

Конденсатор в цепи переменного тока

Исследовательская работа

Выполнил Мезин Никита,
ученик 10 класса

Учитель-консультант
Милинчук Виктор Павлович

2019-2020 учебный год

План

Введение

I. Конденсатор и переменный ток

II. Конденсатор в цепях электрического тока

Заключение

Введение

В настоящее время центральное производство и распределение электрической энергии осуществляется в основном на переменном токе. В наших домах мы также используем переменный ток. Конденсаторы есть во многих приборах, которыми мы пользуемся каждый день, таких как телефоны, телевизоры, холодильники, СВЧ-печи и многих других.

Цель моей исследовательской работой заключается в том, чтобы узнать какие особенности переменного тока, какие у него преимущества над постоянным током, а также какие функции выполняет конденсатор в современных приборах и что произойдёт, если его подключить в цепь переменного тока.

Среди задач – ответы на предметные вопросы проекта:

Что такое конденсатор?

Какие виды конденсаторов бывают?

Какие особенности цепей переменного тока?

Изменится ли сила тока после подключения конденсатора?

Изменится ли напряжение после подключения конденсатора?

Я выдвинул гипотезу, что при включении конденсатора в цепь переменного тока характеристики цепи останутся неизменными.

Объектом моего исследования является переменный электрический ток, проходящий через конденсатор, а предметом – характеристики цепи переменного тока с подключением конденсатора.

На начальном этапе своей работы я занимался изучением интернет-источников и литературы по выбранной мной теме. После сбора и изучения информации, я приступил к основному этапу. На этом этапе я использовал такой метод, как эксперимент (сборка цепи переменного электрического тока с подключением конденсатора). В ходе эксперимента я пользовался методом измерения (измерял характеристики электрического тока: напряжение и силу тока). После проведения эксперимента я занимался анализом и сравнением полученных данных.

Практическая значимость моего исследования заключается в понимании принципа действия конденсатора и переменного электрического тока, а также его характеристик. Знания и умения, полученные на основе моей работы, помогут мне при решении задач и при дальнейшем изучении физики и электроники, и вообще в жизни, потому что в наше время переменный ток окружает нас повсюду, а также мы пользуемся современными приборами, в которых есть конденсаторы, выполняющие определённые функции.

I. Конденсатор и переменный ток

Конденсатор

Конденсатором называется система из двух или более проводников (обкладок), разделённых диэлектриком, предназначенная для использования её электрической ёмкости. [1]

Существует много видов конденсаторов. В основном они делятся по материалу, из которого изготовлены обкладки и по типу используемого диэлектрика между ними.

Плоский конденсатор – это устройство, состоящее из двух металлических пластин (обкладок) и слоя диэлектрика, толщина мала по сравнению с размерами пластин.

Цилиндрический конденсатор – это два полых коаксиальных проводящих цилиндра с радиусами r_1 и r_2 ($r_1 > r_2$), между которыми находится диэлектрик с диэлектрической проницаемостью ϵ .

Когда проводник имеет форму шара или сферы, тогда внешняя замкнутая оболочка является концентрической сферой, это означает, что конденсатор сферический.

Классификация конденсаторов (типы конденсаторов):

Конденсаторы с газообразным диэлектриком.

Конденсаторы с жидким диэлектриком.

Конденсаторы вакуумные (обкладки без диэлектрика находятся в вакууме).

Конденсаторы с твёрдым неорганическим диэлектриком: керамические, стеклянные (стеклоплёночные, стеклоэмалевые, стеклокерамические), слюдяные, тонкослойные из неорганических плёнок.

Конденсаторы с твёрдым органическим диэлектриком: бумажные, металlobумажные, плёночные, комбинированные – бумажноплёночные, тонкослойные из органических синтетических плёнок.

Электролитические и оксидно-полупроводниковые конденсаторы. Такие конденсаторы отличаются от всех других типов своей огромной удельной ёмкостью. В качестве диэлектрика используется оксидный слой на металле, являющийся анодом. Вторая обкладка катод – это или электролит (в электролитических конденсаторах), или слой полупроводника (в оксидно-полупроводниковых), нанесённый непосредственно на оксидный слой. Анод изготавливается, в зависимости от типа конденсатора, из танталовой, алюминиевой или ниобиевой фольги.

Конденсаторы делятся на постоянные и переменные:

Постоянные конденсаторы – основной класс конденсаторов, не меняющие своей ёмкости (кроме как в течение срока службы).

Переменные конденсаторы – конденсаторы, которые допускают изменение ёмкости в процессе функционирования аппаратуры. Управление ёмкостью может осуществляться механически, электрическим напряжением и температурой. Применяются в радиоприёмниках для перестройки частоты резонансного контура.

