

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

Физический факультет

Кафедра общей физики

Головина Анастасия Владимировна

КУРСОВАЯ РАБОТА

Измерение зависимости ёмкости конденсатора от напряжения

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №19313

Научный руководитель:

Воскобойников Ренат Владимирович, н.с.

Оценка научного руководителя

« _____ » _____ 20__ г.

Преподаватель практикума

Морозов Иван Иванович

Оценка преподавателя практикума

« _____ » _____ 20__ г.

Куратор практикума:

к.т.н. В.Т. Астрелин

Итоговая оценка

« _____ » _____ 20__ г.

Новосибирск 2020

Аннотация

Целью данной работы является изучение зависимости между электрической ёмкостью конденсатора и подаваемым на него напряжением. В теории, этой зависимости существовать не должно, но на практике выясняется, что существуют так называемые «хорошие» и «плохие» конденсаторы. У первых, с изменением напряжения, электроёмкость меняется незначительно или не меняется совсем. А у последних, наоборот, можно наблюдать ощутимые изменения. В этой работе исследуются пять конденсаторов. Изменения отображены на графике.

Ключевые слова: электрические цепи, изменение электроёмкости, нелинейный заряд.

Оглавление

1. Введение	4
2. Теоретическая часть	4
3. Постановка эксперимента	5
4. Обработка экспериментальных данных	7
4.1 Конденсатор №1	8
4.2 Конденсатор №2	8
4.3 Конденсатор №3	9
4.4 Конденсатор №4	9
4.5 Конденсатор №5	10
5. Заключение	10
6. Список литературы	12

1. Введение

Данная работа посвящена изучению зависимости главной характеристики конденсаторов, а именно электрической ёмкости, от напряжения. У каждого конденсатора имеется маркировка, которая несёт в себе информацию о величине ёмкости и максимально допустимом напряжении. Но далеко не на всех обозначено допустимое отклонение номинальной ёмкости от указанной. Необходимо иметь представление об оборудовании, с которым приходится работать, чтобы верно рассчитывать погрешности, и чтобы вся установка работала без сбоев.

Проблема низкосортных конденсаторов со сих пор актуальна, потому как некоторые производители в погоне за максимальной выгодой жертвуют качественным производством.

Цель этой работы – оценить точность конденсаторов, имеющих маркировку с допустимым отклонением ёмкости и без неё.

Основные задачи, требующие решения:

- выбрать несколько конденсаторов для подробного изучения проблемы уменьшения электроёмкости с ростом напряжения;
- придумать и собрать такую цепь, которая позволяла бы измерить необходимые величины;
- построить графическую зависимость для наглядного восприятия;
- рассчитать погрешности и сравнить их с ожидаемыми результатами.

2. Теоретическая часть

Конденсатор – это устройство накопления заряда с малой проводимостью. Может обладать как постоянной ёмкостью, так и переменной. Явление зависимости эффективной ёмкости конденсатора от напряжения переменного или постоянного тока называется характеристикой напряжения. Характеристики смещения постоянного тока описывают отклонение ёмкости конденсатора от номинальной

при подаче постоянного рабочего напряжения. Когда напряжение постоянного тока подается на сегнетоэлектрик, плотность электрического потока и электрическое поле пропорциональны, если электрическое поле мало. Однако, по мере увеличения электрического поля спонтанная поляризация, которая была ориентирована в различных направлениях, начинает перестраиваться в направлении электрического поля (рисунок 1), материал проявляет чрезвычайно большую диэлектрическую проницаемость, и эффективное значение емкости увеличивается. При дальнейшем

