

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

УДК 620.17:658.56

Е. А. Беляева, аспирант

В. В. Муравьев, доктор технических наук, профессор

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННОЙ СИНУСОИДАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ОКСИДИРОВАНИИ ОБЪЕМНО-ПОРИСТЫХ АНОДОВ ТАНТАЛОВЫХ КОНДЕНСАТОРОВ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

С помощью экспериментальных методов проведены исследования влияния переменной синусоидальной составляющей пульсирующего напряжения при оксидировании объемно-пористых анодов танталовых конденсаторов на качество анодов, электрические параметры и состояние секций танталового конденсатора постоянной емкости.

Ключевые слова: танталовые конденсаторы; объемно-пористый анод; оксидирование; пульсирующее напряжение.

Введение

Танталовые конденсаторы в основном предназначены для работы в цепях постоянного и пульсирующего токов и в импульсном режиме [1–4]. При работе в цепях пульсирующих токов основное разрушающее влияние на анод танталовых конденсаторов в процессе эксплуатации оказывает переменная синусоидальная составляющая пульсирующего напряжения.

При использовании конденсаторов в фильтрах вторичных источников питания, а также в импульсных схемах переменная составляющая напряжения на конденсаторе в основном имеет импульсный характер, причем форма импульсного напряжения может быть разнообразной. В ряде случаев переменная составляющая является наложением нескольких импульсных последовательностей с разными частотами повторения импульсов. В подобных режимах могут работать все без исключения конденсаторы, необходимо лишь правильно оценить допустимость для данного типа конденсатора конкретного электрического режима.

При этом критерием допустимости электрического нагружения переменным напряжением является перегрев корпуса конденсатора относительно температуры окружающей среды. Допустимая величина перегрева корпуса конденсаторов при наложении на танталовый конденсатор переменной синусоидальной составляющей напряжения должна составлять не более 5 °С [5].

Целью данной работы является экспериментальное установление закономерностей влияния переменной синусоидальной составляющей пульсирующего напряжения на стадии изготовления анодов конденсаторов на конечное состояние, качество и эксплуатационные характеристики готового танталового конденсатора постоянной емкости и увеличения ресурса-наработки.

Используемые подходы. Исходные требования

В соответствии с ОСТ 11 0518–87 допустимая амплитуда переменного синусоидального напряже-

ния для конденсаторов (переменной составляющей пульсирующего напряжения), ограничиваемая допустимым перегревом, определяется по формуле [6]:

$$U_f = |z| \cdot \sqrt{2P_n / r_3} = \sqrt{2P_n (1 + \operatorname{tg}^2 \delta) / \omega C \cdot \operatorname{tg} \delta}, \quad (1)$$

где r_3 – эквивалентное последовательное сопротивление конденсатора; ω – круговая частота; C – емкость конденсатора; $\operatorname{tg} \delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь конденсатора, определяемый по формуле [7]:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{r_3}{\left(2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C}\right)}, \quad (2)$$

$|z|$ – модуль полного сопротивления конденсатора, определяемый по формуле [1]:

$$|z| = \sqrt{r_3^2 + \left(2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C}\right)^2}, \quad (3)$$

где f – частота; L – индуктивность; P_n – величина допустимой мощности рассеяния определяется по формуле [8]:

$$P_n = (t_{\text{ц.ном}} - t_0) / R_{\text{т.с}}, \quad (4)$$

где $t_{\text{ц.ном}}$ – максимальная температура в центре секции конденсатора, при которой конденсатор может эксплуатироваться без снижения допустимого напряжения или наработки, принятой в ТУ для данного типа конденсатора и выше которой не допускается эксплуатация при $\Delta t_{\text{к.с}}$ (перегрев корпуса конденсатора относительно окружающей среды) и более 5 °С; t_0 – температура в определенной (заранее заданной) точке среды, окружающей конденсатор; $R_{\text{т.с}}$ – полное тепловое сопротивление – отношение разности температур центра секции и окружающей конденсатор среды к мощности, рассеиваемой в конденсаторе стационарном режиме [9].

Второй частью формулы (1) можно пользоваться на частотах, не превышающих $0,1 f_p$, где f_p – резонансная частота конденсатора – частота, при которой полное сопротивление конденсатора минимально и является чисто активным [10, с. 10], определяется по формуле:

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \quad (5)$$

Методика эксперимента и результаты

Объектом исследования являются танталовые оксидно-полупроводниковые конденсаторы чип исполнения двух номиналов, в том числе:

партия № 1-1 – номинал $6,3 \text{ В} \times 680 \text{ мкФ}$, оксидирование анодов с наложением переменной синусоидальной составляющей;

партия № 1-2 – номинал $6,3 \text{ В} \times 680 \text{ мкФ}$, оксидирование анодов по стандартной схеме;

партия № 2-1 – номинал $10 \text{ В} \times 470 \text{ мкФ}$, оксидирование анодов с наложением переменной синусоидальной составляющей;

партия № 2-2 – номинал $10 \text{ В} \times 470 \text{ мкФ}$, оксидирование анодов по стандартной схеме.

