

УДК 620.17:658.56

DOI: 10.22213/2410-9304-2021-2-43-49

Применение метода «Стресс-тест» при контроле качества электролитических конденсаторов и конденсаторов с двойным электрическим слоем

П. Л. Кузнецов, АО «Элеконд», Саранск, Россия

В статье рассматривается проблема подтверждения длительной безотказности современного конденсаторостроения в короткие сроки, а именно, оксидно-электролитических алюминиевых конденсаторов, танталовых объемно-пористых конденсаторов и конденсаторов с двойным электрическим слоем. Особое внимание уделяется эксплуатационным параметрам конденсаторов – емкости и эквивалентному последовательному сопротивлению.

Проведено исследование длительной безотказности оксидно-электролитических алюминиевых конденсаторов (3000 ч), танталовых объемно-пористых конденсаторов (24 000 ч) и конденсаторов с двойным электрическим слоем (600 ч), получены статистические данные распределения емкости и эквивалентного последовательного сопротивления. Для уменьшения времени испытаний на длительную безотказность был использован ускоренный метод испытаний на надежность стресс-теста. Анализ результатов испытаний конденсаторов на длительную безотказность и методом «Стресс-тест» показал, что применение метода «Стресс-тест» допустимо при испытании объемно-пористых танталовых конденсаторов и оксидно-электролитических алюминиевых конденсаторов, так как прослеживается аналогичный характер изменения электрических параметров, как после проведения испытаний на длительную безотказность. Однако применение метода «Стресс-тест» для конденсаторов с двойным электрическим слоем не представляется возможным в связи с отличной структурой и требует дополнительного подбора режимов проведения испытаний.

Ключевые слова: оксидно-электролитические алюминиевые конденсаторы, объемно-пористые танталовые конденсаторы, емкость, эквивалентное последовательное сопротивление, надежность, качество.

Введение

Современное конденсаторостроение представляет собой область радиоэлектроники, занимающуюся разработкой и производством современных типов конденсаторов, таких как оксидные электролитические алюминиевые, объемно-пористые танталовые, оксидно-полупроводниковые танталовые и другие [1]. Отдельно можно выделить ионисторы (конденсаторы с двойным электрическим слоем), обладающие повышенной емкостью и низким эквивалентным последовательным сопротивлением [2].

Современные конденсаторы должны обладать повышенной надежностью, что и исследуется в работах различных авторов [3–14]. Конденсаторы должны обладать стабильными электрическими характеристиками, такими как емкость, полное сопротивление, эквивалентное последовательное сопротивление (далее – ЭПС) и др. Главное направление развития современного конденсаторостроения – повышение надежности изделий, т. е. увеличение их работоспособности (наработки). А так как надежность современных конденсаторов не ограничивается 1000 ч, то необходима разработка современных ускоренных методов испытаний, так как существует необходимость проверки качества вы-

пускаемых изделий в существенно короткие сроки по сравнению с существующими методами испытаний. Для этого и был разработан новый метод «Стресс-тест» [15].

Методика эксперимента

В качестве образцов для проведения исследований были взяты электролитические объемно-пористые танталовые конденсаторы, оксидно-электролитические алюминиевые конденсаторы и конденсаторы с двойным электрическим слоем, произведенные АО «Элеконд».

Исследование экспериментальной партии электролитических объемно-пористых танталовых конденсаторов номиналом $35 \text{ В} \times 100 \text{ мкФ}$, оксидно-электролитических алюминиевых конденсаторов номиналом $16 \text{ В} \times 220 \text{ мкФ}$ и конденсаторов с двойным электрическим слоем номиналом $2,7 \text{ В} \times 1 \text{ Ф}$ с использованием метода «Стресс-тест» [15] проведено на выборках $n = 30$ шт., что составляет 5 % от партии.

Объем такой выборки согласно ГОСТ РВ 20.57.414–97 и требованиям технических условий на конденсаторы достаточен для проведения испытаний на длительную безотказность. Выборки формировались методом случайного отбора без подбора конденсаторов по емкости и ЭПС.

