

ЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.319.4

В. В. Корепанов, магистрант;
Б. И. Сибгатуллин, магистрант;
А. В. Морозов, аспирант;
М. Л. Новоселов, аспирант;

В. К. Барсуков, кандидат технических наук, профессор;

В. А. Морозов, кандидат технических наук, доцент;

А. А. Штин, кандидат технических наук, доцент

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

АНАЛИЗ СХЕМ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ТАНТАЛОВЫХ ЧИП-КОНДЕНСАТОРОВ

Приводятся различные варианты построения схем источников питания для испытания танталовых чип-конденсаторов на безотказность. Результатом исследования является изготовление макетных стендов, защищенных патентами на полезную модель.

Ключевые слова: танталовый чип-конденсатор, источник питания, испытание на безотказность

В рамках проекта «Организация высокотехнологичного производства конденсаторов нового поколения» между ОАО «Элеконд» (Сарапул) и кафедрой «Электротехника» ИжГТУ имени М. Т. Калашникова был заключен договор о разработке и создании источника питания для испытания танталовых чип-конденсаторов в соответствии с техническим заданием. В ходе выполнения технического задания «Комплекс опытно-конструкторских работ по разработке технологического процесса измерения электропараметров конденсаторов с низким сопротивлением» также предполагалось разработать технологический процесс оценки электрических параметров конденсаторов и организовать рабочее место для проведения испытания с индивидуальной (независимой друг от друга) подачей испытательного напряжения на каждый испытываемый конденсатор.

Испытаниям подвергались танталовые чип-конденсаторы марок К53-65, К53-68, К53-71, К53-72, К53-74, К53-76 в соответствии с техническим условием [1]. Испытание проводят путем подачи постоянного напряжения $U_{\text{ном}}$ и переменного напряжения U частотой 50 Гц. Амплитуда переменной составляющей напряжения U_m не должна превышать 20 % от номинального напряжения испытываемого конденсатора. При этом суммарное мгновенное значение амплитуды переменной и постоянной составляющих не должна превышать номинального значения напряжения конденсатора $U_{\text{ном}}$.

Условия испытания характеризуются следующими соотношениями:

$$U_m = 0,2 \cdot U_{\text{ном}}; \quad (1)$$

$$U_{\text{ном}} - U_m = U_{\text{см}}; \quad (2)$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}. \quad (3)$$

На основании анализа значений номинальных емкостей и номинальных напряжений испытываемых конденсаторов и расчетных соотношений (1), (2), (3) была получена сводная таблица значений постоянных и переменных напряжений, подаваемых на испытываемые конденсаторы.

Значения постоянных и переменных напряжений, подаваемых на испытываемые конденсаторы

$U_{\text{ном}} (В)$	$U_m (В)$	$U_{\text{см}} (В)$	$U (В)$
2,5	0,5	2	0,35
3,2	0,64	2,56	0,45
4	0,8	3,2	0,57
6,3	1,26	5,04	0,89
10	2	8	1,41
16	3,2	12,8	2,26
20	4	16	2,83
25	5	20	3,54
32	6,4	25,6	4,53
40	8	32	5,66
50	10	40	7,07

На заводе «Элеконд» для испытания конденсаторов применялась схема (рис. 1), которая в заводской терминологии получила название «двухплечевая» [2]. Данная схема состоит из испытательного трансформатора $T1$, вторичная обмотка которого имеет вывод от средней точки, источника постоянного напряжения, включенного положительным полюсом в среднюю точку вторичной обмотки и включенными параллельно в плечи вторичной обмотки трансформатора батарей испытываемых конденсаторов $C_{61}-C_{62}$. Вторичные полуобмотки трансформатора относительно его средней точки создают систему напряжений, сдвинутых относительно друг друга на угол 180° . Трансформатор питается от источника переменного напряжения промышленной частоты 50 Гц.

