



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р
МЭК 62576—
2020

КОНДЕНСАТОРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДВОЙНОСЛОЙНЫЕ ДЛЯ ГИБРИДНЫХ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Методы испытаний по определению электрических характеристик

(IEC 62576:2018, Electric double-layer capacitors for use in hybrid electric vehicles — Test methods for electrical characteristics, IDT)

Издание официальное



Москва
Стандартинформ
2020

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Национальной ассоциацией производителей источников тока «РУСБАТ» (Ассоциация «РУСБАТ») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4, и Федеральным государственным унитарным предприятием «Российский научно-технический центр информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия» (ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 044 «Аккумуляторы и батареи»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 сентября 2020 г. № 637-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту МЭК 62576:2018 «Конденсаторы электрические двойнослойные для использования в гибридных электромобилях. Методы испытаний электрических характеристик» (IEC 62576:2018 «Electric double-layer capacitors for use in hybrid electric vehicles — Test methods for electrical characteristics», IDT).

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5—2012 (пункт 3.5).

Дополнительные сноски в тексте стандарта, выделенные курсивом, приведены для пояснения текста оригинала

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.gost.ru)

© IEC, 2018 — Все права сохраняются
© Стандартинформ, оформление, 2020

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

II

Содержание

1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	1
3 Термины и определения	1
4 Методы испытаний	3
4.1 Емкость, внутреннее сопротивление и максимальная удельная мощность	3
4.2 Характеристики поддержания напряжения	6
4.3 Энергоэффективность	7
Приложение А (справочное) Испытание на долговечность. Непрерывное приложение нормированного напряжения при высокой температуре	10
Приложение В (справочное) Время достижения теплового равновесия конденсаторов	11
Приложение С (справочное) Эффективность заряда/разряда и ток измерения	13
Приложение D (справочное) Процедуры определения измерительного тока конденсатора с неопределенным номинальным внутренним сопротивлением	14
Приложение Е (справочное) Испытание на долговечность	15
Библиография	18

Введение

Электрические двойнослойные конденсаторы (конденсаторы) используют в качестве системы накопления энергии для транспортных средств. Электромобили с установленными конденсаторами коммерциализируют с целью повышения экономии топлива за счет использования энергии рекуперации, а также увеличения пиковой мощности во время ускорения и т. д.

Несмотря на то что в настоящее время на конденсаторы разработаны и действуют стандарты серии МЭК 62391, при их применении в электромобилях следует учитывать модели и условия использования и значения токов, которые значительно отличаются от установленных в действующих стандартах. Стандартные методы испытания и их оценки будут полезны как изготовителям автомобилей, так и поставщикам конденсаторов для ускорения разработки и снижения стоимости таких конденсаторов. С учетом этих соображений настоящий стандарт устанавливает основные и минимальные электрические характеристики и методы их испытаний для создания условий, способствующих расширению рынка электромобилей и конденсаторов большой емкости. Дополнительные практические статьи испытаний, подлежащие стандартизации, должны быть пересмотрены после развития технологии и стабилизации рынка конденсаторов для электромобилей. В отношении долговечности, которая важна для практического использования, в справочных приложениях изложена только основная концепция.

КОНДЕНСАТОРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДВОЙНОСЛОЙНЫЕ
ДЛЯ ГИБРИДНЫХ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Методы испытаний по определению электрических характеристик

Electric double-layer capacitors for hybrid electric vehicles. Test methods for electrical characteristics

Дата введения — 2021—03—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на электрические двойнослойные конденсаторы (далее — конденсаторы), применяемые в гибридных электромобилях для обеспечения пиковой мощности и рекуперации, и устанавливает методы испытания по определению их электрических характеристик.

Испытания, установленные в настоящем стандарте, являются типовыми.

Настоящий стандарт распространяется на конденсаторы, используемые в системах уменьшения потерь на холостом ходу (системы «старт-стоп») для транспортных средств.

Методы испытаний, установленные в настоящем стандарте, допускается применять к конденсаторным модулям, состоящим из более чем одного элемента.

Примечание — Приложение Е содержит информацию об испытаниях на стойкость к циклированию.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте нормативные ссылки отсутствуют.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями.

ИСО и МЭК ведут терминологические базы данных для использования в стандартизации по следующим адресам:

- электропедия МЭК, которая доступна на <http://www.electropedia.org/>;
- платформа онлайн-просмотра ИСО, которая доступна на <http://www.iso.org/obp>.

3.1 температура окружающей среды (ambient temperature): Температура воздуха, фиксируемая в непосредственной близости от конденсатора.

3.2 приложенное напряжение (applied voltage): Напряжение, приложенное к выводам конденсатора, В.

3.3 конечное напряжение расчета (calculation end voltage): Напряжение в выбранной конечной точке для расчета характеристик, В, включая емкость, в условиях снижения напряжения во время разряда.

3.4 начальное напряжение расчета (calculation start voltage): Напряжение в выбранной начальной точке для расчета характеристик, В, включая емкость, в условиях снижения напряжения во время разряда.

3.5 емкость (capacitance): Способность конденсатора накапливать электрический заряд, Ф.

3.6 электрическая энергия, накопленная при заряде (charge accumulated electrical energy): Количество энергии, накопленное от начала до конца заряда, Дж.

3.7 ток заряда I_c (charge current, I_c): Ток, необходимый для заряда конденсатора, А.

3.8 эффективность заряда (charging efficiency): Отношение электрической энергии, накопленной при заряде при установленных условиях заряда, к затраченной энергии на заряд, выраженное в процентах.

Примечания

1 Значение эффективности заряда вычисляют исходя из внутреннего сопротивления конденсатора.

2 См. формулу (C.8), приложение C.

3.9 заряд при постоянном напряжении (constant voltage charging): Заряд, при котором напряжение поддерживается на постоянном уровне независимо от тока или температуры заряда.

3.10 электрическая энергия, отданная при разряде (discharge accumulated electrical energy): Количество энергии, отданное от начала до конца разряда, Дж.

3.11 ток разряда I_d (discharge current, I_d): Ток, необходимый для разряда конденсатора, А.

3.12 эффективность разряда (discharging efficiency): Отношение электрической энергии, отданной при разряде при указанных условиях разряда, к накопленной энергии, выраженное в процентах.

Примечания

1 Значение эффективности разряда вычисляют исходя из внутреннего сопротивления конденсатора.

2 См. формулу (C.10), приложение C.

3.13 электрический двойной слойный конденсатор (electric double-layer capacitor; capacitor): Устройство, которое накапливает электрическую энергию в электрохимическом элементе с использованием двойного слоя, положительный и отрицательный электроды которого выполнены из одного материала¹⁾.

Примечание — Электролитический конденсатор не относится к понятию «конденсатор» в настоящем стандарте.

3.14 энергоэффективность E_f (energy efficiency, E_f): Отношение электрической энергии, отданной при разряде, к электрической энергии, затраченной при заряде при установленных условиях заряда и разряда, выраженное в процентах.

3.15 внутреннее сопротивление (internal resistance): Суммарное сопротивление удельного сопротивления составляющего материала и внутреннего сопротивления конденсатора, Ом.

3.16 максимальная удельная мощность P_{dm} (maximum power density, P_{dm}): Наибольшая выходная электрическая мощность конденсатора в расчете на массу, Вт/кг, или объем, Вт/л.