Методика исследований на длительную безотказность включала следующие операции:

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

- испытание конденсаторов при напряжении, равном номинальному $U_{исп}$;

- температура испытаний – максимальная температура среды, при которой допускается работа конденсаторов $T_{исп} = 85$ °С (для объемно-пористых танталовых и алюминиевых оксидно-электролитических конденсаторов), $T_{исп} = 65$ °С (для конденсаторов с двойным электрическим слоем);

- продолжительность испытаний – 24000 ч (для объемно-пористых танталовых конденсаторов), 3000 ч (для алюминиевых оксидно-электролитических конденсаторов), 600 ч (для конденсаторов с двойным электрическим слоем).

Для анализа взяты следующие эксплуатационные характеристики объемно-пористых танталовых и алюминиевых оксидно-электролитических конденсаторов:

- емкость конденсаторов C на частоте 50 Гц;

- эквивалентное последовательное сопротивление $R_{эвк}$ на частоте 100 кГц.

Для конденсаторов с двойным электрическим слоем взяты следующие характеристики:

- емкость конденсаторов C на постоянном токе;

- эквивалентное последовательное сопротивление $R_{эвк}$ на постоянном токе.

Методика проведения стресс-теста включала следующие операции:

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

2. Проведение 10 циклов испытаний при напряжении, равном $1,8 U_{ном} = U_{исп}$ и $T = 20$ °С. 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.

Для проведения метода «Стресс-тест» была использована установка, структурная схема которой приведена на рис. 1.

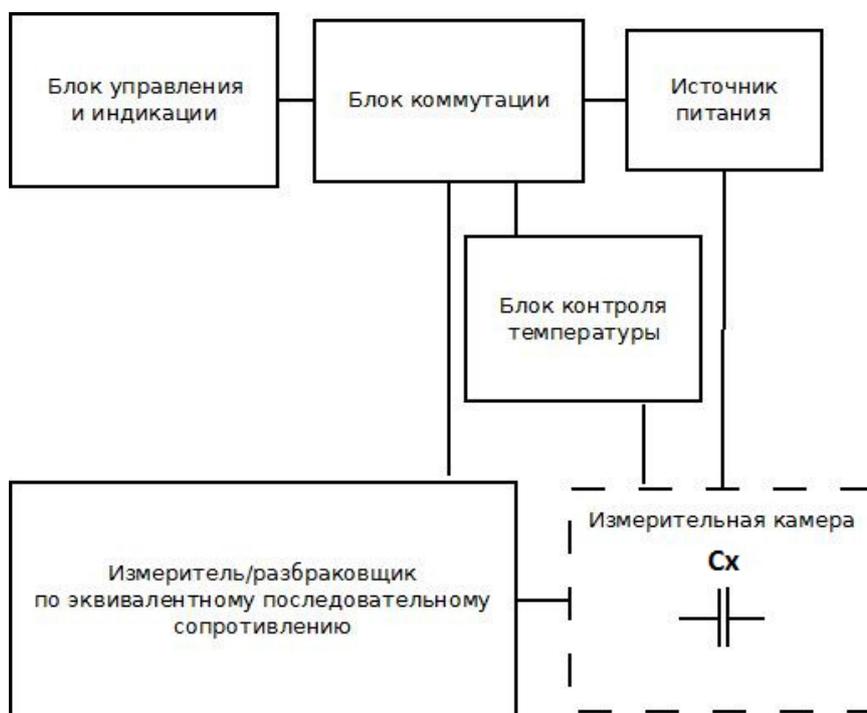


Рис. 1. Структурная схема установки для проведения стресс-теста

Результаты и их обсуждение

Результаты испытаний объемно-пористых танталовых конденсаторов на длительную безотказность и методом «Стресс-тест» приведены на рис. 2–7.