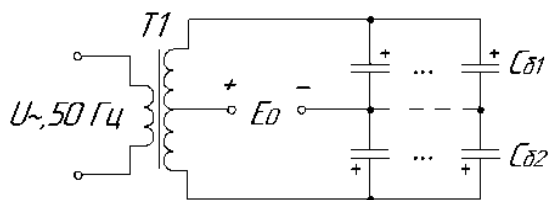


Рис. 1. «Двухплечевая» схема испытания конденсаторов

Источники, выполненные по такой схеме, обладают хорошими энергетическими характеристиками и нашли широкое применение в практике испытания конденсаторов, но обладают одним существенным недостатком: при пробое одного из испытываемых конденсаторов, включенных параллельно в батарею какого-либо плеча, нарушается заданный режим испытания всех конденсаторов и становится невозможным получить достоверные данные о состоянии испытываемых конденсаторов.

Устранение указанного недостатка, присущего указанному источнику, возможно при питании конденсатора от индивидуального источника, выполненного по многоканальной схеме.

Для реализации поставленной задачи были предложены схмотехнические модели с независимой подачей испытательного напряжения на каждый испытываемый конденсатор, которые представлены ниже.

Схема, включающая трансформатор с четным числом вторичных обмоток [3]. Поставленная задача решается за счет того, что используется трансформатор с двумя вторичными обмотками (рис. 2).

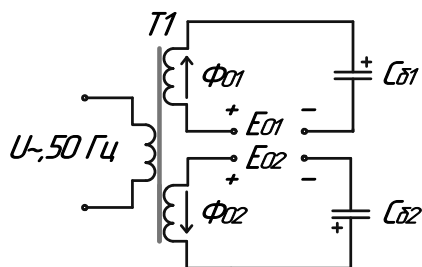


Рис. 2. Схема испытания конденсаторов с использованием трансформатора с двумя вторичными обмотками

Во вторичные обмотки включаются испытываемые конденсаторы $C_{\delta 1}$ и $C_{\delta 2}$ и источники постоянного напряжения E_{01} и E_{02} , которые включаются последовательно во вторичные обмотки испытательного трансформатора, причем отрицательный вывод источника постоянного напряжения соединяется с отрицательным выводом испытываемого конденсатора. Фазировка вторичных обмоток трансформатора выполняется таким образом, чтобы магнитные потоки Φ_{01} и Φ_{02} , возникающие в результате протекания постоянных токов во вторичных обмотках испытательного трансформатора и подмагничивающие магнитопровод, взаимно уничтожались.

Также был предложен еще один схмотехнический вариант устройства испытания конденсаторов, включающего трансформатор $T1$ с двумя вторичными обмотками: основной и компенсирующей (рис. 3). В основную вторичную обмотку испытательного

трансформатора включаются испытываемый конденсатор C_{δ} и источник постоянного напряжения E_0 , которые включены последовательно. В компенсирующую вторичную обмотку испытательного трансформатора через дроссель L включен источник постоянного напряжения E_1 таким образом, чтобы магнитные потоки, возникающие в результате протекания постоянных токов во вторичных обмотках испытательного трансформатора и подмагничивающие магнитопровод, взаимно уничтожались [4].

На рис. 4 представлен один из вариантов применения схемы устройства испытания конденсаторов, состоящий из QF – автоматический выключатель; T – регулятор напряжения (автотрансформатор); V – вольтметр для контроля напряжения в первичной обмотке; A – амперметр для контроля тока первичной обмотки; mA – миллиамперметр для контроля тока через конденсатор.

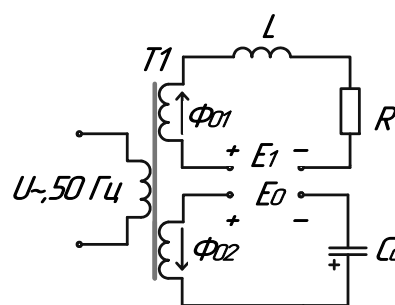


Рис. 3. Схема испытания конденсаторов с использованием трансформатора с двумя вторичными обмотками