Объемно-пористые тела анодов партий конденсаторов изготовлены согласно действующей технологической документации, в том числе выполнено приготовление танталового порошка, прессование высокопористых тел анода и последующее припекание частиц прессованного тела с целью создания высокопрочной таблетки.

Произведено 2 цикла оксидирования анодов конденсаторов в лабораторных условиях в ванне из непрозрачного кварца по двум вариантам:

– оксидирование в формовочном электролите с наложением постоянной составляющей и переменной синусоидальной составляющей пульсирующего напряжения – с использованием источника питания переменного тока (партии № 1-1, 2-1);

– стандартное оксидирование в формовочном электролите по режимам, приведенным в НТД, с использованием источника питания постоянного тока (партии № 1-2, 2-2).

Тип и температура формовочного электролита, время оксидирования анодов, формовочный ток установлены с учетом требований НТД.

Напряжение оксидирования (формовки) для всех вариантов приведено в табл. 1.

Величина допустимой амплитуды переменного синусоидального напряжения (переменной составляющей пульсирующего напряжения) для оксидирования анодов установлена с учетом ограничения допустимого перегрева конденсаторов выбранного типа.

Между двумя циклами оксидирования проведен отжиг с целью исключения вредных примесей и «залечивания» дефектов оксидного слоя.

Оксидирование анодов с наложением переменной синусоидальной составляющей пульсирующего напряжения не оказало разрушающего воздействия на аноды чип-конденсаторов.

Произведены замеры электрических параметров и пробивного напряжения порошка каждого варианта анодов конденсаторов.

Таблица 1. Напряжение оксидирования $U_{\text{окс}}$ анодов

№ варианта	Цикл оксидирования	Время оксидирования	$U_{\text{окс}} = U_{\text{окс}} + U_{\text{окс-}}$, В		
			Суммарное значение $U_{\text{окс}}$	Постоянная составляющая $U_{\text{окс}}$	Переменная составляющая $U_{\text{окс-}}$
1-1	1	4	22	22	–
		4	22	17,6	4,4
	2	1	22	22	–
		1	22	17,6	4,4
1-2	1	4	22	22	–
	2	1	22	22	–
2-1	1	3	33	33	–
		1	33	26,4	6,6
	2	1	33	33	–
		1	33	26,4	6,6
2-2	1	4	33	33	–
	2	2	33	33	–

Электрические параметры анодов после 1-го и 2-го цикла оксидирования приведены в табл. 2, 3.

Таблица 2. Электрические параметры анодов после 1 цикла оксидирования

Вариант (номинал)	№ измерения	C, мкФ	tgδ, %	$I_{\text{ут}}$, мкА
1-1 (6,3 В × 680 мкФ)	1	745	9	37,5
	2	760	10	38
	3	750	8	37
	4	755	11	39
	Ср. значение	752,5	9,5	37,8
	Норма по НТД	680±30 %	Не более 50	Не более 50
1-2 (6,3 В × 680 мкФ)	1	750	15-16	37
	2	760	16	39
	3	750	14-16	37
	4	740	16	36,5
	Ср. значение	750,0	16,0	37,4
	Норма по НТД	680±30 %	Не более 50	Не более 50
2-1 (10 В × 470 мкФ)	1	455	10	22,5
	2	460	11	24
	3	460	10	24,1
	4	465	12	23,5
	Ср. значение	460,0	10,8	23,5
	Норма по НТД	470±30 %	Не более 90	Не более 50
2-2 (10 В × 470 мкФ)	1	450	14	23
	2	455	14	23,75
	3	450	30	23,25
	4	450	13	22,5
	Ср. значение	451,3	17,8	23,1
	Норма по НТД	470±30 %	Не более 90	Не более 50

Как видно из табл. 1, различие в емкости и токах утечки анодов, оксидированных с наложением переменной синусоидальной составляющей, и анодов, оксидированных по стандартной схеме (вариант 1-1 относительно варианта 1-2; вариант 2-1 относительно варианта 2-2) после 1-го цикла оксидирования незначительно; разница в емкости в пределах 0,33–1,8 %, разница в токах утечки в пределах 1–1,7 %, что находится в пределах допуска погрешности измерения прибора и метода измерения (2,5 %). Тангенс угла диэлектрических потерь анодов, оксидированных с наложением переменной синусоидальной составляющей, ниже по сравнению с оксидированными по стандартной схеме анодами: 68 % – для номинала $6,3 \text{ В} \times 680 \text{ мкФ}$, 65 % – для номинала $10 \text{ В} \times 470 \text{ мкФ}$.