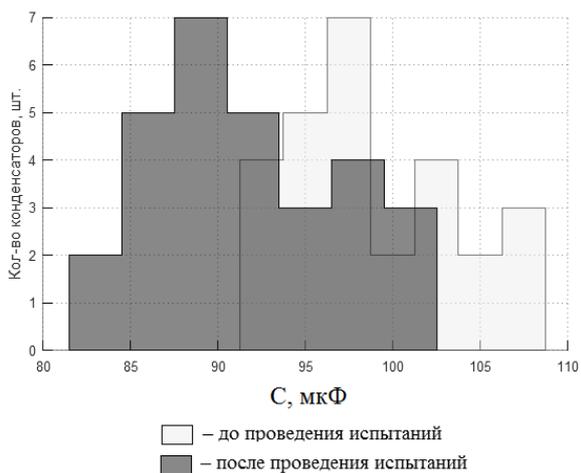


Рис. 2. Распределение емкости объемно-пористых танталовых конденсаторов при испытании на длительную безотказность

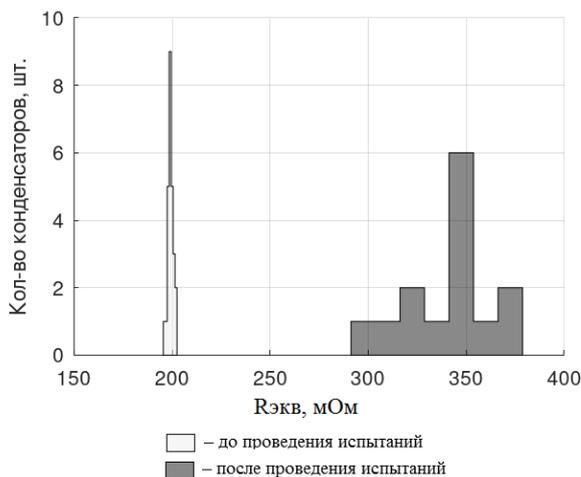


Рис. 3. Распределение ЭПС объемно-пористых танталовых конденсаторов при испытании на длительную безотказность

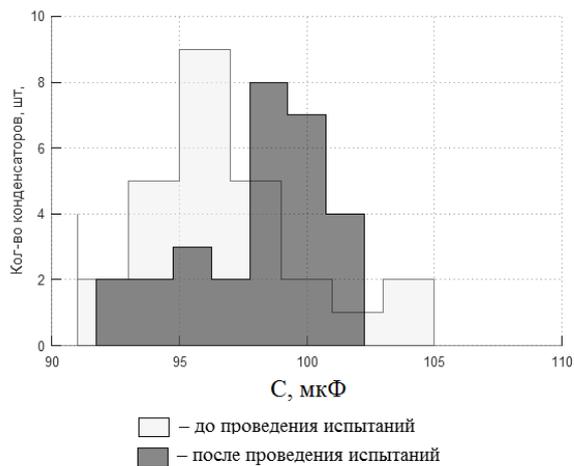


Рис. 4. Распределение емкости объемно-пористых танталовых конденсаторов при проведении стресс-теста

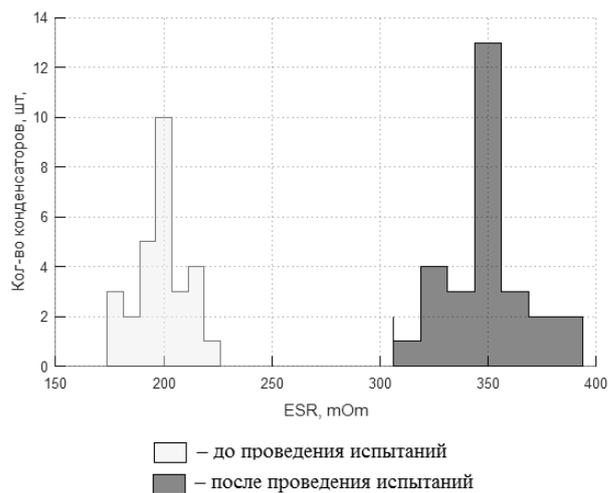


Рис. 5. Распределение ЭПС объемно-пористых танталовых конденсаторов при проведении стресс-теста

При проведении оценки распределения емкости, приведенной на гистограммах 2 и 4, наблюдается, что разброс параметров по емкости укладывается в границы $\pm 20\%$, но при этом значение параметров с максимальной частотой вхождения по рядам распределения после проведения испытаний на длительную безотказность отличается не более чем на 10%. Однако при сравнении результатов контроля ЭПС после проведения стресс-теста наблюдается аналогичный характер изменения параметра, как и после проведения испытаний на длительную безотказность. При этом как и при проведении испытаний на длительную безотказность, так и после проведения стресс-теста, максимальная частота вхождения значений смещается со значений порядка 200 мОм к значениям порядка 350 мОм.