Подстроечные конденсаторы – конденсаторы, ёмкость которых изменяется при разовой или периодической регулировке и не изменяется в процессе функционирования аппаратуры. Их используют для подстройки и выравнивания начальных ёмкостей сопрягаемых контуров, для периодической подстройки и регулировки цепей схем, где требуется незначительное изменение ёмкости.

Конденсаторы бывают общего и специального назначения. Конденсаторы общего назначения применяются почти во всех видах и классах аппаратуры. К ним относят повсюду используемые низковольтные конденсаторы, к которым не предъявляются особые требования. Все остальные конденсаторы являются специальными. К ним относятся дозиметрические, пусковые, высоковольтные, импульсные, помехоподавляющие и другие.

Важнейшей характеристикой всех конденсаторов является **электроёмкость**.

Электрическая ёмкость – способность накапливать на обкладках конденсатора электрический заряд.[1]

Ёмкость характеризуется отношением заряда к величине напряжения на обкладках:

$$C = \frac{q}{U}$$

Из этого понятен физический смысл этой величины: электроёмкость конденсатора численно равна заряду, который увеличивает на единицу напряжение между его обкладками.

Она зависит от его линейных размеров, формы проводника и свойств среды, которая окружает проводник.

Единица ёмкости в СИ – фарада (Ф) — ёмкость проводника, в котором изменение заряда на 1 кулон изменяет его потенциал на 1 вольт.

Ёмкость плоского конденсатора, состоящего из двух параллельных металлических пластин площадью S каждая, расположенных на расстоянии d друг от друга, в системе СИ выражается формулой:

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

где ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды, заполняющей пространство между пластинами (эта формула справедлива, только когда d намного меньше линейных размеров пластин).

Конденсаторы также характеризуются удельной ёмкостью – отношением ёмкости к объёму (или массе) диэлектрика. Максимальное значение удельной ёмкости достигается при минимальной толщине диэлектрика, однако при этом уменьшается его напряжение пробоя.

Значимым параметром конденсаторов считается пробивное напряжение – напряжение, при котором происходит электрический разряд через слой диэлектрика.

Ещё одной характеристикой конденсаторов является номинальное напряжение – значение напряжения, обозначенное на конденсаторе, при котором он может работать в заданных условиях в течение срока службы с сохранением параметров в допустимых пределах. Номинальное напряжение зависит от конструкции конденсатора и свойств, применяемых материалов. При эксплуатации напряжение на конденсаторе не должно превышать номинального. Для многих типов конденсаторов с увеличением температуры допустимое напряжение снижается.

Диэлектрики

Так называют вещества, обладающие изоляционными свойствами. Они имеют в своем составе только связанные между собой, а не свободные заряды. У них все положительные и отрицательные частицы скреплены внутри нейтрального атома, лишены свободы передвижения. Они распределены внутри диэлектрика и не перемещаются под действием приложенного внешнего электрического поля E_0 .

Энергия электрического поля вызывает определенные изменения в структуре вещества — внутри атомов и молекул изменяется соотношение положительных и отрицательных частиц, а на поверхности вещества возникают излишние, несбалансированные связанные заряды, образующие внутреннее электрическое поле E' . Оно направлено навстречу приложенной извне напряженности.

Это явление получило название поляризации диэлектрика. Оно характеризуется тем, что внутри вещества проявляется электрическое поле E , образованное действием внешней энергии E_0 , но ослабленное противодействием внутренней E' .

Диэлектрическая проницаемость

Среди изоляционных материалов важная роль отводится электрическим характеристикам и такому показателю, как диэлектрическая проницаемость.

Диэлектрическая проницаемость — величина, характеризующая диэлектрические свойства среды — её реакцию на электрическое поле, которая показывает, во сколько раз сила взаимодействия F между электрическими зарядами в данной среде меньше их силы взаимодействия F_0 в вакууме:

$$\varepsilon = \frac{F_0}{F}$$

Переменный ток — это вынужденные электромагнитные колебания, вызываемые в электрической цепи источником переменного (чаще всего синусоидального) напряжения. [2]

Напряжение находится по закону:

$$U = U_0 \sin \omega t.$$

U_0 – амплитудное значение напряжения; ω - угловая частота переменного тока ($\omega = 2\pi f$);

t – время

Всегда подразумевается, что выбрано положительное направление обхода контура. Напряжение считается положительным, если электрическое поле зарядов, образующих ток, имеет положительное направление. В противном случае напряжение считается отрицательным.

