

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Ищенко Софья Сергеевна

КУРСОВАЯ РАБОТА

Температурная зависимость емкости конденсаторов

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №19313

Научный руководитель:

н.с. Р. В. Воскобойников
Оценка научного руководителя

«_____» _____ 20__ г.

Преподаватель практикума:

к.ф.-м.н. Д. С. Чуркин
Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ 20__ г.

Куратор практикума:

к.т.н. В.Т. Астрелин
Итоговая оценка

«_____» _____ 20__ г.

Новосибирск 2020

Аннотация

Целью работы являлось изучение зависимости емкости конденсатора от температуры на примере керамического конденсатора. В ходе работы была собрана экспериментальная установка и проведены два эксперимента: с нагреванием и охлаждением конденсатора. Были определены зависимости емкости и диэлектрической проницаемости среды конденсатора от температуры и построены соответствующие графики. По результатам эксперимента оказалось, что емкость исследуемого конденсатора при замораживании упала в 1,7 раз, а при нагревании почти в 10 раз.

Ключевые слова: рабочий диапазон температур, керамический конденсатор, диэлектрическая проницаемость.

Оглавление

1. Введение	4
2. Теоретическая часть.....	6
3. Постановка задачи, описание экспериментальной установки.....	9
4. Результаты эксперимента и обработка данных	10
5. Выводы	12
6. Список литературы	12

1. Введение

Важным параметром конденсатора является его рабочий температурный диапазон, обычно указанный в спецификации на конденсаторе. Рабочий диапазон температур – это показатель минимальной и максимальной температур, при которых происходит нормальная работа прибора.

Европейские и азиатские производители обозначают температурный диапазон конденсатора, руководствуясь различными критериями. Снижение или увеличение температуры приводит к изменению проводимости электролита, соответственно, и к изменению сопротивления конденсатора, импеданса и тангенса угла потерь. Т. к. в большинстве случаев изменение этих параметров разрешено только в некоторых пределах для конденсаторов установлены допустимые рабочие температуры. Так, в Европе рабочий температурный диапазон определяется стандартом МЭГ 60068-1. Таким образом если конденсатор удовлетворяет определенным требованиям, то ему присваивается соответствующая температурная категория. Это не означает, что конденсатор не может быть использован при температурах, выходящих за его рабочий диапазон или что он выйдет из строя. Это означает, что его параметры не удовлетворяют критериям стандарта МЭГ 60068-1 и поэтому, если его будут использовать при температурах, не входящих в диапазон, указанный на спецификации, то необходимо учитывать изменение емкости и других параметров конденсатора.

Азиатские производители указывают температурный диапазон без ссылки на какой-либо международный стандарт, руководствуясь в этом вопросе только своими внутренними правилами. Поэтому, применяя стандарты МЭГ 60068-1, к такому конденсатору, может оказаться так, что он не попадает ни в одну категорию.

Т. о. необходимо знать температурный диапазон конденсатора, используя его при экстремальных температурах. Например, температурные требования, предъявляемые к керамическим конденсаторам, используемым в добывающей промышленности, значительно возросли, в первую очередь из-за развития

технологий глубокого бурения. Растущий спрос на нефть и природный газ вынуждает добывающие компании разрабатывать более глубокие месторождения, которые характеризуются экстремальными температурами до 200°C и даже выше. Новые выводные термостабильные конденсаторы отвечают растущим требованиям рынка. Они обеспечивают стабильность емкости при работе в условиях повышенных температур, гарантируют длительный срок службы и механическую надежность.

Керамический конденсатор – это конденсатор с фиксированным значением емкости, где керамический материал действует как диэлектрик. Он состоит из двух или более чередующихся слоев керамики и металлического слоя, выполняющего роль электродов. Состав керамического материала определяет электрическое поведение и, следовательно, область применения [2].

Керамические диэлектрики составляют важную часть материалов электронной техники. Они являются основой керамических установочных деталей, более 60% всех электрических конденсаторов, большей части пьезоэлектрических элементов [1]. Среди этих изделий керамические конденсаторы – наиболее массовый вид электрических конденсаторов, применяемых в разнообразной электротехнической и радиоэлектронной аппаратуре. Доля их выпуска в общем количестве конденсаторов, изготавливаемых в промышленно развитых странах, превышает 60%, их производство составляет свыше 400 миллиардов штук в год, а темпы роста объемов выпуска велики.

