

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ ТАНТАЛОВЫХ КОНДЕНСАТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТРЕСС-ТЕСТА

Кузнецов П.Л., Муравьев В.В.

Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова,
г. Ижевск, Российская Федерация
e-mail: pmkk@istu.ru

Рассматривается ускоренный способ анализа качества электролитических объемно-пористых танталовых конденсаторов на основе прогноза изменения эквивалентного последовательного сопротивления при проведении СТРЕСС-ТЕСТА.

Ключевые слова: танталовый конденсатор, емкость, эквивалентное сопротивление.

Введение

Одним из важнейших направлений в обеспечении коммутации источников питания, микропроцессоров и цифровых схем является достижение низких значений шумов при работе на высоких частотах. Чтобы реализовать это требование, необходимо применять компоненты с низким эквивалентным последовательным сопротивлением $R_{\text{эКВ}}$, в частности это распространяется и на конденсаторы.

До 2000-х годов в России основным параметром, характеризующим сопротивление конденсатора, являлось полное сопротивление конденсатора (импеданс) Z , т.е. сопротивление конденсатора переменному синусоидальному току определенной частоты, обусловленное наличием у реального конденсатора наряду с емкостью C также активного сопротивления и индуктивности. Следует отметить, что для конденсаторов, работающих при больших импульсных токах и на высокой частоте, например в фильтрах преобразователей, когда полное сопротивление конденсатора (импеданс) $Z \rightarrow R_{\text{эКВ}}$, требуется более объективная оценка качества. При этом изменения в десятые и даже сотые доли Ом могут иметь существенное значение, в связи с чем исследование параметра $R_{\text{эКВ}}$, представляется наиболее важным.

Изучению танталовых конденсаторов уделяется большое внимание [1, 2], так как данные конденсаторы обладают высокой надежностью.

Цикл исследований качества электролитических объемно-пористых танталовых конденсаторов в зависимости от качества материалов и технологии в процессе производства позволил повысить значение процента выхода годной продук-

ции [3–9]. Однако необходимо развивать ускоренные способы анализа качества электролитических танталовых конденсаторов.

Цель работы исследовать ускоренный способ анализа качества электролитических объемно-пористых танталовых конденсаторов на основе прогноза изменения эквивалентного последовательного сопротивления при проведении СТРЕСС-ТЕСТА.

Исходные положения

Полное сопротивление рассчитывается по формуле:

$$Z = \sqrt{R_{\text{эКВ}}^2 + (X_C - X_L)^2}, \quad (1)$$

где $R_{\text{эКВ}}$ – эквивалентное последовательное (активное) сопротивление; X_C , X_L – реактивные составляющие (емкостная, индуктивная соответственно).

Значение $R_{\text{эКВ}}$ определяется тремя переменными [10]:

$$R_{\text{эКВ}} = R_0 + R_d + R_e, \quad (2)$$

где R_0 – константа, определяемая сопротивлением оксидной пленки и внутренних соединений; R_d – составляющая, зависящая от частоты:

$$R_d = \frac{D_{\text{ox}}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}, \quad (3)$$

где D_{ox} – фактор диэлектрических потерь диэлектрика; f – частота.

Появление потерь, зависящих от частоты, обусловлено наличием тонкого слоя диэлектрика между обкладками.

Потери R_e зависят от температуры и определяются типом применяемого электролита [10]. Для оценки данной составляющей сопротивления применяют выражение:

$$R_e(T) = R_e(25^\circ\text{C}) \cdot 2^{\left[\frac{T-25}{A}\right]^B}, \quad (4)$$

где для электролитов на базе этиленгликоля постоянные $A = 40$; $B = 0,6$ [10]. В электролитических танталовых объемно-пористых конденсаторах контакт анодной пластины является прямым, так как основной металл анода – тантал, на котором термохимическим способом образуют оксидный слой, является диэлектриком (рисунок 1).