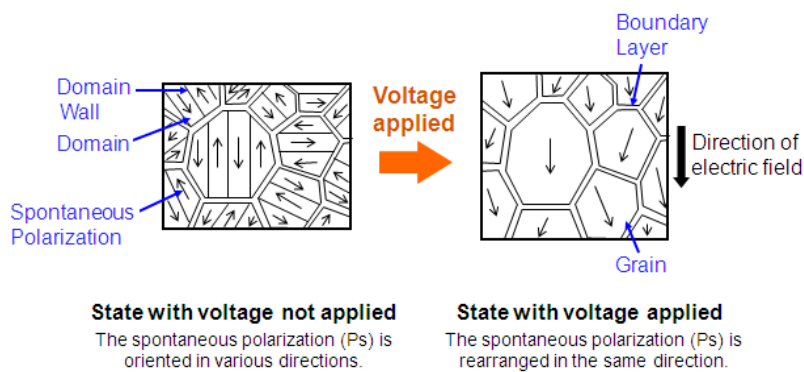


Рисунок 1 Влияние напряжения на сегнетоэлектрическую керамику.

емкость уменьшается.

увеличении электрического поля до точки, где заканчивается спонтанная перестройка поляризации и поляризация становится насыщенной, диэлектрическая проницаемость становится меньше, а эффективная

По этой причине перед использованием конденсатора необходимо измерить его эффективное значение ёмкости при подаче постоянной составляющей напряжения, при котором будет использоваться конденсатор.

3. Постановка эксперимента

Для проведения эксперимента была собрана следующая схема (рисунок 2):

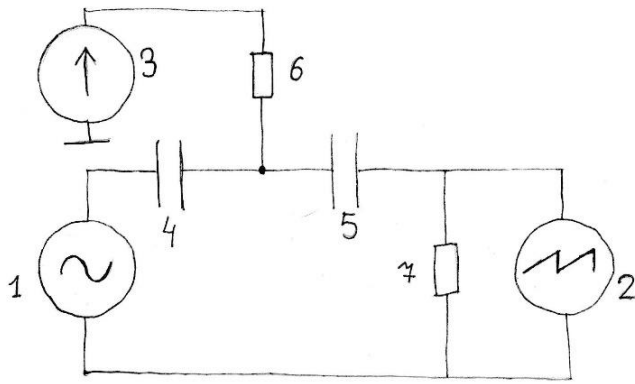


Рисунок 2. Схема установки: 1 – генератор синусоидального сигнала; 2 – осциллограф; 3 – генератор напряжения; 4 – «хороший» конденсатор; 5 – исследуемый конденсатор; 6,7 - резисторы

Частоту сигнала на генераторе 1 было решено выбрать 10 кГц, форма сигнала – синусоидальная. Конденсатор 4 выступает в роли фильтра постоянного сигнала. Его электроёмкость 4,7 нФ. У всех пяти исследуемых конденсаторов 5 электроёмкость – 2,2 нФ (кроме одного, его ёмкость 4,7 нФ). Резистор 6 имеет большое сопротивление (порядка 22 МОм) и не нуждается в особом

подборе значения. Для подбора значения сопротивления резистора 7 необходимо произвести следующие шаги: по формуле (1) вычислить общую электроёмкость $C_{общ}$, по формуле (2) вычислить импеданс двух конденсаторов, его величина будет равна необходимому сопротивлению резистора 7.

$$C_{общ} = \frac{C_0 \cdot C_x}{C_0 + C_x} \quad (1)$$

Где C_0 – ёмкость конденсатора 4, C_x – ёмкость изучаемого конденсатора 5.

$$x_c = \frac{1}{2\pi\nu C_{общ}} \quad (2)$$

Таким образом сопротивление данного резистора равно $\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 10^4 \cdot 1,5 \cdot 10^{-9}} = 0,11 \cdot 10^5 \approx 10$ кОм. Идея метода измерения состоит в том, чтобы измерить напряжение на резисторе при помощи осциллографа и, затем, преобразовать его по формуле (4) в электроёмкость изучаемого конденсатора. Чтобы пронаблюдать изменения, необходимо снять показания, изменяя напряжение от 1 кВ до 6 кВ с шагом в 0,5 кВ. Подать большее напряжение не представляется возможным, потому как максимально допустимое напряжение одного из конденсаторов равно 6 кВ.