Таблица 3. Электрические параметры анодов после 2-го цикла оксидирования

Вариант (номинал)	№ измерения	C, мкФ	tgδ, %	I _{ут} , мкА
1-1 (6,3 В × 680 мкФ)	1	750	38	10
	2	760	37,5	6
	3	760	39	8
	4	760	35	7
	Ср. значение	757,5	37,4	8
Норма по НТД	680±30 %	Не более 50	Не более 50	
1-2 (6,3 В × 680 мкФ)	1	760	40	10
	2	750	41	6
	3	750	41	8
	4	750	41	9
	Ср. значение	752,5	40,8	8
Норма по НТД	680±30 %	Не более 50	Не более 50	
2-1 (10 В × 470 мкФ)	1	470	22	5
	2	470	24	5
	3	475	22	4
	4	475	23,5	4
	Ср. значение	472,5	22,8	4,5
Норма по НТД	470±30 %	Не более 90	Не более 50	
2-2 (10 В × 470 мкФ)	1	465	25	10
	2	465	23	9
	3	462	22,5	8
	4	465	24	9
	Ср. значение	464,3	23,6	9
Норма по НТД	470±30 %	Не более 90	Не более 50	

Как видно из табл. 2, различие в емкости анодов, оксидированных с наложением переменной синусоидальной составляющей, и анодов, оксидированных по стандартной схеме (вариант 1-1 относительно варианта 1-2; вариант 2-1 относительно варианта 2-2) после 2-го цикла оксидирования не значительно и составляет 0,7 – 1,7 %, что находится в пределах допуска погрешности измерения прибора и метода измерения.

Тангенс угла диэлектрических потерь варианта анодов, оксидированных с наложением переменной синусоидальной составляющей, лучше по сравнению с анодами со стандартным способом оксидирования

для номинала 6,3 В × 680 мкФ на 9 %, для номинала 10 В × 470 мкФ – на 3,5 %.

Токи утечки анодов номинала 6,3 В × 680 мкФ обоих вариантов изготовления идентичны. Для номинала 10 В × 470 мкФ нестандартного варианта токи утечки в 2 раза ниже по сравнению со стандартным исполнением.

Определены напряжения пробоя порошка для всех вариантов анодов (см. табл. 4, рис. 1–4)

Таблица 4. Пробивные напряжения анодов

Вариант	Напряжение пробоя, U _{проб.} , В	График пробоя анода	Напряжение пробоя по данным тестирования партии порошка, U _{проб.} , В
1-1	107,6	Рис. 1	112
1-2	112,2	Рис. 2	
2-1	110,5	Рис. 3	
2-2	106,3	Рис. 4	

Закономерности увеличения напряжения пробоя анодов конденсаторов в зависимости от способа оксидирования не выявлено: напряжение пробоя для номинала конденсатора 6,3 В × 680 мкФ варианта оксидирования с наложением переменной синусоидальной составляющей (вариант 1-1) по сравнению со стандартным способом оксидирования (вариант 1-2) ниже на 4 %; для номинала 10 В × 470 мкФ, наоборот для тестируемого варианта (вариант 2-1) относительно стандартного (вариант 2-2) выше на 4 %.

В условиях серийного производства произведено дальнейшее изготовление секций конденсаторов согласно действующей НТД. Внешний вид секций после нанесения полупроводникового слоя соответствует образцам внешнего вида, качество пропитки удовлетворительное. Произведены выборочные замеры электропараметров секций после нанесения серебросодержащей пасты. Данные замеров электропараметров приведены в табл. 5.

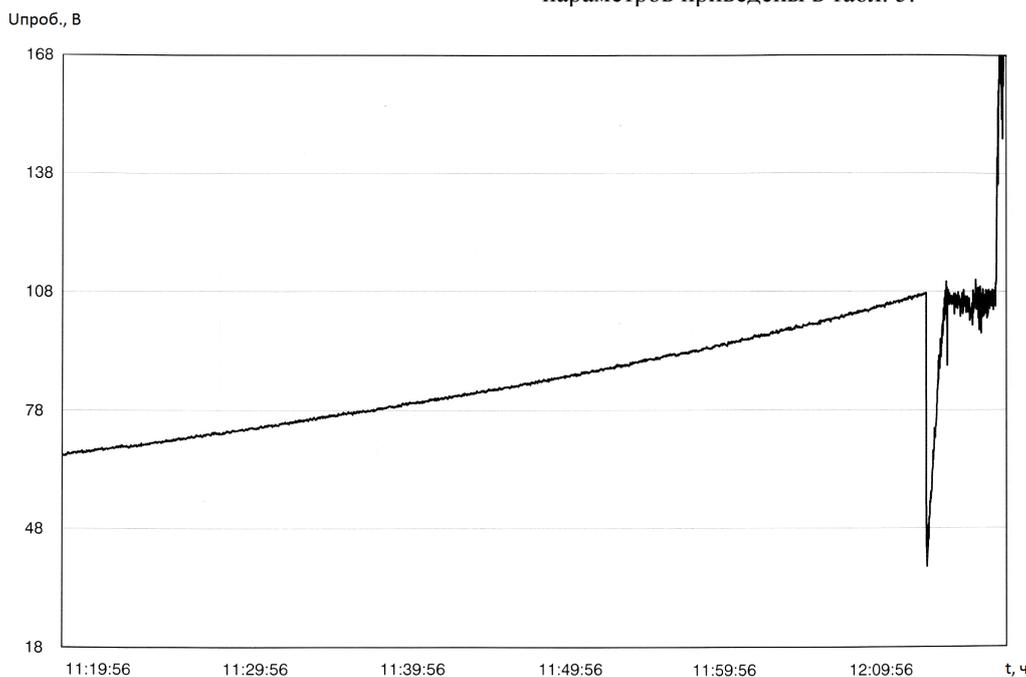


Рис. 1. Временная зависимость пробивного напряжения анодов конденсаторов (U_{проб.}) номинала 6,3 В × 680 мкФ (оксидирование с наложением переменной синусоидальной составляющей напряжения)