Столь широкое распространение керамических конденсаторов вызвано рядом их преимуществ:

- Возможность реализации широкого диапазона емкостей, от долей пикофард до сотен микрофард [1];
- Разнообразие электрических характеристик, в том числе обеспечение заданных значений температурного коэффициента емкости (ТКЕ), практически неограниченный диапазон частот и т. д. [1];

- Простота конструкции и меньшие размеры относительно других конденсаторов (например, слюдяных) и связанные с этим низкая трудоемкость, материалоемкость и стоимость.

На сегодняшний день доступными на российском рынке являются керамические конденсаторы китайских производителей, в связи с чем изучение зависимости емкости от температуры этих конденсаторов является наиболее актуальным.

Посмотреть на зависимость диэлектрической проницаемости и емкости керамического конденсатора 2.2nF 15kV с типом диэлектрика Z5v от температуры является целью данной работы.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- Собрать схему с приборами, измеряющими температуру и емкость конденсатора.
- Разработать методику регистрации изменения емкости конденсатора в зависимости от температуры при нагревании и охлаждении.

2. Теоретическая часть

Конденсатор представляет собой систему из двух пластин, разделенных слоем диэлектрика. Емкость конденсатора зависит от формы пластин, их размеров, взаимного расположения, а также от диэлектрической проницаемости среды, находящейся между пластинами. Емкость плоского конденсатора, выраженная в фарадах, определяется по формуле:

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{h}$$

где S – площадь пластин, m^2 ; h – расстояние между пластинами, m ; $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-8} \frac{Ф}{м}$ – абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума; ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды между пластинами.

Значение диэлектрической проницаемости среды не остается постоянной при изменении температуры, что приводит к изменению емкости конденсатора.

Для оценки изменения диэлектрической проницаемости в зависимости от температуры применяют температурный коэффициент емкости ТКЕ, который выражается формулой:

$$\text{ТКЕ} = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1(t_2 - t_1)}$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – диэлектрическая проницаемость образца при температурах t_1, t_2 соответственно, причем $t_1 < t_2$, ТКЕ – температурный коэффициент, град⁻¹.

В зависимости от типа материала и температурного диапазона диэлектрическая проницаемость его с ростом температуры может увеличиваться или уменьшаться. Так, для диэлектриков с электронной поляризацией с увеличением температуры поляризованность, в основном за счет расширения тела, слабо снижается, т. е. коэффициент ТКЕ отрицателен.

В большинстве случаев при ионной поляризации диэлектрики имеют ТКЕ > 0. Это объясняется тем, что при повышении температуры ослабляются упругие силы связи между ионами в узлах кристаллической решетки, что облегчает смещение ионов в электрическом поле к некоторому увеличению диэлектрической проницаемости.

Значительно сложнее влияние температуры на диэлектрическую проницаемость материалов с дипольной поляризацией: при достаточно низких температурах за счет усиления межмолекулярных связей и резко пониженной подвижности молекул дипольная поляризация проявляется слабо, и диэлектрическая проницаемость оказывается небольшой. При достаточно высокой температуре за счет усиления теплового движения, затрудняющего ориентацию диполей электрическим полем, дипольная поляризация тоже будет ослаблена. При оптимальном значении температуры дипольная поляризация выражена наиболее сильно и диэлектрическая проницаемость достигает максимума.

В конденсаторах в качестве изоляции может применяться одновременно несколько диэлектриков, например, конденсаторная бумага, пропитанная

жидким диэлектриком. В этом случае зависимость диэлектрической проницаемости от температуры может оказаться еще сложнее.