3.17 номинальное внутреннее сопротивление R_N (nominal internal resistance, R_N): Значение внутреннего сопротивления, которое следует использовать при проектировании и настройке условий измерения, как правило, при температуре окружающей среды, Ом.

3.18 постобработка (post-treatment): Разряд и выдержка конденсатора при установленных условиях окружающей среды (температура, влажность и давление) после испытаний.

Примечание — Как правило, постобработка подразумевает, что конденсатор разряжают и выдерживают до тех пор, пока его внутренняя температура не достигнет теплового равновесия с температурой окружающей среды, прежде чем будут измерены его электрические характеристики.

3.19 предварительное кондиционирование (pre-conditioning): Заряд, разряд и выдержка конденсатора при установленных условиях окружающей среды (температура, влажность и давление) перед испытанием.

Примечание — Как правило, под предварительным кондиционированием подразумевают, что конденсатор разряжают и выдерживают до тех пор, пока его внутренняя температура не достигнет теплового равновесия с температурой окружающей среды, прежде чем будут измерены его электрические характеристики.

3.20 нормированное напряжение U_R (rated voltage, U_R): Максимальное постоянное напряжение, В, которое может быть подано непрерывно в течение установленного времени при верхней температуре категории для конденсатора, при котором могут быть обеспечены установленные характеристики конденсатора.

Примечания

1 Нормированное напряжение является уставкой напряжения в конструкции конденсатора.

2 Испытание на стойкость к нормированному напряжению приведено в приложении A.

3.21 комнатная температура (room temperature): Температура воздуха вблизи испытуемого устройства, в настоящем стандарте соответствующая $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

¹⁾ Кроме приведенного в описании конденсатора с одинаковыми электродами, называемого симметричным, на практике применяют и другие виды, так называемые «несимметричные», когда один из электродов является электрохимически активным (например, никелевый электрод щелочного аккумулятора).

3.22 **накопленная энергия** (stored energy): Энергия, запасенная в конденсаторе, Дж.

3.23 **верхняя температура категории** (upper category temperature): Самая высокая температура окружающей среды, при которой конденсатор может непрерывно работать.

3.24 **характеристики поддержания напряжения** (voltage maintenance characteristics): Способность конденсатора поддерживать напряжение на незамкнутых выводах по истечении заданного периода времени после заряда.

3.25 **коэффициент поддержания напряжения** (voltage maintenance rate ratio of voltage maintenance): Отношение значения напряжения на незамкнутых выводах к значению напряжения заряда через определенный промежуток времени после заряда конденсатора.

4 Методы испытаний

4.1 Емкость, внутреннее сопротивление и максимальная удельная мощность

4.1.1 Схема для измерения

Емкость и внутреннее сопротивление измеряют с использованием заряда постоянным током и при постоянном напряжении и разряда постоянным током. На рисунке 1 показана принципиальная схема, которую применяют для измерения.

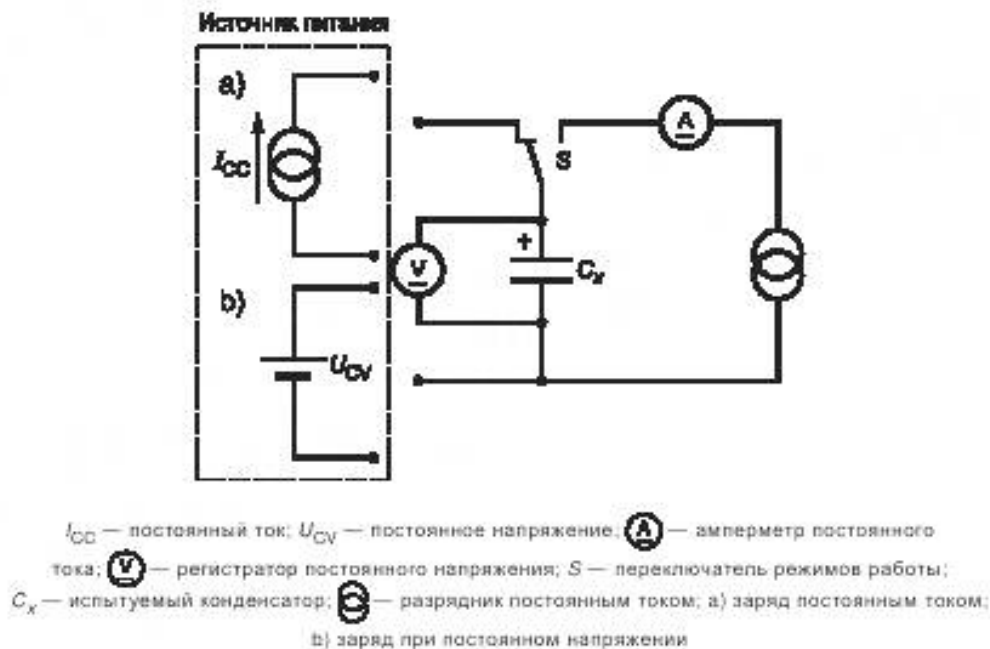


Рисунок 1 — Принципиальная схема для измерения емкости, внутреннего сопротивления и максимальной удельной мощности

4.1.2 Испытательное оборудование

Испытательное оборудование должно обеспечивать возможность заряжать постоянным током, постоянным напряжением, разряжать постоянным током и непрерывно измерять ток и напряжение на выводах конденсатора во временных рядах, как показано на рисунке 2, и, кроме того, устанавливать ток и напряжение с точностью, равной $\pm 1\%$ или менее, и измерять ток и напряжение с точностью, равной $\pm 0,1\%$.

Источник питания должен обеспечивать постоянный ток заряда, при котором конденсатор заряжается с эффективностью 95 %, устанавливать продолжительность заряда постоянного напряжения и обеспечивать ток разряда, соответствующий необходимой эффективности разряда. Регистратор напряжения постоянного тока должен обеспечивать проведение измерения и запись с интервалом выборки 10 мс или менее.

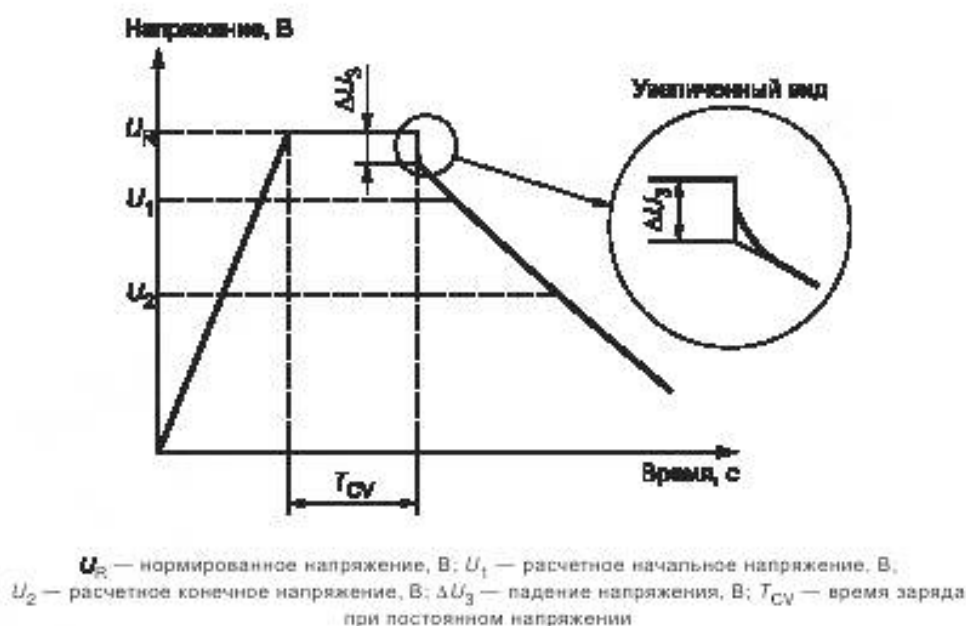


Рисунок 2 — Вольт-амперные характеристики на выводах конденсатора при измерении емкости и внутреннего сопротивления

4.1.3 Процедура измерения

Измерения проводят с использованием испытательного оборудования, указанного в 4.1.2, в соответствии со следующими процедурами.