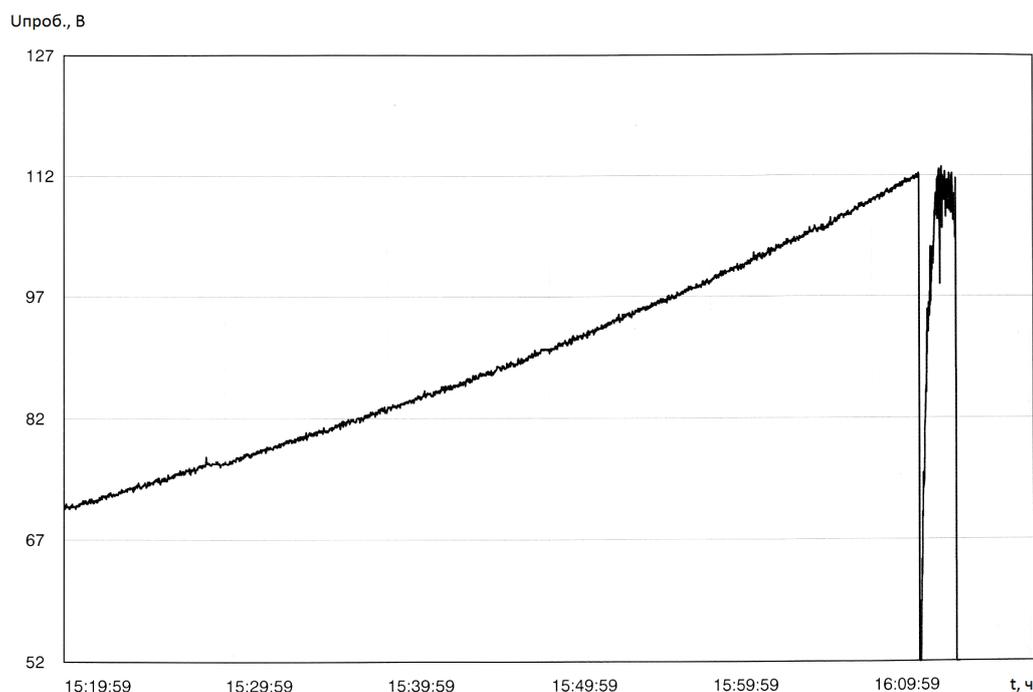


Рис. 2. Временная зависимость пробивного напряжения анодов конденсаторов ($U_{\text{проб}}$) номинала $6,3 \text{ В} \times 680 \text{ мкФ}$ (стандартное оксидирование)

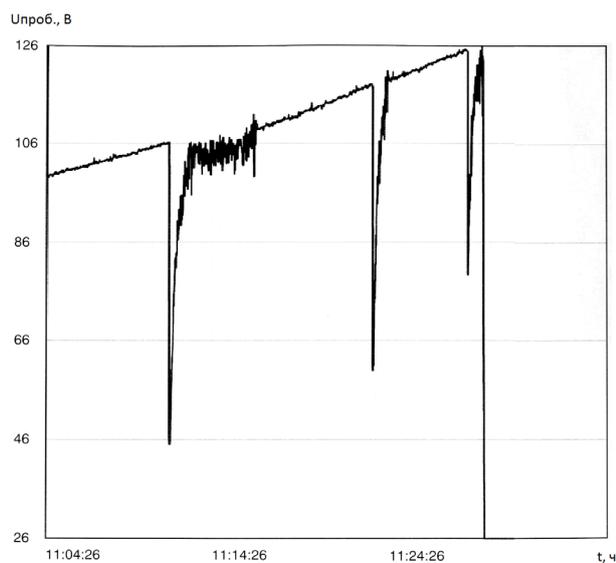


Рис. 3. Временная зависимость пробивного напряжения анодов конденсаторов ($U_{\text{проб}}$) номинала $10 \text{ В} \times 470 \text{ мкФ}$ (оксидирование с наложением переменной синусоидальной составляющей напряжения)

Данные табл. 5 свидетельствуют о следующем. После нанесения серебросодержащей пасты у номинала $6,3 \text{ В} \times 680 \text{ мкФ}$ наблюдаются улучшенные параметры, за исключением емкости; у варианта оксидированного с наложением переменной синусоидальной составляющей, по сравнению со стандартным: тангенс угла диэлектрических потерь лучше на 47 %, ток утечки лучше на 13 %, эквивалентное последовательное сопротивление ниже на 67,5; емкость на 8 % выше у стандартного варианта изготовления.

