

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОНДЕНСАТОРОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ДИЭЛЕКТРИКАМИ

КУЙБЫШЕВ 1988

Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОНДЕНСАТОРОВ
С РАЗЛИЧНЫМИ ДИЭЛЕКТРИКАМИ

У т в е р ж д е н о
редакционно-издательским
советом института
в качестве
методических указаний
к лабораторной работе
для студентов

Куйбышев 1988

УДК 621.396.69

В методических указаниях рассматриваются вопросы зависимости электрофизических свойств конденсаторов от вида используемого диэлектрика, конструкции конденсаторов различных типов, зависимость добротности конденсаторов от температуры и частоты. Методические указания предназначены для студентов специальности 0705.

Составитель Л.М.Капитонова

Рецензенты: И.И.Волков, Б.В.Скворцов

Ц е л ь р а б о т ы - исследование температурной и частотной зависимости добротности конденсаторов с различными диэлектриками.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

К о н д е н с а т о р ы - это дискретные элементы, обладающие сосредоточенной электрической емкостью /I/. В зависимости от материала диэлектрика, используемого для прокладки, различают конденсаторы вакуумные, воздушные, с твердым органическим диэлектриком (бумажные, металобумажные), с твердым неорганическим диэлектриком (слоистые, керамические, стеклокерамические, стекломалевые, пленочные) и электролитические (танталовые, алюминиевые). В реальном конденсаторе часть энергии рассеивается в виде потерь, величина которых определяется свойствами диэлектрика и обкладок конденсатора.

Реальный конденсатор можно представить двумя эквивалентными схемами, в которых его потери определяются сопротивлениями Z или R (рис. 1),

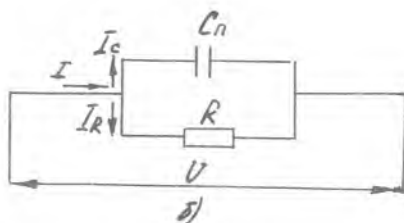
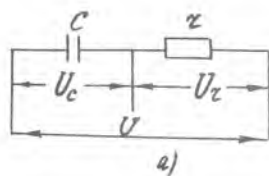
где C - емкость конденсатора,

R - активное сопротивление, характеризующее потери в диэлектрике,

Z - активное сопротивление, характеризующее потери в обкладках.

Векторные диаграммы для них соответственно имеют вид, показанный на рис. 2, а, 2, б.

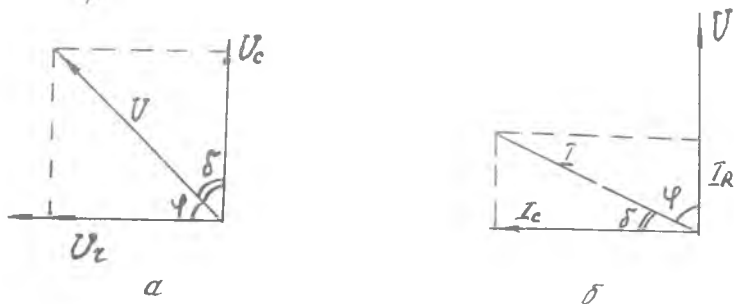
В идеальном конденсаторе угол сдвига фаз между векторами тока и напряжения $\varphi = 90^\circ$ и, следовательно, активная мощность $P_A = UI \cos \varphi = 0$. В реальном конденсаторе $\varphi \neq 90^\circ$, поэтому $P_A \neq 0$.



Р и с. 1.

Углом диэлектрических потерь δ называется угол, дополняющий до 90° угол сдвига фаз между током и напряжением в емкостной цепи (рис. 2). Потери в конденсаторе обычно характеризуются тангенсом угла потерь $\operatorname{tg} \delta$, который представляет собой отношение активной мощности P_A к полной реальной мощности P_D , т.е.

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{P_A}{P_D} \quad (1)$$



Р и с. 2.