Еще одним параметром конденсаторов является температурная стабильность емкости (ТСЕ). Он вводится для конденсаторов имеющих, как правило, немонотонную зависимость диэлектрической проницаемости от температуры. Под ТСЕ понимается относительное изменение емкости конденсатора в рабочем интервале температур:

$$\text{TCE} = \frac{C_{t_k} - C_t}{C_{t_k}} \times 100\% = \frac{\Delta C}{C} \times 100\%$$

где C_{t_k} – емкость при комнатной температуре, C_t – емкость в рабочем интервале температур [1].

На рисунке 1 приведена температурная зависимость емкости некоторых керамических конденсаторов:

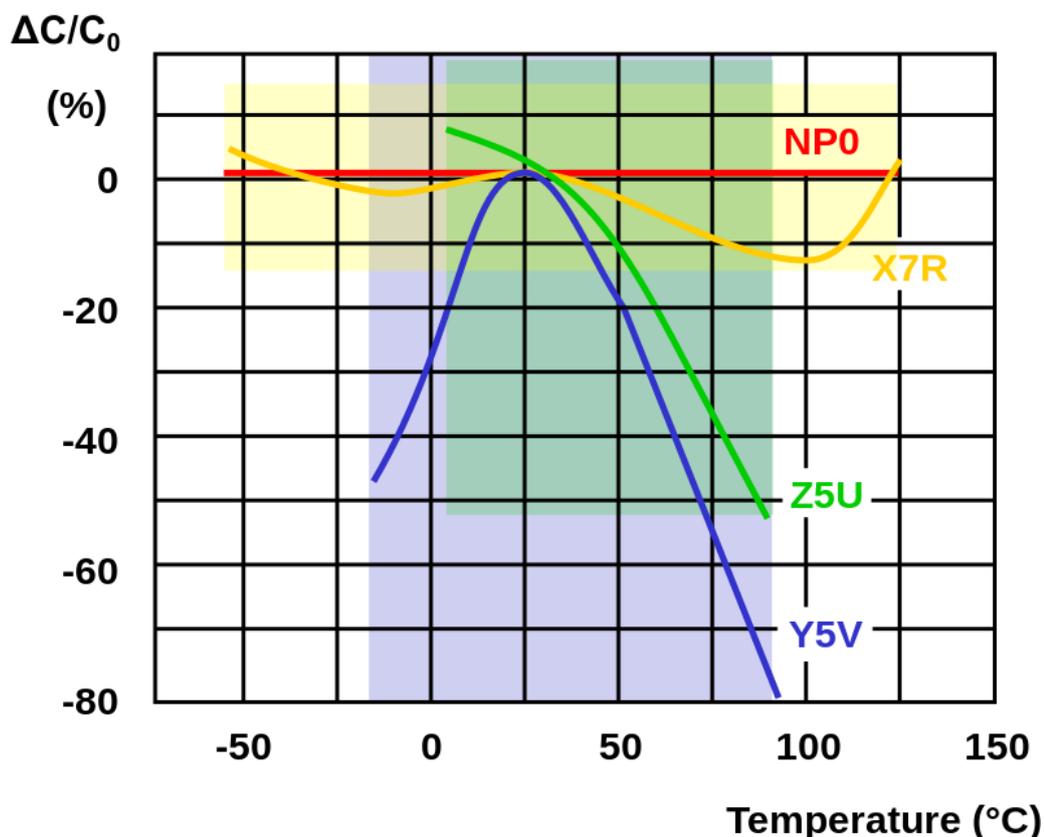


Рис. 1. Зависимость емкости керамических конденсаторов разного типа от температуры

3. Постановка задачи, описание экспериментальной установки

Для определения температурной зависимости конденсатора собрали цепь, состоящую из самого конденсатора, термопары, мультиметра АММ-3031 и прибора, измеряющего емкость конденсатора – МТ-4080А.

Схема собранной цепи приведена на рисунке 2.