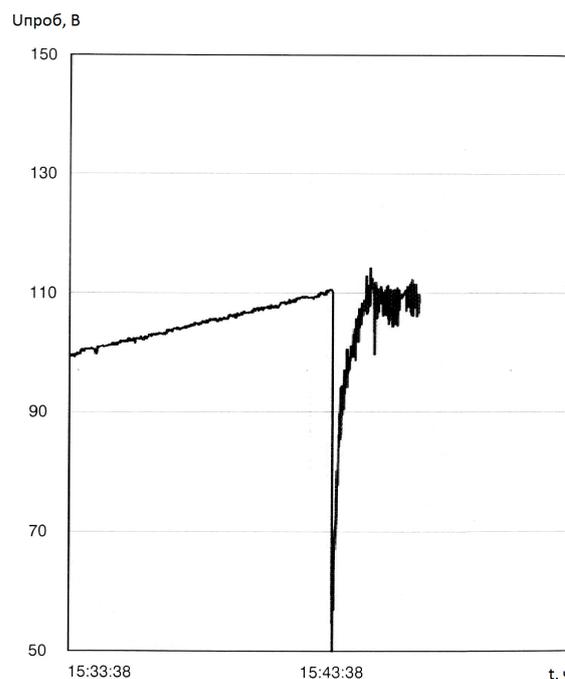


Рис. 4. Временная зависимость пробивного напряжения анодов конденсаторов ($U_{\text{проб}}$) номинала $10 \text{ В} \times 470 \text{ мкФ}$ (стандартное оксидирование)

Однако данная закономерность не присутствует у номинала $10 \text{ В} \times 470 \text{ мкФ}$, у которого емкость нестандартного варианта выше на 0,5 % по сравнению с действующим вариантом изготовления, эквивалентное последовательное сопротивление лучше на 20,9 %, а тангенс угла диэлектрических потерь и ток утечки хуже по сравнению со стандартным вариантом на 6,4 и 1,9 % соответственно.

Таблица 5. Электропараметры секций после нанесения серебрясодержащей пасты

Вариант (номинал)	№ измерения	C, мкФ	tgδ, %	I _{вт} , мкА	R _{экв} , МОм
1-1 (6,3 В × 680 мкФ)	1	643	11	8,0	200
	2	675	11,2	10,0	150
	3	656	11,2	9,0	110
	4	722	12	10,0	105
	5	628	11,3	9,0	100
	Ср. значение	664,8	11,3	9,2	133
	Норма по НТД	680±30 %	Не более 100	Не более 12	Не более 360
1-2 (6,3 В × 680 мкФ)	1	715	15	11	158
	2	721	15	8	270
	3	729	15	6	194
	4	728	22	12	300
	5	709	16	11,5	195
	ср. значение	720,4	16,6	9,7	223,4
	Норма по НТД	680±30 %	Не более 100	Не более 12	Не более 360
2-1 (10 В × 470 мкФ)	1	416	15	9,8	138
	2	438	29	11,5	139
	3	437	15	9,8	180
	4	407	18	10,5	200
	5	370	17	10,4	137
	Ср. значение	413,6	18,8	10,5	158,8
	Норма по НТД	470±30 %	Не более 100	Не более 12	Не более 260
2-2 (10 В × 470 мкФ)	1	403	16	9,9	230
	2	415	16	9,9	215
	3	420	22	11,0	220
	4	409	17	10,4	150
	5	410	17	10,4	145
	Ср. значение	411,4	17,6	10,3	192
	Норма по НТД	470±30 %	Не более 100	Не более 12	Не более 260

В табл. 6 сведены пооперационные значения электропараметров секций конденсаторов.

Таблица 6. Пооперационные значения электропараметров секций

Вариант	Электрические параметры	После 1 цикла оксидирования	После 2 цикла оксидирования	После нанесения серебрясодержащей пасты
1-1	C, мкФ	752,5	757,5	664,8
	tgδ, %	9,5	37,4	11,3
	I _{вт} , мкА	37,8	8,0	9,2
	ΔC, %*	—	—	12,2
1-2	C, мкФ	750,0	752,5	720,4
	tgδ, %	16,0	40,8	16,6
	I _{вт} , мкА	37,4	8,0	9,7
	ΔC, %*	—	—	4,2
2-1	C, мкФ	460,0	472,5	413,6
	tgδ, %	10,8	22,8	18,8
	I _{вт} , мкА	23,5	4,5	10,5
	ΔC, %*	—	—	12,4
2-2	C, мкФ	451,3	464,3	411,4
	tgδ, %	17,8	23,6	17,6
	I _{вт} , мкА	23,1	9,0	10,3
	ΔC, %*	—	—	11,4

* ΔC – разница между емкостью, полученной при оксидировании и после нанесения катодного покрытия (реализация емкости анода).