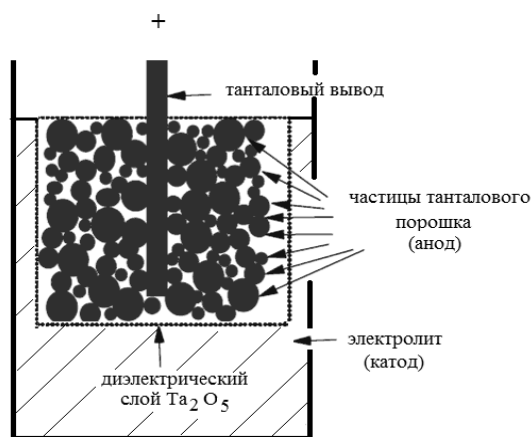


Рисунок 1 – Схематическое строение объемно-пористых танталовых конденсаторов

При изготовлении объемно-пористых конденсаторов невозможно получить абсолютную повторяемость параметров, а при появлении отклонений в технологических операциях эксплуатационные характеристики начинают изменяться во времени раньше расчетного срока.

Образцы для исследований и методика эксперимента

В качестве образцов для проведения исследований были взяты электролитические объемно-пористые танталовые конденсаторы, произведенные ОАО «Элеконд». Исследование экспериментальной партии электролитических объемно-пористых танталовых конденсаторов номиналом $35\text{ В} \times 100\text{ мкФ}$ с использованием СТРЕСС-ТЕСТА проведено на выборке $n = 30$ шт. Объем

такой выборки согласно [4] достаточен для проведения испытаний на длительную безотказность. Для объемно-пористых танталовых конденсаторов значение длительной безотказности может составлять до 40 000 ч.

Методика исследований на длительную безотказность включала следующие операции:

- измерения начальных значений параметров конденсаторов и в контрольных точках проводилось при температуре 20°C ;

- испытание конденсаторов при напряжении, равном номинальному $U_{исп} = 35\text{ В}$. Температура испытаний – максимальная температура среды, при которой допускается работа конденсаторов $T_{исп} = 85^\circ\text{C}$;

- продолжительность испытаний – 24000 ч [10];
- контрольные точки – 2000 ч; 3000 ч; 4000 ч; 6000 ч; 8000 ч; 10000 ч; 12 000 ч; 16000 ч; 19000 ч; 21000 ч; 24000 ч.

Для анализа взяты следующие эксплуатационные характеристики конденсаторов: емкость конденсаторов C (мкФ) на частоте 50 Гц и эквивалентное последовательное сопротивление $R_{э\text{кв}}$ (Ом) на частоте 100 кГц.

Методика проведения СТРЕСС-ТЕСТА включала следующие операции:

1. Проведение измерения начальных значений параметров конденсаторов при температуре 20°C .

2. Проведение 10 циклов испытаний при напряжении равном $1,8 U_{ном} = U_{исп} = 63\text{ В}$ и температуре 20°C . Напряжение, при котором проводился СТРЕСС-ТЕСТ, соответствует напряжению формовки анода конденсатора и имитирует эту операцию, но уже при собранном в корпус конденсаторе.

3. Продолжительность каждого цикла – 5 мин.

4. Контроль параметров:
 - емкость конденсаторов C (мкФ) на частоте 50 Гц;
 - эквивалентное последовательное сопротивление $R_{э\text{кв}}$ (Ом) на частоте 100 кГц;
 - температура поверхности конденсатора T_k .

Результаты и их обсуждение

При проведении испытаний на длительную безотказность получены зависимости изменения значений емкости и эквивалентного последовательного сопротивления, представленные на рисунках 2 и 3. Соединив точки верхних и нижних границ полей рассеяния, получим временные функции изменения емкости (рисунок 2).