а) Предварительное кондиционирование

Перед измерением конденсаторы полностью заряжают и полностью разряжают, а затем выдерживают в течение 2—6 ч при комнатной температуре или температуре, указанной в соответствующих стандартах.

Примечания

1 Определение времени достижения теплового равновесия конденсаторов, которое служит эталоном для времени выдержки, приведено в приложении В.

2 Заряд и разряд допускается повторять при необходимости до тех пор, пока емкость и внутреннее сопротивление не стабилизируются.

Пример — Образец заряжают и разряжают током, указанным изготовителем, в следующем порядке:

- 1) полностью разряжают;
- 2) заряжают до U_R ;
- 3) разряжают до достижения $0,5U_R$;
- 4) повторяют десять раз действия по перечислениям 2) и 3).

б) Установка образцов

Устанавливают образцы конденсаторов на испытательном оборудовании.

в) Настройка испытательного оборудования

Если в соответствующих стандартах не установлены другие требования, то испытательное оборудование настраивают следующим образом:

1) устанавливают постоянный ток заряда I_c , при котором конденсаторы должны заряжаться с эффективностью заряда 95 % на основе их номинального внутреннего сопротивления R_N . Значение тока вычисляют по $I_c = U_R / 38R_N$.

Значение постоянного тока или эффективность заряда можно изменить в соответствии с соглашением, заключенным между изготовителем и потребителем.

Примечание — Общая концепция эффективности заряда или разряда на уровне 95 % приведена в приложении С. Если номинальное значение внутреннего сопротивления конденсатора является неопределенным, то ток для измерения можно установить в соответствии с рекомендуемыми процедурами, приведенными в приложении D;

2) устанавливают максимальное напряжение для заряда постоянным током, равным нормированному напряжению U_R ;

3) устанавливают продолжительность заряда при постоянном напряжении T_{CV} 300 с;

4) устанавливают значение постоянного тока разряда. При данном значении тока конденсаторы должны разряжаться с эффективностью 95 % на основе их номинального внутреннего сопротивления R_N . Значение тока вычисляют по $I_d = U_R / 40 R_N$.

Значение постоянного тока или эффективность разряда могут быть изменены в соответствии с соглашением, заключенным между изготовителем и потребителем;

5) устанавливают интервал выборки измерений 10 мс или менее и настраивают испытательное оборудование таким образом, чтобы измерять характеристики падения напряжения до $0,5 U$.

d) Испытание

В соответствии с настройкой согласно перечислению с) конденсатор заряжают и разряжают в нижеприведенном порядке и измеряют напряжение на его выводах, как показано на рисунке 2:

- постоянный ток заряда до достижения U_R ;
- заряд при постоянном напряжении U_R в течение 300 с;
- разряд постоянным током до достижения $0,4 U_R$.

4.1.4 Метод расчета емкости

Емкость C вычисляют по формуле (1) на основе зависимости напряжения на выводах конденсатора от времени.

Примечание — Данный метод расчета называют «методом преобразования емкости из энергии».

$$C = \frac{2W}{(0,9U_R)^2 - (0,7U_R)^2}, \quad (1)$$

где C — емкость конденсатора, Ф;

W — энергия, измеренная при разряде от начального напряжения расчета ($0,9U_R$) до конечного напряжения расчета ($0,7U_R$), Дж;

U_R — нормированное напряжение, В.

4.1.5 Метод расчета внутреннего сопротивления

Внутреннее сопротивление R вычисляют по формуле (2) на основе зависимости напряжения на выводах конденсатора от времени, полученной в 4.1.4:

$$R = \frac{\Delta U_3}{I_d}, \quad (2)$$

где R — внутреннее сопротивление конденсатора, Ом;

I_d — ток разряда, А;

ΔU_3 — падение напряжения, В.

Для получения значения ΔU_3 применяют прямолинейное приближение к характеристикам падения напряжения от начального напряжения расчета ($0,9U_R$) до конечного напряжения расчета ($0,7U_R$) с использованием метода наименьших квадратов. Затем получают пересечение (значение напряжения) прямой линии в начале времени разряда. ΔU_3 — разница напряжений, В, между значением напряжения точки пересечения и установленным значением постоянного напряжения заряда.

Примечание — Данный метод расчета называют «определение внутреннего сопротивления методом наименьших квадратов».

4.1.6 Метод расчета максимальной удельной мощности

Максимальную удельную мощность P_{dm} вычисляют по формуле (3) с использованием значения внутреннего сопротивления, полученного в 4.1.5.

Примечание — Данный метод расчета называют «определение удельной мощности по среднеквадратическому внутреннему сопротивлению».

$$P_{dm} = \frac{0,25U_R^2}{RM}, \quad (3)$$

где P_{dm} — максимальная удельная мощность конденсатора, Вт/кг или Вт/л;

U_R — нормированное напряжение, В;

R — расчетное внутреннее сопротивление, Ом;

M — масса, кг, или объем конденсатора, л.

4.2 Характеристики поддержания напряжения

4.2.1 Схема для измерения

На рисунке 3 приведена принципиальная схема для измерения характеристик поддержания напряжения.

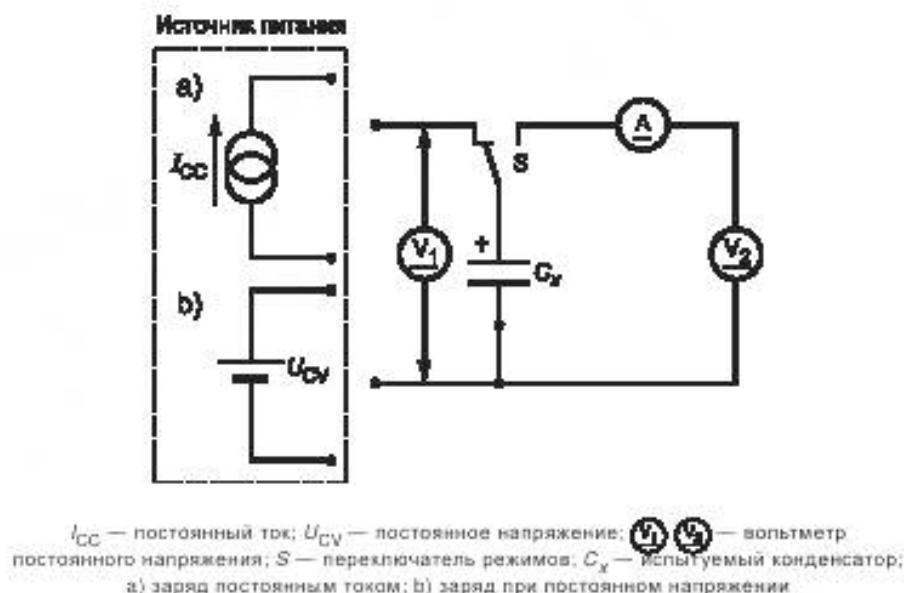


Рисунок 3 — Принципиальная схема для измерения характеристик поддержания напряжения

4.2.2 Испытательное оборудование

Испытательное оборудование должно обеспечивать возможность заряжать постоянным током, постоянным напряжением и непрерывно измерять напряжение на выводах конденсатора во временных рядах, как показано на рисунке 4, и, кроме того, устанавливать и измерять ток и напряжение с точностью, равной $\pm 1\%$ или менее.