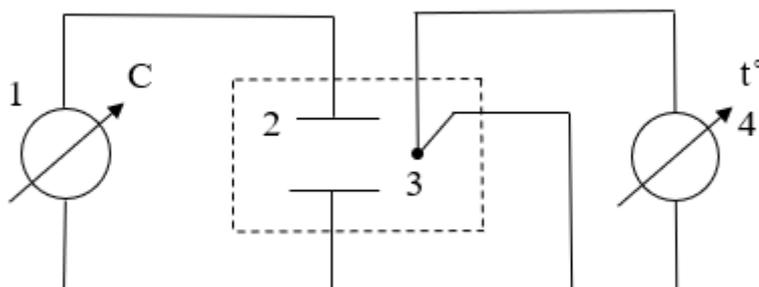


Рис. 2. Схема цепи: 1 – МТ-4080А; 2 – конденсатор; 3 – термопара; 3 – МТ4080А

Чтобы наблюдать за изменением емкости конденсатора при колебаниях температуры, припаяли положительный и отрицательный электроды к выводам двух проводов. Для лучшего теплообмена при замораживании конденсатора между термопарой и корпусом конденсатора положили теплопроводящую пасту КПТ-8 и закрепили.



а)



б)

Рис. 3. Конденсатор на этапах сборки электрической цепи: а) конденсатор с припаянными электродами к выводам проводов; б) конденсатор с закрепленной к корпусу термопарой.

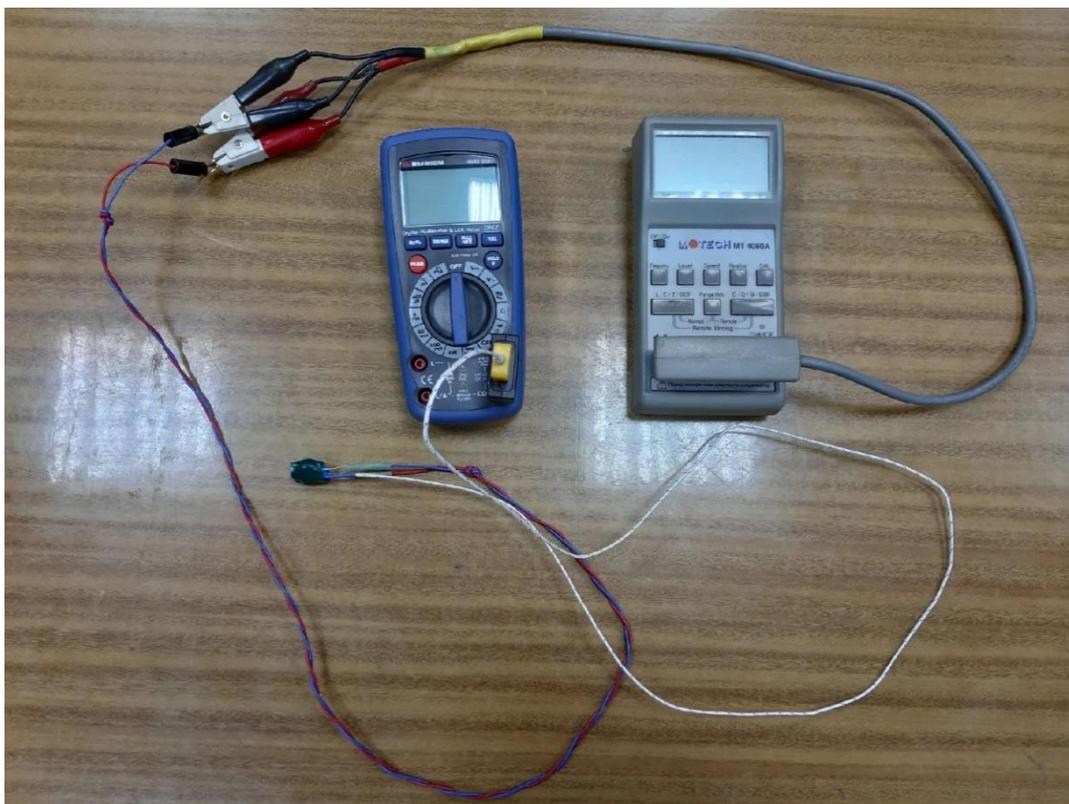


Рис. 4. Электрическая цепь для определения температурной зависимости емкости конденсатора

Эксперимент проводился в 2 этапа: охлаждение и нагревание конденсатора.