Для наглядности данные табл. 6 представлены графически на рис. 5–10.

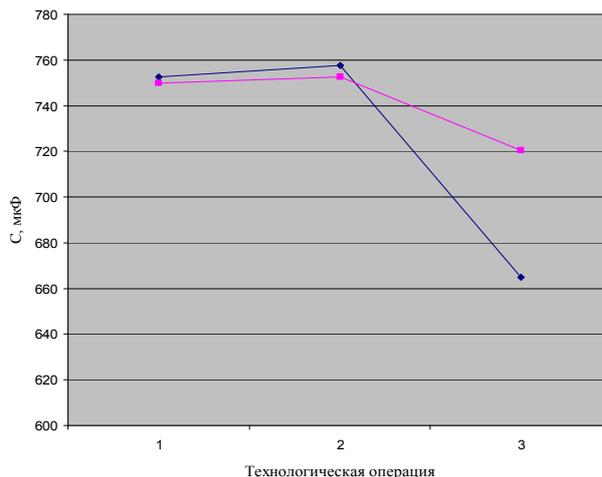


Рис. 5. Пооперационные значения емкости для номинала конденсатора 63 В × 680 мкФ, где линии: — оксидирование анодов с наложением переменной синусоидальной составляющей (вариант 1-1); — оксидирование анодов по стандартной схеме (вариант 1-2); технологические операции: 1 – 1-й цикл оксидирования; 2 – 2-й цикл оксидирования; 3 – нанесение серебрясодержащей пасты

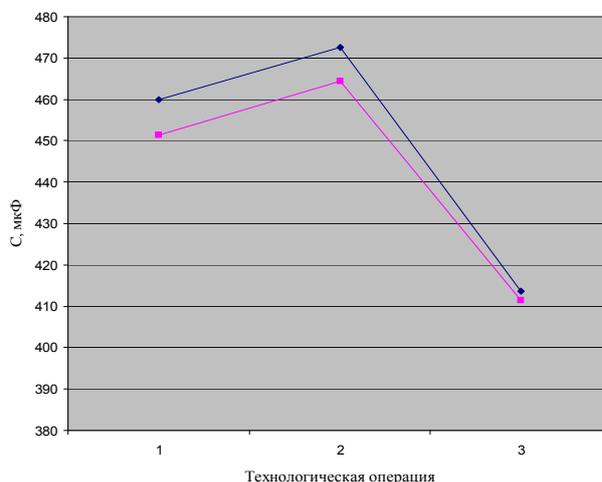


Рис. 6. Пооперационные значения емкости для номинала конденсатора 10 В × 470 мкФ, где линии: — оксидирование анодов с наложением переменной синусоидальной составляющей (вариант 2-1); — оксидирование анодов по стандартной схеме (вариант 2-2); технологические операции: 1 – 1-й цикл оксидирования; 2 – 2-й цикл оксидирования; 3 – нанесение серебрясодержащей пасты

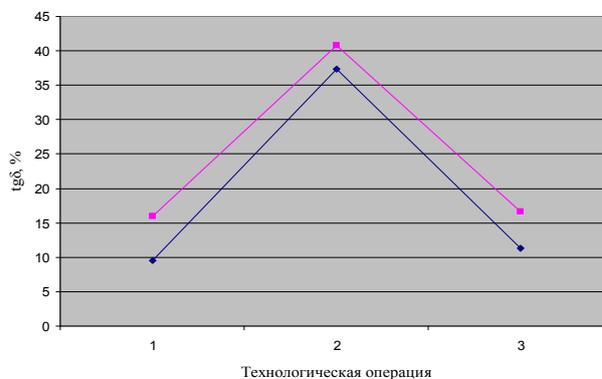


Рис. 7. Пооперационные значения тангенса угла диэлектрических потерь для номинала конденсатора 63 В × 680 мкФ, где линии: — оксидирование анодов с наложением переменной синусоидальной составляющей (вариант 1-1); — оксидирование анодов по стандартной схеме (вариант 1-2); технологические операции: 1 – 1-й цикл оксидирования; 2 – 2-й цикл оксидирования; 3 – нанесение серебрясодержащей пасты

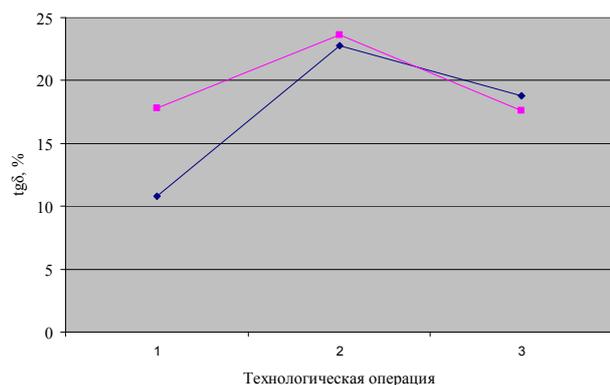


Рис. 8. Пооперационные значения тангенса угла диэлектрических потерь для номинала конденсатора $10 \text{ В} \times 470 \text{ мкФ}$, где линии: — оксидирование анодов с наложением переменной синусоидальной составляющей (вариант 2-1); — оксидирование анодов по стандартной схеме (вариант 2-2); технологические операции: 1 – 1-й цикл оксидирования; 2 – 2-й цикл оксидирования; 3 – нанесение серебросодержащей пасты

