толщины диэлектрика при неизменных номинальной толщине диэлектрика и толщине слоя жидкого диэлектрика приводит к увеличению коэффициента запрессовки  $K'_3$  при металлизированных обкладках:

$$K'_3 = \frac{d_n}{d'} = \frac{d_n}{d - d_{ж1}}. \quad (5)$$



**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  $\epsilon_{эКВ}$  и эквивалентного тангенса угла потерь  $\text{tg}\delta_{эКВ}$  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:

$$\epsilon_{эКВ} = \frac{d}{\frac{d_{н1}}{\epsilon_1} + \frac{d_{н2}}{\epsilon_2} + \frac{d_{ж}}{\epsilon_{ж}}}, \quad (6)$$

где  $d_{н1}$ ,  $d_{н2}$  – суммарная толщина первой и второй полимерных пленок соответственно, мкм;  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$  – относительная диэлектрическая проницаемость первой и второй полимерных пленок соответственно;  $\epsilon_{ж}$  – относительная диэлектрическая проницаемость пропитывающего диэлектрика;

$$\text{tg}\delta_{эКВ} = \frac{x \cdot \epsilon_{эКВ} \cdot \text{tg}\delta_1}{\epsilon_1} + \frac{(1-x) \cdot \epsilon_{эКВ} \cdot \text{tg}\delta_2}{\epsilon_2} + \frac{(1-K_3) \cdot \epsilon_{эКВ} \cdot \text{tg}\delta_{ж}}{\epsilon_{ж}}, \quad (7)$$

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

$$x = \frac{d_{н1}}{d_n}. \quad (8)$$

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)  $K_3$  – на  $K'_3$  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	$d_n$ , мкм	Пропитка	Фольговые обкладки ( $K_3 = 0,83$ )		Металлизированные обкладки ( $K'_3 = 0,87$ )		$\Delta\epsilon_{\text{экв}}$ , %	$\Delta\text{tg}\delta_{\text{экв}}$ , %
			$\epsilon_{\text{экв}}$	$\text{tg}\delta$	$\epsilon'_{\text{экв}}$	$\text{tg}'\delta$		
П <sub>1</sub> 12П <sub>2</sub> 6П <sub>1</sub> 12	30	Т-1500	2,320	$9,369 \cdot 10^{-4}$	2,327	$9,28 \cdot 10^{-4}$	+0,3	-0,95
П <sub>1</sub> 12П <sub>2</sub> 10П <sub>1</sub> 12	34		2,382	$1,291 \cdot 10^{-3}$	2,391	$1,284 \cdot 10^{-3}$	+0,38	-0,54
П <sub>1</sub> 12П <sub>2</sub> 15П <sub>1</sub> 12	39		2,444	$1,652 \cdot 10^{-3}$	2,457	$1,649 \cdot 10^{-3}$	+0,53	-0,5
П <sub>1</sub> 12П <sub>2</sub> 6П <sub>1</sub> 12	30	ПМС-20	2,386	$9,567 \cdot 10^{-4}$	2,377	$9,43 \cdot 10^{-4}$	-0,38	-1,43
П <sub>1</sub> 12П <sub>2</sub> 10П <sub>1</sub> 12	34		2,451	$1,322 \cdot 10^{-3}$	2,444	$1,308 \cdot 10^{-3}$	-0,29	-1,06
П <sub>1</sub> 12П <sub>1</sub> 12П <sub>1</sub> 12	36		2,259	$2,41 \cdot 10^{-4}$	2,245	$2,3 \cdot 10^{-4}$	-0,6	-4,5
П <sub>1</sub> 12П <sub>2</sub> 15П <sub>1</sub> 12	39		2,517	$1,695 \cdot 10^{-3}$	2,513	$1,681 \cdot 10^{-3}$	-0,16	-0,83

Примечание. П<sub>1</sub>, П<sub>2</sub> – плёнка полипропиленовая, полиэтилентерефталатная соответственно; цифра, стоящая после обозначения плёнки, – толщина одного листа плёнки в мкм; Т-1500 – трансформаторное масло; ПМС-20 – полиметилсилоксановая жидкость;  $\Delta\epsilon_{\text{экв}}$  – относительное изменение эквивалентной относительной диэлектрической проницаемости;  $\Delta\text{tg}\delta_{\text{экв}}$  – относительное изменение эквивалентного тангенса угла потерь.