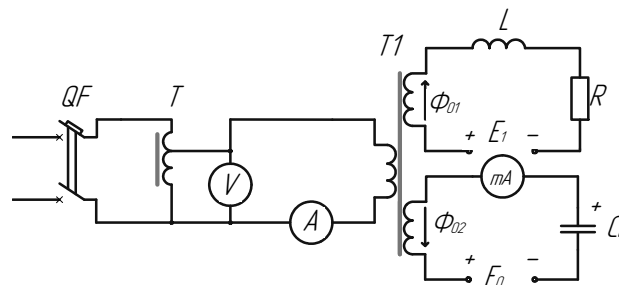


Рис. 4. Вариант применения схемы устройства испытания конденсаторов

Одноплечевая схема устройства испытания конденсаторов включает: $T1$ – испытательный трансформатор с двумя вторичными обмотками; L – дроссель, задача которого состоит в том, чтобы исключить влияние переменного напряжения компенсирующей обмотки на источник постоянного напряжения; R – активное сопротивление, обеспечивающий ограничение тока источник постоянного напряжения E_0 ; E_0 – источник постоянного напряжения, служащий для смещения напряжения в основной вторичной обмотке на испытываемом конденсаторе; E_1 – источник постоянного напряжения, служащий для смещения напряжения в компенсирующей вторичной обмотке и включаемый на время зарядки испытываемого конденсатора C_{δ} ; C_{δ} – испытываемый конденсатор; 1 – первичная обмотка; 2 – компенсирующая вторичная обмотка; 3 – основная вторичная обмотка.

Устройство испытания конденсаторов с компенсирующей вторичной обмоткой работает следующим образом. При подключении испытательного трансформатора к источнику сетевого напряжения синусоидальной формы в основную вторичную обмотку трансформируется напряжение синусоидальной формы, которое смещается на величину постоянной составляющей источника напряжения E_0 для воздействия на конденсатор C_δ постоянным и переменным напряжением. Через конденсатор C_δ начинают протекать токи постоянной и переменной составляющих напряжения. Это обеспечивает подмагничивание трансформаторной стали постоянным магнитным потоком Φ_{02} , что приводит к появлению несимметричной гистерезисной характеристики, а это в свою очередь может привести к режиму насыщения трансформаторной стали и изменить требуемый режим испытания конденсаторов. Для исключения возникновения режима магнитного насыщения необходимо увеличивать сечение трансформаторной стали, что значительно ухудшает технико-экономические показатели работы устройства испытания конденсаторов. Поэтому предлагается ввести компенсирующую вторичную обмотку трансформатора, в цепь которой через дроссель L включен источник постоянного напряжения E_1 . Источник постоянного напряжения E_1 создает постоянный ток, ограничиваемый активным сопротивлением R , который индуцирует постоянный магнитный поток Φ_{01} . Основная и компенсирующая вторичные обмотки включаются таким образом, чтобы магнитные потоки Φ_{02} и Φ_{01} , возникающие в результате протекания постоянных токов и подмагничивающие магнитопровод, взаимно уничтожались. Источник постоянного напряжения E_1 , включенный в компенсирующую вторичную обмотку, должен быть регулируемым, и время работы источника E_1 определяется временем зарядки испытываемого конденсатора C_δ в основной вторичной обмотке.

Чтобы упростить схемотехнику и в то же время устранить подмагничивание сердечника трансформатора, была разработана схема испытания конденсаторов с LC -фильтром (рис. 5) [5].

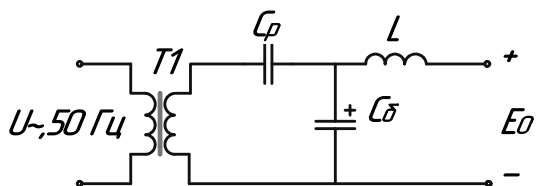


Рис. 5. Схема испытания конденсаторов с LC -фильтром

Поставленная задача решается за счет того, что используется трансформатор $T1$ без отпайки от средней точки вторичной обмотки. Источник постоянного напряжения E_0 подключается к испытываемому конденсатору C_δ через дроссель L , фильтрующий переменную составляющую тока, и формирует постоянную составляющую тока, необходимую для испытания конденсатора постоянным и переменным напряжением. Переменное напряжение с трансформатора подается через развязывающий конденсатор C_p ,

не пропускающий постоянную составляющую тока источника постоянного напряжения E_0 , и сквозной ток утечки через диэлектрик испытываемого конденсатора C_δ во вторичную обмотку трансформатора $T1$.