Охлаждение конденсатора проводилось в морозильной камере до $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$, значения регистрировались через $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Нагревание происходило в трансформаторном масле до $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, предварительно отсоединив термопару от корпуса конденсатора и отчистив его от остатков теплопроводящей пасты. Значения регистрировались через $5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4. Результаты эксперимента и обработка данных

По результатам 2-х экспериментов построили общий график зависимости емкости конденсатора от температуры:

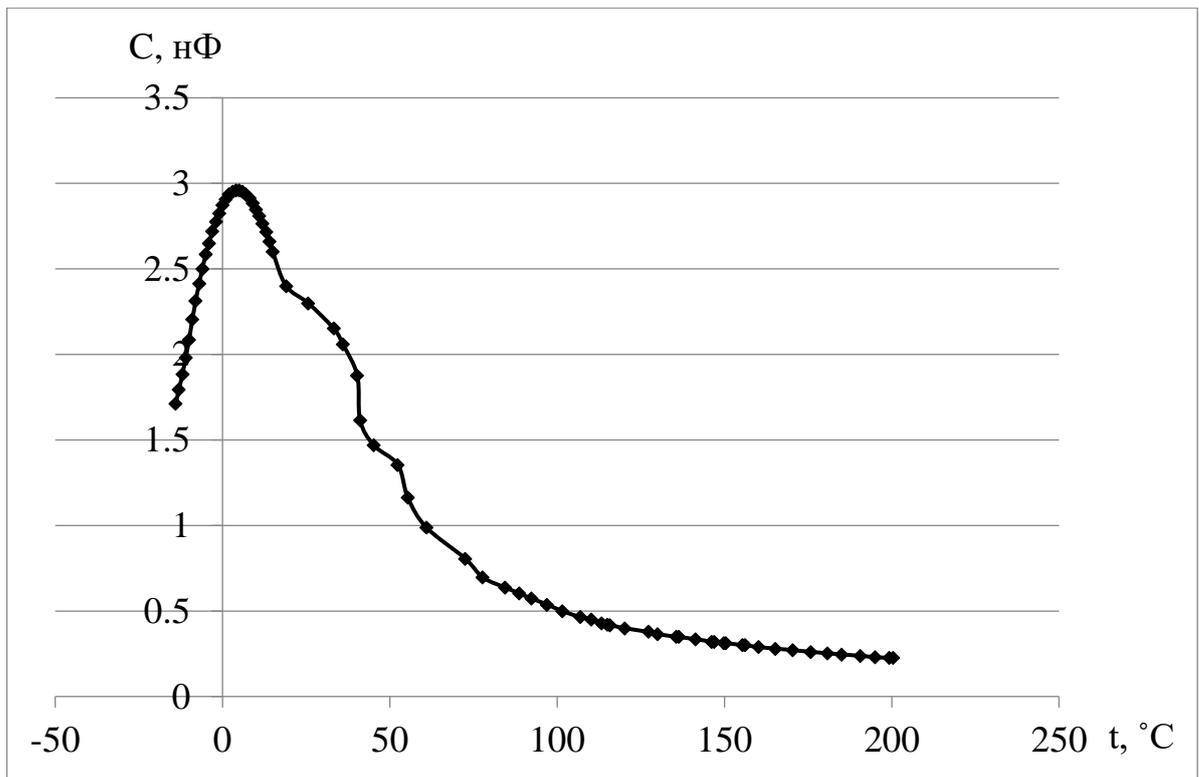


Рис. 5. Зависимость емкости конденсатора от температуры

Нагревания конденсатора до 200 °С и охлаждения до -14 °С было достаточным для того, чтобы прогнозировать изменение емкости конденсатора при температурах вне этого диапазона, т. к. при увеличении температуры после 200 °С изменяется не сильно, а при замораживании емкость с понижением температуры меняется почти линейно. Т. к. температура плавления керамики около 1050 °С, а в нашем эксперименте максимальная температура равна 200 °С и разрушения диэлектрика при такой температуре не происходит, то температурный диапазон от -14 °С до 200 °С можно считать рабочим.