кладок параметры и характеристики диэлектрических систем изменяются незначительно.

При определении достижимого уровня повышения энергоемкости ВИК на основе плёночных 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].

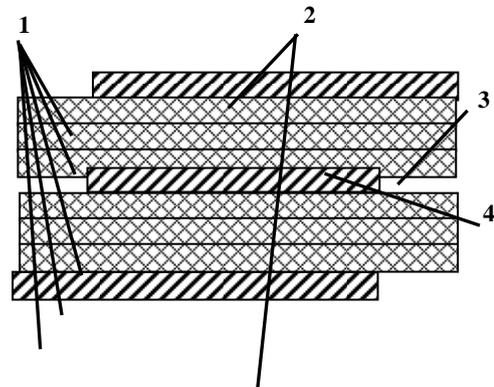
Снижение толщины обкладки секции с 9 до 0,014 мкм, то есть уменьшение толщины почти в 640 раз, приводит к значительному увеличению её активного сопротивления, а соответственно и самого конденсатора в целом, что накладывает определённые ограничения на режим его работы.

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 конден-

сатора 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 металлизированных обкладок в секциях конденсатора. 1 – полимерная пленка; 2 – фольговая обкладка; 3 – полимерная плёнка со слоем металлизации 4.

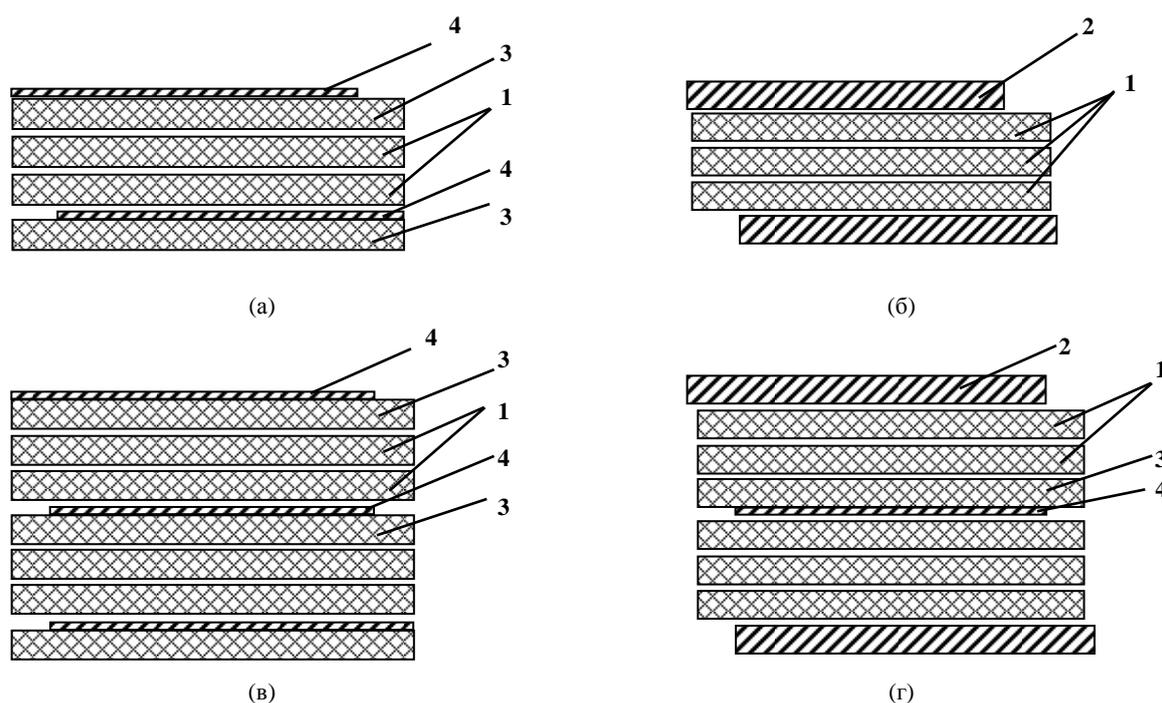
При таком конструктивном решении металлизированная обкладка играет роль так называемой «плавающей» обкладки, позволяющей выравнивать электрическое поле на ее краю. В зависимости от количества «плавающих» обкладок, например одна или две, конденсаторная секция преобразуется в два или три последовательно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