Зная формулы (1) и (2), а также используя формулу (3) связи напряжения на резисторе с импедансом x_c , можно получить необходимое преобразование для пересчёта напряжения в ёмкость.

$$U_R = \frac{U_0 R}{\sqrt{R^2 + x_c^2}} \quad (3)$$

$$C_x = \frac{C_0}{\omega_0 C_0 R \sqrt{\frac{U_0^2}{U_R^2} - 1 - 1}} \quad (4)$$

Где U_0 – напряжение генератора 1, U_R – напряжение на резисторе, C_x – электрическая ёмкость, которую необходимо найти.

4. Обработка экспериментальных данных

В ходе эксперимента в цепь поочерёдно включаются исследуемые конденсаторы. С помощью осциллографа YOKOGAWA на резисторе регистрируется напряжение Р-Р (двойная амплитуда синусоидального сигнала). В таблице 1 представлены результаты эксперимента.

U_0 , В	№1, В	№2, В	№3, В	№4, В	№5, В
1	3,64	6,64	5,45	5,58	5,33
1,5	2,76	6,65	5,3	5,52	5,32
2	2,2	6,64	5,19	5,5	5,34
2,5	1,8	6,64	5,05	5,33	5,37
3	1,58	6,64	4,86	5,22	5,33
3,5	1,39	6,62	4,76	4,97	5,34
4	1,24	6,6	4,57	4,87	5,36
4,5	1,12	6,6	4,43	4,55	5,37
5	1,005	6,59	4,32	4,33	5,35
5,5	0,915	6,59	4,21	4,12	5,35
6	0,861	6,59	4,02	3,9	5,37

Таблица 1. Результаты эксперимента.

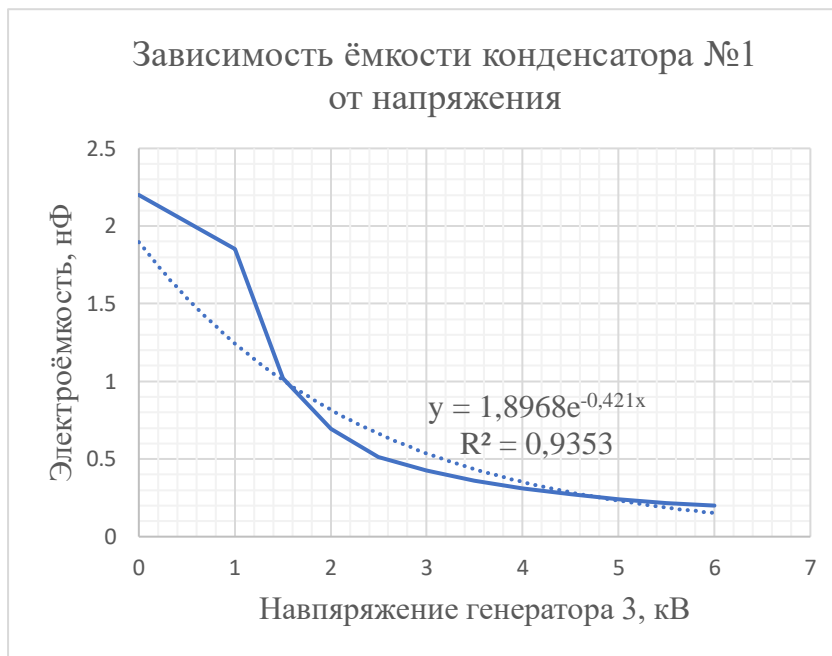


Рисунок 3. График зависимости ёмкости конденсатора №1 от напряжения.

конденсатор можно с уверенностью назвать плохим. Погрешность практически равна номинальному значению ёмкости, т.е. 90%.