Если рассматривать структурную схему источника питания [6], то она должна состоять из следующих основных частей (рис. 6): 1 – блок питания; 2 – генератор синусоидального напряжения с частотой 50 Гц; 3 – блок формирователей; 4 – блок индикации; 5 – испытываемый конденсатор.

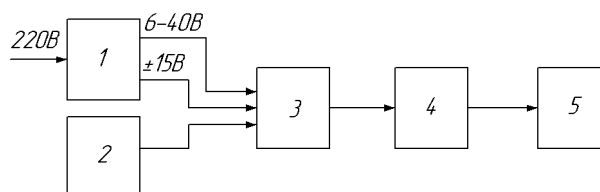


Рис. 6. Структурная схема устройства испытания конденсаторов

Блок питания вырабатывает стабилизированные напряжения -15 В и $+15$ В, которые используются для питания электронных узлов устройства. Также вырабатывается напряжение для питания выходных каскадов формирователей, которое может регулироваться в пределах от $+6$ В до $+40$ В. Генератор вырабатывает напряжение синусоидальной формы с частотой 50 Гц, необходимое для создания переменной составляющей напряжения на конденсаторах. В блоке формирователей происходит суммирование постоянного и переменного напряжений, величины которых задаются для данного вида конденсатора. Выходы блока формирователей подключаются к испытываемому конденсатору. В случае превышения тока через данный конденсатор сверх заданной величины, соответствующий блок формирователей отключается. Наличие некорректного или неисправного конденсатора отображается свечением соответствующего светодиода. Блок формирователей содержит суммирующий операционный усилитель, на инвертирующий вход которого подается постоянное напряжение и переменное синусоидальное частотой 50 Гц, действующее значение которого составляет 20 % от величины номинального постоянного напряжения. На выходе операционного усилителя подключается полумостовая схема, состоящая из двух ключевых комплементарных транзисторов, включенных по схеме с общим эмиттером. На испытываемый конденсатор, подключаемый к коллекторам транзисторов, подается постоянное и переменное напряжение. Заданный режим испытаний определяется цепью обратной отрицательной связи, состоящей из резистора $R3$, который присоединяется одним выводом к инвертирующему входу операционного усилителя, а другим – к коллекторам транзисторов $VT1$ и $VT2$. На рис. 7 представлена схема блока формирователей устройства испытания конденсаторов, которая состоит из $DA1$ – суммирующий операционный усилитель, назначение которого состоит в формировании постоянного и переменного испытательного напряжения на испытываемом кон-

денсаторе $C_{исп}$; $VT1$ и $VT2$ – комплиментарные ключевые транзисторы, управляемые переменным напряжением, поступающим на базу транзисторов с выхода операционного усилителя; $R1$ и $R2$ – резисторы, ограничивающие ток источников питания на инвертирующем входе операционного усилителя; $R3$ – резистор, включаемый в цепь обратной отрицательной связи операционного усилителя, задающий коэффициент усиления и обеспечивающий заданный режим испытания.

Устройство испытания конденсаторов с суммирующим операционным усилителем работает следующим образом. При подключении источников напряжения постоянного и синусоидального переменного частотой 50 Гц на выходе операционного усилителя появляется переменное напряжение, которое смещено на величину постоянного напряжения, обеспечивая попеременное открывание и закрывание транзисторов $VT1$ и $VT2$ проводимости $p-n-p$ и $n-p-n$, на испытываемом конденсаторе падает смешанное постоянное и переменное напряжение.