Рисунок 2 – График зависимости разброса емкости конденсаторов от времени эксплуатации

Из зависимости видно, что за все время эксперимента не произошло выхода границы поля рассеивания емкости за границы поля допуска (70–130 мкФ). К 2000 ч эксплуатации наблюдается снижение значений параметра C , а затем к 6000 ч эксплуатации наблюдается некоторое увеличение емкости, что, возможно, связано с подформовкой анода. После 6000 ч эксплуатации вновь наблюдается небольшое снижение емкости и с 8000 ч емкость стабилизируется.

Из анализа временной зависимости эквивалентного последовательного сопротивления, приведенной на рисунке 3, следует, что до 21000 ч наблюдаются стабильные значения $R_{\text{экв}}$ с небольшим увеличением в контрольной точке 8000 ч, затем с 21000 ч наблюдается резкое увеличение в контрольной точке 24000 ч (максимальное значение $R_{\text{экв}}$ возросло с 0,2 до 1,2 Ом), что можно считать браковочным признаком.

Анализируя характеры зависимостей емкости конденсаторов C и их эквивалентного последовательного сопротивления $R_{\text{экв}}$ (рисунки 2 и 3) от времени эксплуатации, можно сделать следующие выводы: отказ по параметру $R_{\text{экв}}$ наблюдается с 21000 ч, даже с учетом ошибок технологических операций, приводящих к завышенным значениям C (что не является браковочным признаком и в дальнейшем дает ложноположительный результат при контроле параметров при проведении испытаний на длительную безотказность), отказ же по параметру C не происходит даже после 24000 ч эксплуатации.

Таким образом, анализ этого выходного параметра технологического процесса позво-

ляет спрогнозировать момент выхода границы поля рассеивания за границы поля допуска и заблаговременно определить момент появления бракованных изделий, анализируя не основной параметр C , а справочный параметр $R_{\text{экв}}$.

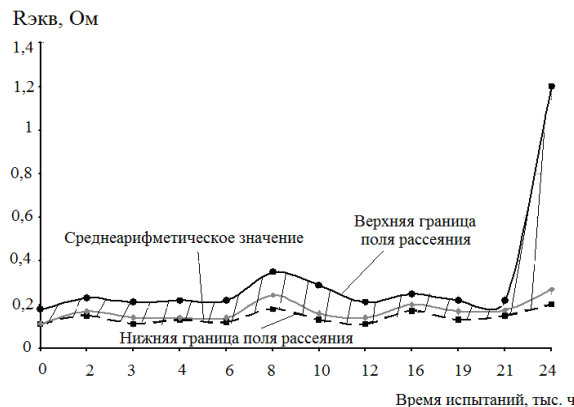


Рисунок 3 – График зависимости разброса эквивалентного последовательного сопротивления конденсаторов $R_{\text{экв}}$ от времени эксплуатации

Для ускоренной оценки качества конденсаторов был проведен СТРЕСС-ТЕСТ. На рисунках 4 и 5 представлены характеры изменения емкости и эквивалентного последовательного сопротивления конденсаторов при проведении СТРЕСС-ТЕСТА.

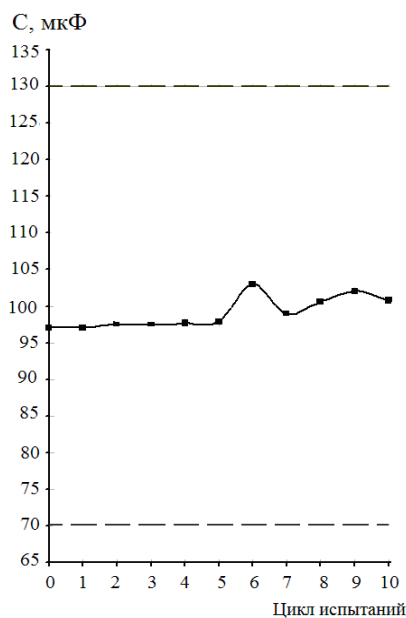


Рисунок 4 – Характер изменения емкости C объемно-пористых конденсаторов номиналом 35 В × 100 мкФ при проведении СТРЕСС-ТЕСТА

В ходе проведения СТРЕСС-ТЕСТА в цикле 6 наблюдается увеличение емкости, а затем ем-

кость вновь стабилизируется. Тогда как эквивалентное последовательное сопротивление до 7 цикла испытаний стабильно, с 7 по 9 цикл данный параметр снижается, а уже с 9 цикла происходит резкое его увеличение – с 0,19 до 0,35 Ом, что можно считать браковочным признаком.