Результаты расчетов по определению запасемой энергии высоковольтных импульсных

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

$d_n$ , мкм	Тип диэлектрика	Пропитка	$U_n$ , кВ	Тип обкладки							
				фольговые		металлизированные			фольговые и «плавающие»		
				$C_n$ , мкФ	$W_k$ , Дж	$C_n$ , мкФ	$W_k$ , Дж	$\Delta W$ , %	$C_n$ , мкФ	$W_k$ , Дж	$\Delta W$ , %
30	П <sub>1</sub> 12П <sub>2</sub> 6П <sub>1</sub> 12	Т-1500	6	200,0	3600	280,0	5040,0	40,0	240,0	4320,0	20,0
34	П <sub>1</sub> 12П <sub>2</sub> 10П <sub>1</sub> 12		25	5,0	1562	7,2	2263,0	44,8	6,1	1906,2	22,0
34	П <sub>1</sub> 12П <sub>2</sub> 10П <sub>1</sub> 12	ПМС-20	30	1,2	540	1,6	733,5	35,8	1,4	630,0	16,7
39	П <sub>1</sub> 12П <sub>2</sub> 15П <sub>1</sub> 12	Т-1500	50	1,0	1250	1,4	1736,5	38,9	1,22	1525,0	22,0
36	П <sub>1</sub> 12П <sub>1</sub> 12П <sub>1</sub> 12	ПМС-20	50	0,5	625	0,7	850,0	36,0	0,59	737,5	18,0
36	П <sub>1</sub> 12П <sub>1</sub> 12П <sub>1</sub> 12		100	0,1	500	0,14	745,0	40,0	0,12	600,0	20,0

Примечание.  $\Delta W$  – 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 ис-

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

Вариант	Тип обкладок	$C_c$ , мкФ	$C_{cp}$ , мкФ	$R_{из}$ , МОм	$tg \delta$	$tg \delta_{cp}$
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	$d_n$ , 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.



(a)



(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	$d_n$ , мкм	$E_p$ , кВ/мм	Наработка, зарядов-разрядов
1	Металлизированные (рис. 4а)	1	34	176,5	$0,9 \cdot 10^3$
		2			$1 \cdot 10^3$
		3			$1 \cdot 10^3$
		4			$1,1 \cdot 10^3$
		5			$1,2 \cdot 10^3$
2	Фольговые (рис. 4б)	1			$1,08 \cdot 10^5$
		2			$1,08 \cdot 10^5$
		3			$3,24 \cdot 10^5$
		4			$4,73 \cdot 10^5$
		5			$5,04 \cdot 10^5$
3	Металлизированные с «плавающей» металлизированной (рис. 4в)	1		147,1	$0,8 \cdot 10^3$
		2			$0,9 \cdot 10^3$
		3			$0,9 \cdot 10^3$
		4			$1 \cdot 10^3$
		5			$1,1 \cdot 10^3$
4	Фольговые с «плавающей» металлизированной (рис. 4г)	1	$5,58 \cdot 10^5$		
		2	$6,28 \cdot 10^5$		
		3	$7,2 \cdot 10^5$		
		4	$8,43 \cdot 10^5$		
		5	$9,36 \cdot 10^5$		



**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 электрической 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 расчетов.

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 пробой начинались с меньших величин электрической прочности, приведенных в табл. 4, и к концу проведения испытаний секции пробивались при более высоких значениях элект-

рического 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 шопопировки, причем электрическая прочность диэлектрика секций не была нарушена. Деметаллизация в месте контакта металлизированной обкладки со слоем шопопировки 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., Багалея 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.