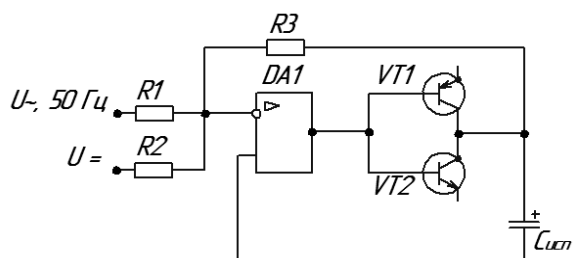


Рис. 7. Схема блока формирователей устройства испытания конденсаторов

Для уменьшения значения реактивного тока параллельно с испытываемым конденсатором $C_{исп}$ включается катушка индуктивности L и развязывающий конденсатор C_p , образуя резонансный контур, настраиваемый на режим резонанса токов. Тогда к исходной схеме рис. 7 добавится LC -резонансный контур (рис. 8) [7].

В процессе выполнения работ при реализации проекта получены следующие результаты:

1. Каждое схемотехническое решение было реализовано при изготовлении макетных образцов и защищено патентами на полезную модель [3–7].

V. V. Korepanov, Master's degree student, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

B. I. Sibgatullin, Master's degree student, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

A. V. Morozov, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

M. L. Novoselov, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

V. K. Barsukov, PhD in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

V. A. Morozov, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

A. A. Shtin, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Analysis of circuit design of power supplies for tests of tantalum chip capacitors

The paper presents various circuit designs of power supplies for operation life expectancy tests of tantalum chip capacitors. Tests are carried out in accordance with specifications. The result of the research work is the development of test stands for tantalum chip capacitors. Power supply circuits are protected by patents.

Keywords: tantalum chip capacitors, power supply, reliability, operation life expectancy test

Получено: 16.04.14

Разработаны в ФГБОУ ВПО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова» и переданы ОАО «Электонд» источники питания ИП-2К и ИП-2КТ, отвечающие условиям энергоэффективности, которые позволяют проводить испытания конденсаторов с независимой подачей испытательных напряжений. Подготовлены комплекты рабочей конструкторской документации, руководства по эксплуатации и инструкции для оператора для разработанных источников питания.

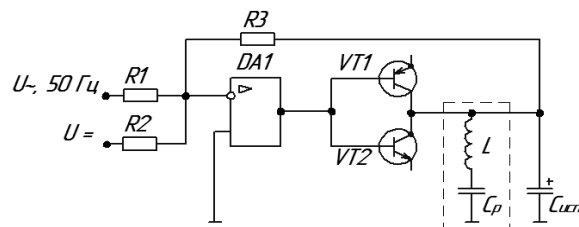


Рис. 8. Схема блока формирователей устройства испытания конденсаторов с LC -резонансным контуром

Библиографические ссылки

1. Конденсаторы оксидные танталовые К53-72. Технические условия АЖЯР.673546.008 ТУ.
2. Розанов Ю. К. Основы силовой электроники. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 296 с.
3. Патент на полезную модель № 125716 (Россия), МПК G01R31/01 / Устройство испытания конденсаторов / Барсуков В. К., Морозов В. А., Пустовалов М. А. Заявл. 02.02.2012. – № 2012103601/28 (Россия); Оpubл. – 10.03.2013.
4. Патент на полезную модель № 126143 (Россия) МПК G01R31/01 / Устройство испытания конденсаторов / Барсуков В. К., Морозов В. А., Морозов А. В. Заявл. 02.02.2012. – 2012103571/28 (Россия); Оpubл. – 20.03.2013.
5. Патент на полезную модель № 117015 (Россия), МПК G01R31/01 / Устройство испытания конденсаторов / Барсуков В. К., Морозов В. А., Новоселов М. Л. Оpubл. – 10.06.2012.
6. Патент на полезную модель № 125714 МПК G01R31/01 / Устройство испытания конденсаторов / Барсуков В. К., Штин А. А., Морозов В. А., Морозов А. В. Заявл. 17.07.2012. – 2012130479/28 (Россия); Оpubл. 10.03.2013.
7. Патент на полезную модель № 125715 МПК G01R31/01 / Устройство испытания конденсаторов / Барсуков В. К., Морозов В. А., Морозов А. В., Новоселов М. Л., Соломин А. В., Шемякин М. Л. Заявл. 17.07.2012. – 2012130480/28 (Россия); Оpubл. – 10.03.2013.