Различные схемы замещения приводят к различным выражениям для $\operatorname{tg} \delta$: для схемы рис. 1,а

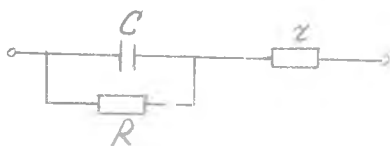
$$\operatorname{tg} \delta = \frac{U_Z}{U_C} = \frac{Iz}{I \cdot 1/\omega C} = z\omega C, \quad (2)$$

для схемы рис. 1,б

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{U}{RU/\frac{1}{\omega C_n}} = \frac{1}{R\omega C_n}. \quad (3)$$

Последовательная схема (см. рис. 1,а) целесообразна, когда потери преобладают в приэлектродных областях конденсатора или непосредственно на электродах, параллельная схема (см. рис. 1,б) относится к случаю преобладания потерь во всем объеме диэлектрика.

В ряде практических случаев (в особенности на высоких частотах) схема замещения содержит оба сопротивления Z и R (рис. 3), поскольку потери энергии имеют место как в объеме диэлектрика, так и в непосредственной близости от обкладок.



Р и с. 3.

Поскольку размеры конденсаторов незначительны, индуктивностью их выводов и обкладок даже на высокой частоте можно пренебречь. Однако при исследовании таких конденсаторов в диапазоне высоких и сверхвысоких частот начинает сказываться влияние индуктивности и паразитной емкости контактного приспособления, которые необходимо учитывать.

В радиотехнической практике для оценки качества конденсатора вместо $tg\delta$ чаще всего применяется величина, называемая добротностью конденсатора

$$Q = \frac{1}{tg\delta} \quad (4)$$

Потери в конденсаторах необходимо учитывать при больших напряжениях и высоких частотах. Кроме того, при больших значениях емкости C и напряжениях U потери могут быть значительными и на низких частотах. Существенное влияние на величину потерь в конденсаторе оказывают и температурные условия.

В данной лабораторной работе рассматривается влияние потерь, вносимых различными диэлектриками, на свойства конденсаторов в диапазоне высоких частот и влияние температуры на свойства конденсаторов. Величина потерь обусловлена различной интенсивностью поляризации диэлектриков, применяемых в конденсаторах. Поляризация диэлектриков объясняется тем, что при создании электрического поля между обкладками конденсатора в диэлектрике происходит смещение зарядов по направлению к металлическим обкладкам.

Под действием сил электрического поля электроны молекулы как бы притягиваются к одной из обкладок (положительной), центр суммарного отрицательного заряда смещается относительно центра ее суммарного положительного заряда, и молекула поляризуется.

Если атомы располагаются в молекуле так, что центры суммарного положительного и отрицательного зарядов совпадают, то молекула будет неполярной. Диэлектрик, состоящий из таких молекул, также называется неполярным. Однако атомы различных химических элементов иногда располагаются в молекуле так, что центры ее суммарного положительного и отрицательного зарядов оказываются несовмещенными. Такое раздвижение центров разноименных зарядов называется поляризацией молекулы, а сама молекула — полярной или дипольной, поэтому диэлектрик, состоящий из полярных молекул, называется полярным.

При включении конденсатора в цепь переменного тока, когда заряды на обкладках меняются дважды в течение периода, соответственно два раза за период возникает и исчезает поляризация молекул диэлектрика. При этом на смещение электронов в молекулах неполярных диэлектриков энергия электрического поля не затрачивается совершенно, а на смещение ионов теряется ничтожно малая энергия. Последнее обстоятельство позволяет применять конденсаторы с неполярными диэлектриками в высокочастотных колебательных контурах и других цепях с точками высокой частоты.

В молекулах полярных веществ также происходит смещение электронов (электронная поляризация), кроме того, дипольные моменты молекул, которые при отсутствии внешнего поля находились в хаотическом тепловом движении, под воздействием поля стремятся ориентироваться вдоль его силовых линий. Другими словами, заряды на обкладках конденсатора стремятся повернуть молекулы-диполи таким образом, чтобы их отрицательные заряды были обращены к положительно заряженной обкладке, а положительные заряды — к отрицательной заряженной обкладке конденсатора. Это явление называется дипольной (дипольно-релаксационной) поляризацией.

Если время поворота диполей больше продолжительности периода электрического поля, то дипольная поляризация за это время не успевает установиться. Вследствие этого при достаточно высоких частотах, когда полярные молекулы не успевают ориентироваться в течение каждого полупериода, т.е. следовать за изменением поля, дальнейшее увеличение потерь с ростом частоты прекращается и они остаются постоянными.