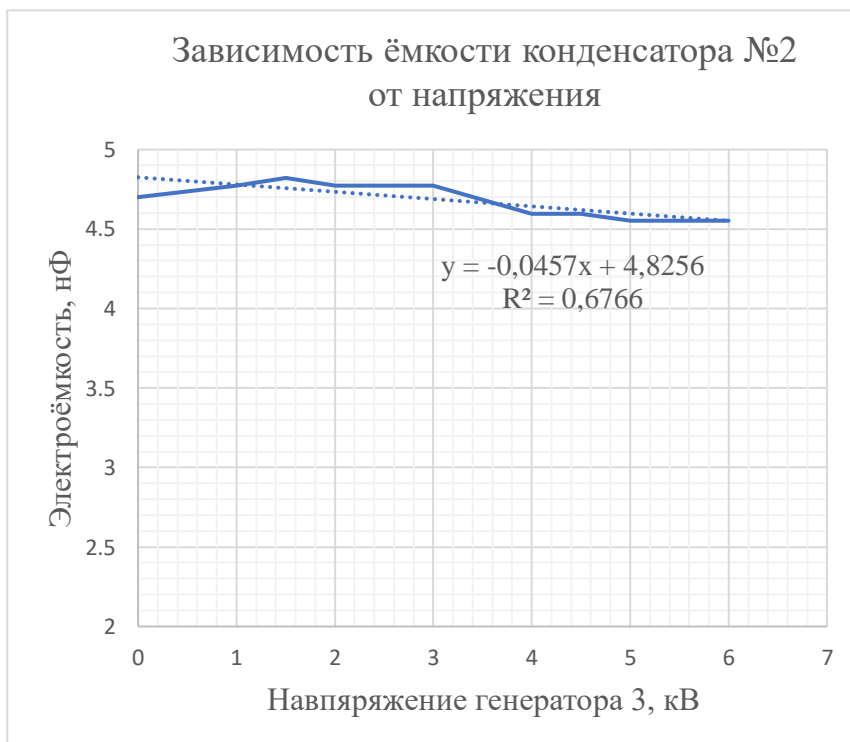


Рисунок 4. Зависимость ёмкости конденсатора №2 от напряжения.

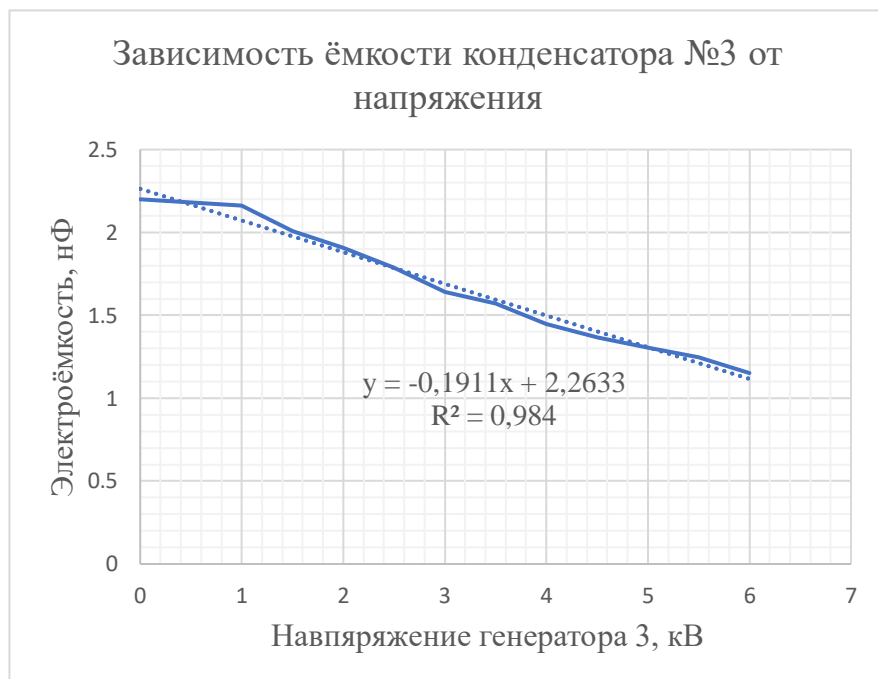
4.1 Конденсатор №1 (2,2 нФ) На данном конденсаторе не указано допустимое отклонение. Тип и производитель не указан. В таблице 1 можно заметить, насколько сильно упало напряжение не резисторе. На рисунке 3 построена графическая зависимость и аппроксимация. Зависимость хорошо описывает экспоненциальная кривая. На максимально допустимом напряжении 6 кВ ёмкость упала в $\frac{2,2}{0,2} = 11$ раз. Такой