Источник питания должен обеспечивать постоянный зарядный ток для заряда конденсатора с эффективностью 95 % и продолжительность заряда постоянным напряжением.

Регистраторы напряжения постоянного тока V_1 и V_2 для измерения напряжения должны быть разрешением 5 мВ или менее. Входное сопротивление регистратора должно быть достаточно высоким, чтобы погрешности измерений были незначительными.

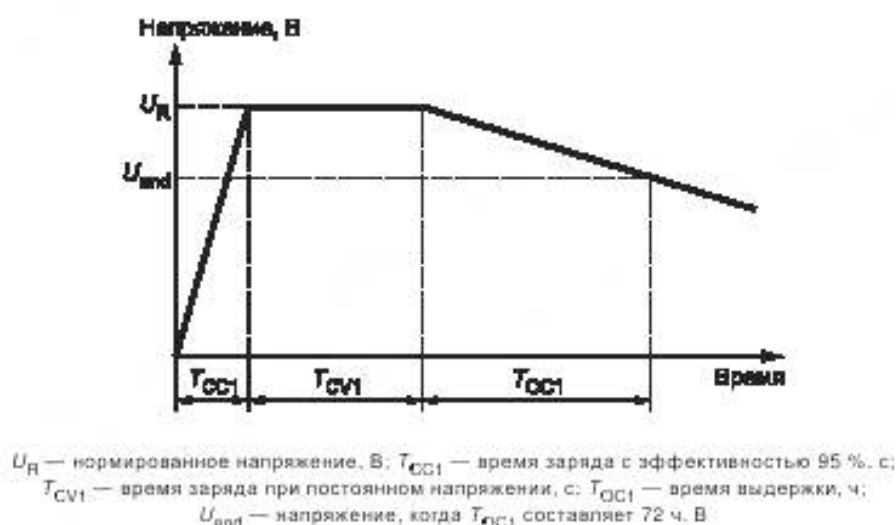


Рисунок 4 — Напряжение на выводах конденсатора от времени в испытании поддержания напряжения

4.2.3 Процедуры измерения

Измерения проводят с использованием испытательного оборудования, указанного в 4.2.2, в соответствии со следующими процедурами.

а) Предварительное кондиционирование

Перед измерением конденсаторы полностью заряжают и полностью разряжают, а затем выдерживают в течение 2—6 ч при комнатной температуре или температуре, указанной в соответствующих стандартах.

Примечания

1 Определение времени достижения теплового равновесия, которое служит эталоном для времени выдержки, приведено в приложении В.

2 Заряд и разряд допускается повторять при необходимости до тех пор, пока емкость и внутреннее сопротивление не стабилизируются.

Пример — Образец заряжают и разряжают током, указанным изготовителем, в следующем порядке:

1) полностью разряжают;

2) заряжают до U_R ;

3) разряжают до достижения $0,5U_R$;

4) повторяют десять раз действия по перечислениям 2) и 3).

б) Установка испытуемых образцов

Устанавливают образцы конденсаторов на испытательном оборудовании.

в) Настройка испытательного оборудования

Если в соответствующих стандартах не установлены другие требования, то испытательное оборудование настраивают следующим образом:

1) устанавливают значение постоянного тока для заряда, I_c , при котором конденсаторы должны заряжаться с эффективностью заряда 95 % на основе их номинального внутреннего сопротивления R_N . Значение тока вычисляют по $I_c = U_R / 38 R_N$.

Значение постоянного тока или эффективность заряда могут быть изменены в соответствии с соглашением, заключенным между потребителем и поставщиком.

Примечание — Общая концепция эффективности заряда или разряда на уровне 95 % описана в приложении С. Если номинальное значение внутреннего сопротивления конденсатора является неопределенным, то ток для измерения можно установить в соответствии с рекомендуемыми процедурами, приведенными в приложении D:

2) устанавливают максимальное напряжение для заряда постоянным током, равным нормированному напряжению U_R ;

3) устанавливают продолжительность заряда при постоянном напряжении T_{cv1} 300 с.

г) Испытание

1) В соответствии с перечислением в) заряжают образец в следующем порядке:

- постоянный ток заряда до достижения U_R ;

- заряд при постоянном напряжении U_R в течение 300 с.

2) Размыкают выводы конденсатора и через 72 ч измеряют напряжение на них.

4.2.4 Расчет коэффициента поддержания напряжения

Коэффициент поддержания напряжения A вычисляют по формуле

$$A = \frac{U_{\text{end}}}{U_R} \cdot 100, \quad (4)$$

где A — коэффициент поддержания напряжения, %;

U_{end} — напряжение на разомкнутых выводах конденсатора по истечении 72 ч (T_{OC1});

U — нормированное напряжение, В.

4.3 Энергоэффективность

4.3.1 Схема для испытания

Испытание энергоэффективности следует проводить постоянным током заряда и разряда. На рисунке 1 показана базовая схема, необходимая для этого испытания.

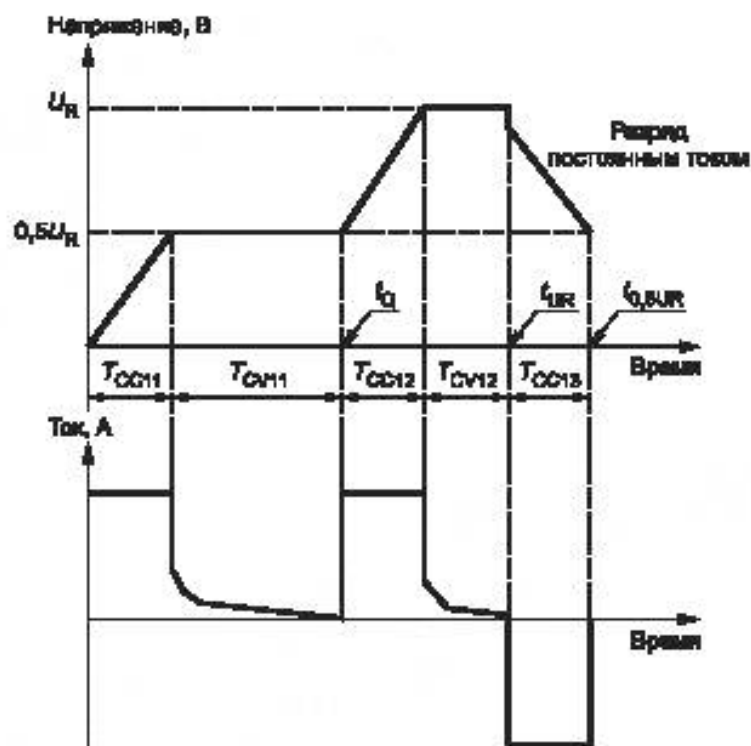
4.3.2 Испытательное оборудование

Испытательное оборудование должно обеспечивать возможность заряжать постоянным током, заряжать постоянным напряжением, разряжать постоянным током и непрерывно измерять ток и

напряжение на выводах конденсатора во временных рядах, как показано на рисунке 5, и, кроме того, устанавливать и измерять ток и напряжение с точностью, равной $\pm 1\%$ или менее.

