

## КАЛЕЙДОСКОП «КВАНТА»

...я надеялся, что путем использования электрической индукции земного магнетизма мне удастся сконструировать электрическую машину.

Майкл Фарадей

В любой точке цепи я включаю индуктирующую катушку, через которую проходит ток от источника тока. Далее я помещаю надлежащим образом вторую катушку, в которой первая индуктирует ток. Оба конца этой второй катушки соединяются проводом, образуя цепь, совершенно отдельную от первой.

Павел Яблочков

...переменный ток — это вздор, не имеющий будущего. Я не только не хочу осматривать двигатель переменного тока, но и слышать о нем.

Томас Эдисон

Я ожидаю... нового возобновления борьбы между переменным и постоянным током. Я вижу возможность реванша для постоянного тока, который многому научится у техники переменного тока.

Михаил Доливо-Добровольский

# А так ли хорошо знаком вам переменный ток?

Разумеется, да — ведь в каждом доме есть розетки, в которые мы включаем всю нашу домашнюю технику и осветительные приборы, «питающиеся» переменным током напряжением 220 вольт. В школьных мастерских имеются станки — к ним тоже подведен переменный ток, только более высокого напряжения. Во всех микрорайонах стоят будки с надписями «Тр-р», в которых находятся трансформаторы, преобразующие переменный ток; вдоль дорог и по лесным просекам протянулись линии электропередачи опять же переменного тока. Миллионы и миллионы генераторов, трансформаторов, электродвигателей во всем мире производят, передают и используют электрическую энергию благодаря особенностям этого вида тока, обнаруженным без малого двести лет назад.

Крупнейший ученый XIX века Герман Гельмгольц говорил, что до тех пор пока люди пользуются благами электричества, они всегда будут с благодарностью вспоминать имя Фарадея. Явление электромагнитной индукции — фундаментальное научное открытие, совершенное английским физиком Майклом Фарадеем, — легло в основу современной технической цивилизации и кардинально преобразило окружающий нас мир.

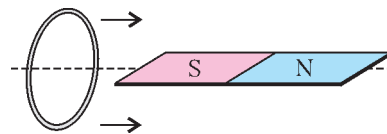
Долгие десятилетия шли активные поиски наилучшей реализации этого открытия — вплоть до отчаянной борьбы между сторонниками постоянного и приверженцами переменного тока. Правда, начавшаяся более ста лет назад «война» давно закончилась тесным и плодотворным взаимодействием, когда недостатки одного из видов тока компенсируются достоинствами другого.

Не следует, однако, думать, что все решения физических вопросов электроэнергетики и электросвязи состоялись в прошлом, а ныне осталось лишь техническое их совершенствование. Масштабы производства и распределения энергии, переход к альтернативным ее источникам, современные средства коммуникации достигли такого рубежа, что появились новые проблемы, связанные с надежностью и безопасностью работы гигантских, охватывающих целые континенты систем. А это требует нетрадиционных способов управления ими, привлечения нестандартных научных подходов, например теории хаоса или теории сетей.

Но пока попробуем выяснить, что нам известно о самых простых свойствах переменного тока.

### Вопросы и задачи

1. Проводник в виде кольца движется от одного конца полюсового магнита, расположенного вдоль его оси симметрии, к другому. Что происходит с индукционным током в кольце?



2. Будет ли проходить ток через электролитическую ванну с медным купоросом, если ее подключить к источнику переменного напряжения? Станет ли выделяться на электродах медь?

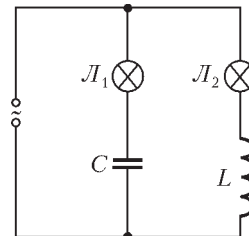
3. Почему короткое замыкание конденсатора в цепи переменного тока равносильно тому, что его емкость становится бесконечно большой?

4. Что подразумевается под переменным током нулевой частоты?

5. Проводник размещен между полюсами сильного дугообразного магнита. Что будет происходить с проводником, если пропустить через него переменный ток промышленной частоты?

6. Для чего серебрят провод, идущий на изготовление коротковолновых и ультракоротковолновых контурных катушек?

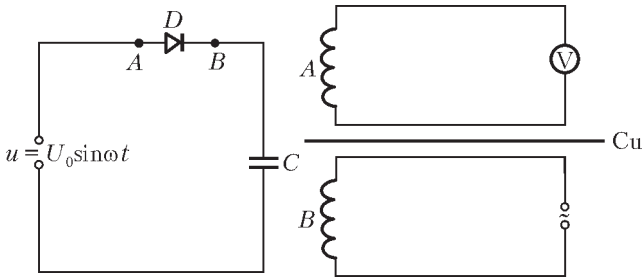
7. В колебательный контур последовательно включен источник синусоидальной ЭДС постоянной амплитуды. Пренебрегая внутренним сопротивлением источника, оцените напряжения на катушке индуктивности и на конденсаторе при очень малых и очень больших частотах по сравнению с собственной частотой контура.



8. Две одинаковые лампы питаются от источника переменного тока, как показано на схеме. При некоторой частоте накал ламп одинаков. Как изменится накал, если частоту: а) увеличить; б) уменьшить?

9. На какое напряжение надо рассчитывать изоляторы линии передачи, если действующее напряжение 430 кВ?

10. Схема с идеальным диодом, изображенная на рисунке, включена в сеть переменного тока. В каких



пределах изменяется напряжение между точками  $A$  и  $B$ ?