4.2 Конденсатор №2 (4,7 нФ) Тип К73-14, производитель «Гириконд» Этот конденсатор такой же как конденсатор 4, выступающий в роли фильтра постоянной составляющей сигнала, в схеме. Его допустимое отклонение $\pm 10\%$. 10% от 4,7 нФ это $4,7 \cdot 0,1 = 0,47$ нФ. На рисунке 4 построена графическая зависимость и аппроксимирующая прямая с

уравнением, описывающим изменение. Коэффициент перед x по модулю меньше

коэффициента b приблизительно в сто раз. Экспериментальная погрешность равна 4%.

4.3. Конденсатор №3 (2,2 нФ) Тип К15-5, производитель «Плескава»



На корпусе конденсатора №3 есть маркировка 2200пФ $\pm 20\%$. Она означает разную точность в большую и меньшую сторону. В нашем случае ёмкость падает, как показано на рисунке 4. 20% от 2,2 нФ это $2,2 \cdot 0,2 = 0,44$ нФ, что не совпадает с

Рисунок 5. График зависимости ёмкости конденсатора №3 от напряжения.

экспериментальными данными. Эффективная

ёмкость уменьшилась в 1,9 раз. Погрешность составила 47%. Экспериментальную зависимость хорошо описывает аппроксимирующая кривая, представленная на рисунке 5.

4.4 Конденсатор №4 (2,2 нФ)

На корпусе этого конденсатора указана только номинальная ёмкость и

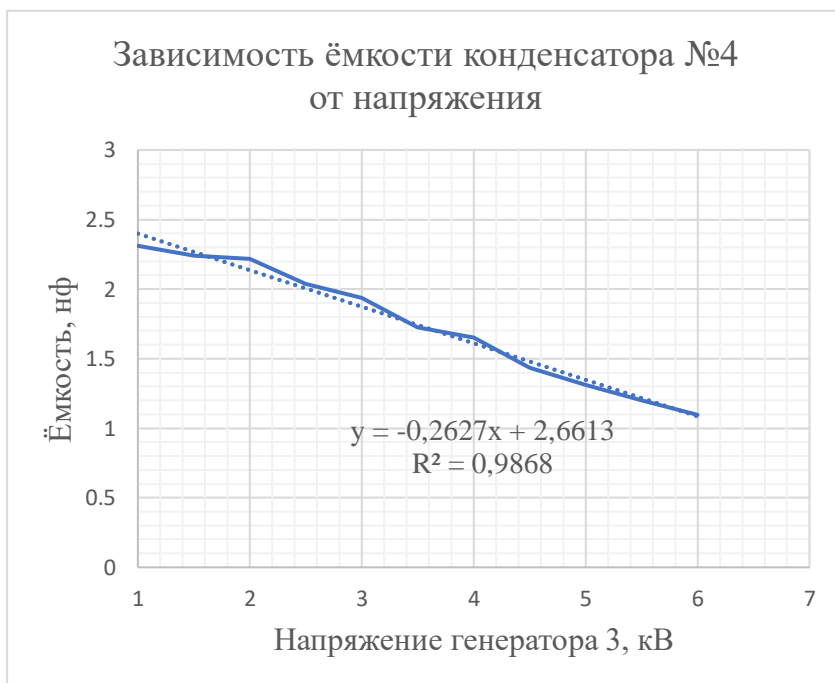


Рисунок 6. График зависимости ёмкости конденсатора №4 от напряжения.

максимальное рабочее напряжение. Допустимое отклонение номинальной ёмкости отсутствует. Тип и производитель не указан. На 6 кВ ёмкость упала на 1,22 нФ в сравнении с начальным значением. Экспериментальная погрешность равна 50%. Этот конденсатор, точно так же, как и первый, можно назвать плохим.