Способность диэлектрика поляризоваться в электрическом поле характеризуется его диэлектрической проницаемостью ϵ , представляю-

шей собой отношение электрического смещения D (заряд, отнесенный к единице площади) к напряженности электрического поля E , т.е.

$$\epsilon = \frac{D}{E}. \quad (5)$$

Появление угла σ объясняется наличием релаксационных токов, имеющих место, в основном, при ионной и дипольной поляризациях.

Различают несколько основных типов поляризации: электронную, ионную, междуслойную, дипольную, структурную, спонтанную. Различным по роду диэлектрикам присуща определенная поляризация. Охарактеризуем вкратце каждый тип поляризации.

Электронная поляризация присуща всем диэлектрикам. Она не связана с потерями энергии и происходит мгновенно (около 10^{-15} с). Диэлектрическая проницаемость ϵ не зависит от частоты. Диэлектрики, в которых проявляется лишь электронная поляризация, называют непolarными или нейтральными. Такие диэлектрики имеют невысокие ϵ , обычно порядка 2...2,5. Ионная поляризация подобно электронной происходит практически мгновенно (за время порядка 10^{-12} с) и не связана с потерями энергии на частотах ниже 10^{10} Гц. У диэлектриков с ионной поляризацией больше ϵ может составлять 6...20. Диэлектрическая проницаемость здесь не зависит как от напряжения, так и от частоты, вплоть до 10^{12} Гц.

Междуслойная поляризация проявляется в сложных и неоднородных диэлектриках при низких частотах. Приращение за счет этого вида поляризации быстро снижается с увеличением частоты и практически исчезает при частотах порядка $10^3 \dots 10^4$ Гц. Такая поляризация дает некоторые потери при небольших напряжениях поля, заметно увеличивающихся при повышенных температурах.

Дипольная поляризация связана с потерями энергии (энергия затрачивается при вращении диполей на преодоление внутреннего трения в диэлектрике) и происходит в течение некоторого промежутка времени. Диэлектрики с такой поляризацией называются полярными или дипольными. При увеличении частоты в диэлектриках с дипольной поляризацией наблюдается снижение ϵ , так как диполи не успевают следовать за быстрым изменением электрического поля.

Структурная поляризация (дипольно-радикальная) проявляется в твердых веществах, молекулы которых содержат полярные группы (радикалы). Она подобно дипольной поляризации связана с потерями энергии.

При структурной поляризации ϵ снижается в области низких температур (когда происходит торможение полярных групп) и в области высоких частот. Для веществ с такой поляризацией может составлять от 3 до 20.

Спонтанной (самопроизвольной) поляризацией обладают особые вещества, которые носят название сегнетоэлектриков, сильно поляризующихся в относительно слабых полях. Диэлектрическая проницаемость сегнетоэлектриков оказывается исключительно высокой, порядка 1000, а иногда достигает 10000. Спонтанная поляризация связана с большими потерями, обычно превышающими потери при дипольной или структурной поляризации. Смещение ϵ с ростом частоты в различных сегнетоэлектриках наблюдается в области частот порядка $10^4 \dots 10^8$ Гц и выше. Диэлектрическая проницаемость резко зависит от температуры и достигает максимального значения при определенной для каждого сегнетоэлектрика температуре, называемой точкой Кюри. Выше этой температуры спонтанная поляризация исчезает и ϵ делается независимой от напряженности поля.

Выбор типа диэлектрика для какой-то конкретной емкости зависит от свойства диэлектрика и от требований, предъявляемых к емкости, к ее конструктивному оформлению. В основном выбор диэлектрика определяется свойствами конденсатора (электрофизическими свойствами), к числу которых относится изменение добротности и изменение частоты.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с теорией вопроса, изучить конструкции конденсаторов различных типов.

2. Изучить методику замера добротности конденсаторов с помощью прибора ЕЭ-5.

3. Снять зависимость добротности конденсаторов с различными диэлектриками от частоты $Q = \mathcal{Y}(f)$ при постоянной температуре.

4. Снять зависимость добротности конденсаторов от температуры при постоянном значении частоты (температуру замерять через 5°C).

Примечание. При снятии характеристики $Q = \mathcal{Y}(f)$ точки замера брать ориентировочно 15, 20, 60, 80, 100, 120, 150, 200 МГц.

5. Провести сравнительную оценку частотных характеристик, снятых для емкостей с различным диэлектриком. Сделать выводы.

6. При снятии температурной зависимости $Q = f(t)$, температуру замерять через 5°C .