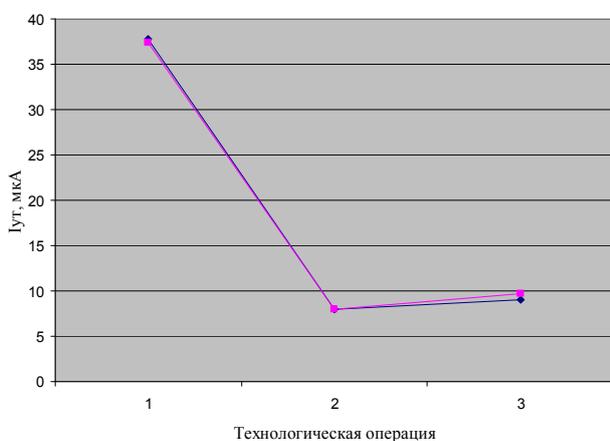


Рис. 9. Пооперационные значения тока утечки для номинала конденсатора $6,3 \text{ В} \times 680 \text{ мкФ}$, где линии: — оксидирование анодов с наложением переменной синусоидальной составляющей (вариант 1-1); — оксидирование анодов по стандартной схеме (вариант 1-2); технологические операции: 1 – 1-й цикл оксидирования; 2 – 2-й цикл оксидирования; 3 – нанесение серебросодержащей пасты

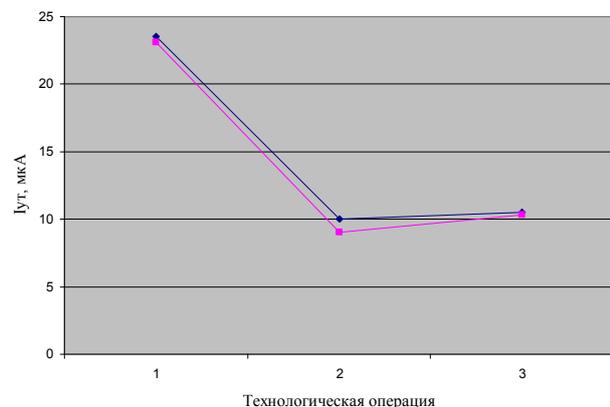


Рис. 10. Пооперационные значения тока утечки для номинала конденсатора $10 \text{ В} \times 470 \text{ мкФ}$, где линии: — оксидирование анодов с наложением переменной синусоидальной составляющей (вариант 2-1); — оксидирование анодов по стандартной схеме (вариант 2-2); технологические операции: 1 – 1-й цикл оксидирования; 2 – 2-й цикл оксидирования; 3 – нанесение серебросодержащей пасты

Анализ электрических параметров анодов и секций конденсаторов свидетельствует о следующем.

Емкость и тангенс угла диэлектрических потерь анодов и секций у варианта, отформованного с наложением переменной синусоидальной составляющей пульсирующего напряжения, по сравнению с вариантом, отформованным по стандартной схеме, лучше по следующим критериям (согласно табл. 6, рис. 5–10). Например, для секций варианта 1-1 по сравнению с вариантом 1-2 емкость выше на 8,4 %; для секций варианта 2-1 по сравнению с вариантом 2-2 емкость выше на 0,4 %. Тангенс диэлектрических потерь анодов вариантов 1-1 и 2-1 лучше по сравнению с величиной для вариантов 1-2, 2-2, что непосредственно видно по рис. 7, 8, однако у секции варианта 2-2 данный параметр хуже, что, вероятно, связано с некачественным катодным материалом секции.

Увеличенная емкость, улучшенный тангенс угла диэлектрических потерь анодов и секций вариантов, оксидированных с наложением переменной синусоидальной составляющей пульсирующего напряжения, связана с лучшей проформовкой анодов, более качественно нанесенным оксидным слоем при использовании схемы оксидирования с наложением переменной синусоидальной составляющей пульсирующего напряжения вследствие более длительного времени оксидирования: сначала оксидирование при наложении постоянного напряжения, затем при наложении постоянной и переменной составляющей напряжения (см. табл. 1, варианты 1-1, 2-1). Однако емкость и тангенс угла диэлектрических потерь анода и секции конденсатора не являются единственными определяющими параметрами оценки качества анодов и конденсаторов.

Токи утечки анодов и секций конденсаторов номинала $6,3 \text{ В} \times 680 \text{ мкФ}$ обоих вариантов оксидирования идентичны в пределах допуска погрешности прибора (см. рис. 9), у анодов номинала $10 \text{ В} \times 470 \text{ мкФ}$ ток утечки варианта, оксидированного с наложением переменной синусоидальной составляющей пульсирующего напряжения, чуть выше по сравнению со стандартным вариантом.

Выводы

В ходе работы оценена возможность и качество оксидирования анодов с наложением переменной синусоидальной составляющей пульсирующего напряжения и сравнение полученных результатов с параметрами анодов, отформованных по стандартной схеме. Оксидирование с наложением переменной синусоидальной составляющей пульсирующего напряжения не оказало разрушающего воздействия на аноды чип-конденсаторов.

В результате анализа напряжения пробоя анода, являющегося одной из основных технических характеристик анода, влияющих на качество анодов и готовых конденсаторов в целом, не установлено закономерности влияния наложения переменной синусоидальной составляющей напряжения при оксидировании на их качество (см. табл. 4, рис. 1–4),

вследствие чего по данному аспекту положительного эффекта не установлено.

Анализ двух вариантов изготовления анодов и секций двух разных номиналов конденсаторов выявил, что на стадии образования оксида на танталовом высокопористом теле (1-й и 2-й циклы оксидирования) емкость и токи утечки анодов приблизительно равные у обоих вариантов, в пределах допуска погрешности. При этом тангенс угла диэлектрических потерь анодов, оксидированных с наложением переменной синусоидальной составляющей пульсирующего напряжения, лучше по сравнению со стандартным изготовлением. Однако на стадии изготовления секций у разных номиналов не наблюдается какой-либо зависимости электрических параметров от варианта изготовления.

Вследствие чего можно делать вывод о том, что оксидирование с наложением переменной синусоидальной составляющей пульсирующего напряжения не дало значительный эффект в улучшении качества анодов и секций чип-конденсаторов по сравнению с принятой схемой оксидирования анодов.

Библиографические ссылки

1. Кузнецова В. А., Кузнецов П. Л., Муравьев В. В. Исследование надежности танталовых оксидно-полупроводниковых чип-конденсаторов на основе эксперимен-

тальных данных // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2013. – № 3 (59). – С. 88–91.

2. Кузнецова В. А., Кузнецов П. Л., Беляева Е. А., Муравьев В. В. Исследование влияния на эксплуатационные характеристики качества материалов танталовых оксидно-полупроводниковых чип-конденсаторов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2. – С. 140–143.

3. Беляева Е. А., Кузнецова В. А., Муравьев В. В. Исследование влияния срока сохраняемости на эксплуатационные характеристики и состояние объемно-пористых танталовых конденсаторов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 1. – С. 96–99.

4. Беляева Е. А., Кузнецова В. А., Муравьев В. В. Влияние срока сохраняемости на эксплуатационные характеристики танталовых конденсаторов // Измерения, контроль и диагностика – 2014 : труды III Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, 2014.

5. ОСТ 11 0518–87 Конденсаторы. Руководство по применению. НИИ «Гириконд», 1988 г. – С. 208.

6. Там же.

7. Там же.

8. Там же.

9. Там же.

10. Ханин С. Д., Адер А. И., Воронцов В. Н., Денисова О. В., Холкин В. Ю. Пассивные радиокомпоненты : учеб. пособие. – Ч. 1. Электрические конденсаторы. – СПб. : СЗПИ, 1998. – 86 с.

E.A. Belyaeva, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

V. V. Muravyev, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Influence of alternating sine-wave component of ripple voltage during tantalum capacitor porous anode oxide formation on the quality of tantalum capacitors anodes and slugs

Experimental investigations have been performed regarding the influence of alternating sine-wave component of ripple voltage during tantalum capacitor porous anode oxide formation on the quality of anodes, electrical parameters and state of sections of tantalum fixed capacitor.

Keywords: alternating sine-wave component of ripple voltage, quality, porous anode, oxide formation, slug, tantalum capacitor Tantalum solid-electrolyte chip-capacitors, field-performance data, rejects.

Получено: 22.08.14

УДК 517.958

А. С. Гуцин, аспирант

Чайковский технологический институт (филиал) ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПОПЕРЕЧНО-УГЛОВЫХ КОЛЕБАНИЙ КУЗОВА АВТОМОБИЛЯ

Разработана методика и экспериментальная установка для определения поперечно-угловых колебаний кузова автомобиля. Экспериментальная установка позволяет изучать такие эксплуатационные свойства автомобиля, как плавность хода, устойчивость, а также оценить точность математических моделей колебаний кузова автомобиля.

Ключевые слова: колебания автомобиля, экспериментальная установка.

Введение

Движение автомобиля по неровным дорогам сопровождается вибрациями кузова как в продольной, так и в поперечной плоскостях. Как правило, продольные колебания намного интенсивнее поперечных, тем не менее поперечные колебания автомобиля су-

щественно влияют на плавность хода, устойчивость, управляемость, износ шин. В этой связи их исследование является важным, направленным на повышение эксплуатационных свойств автомобиля.

Лабораторные, дорожные исследования продольных и поперечно-угловых колебаний автомобиля