Источник питания должен обеспечивать постоянный зарядный ток для заряда конденсатора с эффективностью 95 %, продолжительность заряда постоянным напряжением и ток разряда, соответствующий указанной эффективности разряда.

Регистратор напряжения постоянного тока должен обеспечивать проведение измерения и запись с разрешением 5 мВ и интервалом выборки 100 мс или менее.



U_R — нормированное напряжение, В; T_{CH1} — продолжительность заряда постоянным током до достижения $0,5U_R$, с; T_{CH2} — продолжительность заряда при постоянном напряжении $0,5U_R$, с; T_{CH3} — продолжительность заряда постоянным током до достижения U_R , с; T_{CH4} — продолжительность заряда при постоянном напряжении U_R , с; T_{CH5} — продолжительность разряда постоянным током от U_R до $0,5U_R$, с.

Рисунок 5 — Вольт-амперные характеристики на выводах конденсатора при проверке эффективности заряда/разряда

4.3.3 Процедуры измерения

Измерения проводят с использованием испытательного оборудования, указанного в 4.3.2, в соответствии со следующими процедурами.

а) Предварительное кондиционирование

Перед измерением конденсатор должен быть полностью заряжен и полностью разряжен, а затем выдержан в течение 2—6 ч при комнатной температуре или температуре, указанной в соответствующих стандартах.

Примечания

1 Определение времени достижения теплового равновесия, которое служит эталоном для времени выдержки, приведено в приложении В.

2 Заряд и разряд допускается повторять при необходимости до тех пор, пока емкость и внутреннее сопротивление не стабилизируются.

Пример — Образец заряжают и разряжают током, указанным изготовителем, в следующем порядке:

- 1) полностью разряжают;
- 2) заряжают до U_R ;

3) разряжают до достижения $0,5U_R$;

4) повторяют десять раз действия по перечислениям 2) и 3).

b) Установка испытуемых образцов

Устанавливают образцы конденсаторов на испытательном оборудовании.

c) Настройка испытательного оборудования

Если в соответствующих стандартах не установлены другие требования, то испытательное оборудование настраивают следующим образом:

1) устанавливают постоянный ток для заряда от 0 В до $0,5U_R$ и от $0,5U_R$ до U_R . При этом токе конденсаторы должны заряжаться с эффективностью заряда 95 % на основе их номинального внутреннего сопротивления R_N . Значение тока вычисляют по $I_c = U_R / 38R_N$.

Значение постоянного тока или эффективность заряда могут быть изменены в соответствии с соглашением, заключенным между потребителем и поставщиком.

Примечание — Общая концепция эффективности заряда или разряда на уровне 95 % приведена в приложении С. Если номинальное значение внутреннего сопротивления конденсатора является неопределенным, то ток для измерения можно установить в соответствии с рекомендуемыми процедурами, приведенными в приложении D;

2) устанавливают продолжительность заряда T_{CV11} при постоянном напряжении $0,5U_R$, равным 300 с, а T_{CV12} при U_R , равным 10 с;

3) устанавливают значение постоянного тока разряда. Это значение должно обеспечивать эффективность разряда 95 % на основе номинального внутреннего сопротивления конденсатора R_N . Значение тока вычисляют по $I_d = U_R / 40R_N$.

Значение постоянного тока или эффективность разряда могут быть изменены в соответствии с соглашением, заключенным между заказчиком и поставщиком.

Примечание — Общая концепция эффективности заряда или разряда на уровне 95 % описана в приложении С. Если номинальное значение внутреннего сопротивления конденсатора является неопределенным, то ток для измерения можно установить в соответствии с рекомендуемыми процедурами, описанными в приложении D.

d) Испытание

1) В соответствии с перечислением c) заряжают и разряжают образец в следующем порядке:

- постоянный ток заряда до достижения $0,5U_R$;
- заряд при постоянном напряжении $0,5U_R$ в течение 300 с;
- заряд постоянным током от $0,5U_R$ до U_R ;
- заряд при постоянном напряжении U_R в течение 10 с;
- разряд постоянным током до достижения $0,4U_R$.

2) Получают накопление заряда электрической энергии во время T_{CC12} и T_{CV12} и разряжают накопленную электрическую энергию во время T_{CC13} .

4.3.4 Расчет энергоэффективности

Энергетическую эффективность E_f вычисляют по формуле (5) на основе зависимости напряжение — время и ток — время в диапазоне от $0,5U_R$ до U_R .

$$E_f = \frac{W_d}{W_c} \cdot 100, \quad (5)$$

где E_f — энергоэффективность, %;

W_d — электрическая энергия, Дж, отданная во время разряда в течение периода T_{CC13} ;

W_c — электрическая энергия, Дж, полученная во время заряда в течение периода T_{CC12} плюс период T_{CV12} .

W_d вычисляют по формуле

$$W_d = \int_{t_0}^{t_{0,5U_R}} I_d U(t) dt. \quad (6)$$

W_c вычисляют по формуле

$$W_c = \int_{t_0}^{t_{U_R}} I_c U(t) dt. \quad (7)$$

Приложение А (справочное)

Испытание на долговечность. Непрерывное приложение нормированного напряжения при высокой температуре

А.1 Общие положения

В настоящем приложении приведен метод испытания конденсаторов на долговечность при непрерывном приложении нормированного напряжения при высокой температуре для определения значения нормированного напряжения по 3.20.

А.2 Процедура испытания

А.2.1 Условия испытания

Если в соответствующих стандартах не установлены другие требования, то условия испытаний должны быть следующими:

- температура испытания — верхняя температура категории;
- приложенное напряжение — нормированное напряжение;
- продолжительность испытания — 1000 ч.

А.2.2 Процедура испытания

а) Предварительное кондиционирование

Перед измерением конденсаторы полностью разряжают, а затем выдерживают в течение 2—6 ч при комнатной температуре.

б) Измерения в начале испытания

Емкость и внутреннее сопротивление конденсаторов измеряют в соответствии с 4.1.

с) Испытание

Конденсаторы помещают в камеру с верхней температурой категории и подают нормированное напряжение заряда в течение периода установленной продолжительности. Заряд до установленного нормированного напряжения заряда осуществляют путем подачи тока, обеспечивая эффективность заряда 95 % на основе номинального внутреннего сопротивления конденсаторов.

Значение постоянного тока или эффективность заряда могут быть изменены в соответствии с соглашением, заключенным между потребителем и изготовителем.

д) Постобработка (восстановление)

После завершения испытания конденсаторы вынимают из испытательной камеры, полностью разряжают и выдерживают при комнатной температуре в течение 2—6 ч.

е) Измерение в конце испытания

Помимо визуального осмотра измеряют емкость и внутреннее сопротивление конденсаторов в соответствии с 4.1 и получают степень изменения значений от значений, измеренных в начале испытания.