7. Оформить отчет.

УКАЗАНИЯ ПО РАБОТЕ С Q -МЕТРОМ

При включении Q -метра Е9-5 в электрическую сеть выключатель сети должен стоять в положении "ВЫКЛ", ручки установки уровня - в крайнем левом положении.

Переключателем "ДИАПАЗОНЫ" и ручкой "ЧАСТОТА" установить нужную частоту. Переключатель "ШКАЛА" установить в нужный предел.

Включить выключатель сети, при этом должна загореться сигнальная лампочка.

После 10-минутного прогрева установить переключатель "ДИАПАЗОНЫ" в промежуточное положение. Присоединить эталонную катушку к клеммам, установив ручкой "УСТ. НУЛЯ Q " нуль Q -вольтметра уровня.

Повернуть переключатель "ДИАПАЗОНЫ" в требуемое положение. Ручкой "УСТ. МНОЖ. Q " установить стрелку прибора вольтметра уровня на I.

Контур Q -метра настроить в резонанс на частоте измерения f и определить значение резонансной емкости и добротности контура C_1 и Q_1 . Затем подключить измеряемую емкость к клеммам C_x , т.е. параллельно контуру, и вторично настроить контур в резонанс. При этом определить новые значения емкости и добротности контура C_2 и Q_2 .

Зная C_1, Q_1, C_2, Q_2 , можно рассчитать величину измеряемой емкости и ее добротности по следующим формулам:

$$C_x = C_1 - C_2, \quad (6)$$

$$Q_x = \frac{(C_2 - C_1) Q_1 Q_2}{C_1 (Q_1 - Q_2)}. \quad (7)$$

Результаты замеров и расчета внести в таблицу.

По данным таблицы построить графики.

f , МГц	C_1 , пФ	Q_1	C_2 , пФ	Q_2	C_x , пФ	Q_x

Примечание. Погрешность измерения емкости по диапазону частот составит ± 1 пФ. Погрешность измерения добротности при нормальных условиях $\pm 10\%$

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Результаты замеров и расчета, сведенные в таблицу.
Графики.
Выводы по проделанной работе.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Установка состоит из измерителя добротности Е9-5 с диапазоном частот 15...200 МГц и переключателя, позволяющего подключать к Q -метру различные конденсаторы. Установка позволяет измерять добротность контура, образованного емкостью Q -метра, образцовой индуктивностью и емкостью измеряемого конденсатора. По измеренной добротности определяется добротность непосредственно измеряемого конденсатора.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие типы диэлектриков используются в конденсаторах постоянной емкости?
2. Какие эквивалентные схемы работы конденсаторов вы знаете?
3. Какие конструктивные элементы конденсаторов влияют на составляющие эквивалентной схемы?
4. Что такое полное сопротивление конденсатора?
5. Как изменяется полное сопротивление конденсатора от частоты?
6. Что такое резонансная частота конденсатора?
7. Дайте определение тангенса угла потерь в конденсаторе.

8. Как определяется дооротность конденсатора?

9. Влияет ли активное сопротивление диэлектрика на работу конденсатора ? Если влияет, то каким образом?

10. Какие потери в реальном конденсаторе отражает его последовательная эквивалентная схема?

Библиографический список

Ренне В.Т. Электрические конденсаторы. - Л.: Энергия, 1979.

Фролов А.Д. Радиодетали и узлы. - М.: Высшая школа, 1975.

Рычина Т.А. Электрорадиоэлементы. - М.: Сов.радио, 1980.

Ануфриев В.А. и др. Эксплуатационные характеристики и надежность электрических конденсаторов. - М.: Энергия, 1976.

Составитель Лилия Михайловна Капитонова

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОНДЕНСАТОРОВ
С РАЗЛИЧНЫМИ ДИЭЛЕКТРИКАМИ

Редактор Е.Д.Антонова
Техн. редактор Н.М.Каленюк
Корректор О.Ю.Ненашева

Подписано в печать 17.03.88 г. Формат 60x84^I/16
Бумага оберточная. Печать оперативная.
Уч.-изд.л. 0,6. Усл.п.л. 0,5. Т. 500 экз.
Заказ № 3686. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева,
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Тип.им.В.П.Мяги Куйбышевского полиграфического
объединения. 443099, г. Куйбышев, ул.Венцека,60.