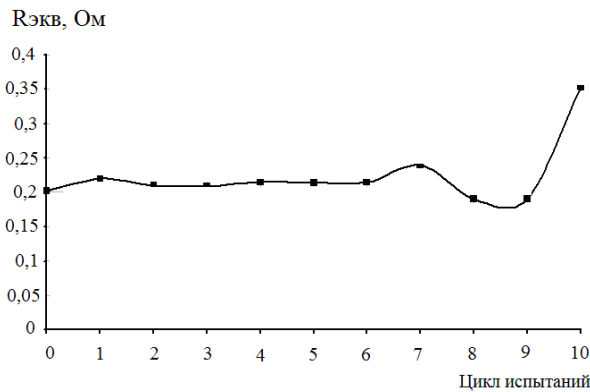


Рисунок 5 – Характер изменения $R_{экв}$ конденсаторов номиналом 35 В×100 мкФ при проведении СТРЕСС-ТЕСТА

По характеру изменения $R_{экв}$ в ходе испытаний, можно сделать вывод, что в дальнейшем при использовании его на высоких частотах, произойдет дальнейшее увеличение сопротивления, что приведет к преждевременному выходу из строя и разрушению, тогда как по параметру C это не наблюдается.

Заключение

Анализ выходных параметров технологического процесса позволяет заблаговременно определить момент появления бракованных изделий не по основному параметру конденсатора – емкости C , а по справочному параметру – эквивалентному последовательному сопротивлению $R_{экв}$, что является важным при проведении ускоренных испытаний.

Список использованной литературы

1. *Fritzler, T.* Scintillation Conditioning of Tantalum Capacitors With Manganese Dioxide Cathodes, IEEE Transactions on Device and Materials Reliability (Impact Factor: 1.54) / T. Fritzler, M.H. Azarian, M.G. Pecht. – 01/2014; 14(2):630-638. DOI: 10.1109/TDMR.2014.2314731.
2. *Franco, F. Di.* Characterization of the Solid State Properties of Anodic Oxides on Magnetron Sputtered Ta, Nb and Ta-Nb Alloys / F. Di Franco [et al.] // Journal of The Electrochemical Society. – 2012.– Vol. 159(1). – P. 33–39.
3. *Кузнецова, В.А.* Исследование надежности танталовых оксидно-полупроводниковых чип-конденсаторов на основе экспериментальных данных / В.А. Кузнецова, П.Л. Кузнецов, В.В. Муравьев // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2013. – № 3. – С. 88–91.
4. *Кузнецов, П.Л.* Исследование влияния характеристик технологического процесса изготовления на изменения эксплуатационных характеристик танталовых объемно-пористых конденсаторов во времени / П.Л. Кузнецов, В.А. Кузнецова, Г.В. Ломаев // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2014. – № 1. – С. 11–15.
5. *Кузнецова, В.А.* Исследование влияния на эксплуатационные характеристики качества материалов танталовых оксидно-полупроводниковых чип-конденсаторов / В.А. Кузнецова [и др.] // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2. – С. 140–143.
6. *Беляева, Е.А.* Исследование влияния срока сохраняемости на эксплуатационные характеристики и состояние объемно-пористых танталовых конденсаторов / Е.А. Беляева, В.А. Кузнецова, В.В. Муравьев // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 1. – С. 96–99.
7. *Беляева, Е.А.* Влияние переменной синусоидальной составляющей пульсирующего напряжения при оксидировании объемно-пористых анодов танталовых конденсаторов на электрические параметры / Е.А. Беляева, В.В. Муравьев // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 2. – С. 96–102.
8. *Кузнецова, В.А.* Влияние качества корпуса оксидно-полупроводниковых танталовых чип-конденсаторов на эксплуатационные параметры / Е.А. Беляева, В.В. Муравьев // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 2. – С. 112–115.
9. *Кузнецова, В.А.* Влияние конструктивных характеристик анода на эксплуатационные параметры оксидно-полупроводниковых танталовых чип-конденсаторов / Е.А. Беляева, В.В. Муравьев // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2014. – № 4. – С. 105–107.
10. *Радюшкин, О.* Методы оценки срока эксплуатации электролитических конденсаторов / О. Радюшкин. – Силовая электроника. – 2010. – № 5. – С. 19–22.