Конденсатор, подключённый к источнику синусоидального напряжения. Активное сопротивление проводов равно нулю. Положительное направление обхода цепи против часовой стрелки.

Протекание переменного тока через конденсатор обеспечивается периодическим изменением заряда на его пластинах.

Заряд q той пластины конденсатора, на которую течёт положительный ток — в данном случае это будет правая пластина. Тогда знак величины q совпадает со знаком напряжения U . При таком согласовании знака заряда и направления тока будет выполнено равенство $\dot{q} = I$.

Напряжение на конденсаторе равно напряжению источника:

$$q/C = U = U_0 \sin \omega t.$$

Отсюда $q = CU_0 \sin \omega t$.

Дифференцируя это равенство по времени, находим силу тока через конденсатор:

$$I = \dot{q} = CU_0 \omega \cos \omega t.$$

Сила тока каждый раз достигает максимума на четверть периода раньше, чем напряжение. Это означает, что фаза силы тока на $\pi/2$ больше фазы напряжения (ток опережает по фазе напряжение на $\pi/2$).

Найти сдвиг фаз между током и напряжением можно также с помощью формулы приведения $\cos \phi = \sin (\phi + \pi/2)$. Используя её, получим:

$$I = CU_0 \omega \sin (\omega t + \pi/2).$$

Фаза тока больше фазы напряжения на $\pi/2$.

Для амплитуды силы тока имеем:

$$I_0 = CU_0 \omega = U_0 / (1/(\omega C)).$$

Амплитуда силы тока связана с амплитудой напряжения соотношением, аналогичным закону Ома $I_0 = U_0 X_C$, где $X_C = 1/\omega C$ ($\omega = 2\pi f$, где f – частота [Гц]).

Величина X_C называется ёмкостным сопротивлением конденсатора. Чем больше ёмкостное сопротивление конденсатора, тем меньше амплитуда тока, протекающего через него, и наоборот.

Ёмкостное сопротивление обратно пропорционально циклической частоте колебаний напряжения (тока) и ёмкости конденсатора.

1. Чем больше частота колебаний (при фиксированной ёмкости C), тем за меньшее время по цепи проходит заряд CU_0 ; тем больше амплитуда силы тока и тем меньше ёмкостное сопротивление. При $\omega \rightarrow \infty$ ёмкостное сопротивление стремится к нулю: $X_C \rightarrow 0$.

Это означает, что для тока высокой частоты конденсатор фактически является коротким замыканием цепи.

Наоборот, при уменьшении частоты ёмкостное сопротивление увеличивается, и при $\omega \rightarrow 0$ имеем $X_C \rightarrow \infty$. Это не удивительно: случай $\omega = 0$ отвечает постоянному току, а конденсатор для постоянного тока представляет собой бесконечное сопротивление (разрыв цепи).

2. Чем больше ёмкость конденсатора (при фиксированной частоте), тем больший заряд CU_0 проходит по цепи за то же время (за ту же четверть периода); тем больше амплитуда силы тока и тем меньше ёмкостное сопротивление.

В отличие от ситуации с резистором, мгновенные значения тока и напряжения в одни и те же моменты времени уже не будут удовлетворять соотношению, аналогичному закону Ома. Причина заключается в сдвиге фаз: напряжение меняется по закону синуса, а сила тока — по закону косинуса; эти функции не пропорциональны друг другу. Законом Ома связаны лишь амплитудные значения тока и напряжения.

II. Конденсатор в цепях электрического тока

Конденсатор в цепи постоянного тока

На основе проведённых экспериментов было установлено, что в цепи постоянного тока, в которую включен конденсатор, течёт кратковременный ток, за то время пока течёт ток,

конденсатор заряжается, после этого происходит разрыв цепи, и электрический ток больше не течёт. Эксперимент включал в себя сборку электрической цепи, которая состояла из источника постоянного тока, конденсатора, амперметра и ключа. Когда замкнули цепь, стрелка амперметра на мгновение отклонилась, это и означает, что в цепи тѣк кратковременный ток. Затем к контактам конденсатора поднесли светодиод и замкнули их между собой. Светодиод загорелся, это индикатор того, что конденсатор заряжен. Через пару секунд светодиод потух, это означает, что конденсатор разрядился. Как долго будет гореть светодиод, зависит от электроёмкости конденсатора.

Конденсатор в цепи переменного тока

Для проверки гипотезы, поставленной в начале исследовательской работы (при включении конденсатора в цепь переменного тока характеристики цепи останутся неизменными), и для ответов на предметные вопросы (изменится ли напряжение и сила тока в цепи после подключения конденсатора) нужно провести эксперимент, а именно собрать две электрические цепи переменного тока. Одна, из которых будет включать в себя лампочку, а другая резистор с сопротивлением 10 Ом. А затем в эти цепи подключить конденсатор и измерить характеристики тока.

В ходе эксперимента были получены следующие данные:

	Напряжение U, B		Сила тока I, A	
	Лампочка/ Резистор	Конденсатор	Лампочка/ Резистор	Конденсатор
Лампочка	4,4		0,18	
Резистор	4,14		0,37	
Конденсатор		4,4		0,17
Лампочка и конденсатор	4,4		0,17	
Лампочка и конденсатор	4,25	0.85	0,17	0,17
Резистор и конденсатор	4,23		0,34	
Резистор и конденсатор	3,8	1,55	0,34	0,34

Глядя на полученные данные, видно, что при включении конденсатора в цепь переменного тока изменяется сила тока, можно сказать, что конденсатор выступает в роли сопротивления.

Конденсатор обладает ёмкостным сопротивлением, поэтому сила тока в цепи уменьшается после подключения его в цепь. Ёмкостное сопротивление находится по формуле:

$$x_C = \frac{1}{\omega C}$$

где ω – угловая частота переменного тока, C – ёмкость конденсатора.

Из формулы следует, что чем выше частота и больше ёмкость, тем меньше сопротивление. И наоборот, если частота и ёмкость становятся меньше, то возрастает сопротивление конденсатора переменному току.

Также после подключения конденсатора в цепь, уменьшилось напряжение на лампочке и резисторе, это говорит о том, что конденсатор является нагрузкой, следовательно, на его работу идёт напряжение. Общее напряжение в цепи не изменилось.

Заключение

Завершив работу над исследованием «Конденсатор в цепи переменного тока», была подтверждена актуальность данной темы, потому что в настоящее время повсюду используется переменный ток, а современные приборы такие как, компьютеры, телевизоры, холодильники работают от переменного тока, и в каждом из них есть конденсаторы, выполняющие определённые функции.

Объектом исследования выступил переменный электрический ток, проходящий через конденсатор, предмет исследования – характеристики цепи переменного тока с подключением конденсатора.

Цель работы достигнута: изучены особенности и характеристики переменного тока, изучен принцип действия конденсатора и проведён эксперимент по сборке цепи переменного тока, в ходе которого было выяснено, как изменятся характеристики тока после подключения конденсатора.

Получены ответы на предметные вопросы:

Что такое конденсатор?

Какие виды конденсаторов бывают?

Какие особенности цепей переменного тока?

Изменится ли сила тока после подключения конденсатора?

Изменится ли напряжение после подключения конденсатора?

На разных этапах исследовательской работы были использованы различные методы: изучение, анализ информации, сравнение, измерение, эксперимент. На этапе эксперимента был изучен и применён такой прибор, как мультиметр, с его помощью можно измерять характеристики электрического тока, такие как сила тока и напряжения, также с его помощью можно узнать рабочее состояние или сопротивлением электро-компонента или электроприбора. Также было выявлено, что конденсатор обладает ёмкостным сопротивлением, и поэтому при подключении его в цепь переменного тока изменится сила тока в этой самой цепи. Тем самым была опровергнута гипотеза, что после включения конденсатора в цепь переменного тока характеристики цепи останутся неизменными.

Исследовательская работа имеет существенную практическую значимость, поскольку приобретённые умения позволяют собирать цепи переменного тока, пользуясь трансформатором и подключая разные приборы (лампочки, резисторы, конденсаторы, диоды и др.). Знания, полученные в ходе моего исследования, помогут при решении задач на темы «Конденсатор» и «Переменный ток», и в целом помогут при дальнейшем изучении физики и электроники.

Источники информации

1. Иванова Н.Ю., Комарова И.Э., Бондаренко И.Б., Электрорадиоэлементы. Часть 2 Электрические конденсаторы.– СПб: Университет ИТМО, 2015. – С. 5.
2. Яковлев И.В. Переменный ток 1. Материалы по физике [электронный ресурс]. – Режим доступа <https://mathus.ru/phys/ac1.pdf>, свободный – Загл. с экрана.
3. Конденсаторы, свойства конденсатора, обозначение конденсаторов на схемах, основные параметры [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ur4nww.qrz.ru/discovery/b3.htm>, свободный – Загл. с экрана.
4. Головин П.П. Фронтальные лабораторные работы и практикум по электродинамике: экспериментальные задания по электродинамике. – Ульяновск: Издательство «Корпорация технологий продвижения», 2005. – 256 с.

Приложения