При сравнении распределения параметров на гистограммах, приведенных на рис. 3 и 5 (до и после проведения испытаний на длительную безотказность и после проведения стресс-теста), наблюдается одинаковое характерное смещение распределения значений ЭПС в сторону увеличения, но при этом характер отклонения параметра сопоставим как для испытаний на длительную безотказность, так и при проведении стресс-теста, тогда как сроки проведения испытаний отличаются в 24000 раз (2,7 лет против 1 часа).

Результаты испытаний оксидно-электролитических алюминиевых конденсаторов на длительную безотказность и методом «Стресс-тест» приведены на рис. 6–10.

При проведении оценки распределения емкости, приведенной на гистограммах 6 и 8, наблюдается смещение значений с максимальной частотой вхождения в сторону уменьшения не более чем на 7% от номинального значения при допуске на параметр $\pm 20\%$.

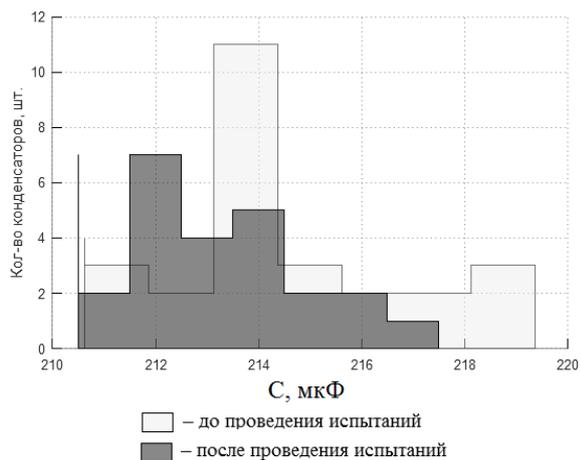


Рис. 6. Распределение емкости оксидно-электролитических алюминиевых конденсаторов при испытании на длительную безотказность

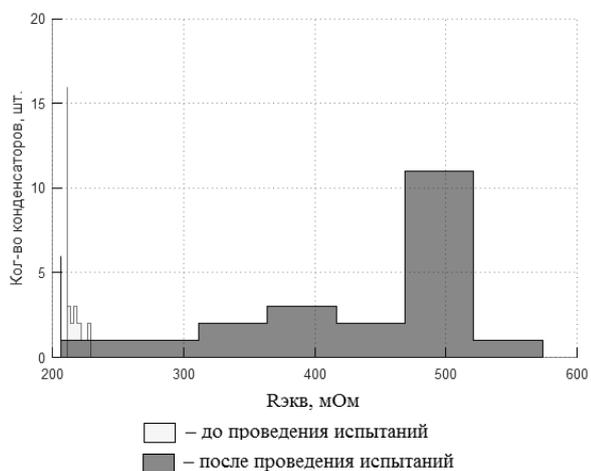


Рис. 7. Распределение ЭПС оксидно-электролитических алюминиевых конденсаторов при испытании на длительную безотказность

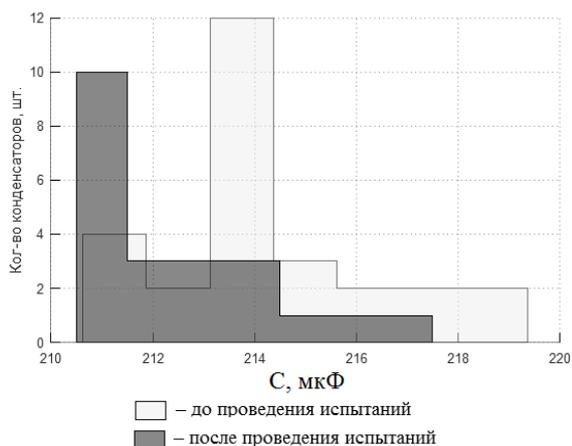


Рис. 8. Распределение емкости оксидно-электролитических алюминиевых конденсаторов при проведении стресс-теста