**11.** Катушка индуктивности  $A$  замкнута на вольтметр, а катушка  $B$  подключена к источнику переменного тока, как показано на рисунке. Изменится ли напряжение, индуцируемое в катушке  $A$  током, идущим в катушке  $B$ , если между ними проложить большой медный лист?

**12.** При ремонте понижающего трансформатора разматывали его первичную обмотку и включили ее концы в сетевую розетку. В результате перегорели предохранители, хотя трансформатор был рассчитан на сетевое напряжение. Как это объяснить?

**13.** Отчего наличие очень высокого напряжения во вторичной обмотке повышающего трансформатора не приводит к большим потерям энергии на выделение тепла в самой обмотке?

**14.** Почему трансформатор выходит из строя, если хотя бы один виток обмотки замкнется накоротко?

**15.** В чем причина гудения нагруженного трансформатора? Какова частота этого звука, если трансформатор включен в сеть промышленной частоты?

**16.** Квадратная рамка равномерно вращается с угловой скоростью  $\omega$  в однородном магнитном поле, перпендикулярном оси вращения. Концы рамки все время остаются присоединенными к катушке индуктивностью  $L$ . Омическим сопротивлением цепи можно пренебречь. В каком положении рамки: а) ЭДС индукции в ней максимальна; б) сила тока в ней максимальна?

### Микроопыт

Вам наверняка приходилось наблюдать, как в театрах и кинозалах постепенно включают освещение, чтобы не слепить зрителей резким переходом от темноты к свету. Это можно сделать с помощью либо реостата, либо дросселя – катушки индуктивности с очень малым сопротивлением. Какой из способов вы бы выбрали?

### Любопытно, что...

...в 1831 году Фарадей создал первый образец отличного от батареи генератора электрического тока, правда его постоянное напряжение было очень низким, а эффективность прибора – весьма малой. Но уже через год французский изобретатель Пикси сконструировал машину, в которой ток возбуждался вращением проволочной петли в поле постоянного магнита, т.е. генератор переменного тока. О силе получаемого с его помощью тока свидетельствовали опыты с химическим разложением вещества и образованием искр.

...русские ученые Ленц и Якоби еще в середине XIX века доказали обратимость магнитоэлектрических машин: генератор может быть обращен в электродвигатель и наоборот. Этой «взаимозаменяемостью» пользуются, например, в гидроаккумулирующих станциях, накачивая воду двигателями насосов в бассейны при избытке

производства энергии и «срабатывая» воду через те же устройства, но уже в качестве генераторов, в часы пиковых нагрузок.

...медный диск, помещенный в поле вращающегося постоянного магнита, сам приходит во вращение. Это явление, открытое Араго в 1824 году и объясненное затем Фарадеем как следствие появления индукционных токов в диске, взял на вооружение электротехник Доливо-Добровольский, создавший на его основе асинхронный двигатель трехфазного тока, произведший подлинную техническую революцию и широко используемый и по сей день.

...первые практически применявшиеся трансформаторы были предложены «отцом русского света» Яблочковым, перешедшим с постоянного на переменный ток для обеспечения равномерного сгорания угольных электродов в своих дуговых «свечах». Яблочков же впервые использовал в цепях переменного тока конденсатор.

...к концу XIX века Эдисоном была одержана победа над сторонниками газового освещения, всеми силами пытавшимися не допустить внедрения электрического освещения. Но вскоре сам Эдисон занял непримиримую позицию по отношению к использованию переменного тока, пугая всевозможными опасностями его применения, и даже предложил принять закон о его запрещении.

...до 1891 года строились электростанции только постоянного тока. Однако преимущества переменного тока при производстве и передаче электроэнергии привели к тому, что уже в 1896 году на Ниагарском водопаде в США вступила в строй гидроэлектростанция с тремя турбинами переменного тока по 5 тысяч лошадиных сил каждая.

...силы взаимодействия токов в природе редко достигают большой величины, однако в технике играют основную роль – как, например, в генераторах тока или электромоторах. В отличие от этих сил, более мощные кулоновские силы почти никак не проявляются в технике из-за невозможности создания достаточно больших электростатических зарядов.

...при протекании по проводам переменный ток не распределяется равномерно по их сечению, а сосредоточен в основном вблизи поверхности – это явление носит название скин-эффекта (от англ. skin – кожа). Так, при частоте 50 герц в медном проводнике глубина проникновения тока составляет примерно 9 миллиметров; при увеличении частоты эта глубина уменьшается, что приводит к возрастанию сопротивления.

### Что читать в «Кванте» о переменном токе

(публикации последних лет)

1. «Эффективное напряжение в цепи переменного тока» – 2001, №3, с. 40;
2. «Простые опыты с переменным током» – 2002, Приложение №4, с. 72;
3. «Два кольца в одном магнитном поле» – 2003, №3, с. 38;
4. «В цепи переменного тока» – 2004, №1, с. 29;
5. «Катушка, вращающаяся в магнитном поле» – 2004, №4, с. 17;
6. «Магнитный поток сверхпроводника» – 2004, №4, с. 38;
7. «Калейдоскоп «Кванта» – 2005, №1, с. 32;
8. «Катушки индуктивности в электрических цепях» – 2005, №4, с. 42;
9. «Закон электромагнитной индукции» – 2006, №5, с. 36.

Материал подготовил А.Леонович