А.2.3 Критерии соответствия

Если другие требования не установлены в соглашении, заключенном между изготовителем и потребителем, то рекомендуется, чтобы степень изменения емкости ΔC и степень изменения внутреннего сопротивления ΔR соответствовали значениям, вычисленным по формулам (А.1) и (А.2) соответственно:

$$\Delta C = \left| \frac{C_i - C_f}{C_i} \right| \cdot 100 \leq 20 \%, \quad (\text{А.1})$$

где C_i — начальная емкость перед испытанием, Ф;

C_f — емкость после испытания, Ф;

$$\Delta R = \left| \frac{R_f - R_i}{R_i} \right| \cdot 100 \leq 50 \%, \quad (\text{А.2})$$

где R_i — начальное внутреннее сопротивление перед испытанием, Ом;

R_f — внутреннее сопротивление после испытания, Ом.

Приложение В (справочное)

Время достижения теплового равновесия конденсаторов

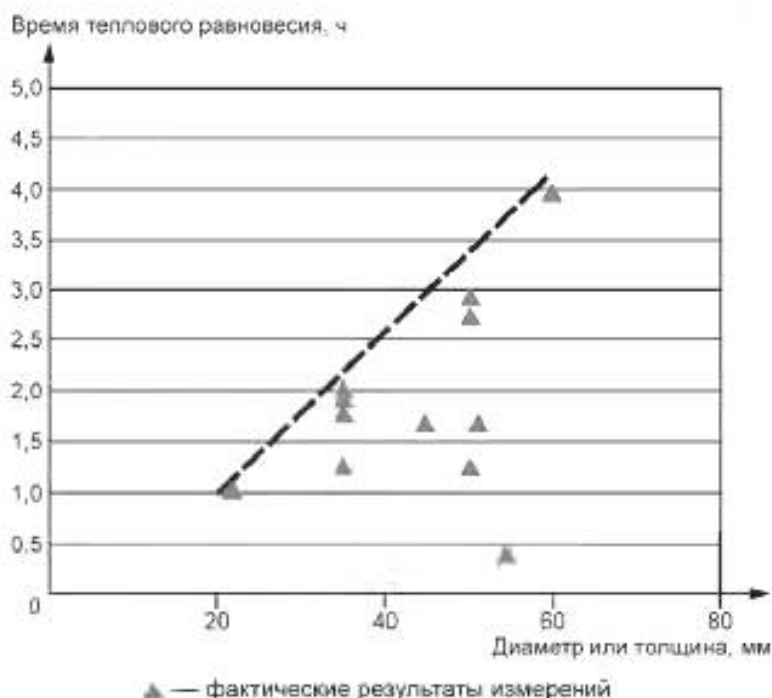
В.1 Общие положения

Настоящее приложение описывает определение времени достижения теплового равновесия конденсаторов в качестве эталона при определении времени выдержки для предварительной обработки.

В.2 Время достижения теплового равновесия конденсаторов

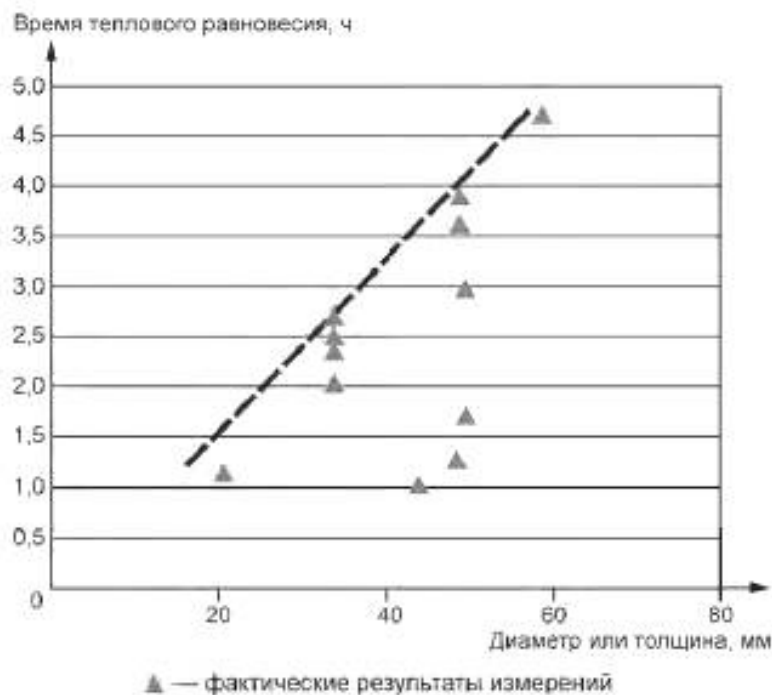
Время достижения теплового равновесия — время, необходимое для достижения центральной частью конденсатора температуры окружающей среды ± 1 °C. Предполагается, что время достижения теплового равновесия зависит от внешних размеров конденсатора.

Путем проверки получены данные времени установления теплового равновесия центральных частей конденсаторов, подвергнутых воздействию определенной температуры окружающей среды. В результате замечено, что время равновесия пропорционально величинам внешних размеров, таких как диаметр цилиндрических конденсаторов и толщина (самая тонкая сторона) призматических конденсаторов. На рисунке В.1 приведена зависимость времени достижения теплового равновесия от размеров конденсаторов при приведении их к нормальной комнатной температуре от высокой температуры. На рисунке В.2 показано время достижения теплового равновесия конденсаторов при приведении их к нормальной комнатной температуре от низкой температуры. На рисунках В.1 и В.2 пунктирными прямыми линиями показано предполагаемое самое продолжительное время достижения теплового равновесия. Рекомендуется использовать эти пунктирные прямые линии как время выдержки для предварительного кондиционирования. На рисунках В.3а) и В.3б) представлены фактические измеренные изменения температуры в центральных частях конденсаторов.



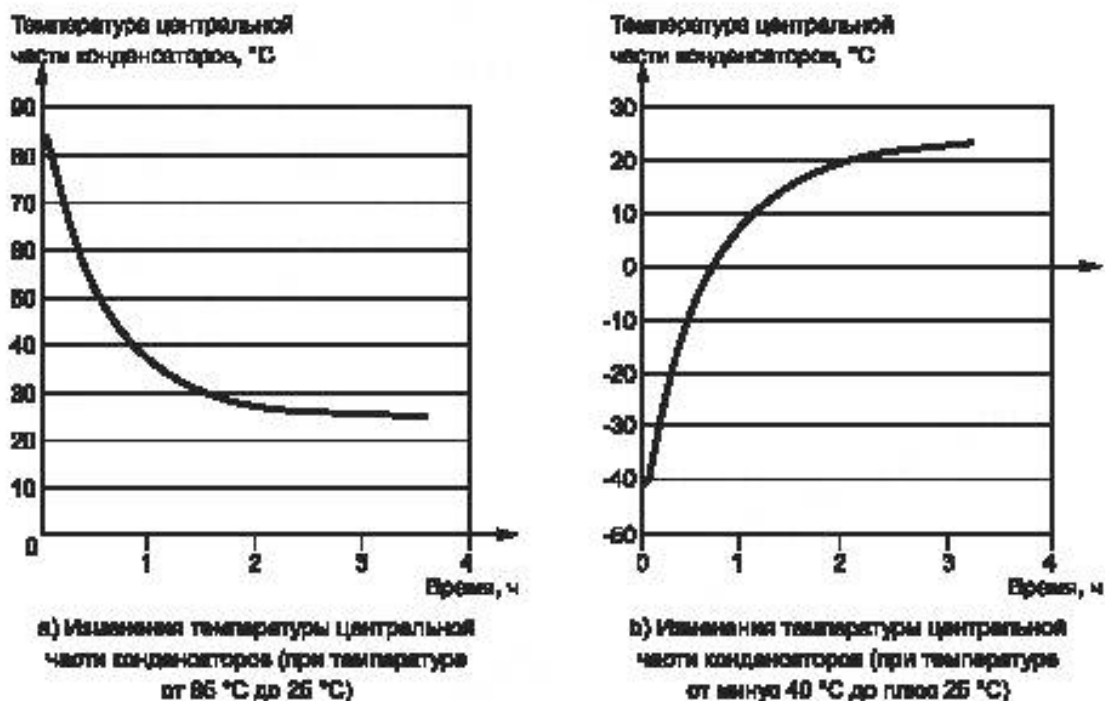
Пунктирная прямая линия показывает самое продолжительное предполагаемое время достижения теплового равновесия.