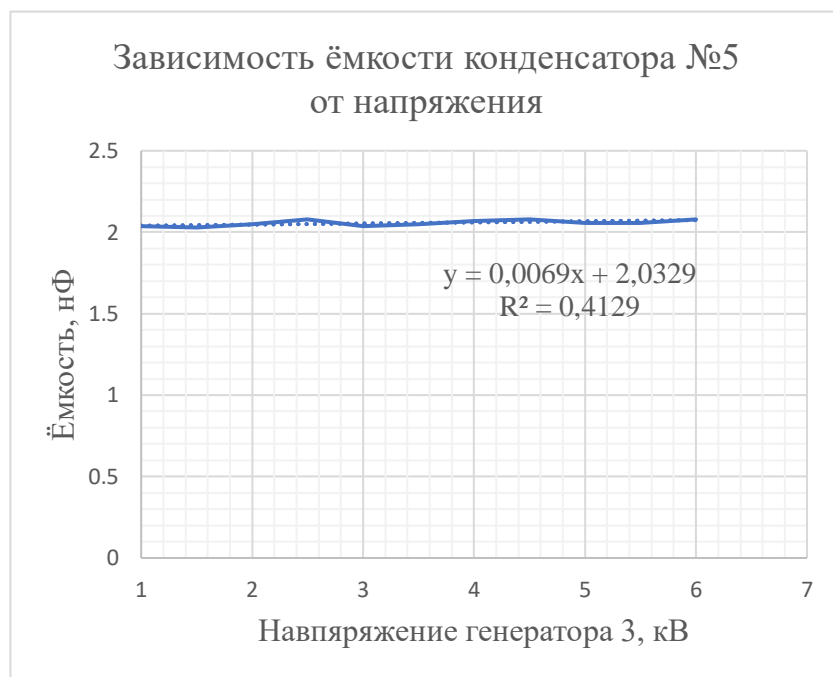


Рисунок 7. График зависимости ёмкости конденсатора №5 от напряжения.

4.5 Конденсатор №5 (2,2 нФ) (Тип диэлектрика Z5U, 15кВ максимальное рабочее напряжение)

У последнего изучаемого конденсатора обозначена точность $\pm 10\%$. 10% от 2,2 нФ это $2,2 \cdot 0,1 = 0,22$ нФ. В ходе эксперимента эффективное значение ёмкости уменьшилось не более чем на 2%. На рисунке 7 представлен график экспериментальной

зависимости ёмкости этого конденсатора от напряжения.

5. Заключение

Был проведён ряд измерений, направленных на изучение эффективного значения ёмкости конденсаторов. Я ознакомилась с разными видами конденсаторов и обозначениями на них. Получен навык пайки электрических схем. Применены собственные знания по радиоэлектронике при расчёте необходимых составляющих цепи. Наглядно изучена зависимость электроёмкости конденсаторов от подаваемого в цепь напряжения. Оценена точность измерений. При проектировании схем следует

учитывать, что емкость конденсаторов будет уменьшаться с ростом рабочего напряжения. Применительно, скажем, к умножителям напряжения это приведёт к тому, что пульсации выходного напряжения на частоте преобразования будут значительно выше и максимальная выходная мощность намного меньше. Некоторые типы конденсаторов вообще не рекомендуется использовать, даже несмотря на их небольшую стоимость, ведь даже 3 таких конденсатора, включенных параллельно, не дадут желаемой емкости на напряжениях, близких к максимальным.

6. Список литературы

1. В. Е. Китаев, А. А. Бокуняев, М. Ф. Колканов. Электропитание устройств связи. 1975 год.
2. Б. А. Ротенберг. Керамические конденсаторные диэлектрики. 2000 год.
3. <https://article.murata.com/en-global/article/voltage-characteristics-of-electrostatic-capacitance>
4. Н. П. Богородский. Высоковольтные керамические конденсаторы. 1970 год.