**THE QUALITY CONTROL OF ELECTROLYTIC TANTALUM CAPACITORS
BY USING THE STRESS TEST**

Kuznetsov P.L., Muraviev V.V.

Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia
e-mail: pmkk@istu.ru

Abstract. the article discusses the accelerated method of analysis the electrolytic tantalum capacitors quality on the basis of the change equivalent series resistance forecast while conducting the STRESS TEST.

Keywords: tantalum capacitor, capacitance, equivalent resistance.

References

1. T. Fritzler, M.H. Azarian, M.G. Pecht. Scintillation Conditioning of Tantalum Capacitors With Manganese Dioxide Cathodes, *IEEE Transactions on Device and Materials Reliability* (Impact Factor: 1.54). 01/2014; 14(2):630-638. DOI: 10.1109/TDMR.2014.2314731.
2. F. Di Franco, G. Zampardi, M. Santamaria, F. Di Quarto, and H. Habazaki. Characterization of the Solid State Properties of Anodic Oxides on Magnetron Sputtered Ta, Nb and Ta-Nb Alloys, *Journal of The Electrochemical Society*, 2012, vol. 159(1), pp. 33–39.
3. Kuznecova V.A., Kuznecov P.L., Muraviev V.V. Investigation of the reliability of tantalum chip capacitors on the basis of experimental data. *Vestnik Izhevskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, no. 3, pp. 88–91 (in Russian).
4. Kuznecov P.L., Kuznecova V.A., Lomaev G.V. Research of influence of characteristics of technological process of production on changes of operational characteristics of tantalum wet capacitors in time. *Vestnik Izhevskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, no. 1, pp. 11–15 (in Russian).
5. Kuznecova V.A., Kuznecov P.L., Belyaeva E.A., Muraviev V.V. Investigation of the influence on the performance quality of the materials tantalum chip capacitors. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2013, no. 2, pp. 140–143 (in Russian).
6. Belyaeva E.A., Kuznecova V.A., Muraviev V.V. Investigation of the influence of storage time on the performance and status of the tantalum capacitors. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2014, no. 1, pp. 96–99 (in Russian).
7. Belyaeva E.A., Muraviev V.V. The influence of variable sinusoidal component of the pulsating voltage when the oxidation of the space-porous anodes of tantalum capacitors for electrical parameters. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2014, no. 2, pp. 96–102 (in Russian).
8. Kuznecova V.A., Muraviev V.V. The influence of the quality of the case tantalum chip capacitors on operating parameters. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2014, no. 2, pp. 112–115 (in Russian).
9. Kuznecova V.A., Muraviev V.V. The influence of structural characteristics of the anode on the operational parameters of the tantalum chip capacitors. *Vestnik Izhevskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2014, no. 4, pp. 105–107 (in Russian).
10. Radyushkin O. Methods of estimating period of exploitation of electrolytic capacitors. *Silovaya elektronika*, 2010, no. 5, pp. 19–22 (in Russian).

Поступила в редакцию 26.01.2015.