Рисунок В.1 — Время достижения теплового равновесия конденсаторов
(при температуре от 85 °C до 25 °C)



Пунктирная прямая линия показывает самое продолжительное предполагаемое время достижения теплового равновесия.

Рисунок В.2 — Время достижения теплового равновесия конденсаторов (при температуре от минус 40 °С до плюс 25 °С)



Размеры конденсаторов — Ø 51 мм × L 125 мм

Рисунок В.3 — Изменение температуры центральных частей конденсаторов

Приложение С
(справочное)

Эффективность заряда/разряда и ток измерения

С.1 Общие положения

Настоящее приложение описывает общую концепцию, касающуюся эффективности заряда/разряда и тока измерения, которые указаны в 4.1.3, 4.2.3 и 4.3.3.

С.2 Эффективность заряда, эффективность разряда и ток

Заряд Q после заряда или разряда в течение времени t при постоянном токе I , накопленную энергию W и энергию L , разряженную на сопротивление R , вычисляют по формулам (С.1), (С.2) и (С.3) соответственно:

$$Q = It; \quad (\text{С.1})$$

$$W = \frac{Q^2}{2C}; \quad (\text{С.2})$$

$$L = I^2 R t = \frac{R Q^2}{t}. \quad (\text{С.3})$$

Когда конденсатор заряжают или разряжают до полной емкости постоянным током [см. формулу (С.2) или (С.3) соответственно], энергоэффективность P_c для заряда или P_d для разряда вычисляют по формуле (С.4) или (С.5) соответственно, где R — внутреннее сопротивление, а C — емкость конденсатора:

$$P_c = \frac{W}{W + L} = \frac{t}{t + 2RC}; \quad (\text{С.4})$$

$$P_d = \frac{W - L}{W} = 1 - \frac{2RC}{t}. \quad (\text{С.5})$$

В настоящем стандарте эффективность заряда или разряда принята равной 95 % после учета экзотермического эффекта и затрат времени на измерение. Время t , необходимое для заряда с эффективностью 95 %, вычисляют по формуле (С.6), полученной из формулы (С.4):

$$t = 38RC. \quad (\text{С.6})$$

Значение заряда Q , накопленного в конденсаторе, вычисляют как произведение значений емкости C и зарядного напряжения U по формуле (С.7). Ток I_c для заряда с эффективностью 95 % вычисляют по формуле (С.8) исходя из формул (С.1), (С.6) и (С.7):

$$Q = CU; \quad (\text{С.7})$$

$$I_c = \frac{U}{38R}. \quad (\text{С.8})$$

Аналогично время t , необходимое для разряда с эффективностью 95 %, вычисляют по формуле (С.9), полученной из формулы (С.5), а ток I_d , необходимый для разряда с эффективностью 95 %, вычисляют по формуле (С.10):

$$t = 40RC; \quad (\text{С.9})$$

$$I_d = \frac{U}{40R}. \quad (\text{С.10})$$

Формулы (С.8) и (С.10) необходимы для вычисления значения тока для проверки заряда или разряда. Как только значение тока заряда/разряда определено, можно вычислить максимальный выход при целевом КПД.

Приложение D
(справочное)

**Процедуры определения измерительного тока конденсатора
с неопределенным номинальным внутренним сопротивлением**

D.1 Общие положения

В настоящем приложении приведены процедуры определения тока при неопределенном номинальном внутреннем сопротивлении (см. 4.1.3, 4.2.3 и 4.3.3).

D.2 Процедуры определения тока для измерения характеристик конденсатора

Если номинальное значение внутреннего сопротивления конденсатора является неопределенным, то ток для измерения характеристик конденсатора с эффективностью заряда 95 % и эффективностью разряда 95 % определяют в соответствии со следующими процедурами:

а) используя расчетное значение внутреннего сопротивления, измеряют зависимость напряжения на выводах конденсатора от времени в соответствии с 4.1.3, затем вычисляют внутреннее сопротивление согласно 4.1.5.

Если внутреннее сопротивление непредсказуемо, то рекомендуется временно установить токи заряда и разряда, равные 30 А;

б) используя значение внутреннего сопротивления, вычисленного по процедуре по перечислению а), измеряют зависимость напряжения на выводах конденсатора от времени в соответствии с 4.1.4, затем вычисляют внутреннее сопротивление согласно 4.1.6;

с) повторяют вышеуказанные процедуры до тех пор, пока разница между вычисленным значением внутреннего сопротивления и предыдущим значением не станет менее 10 % предыдущего значения.

Если ΔU_3 становится более $0,1 U_R$, то выполняют процедуры по перечислениям а) — с) с меньшим значением тока, после чего проводят измерения. Если вычисленное внутреннее сопротивление является отрицательным значением, то осуществляют процедуры по перечислениям а) — с) с большим значением тока, после чего проводят измерения.

D.3 Пример определения тока для определения характеристик конденсатора

В таблице D.1 приведены примеры определения измерительного тока в соответствии с условиями его определений.

Т а б л и ц а D.1 — Пример определения тока для измерения конденсатора

Условие определения	Значение внутреннего сопротивления, используемое для определения, мОм	Ток заряда, А	Ток разряда, А	Расчетная емкость, Ф	Расчетное внутреннее сопротивление, мОм
1	1,5 (предположительно)	47,4	45,0	1297	4,6
2	4,6 (вычисленное по результату условия определения 1)	15,4	14,7	1351	5,0
3	5,0 (вычисленное по результату условия определения 2)	14,2	13,5	1351	5,0

Приложение Е
(справочное)

Испытание на долговечность

Е.1 Общие положения

Испытание на долговечность конденсатора может быть выполнено с использованием следующей процедуры.

Примечание — Целью испытания на долговечность при циклическом испытании является подтверждение возможности работы конденсатора в тех условиях, которые фактически будут иметь место при эксплуатации.

Е.2 Метод испытания

Е.2.1 Температура испытания

Температура испытания — это верхняя температура категории, указанная изготовителем. Температуру испытания измеряют на корпусе конденсатора.

Е.2.2 Испытательное оборудование

Устройство заряда и разряда должно обеспечивать возможность заряжать и разряжать конденсатор постоянным током, как указано в Е.2.3.

Во время циклов заряда и разряда контролируют кривые напряжение — время всех конденсаторных элементов (далее — элемент) в испытательной установке.

Е.2.3 Предварительное кондиционирование

Конденсатор заряжают до U_R и проводят заряд при этом постоянном напряжении в течение 30 мин. Затем конденсатор разряжают соответствующим разрядным устройством. Конденсатор выдерживают при комнатной температуре в течение необходимого периода времени для достижения теплового равновесия.