Для большей наглядности построили график зависимости диэлектрической проницаемости от температуры. Для этого по формуле

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{h}$$

нашли свое ε для каждого значения C , зная параметры конденсатора: $h = 5$ мм, $S = \frac{\pi d^2}{4} \approx 3.14 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$. Результат представлен на рисунке 6.

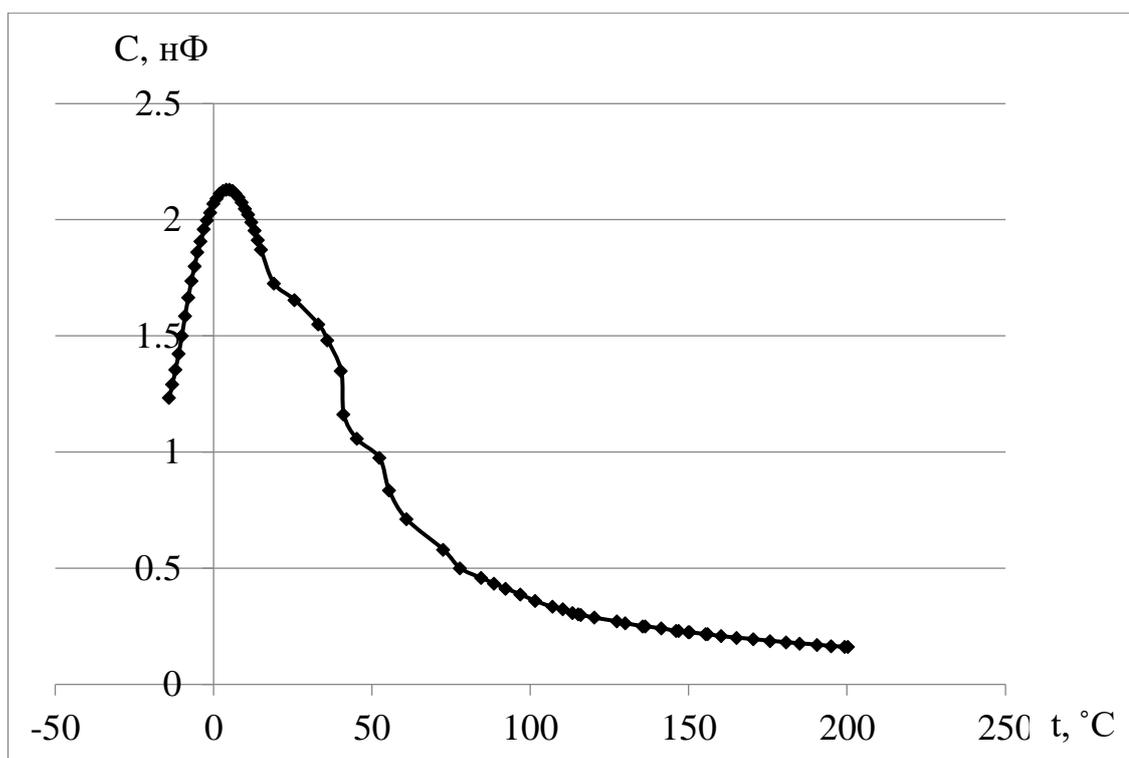


Рис. 6. Зависимость диэлектрической проницаемости от температуры

5. Выводы

В ходе работы был проведен ряд измерений, направленных на изучение температурной зависимости емкости керамического конденсатора. В качестве исследуемого объекта был взят керамический конденсатор 2.2nF 15kV с типом диэлектрика Z5v. Были построены графики и выявлена зависимость емкости и диэлектрической проницаемости конденсатора от температуры. По результатам эксперимента емкость конденсатора при замораживании до -14 °C уменьшилась в 1,7 раз, а при нагревании до 200 °C почти в 10 раз, поэтому такой конденсатор можно использовать там, где стабильность емкости от температуры не имеет существенного значения, например, в цепях фильтрации, блокировки или развязки.

6. Список литературы

1. Китаев В. Е., Бокуняев А. А., Колканов М. Ф. Электропитание устройств связи. 1975 год.
2. https://www.wikiwand.com/en/Ceramic_capacitor