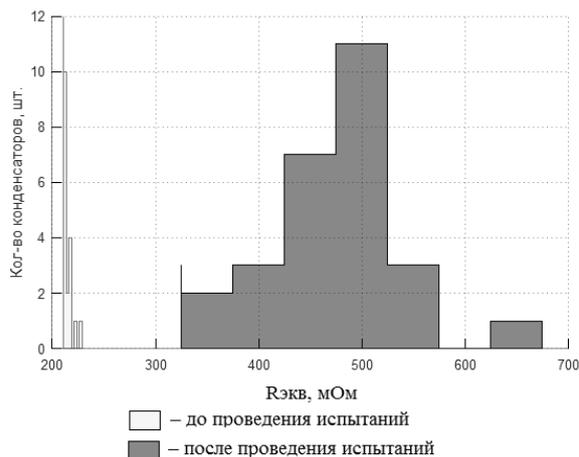


Рис. 9. Распределение ЭПС оксидно-электролитических алюминиевых конденсаторов при проведении стресс-теста

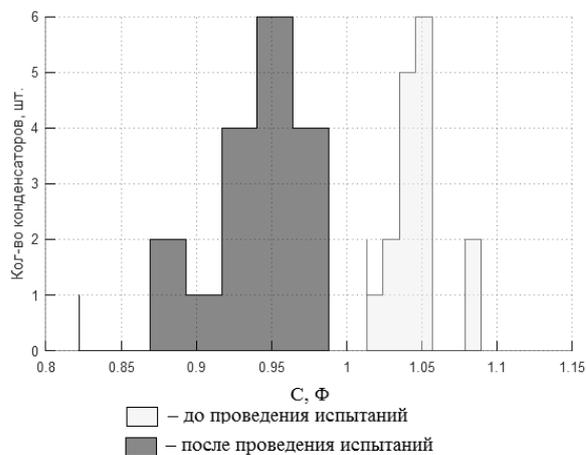


Рис. 10. Распределение емкости конденсаторов с двойным электрическим слоем при испытании на длительную безотказность

При сравнении распределения параметров на гистограммах, приведенных на рис. 7 и 9 (до и после проведения испытаний на длительную безотказность и после проведения стресс-теста), наблюдается аналогичное поведение характера отклонения параметра, как и у объемно-пористых танталовых конденсаторов, т. е. характер отклонения при сравнении изделий с максимальной частотой вхождения одинаковый и после проведения испытаний на длительную безотказность, и после проведения стресс-теста. Смещение эквивалентного последовательного сопротивления происходит из района значений 200 мОм в диапазон значений порядка 500 мОм.

Результаты испытаний конденсаторов с двойным электрическим слоем на длительную безотказность и методом «Стресс-тест» приведены на рис. 10–13.

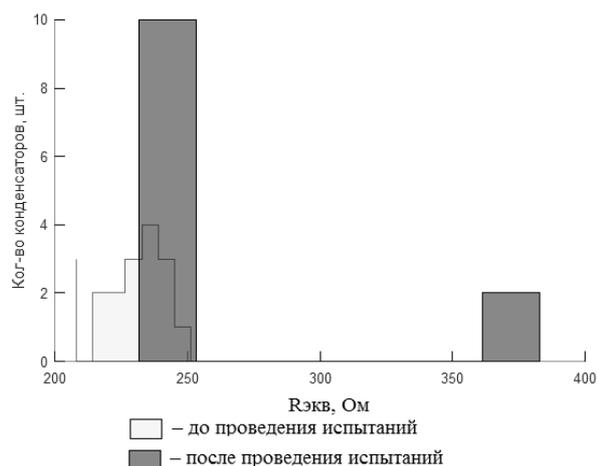


Рис. 11. Распределение ЭПС конденсаторов с двойным электрическим слоем при испытании на длительную безотказность

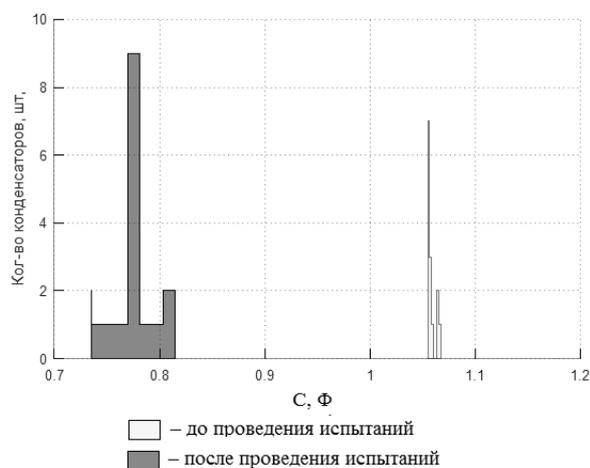


Рис. 12. Распределение емкости конденсаторов с двойным электрическим слоем при проведении стресс-теста

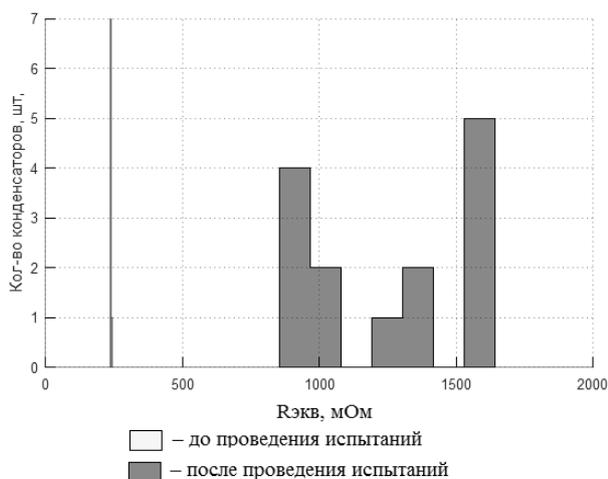


Рис. 13. Распределение ЭПС конденсаторов с двойным электрическим слоем при проведении стресс-теста

При проведении оценки распределения емкости и ЭПС после проведения испытаний на длительную безотказность и после проведения стресс-теста значений, приведенных на гистограммах (рис. 10–13), отсутствует возможность проведения аналогий по частотам вхождения параметров в ряды распределения, что связано с отличной структурой строения конденсаторов с двойным электрическим слоем от классической конструкции конденсаторов.

Выводы

При проведении сравнительных испытаний и проведения анализа установлено, что применение метода «Стресс-тест» допустимо при испытании объемно-пористых танталовых конденсаторов и оксидно-электролитических алюминиевых конденсаторов, так как прослеживается аналогичный характер изменения параметров, как и после проведения испытаний на длительную безотказность, но при этом экономится время проведения испытаний (для танталовых объемно-пористых конденсаторов время проведения испытаний сокращается ориентировочно на 2,5 года, для алюминиевых оксидно-электролитических на 4 месяца). Однако применение стресс-теста для конденсаторов с двойным электрическим слоем не представляется возможным в связи с отличной структурой по сравнению с классической конструкцией конденсаторов и требует дополнительного подбора режимов проведения ускоренных испытаний.

Библиографические ссылки

1. Горбачев В., Кочемасов В., Хорев С. Оксидные конденсаторы // Компоненты и технологии. 2020. № 6 (227). С. 34–39.
2. Сергеев А. Е., Муратова Э. Д. Концепция использования конденсаторов с двойным электрическим слоем: проблемы и перспективы // Академия педагогических идей. Новация. Серия: Студенческий научный вестник. 2019. № 3. С. 192–194.
3. Горбачев И. П., Сашов А. А. Метод выявления внутренних дефектов танталовых конденсаторов для снижения количества отказов аппаратуры // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2019. Т. 6. № 1. С. 94–101. DOI 10.30894/issn2409-0239.2019.6.1.94.101.
4. Кузнецов П. Л., Ломаев Г. В., Кузнецова В. А. Исследование влияния характеристик технологического процесса изготовления на изменения эксплуатационных характеристик танталовых объемно-пористых конденсаторов во времени // Вестник Ижевского государственного технического университета. 2014. № 1. С. 11–15.
5. Получение пористых танталовых анодов для электролитических конденсаторов при помощи послойного поточечного электроимпульсного спека-

ния / И. А. Елькин, К. С. Столбов, В. А. Волков [и др.] // Химическая физика и мезоскопия. 2020. Т. 22, № 4. С. 421–433. DOI: 10.15350/17270529.2020.4.40.

6. Кузнецова В. А., Муравьев В. В. Ускоренные испытания сохраняемости танталовых конденсаторов с использованием теплового метода // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2018. Т. 21, № 1. С. 82–88. DOI: 10.22213/2413-1172-2018-1-82-88.

7. Барсуков В. К., Сибгатуллин Б. И. Контроль качества танталовых чип-конденсаторов с помощью испытаний импульсным током // Контроль. Диагностика. 2018. № 3. С. 58–63. DOI: 10.14489/td.2018.03.pp.058-063.

8. Кузнецова В. А., Муравьев В. В. Прогнозирование сохраняемости танталовых оксидно-полупроводниковых чип-конденсаторов по временной зависимости // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2016. Т. 19. № 4. С. 69–72. DOI: 10.22213/2413-1172-2016-4-69-72.

9. Кузнецова В. А., Муравьев В. В. Метод ускоренных испытаний сохраняемости танталовых оксидно-полупроводниковых чип-конденсаторов // Контроль. Диагностика. 2016. № 7. С. 57–60. DOI: 10.14489/td.2016.07.pp.057-060.

10. Кузнецова В. А., Муравьев В. В. Влияние конструктивных характеристик анода на эксплуатационные параметры оксидно-полупроводниковых танталовых чип-конденсаторов // Вестник Ижевского государственного технического университета. 2014. № 4. С. 105–107.

11. Беляева Е. А., Муравьев В. В. Управление производством танталовых конденсаторов с жидким электролитом посредством контроля операционного выхода годных // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2015. Т. 18. № 2. С. 72–75.

12. Беляева Е. А., Муравьев В. В. Влияние пористости и режимов оксидирования анода на качество танталовых конденсаторов с жидким электролитом // Контроль. Диагностика. 2016. № 3. С. 62–70. DOI: 10.14489/td.2016.03.pp.062-070.

13. Беляева Е. А., Муравьев В. В. Управление качеством танталовых конденсаторов на основе анализа дефектов, возникающих на этапах технологического процесса и обнаруживаемых при эксплуатации // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2018. Т. 21, № 1. С. 74–81. DOI: 10.22213/2413-1172-2018-1-74-81.

14. Беляева Е. А., Муравьев В. В. Комплексный контроль качества приварки выводов танталовых объемно-пористых конденсаторов // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2018. Т. 21, № 2. С. 147–158. DOI: 10.22213/2413-1172-2018-2-147-158.

15. Кузнецов П. Л., Муравьев В. В. Контроль качества электролитических танталовых конденсаторов с использованием стресс-теста // Приборы и методы измерений. 2015. № 1. С. 76–80.

References

1. Gorbachev V., Kochemasov V., Horev S. [Oxide capacitors]. Components and Technologies, 2020, no. 6 (227), pp. 34-39 (in Russ.).

2. Sergeev A.E., Muratova E.D [Concept of using capacitors with double electrical layer: problems and prospects]. Academy of Pedagogical Ideas Novation. Series: Student Science Bulletin, 2019, no. 3, pp. 192-194 (in Russ.).

3. Gorbachev I.P., Sashov A. A. [Method to detect internal defects of tantalum capacitors to decrease failures of the equipment]. Rocket-Space Device Engineering and Information Systems, 2019, vol. 6, no. 1, pp. 94-101 (in Russ.). DOI 10.30894/issn2409-0239.2019.6.1.94.101.

4. Kuznetsov P.L., Lomaev G.V., Kuznetsova V.A. [Study of the influence of the characteristics of the manufacturing process on changes in the operational characteristics of tantalum volume-porous capacitors over time]. Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova, 2014, no. 1, pp. 11-15 (in Russ.).

5. Elkin I.A., Stolbov K.S., Volkov V.A., Baryshev O.B., Beltyukov A.N., Goncharov O.Y., Rybin S.V., Stepanov A.V., Chulkina A.A. [Production of porous tantalum anodes for electrolytic capacitors using spot pulsed electric current sintering]. Chemical physics and mesoscopy, 2020, vol. 22, no. 4, pp. 421-433 (in Russ.). DOI 10.15350/17270529.2020.4.40.

6. Kuznetsova V.A., Muravyov V.V. [Accelerated tests of the storageability of tantalum capacitors using the thermal method]. Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova, 2018, vol.21, no. 1, pp. 82-88 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2018-1-82-88.

7. Barsukov V.K., Sibgatuллин B.I. [Quality control of tantalum chip capacitors by using surge current test]. Control. Diagnostics, 2018, no. 3, pp. 58-63 (in Russ.). DOI: 10.14489/td.2018.03.pp.058-063.

8. Kuznetsova V.A., Muravyov V.V. [Forecasting the persistence of tantalum chip-capacitors depending on time]. Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova, 2016, vol.19, no. 4, pp. 69-72 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2016-4-69-72.

9. Kuznetsova V.A., Muravyov V.V. [Method of accelerated tests for persistence of tantalum chip capacitor]. Control. Diagnostics, 2016, no. 7, pp. 57-60 (in Russ.). DOI: 10.14489/td.2016.07.pp.057-060.

10. Kuznetsova V.A., Muravyov V.V. [Influence of anode constructive characteristics on operation parameters of solid tantalum chip capacitors]. Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova, 2014, no. 4, pp. 105-107 (in Russ.).

11. Belyaeva E.A., Muravyov V.V. [Production control of wet tantalum capacitors by means of yield monitoring]. Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova, 2015, vol. 18, no. 2, pp. 72-75 (in Russ.).

12. Belyaeva E.A., Muravyov V.V. [The effect of the anode porosity and anodizing methods modification on the wet 6 capacitors quality]. Control. Diagnostics, 2016, no. 3, pp. 62-70 (in Russ.). DOI: 10.14489/td.2016.03.pp.062-070.

13. Belyaeva E.A., Muravyov V.V. [Quality control of tantalum capacitors based on the analysis of defects appearing in the production and detected in operation process]. *Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova*, 2018, vol. 21, no. 1, pp. 74-81 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2018-1-74-81.

14. Belyaeva E.A., Muravyov V.V. [Integrative quality control of wet tantalum capacitors terminal welding].

Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova, 2018, vol. 21, no. 2, pp. 147-158 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2018-2-147-158.

15. Kuznetsov P.L., Muravyov V.V. [The quality control of electrolytic tantalum capacitors by using the stress test]. *Instruments and measurement methods*, 2015, no. 1, pp. 76-80 (in Russ.).

Application of the STRESS TEST Method for Quality Control of Electrolytic Capacitors and Capacitors with a Double Electric Layer

P. L. Kuznetsov, Chief of metrologist department, JSC Elecond, Sarapul, Russia

The paper deals with the problem of confirming the long-term reliability of modern capacitor construction in a short time, namely, oxide-electrolytic aluminum capacitors, tantalum capacitors and capacitors with a double electric layer. Special attention is paid to the operational parameters of capacitors – the capacitance and equivalent series resistance.

A study of the long-term reliability of oxide-electrolytic aluminum capacitors (3,000 h), tantalum capacitors (24,000 h) and capacitors with a double electric layer (600 h) was carried out, and statistical data on the distribution of capacitance and equivalent series resistance were obtained. In order to reduce the time of conducting tests for long-term reliability, an accelerated method of conducting tests for reliability, the STRESS TEST, was used. Analysis of the results of tests of capacitors for long-term reliability and the STRESS TEST method showed that the use of the STRESS TEST method is permissible when testing tantalum capacitors and oxide-electrolytic aluminum capacitors, since there is a similar nature of changes in electrical parameters as after conducting tests for long-term reliability. However, the use of the STRESS TEST method for capacitors with a double electric layer is not possible due to the excellent structure and requires additional selection of test modes.

Keywords: oxide-electrolytic aluminum capacitors, tantalum capacitors, capacitance, equivalent series resistance, reliability, quality.

Получено: 11.05.2021