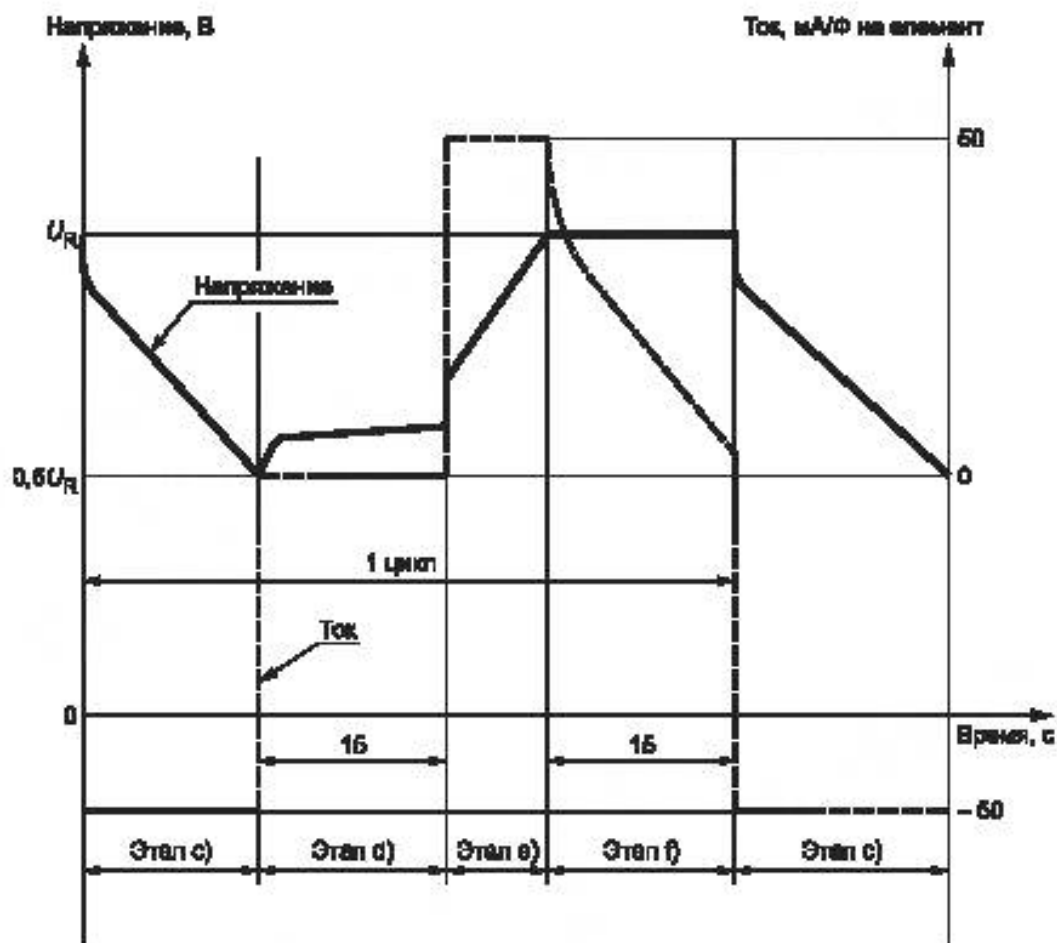
Е.2.4 Начальные измерения

Емкость и внутреннее сопротивление конденсатора измеряют в соответствии с 4.1.

Е.2.5 Стадии испытаний

Если в соответствующих стандартах не установлены другие требования, то испытание состоит из следующих этапов:

- а) заряд до достижения U_R с постоянным током 5 мА/Ф на элемент;
 - б) продолжение заряда при постоянном напряжении U_R в течение 30 мин;
 - в) разряд постоянным током 50 мА/Ф до достижения $0.5U_R$ на элемент;
 - г) пауза в течение 15 с без зарядного тока;
 - д) заряд постоянным током 50 мА/Ф до достижения U_R на элемент;
 - е) выдержка в течение 15 с при постоянном напряжении U_R .
- Этапы в) — е) повторяют непрерывно (см. рисунок Е.1) до достижения критериев окончания испытания.



Примечание — Кривая тока на этапе f) не является установленным значением, но показывает результат применения постоянного напряжения.

Рисунок Е.1 — Этапы испытаний на долговечность

Е.2.6 Испытания

Конденсатор подключают к зарядно-разрядному устройству и приступают к этапам испытаний в соответствии с Е.2.5. Когда конденсатор достигает температуры испытания, условия охлаждения/нагрева регулируют таким образом, чтобы была достигнута стабилизация при температуре испытания. После начальной стабилизации изменения температуры охлаждения/нагрева не допускаются.

Значения емкости и внутреннего сопротивления конденсатора могут быть получены во время выполнения этапа испытаний (циклирование) путем мониторинга кривых напряжение — время и их анализа. Начальную емкость и внутреннее сопротивление во время циклирования измеряют после того, как конденсатор достигнет теплового равновесия.

Примечание — Измерения емкости и внутреннего сопротивления во время циклирования могут отличаться от начальных измерений, как указано в Е.2.4, и окончательных измерений, как указано в Е.2.5, из-за различных токов измерения.

Е.2.7 Критерии окончания испытаний

Испытание заканчивают в тот момент, когда измеренное значение во время циклирования достигает одного из следующих критериев:

- емкость снижается до 80 % ее первоначального значения;
- внутреннее сопротивление достигает 150 % его первоначального значения.

Испытание может быть завершено до достижения указанных критериев окончания испытаний в зависимости от условий соглашения, заключенного между изготовителем и потребителем.

Е.2.8 Постобработка

Конденсатор выдерживают при комнатной температуре в течение необходимого периода времени для достижения теплового равновесия (см. приложение В).

Е.2.9 Измерения в конце испытаний

Измеряют емкость и внутреннее сопротивление конденсатора в соответствии с 4.1.

Е.2.10 Критерии соответствия

Число достигнутых циклов находится в пределах диапазона, согласованного между изготовителем и потребителем.

Если в соответствующих стандартах не установлены другие требования, то емкость составляет не менее 80 % начального измеренного значения, а внутреннее сопротивление не превышает 150 % установленного значения.

Отсутствуют видимые повреждения и утечки электролита.

Библиография

- | | |
|---|--|
| IEC 61881-3:2012 | Railway applications — Rolling stock equipment — Capacitors for power electronics — Part 3: Electric double-layer capacitors (Железнодорожный транспорт. Оборудование подвижного состава. Конденсаторы для силовой электроники. Часть 3. Электрические двойнослойные конденсаторы) |
| IEC 61881-3:2012/AMD1:2013
IEC 62391 (all parts) | Fixed electric double layer capacitors for use in electric and electronic equipment (Фиксированные электрические двойнослойные конденсаторы для использования в электрическом и электронном оборудовании) |

УДК 621.319.45:006.354

ОКС 31.060.99
43.120

Ключевые слова: конденсаторы, электромобили, гибриды

БЗ 10—2020/64

Редактор *Л.С. Зимилова*
Технические редакторы *В.Н. Прусакова, И.Е. Черепкова*
Корректор *Е.М. Поляченко*
Компьютерная верстка *Д.В. Кардановской*

Сдано в набор 10.09.2020. Подписано в печать 07.10.2020. Формат 60 × 84¹/₂. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,35.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ИД «Юриспруденция», 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, 11.
www.jurisizdat.ru y-book@mail.ru

Создано в единичном исполнении во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов.
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru