

УДК 621.3.011.4

А. В. Китаев, канд. техн. наук

ТОК СМЕЩЕНИЯ И МАГНИТНОЕ ПОЛЕ КОНДЕНСАТОРА

Аннотация. Изложена иная трактовка понимания физической сути тока смещения. Она сводится к тому, что ток смещения формирует электрические заряды, скапливающиеся на электродах противоположной полярности, с их последующим взаимным периодическим перемещением через соединительные провода и источник по команде, поступающей от последнего в связи со сменой полярности зажимов. Приводятся результаты экспериментального исследования магнитного поля конденсатора.

О. В. Китаев, канд. техн. наук

СТРУМ ЗМІЩЕННЯ І МАГНІТНЕ ПОЛЕ КОНДЕНСАТОРА

Анотація. Викладено іншу трактовку розуміння фізичної суті струму зміщення. Вона зводиться до того, що цей струм формує електричні заряди, які скупчуються на електродах протилежної полярності, з їх подальшим взаємним періодичним переміщенням через злучні проводи і джерело за командою останнього у зв'язку із зміною полярності затискачів. Наводяться результати експериментального дослідження магнітного поля конденсатора.

A. V. Kitaev, PhD

BIAS CURRENT AND THE MAGNETIC FIELD OF THE CAPACITOR

Abstract. Other treatment of understanding of the physical essence of the displacement current is explained. It is reduced to that the displacement current is formed by the electric charges accumulating on electrodes of opposite polarity, with their subsequent mutual periodic moving through connecting wires and a source on a command arriving from last in connection with change of polarity of crimped locks. Results of experimental data on research of the magnetic field of a capacitor are resulted also.

Понятие тока смещения было введено Максвеллом в результате гениальной догадки, что переменное электрическое поле ведет к созданию переменного магнитного поля. Из всех явлений, наблюдаемых при протекании электрического тока, Максвелл выделил для тока смещения лишь одно, а именно: способность создавать магнитное поле. Несмотря на столь именитую родословную понятие тока смещения до сих пор сохраняет ореол таинственности и предельно сложно для восприятия, что подчеркивается многими авторами, в том числе и в работе [3].

Отсюда следует признать актуальными усилия по поиску таких трактовок тока смещения, при которых он вместо загадочности приобретает физическую осязаемость и согласуется с экспериментальными данными. Одна из них рассматривается ниже.

Среди практических устройств, работа которых связана с наличием тока смещения, в первую очередь следует назвать длинные линии и электрический конденсатор. Отметим также, что электрические и магнитные поля первых изучены достаточно подробно в различных режимах (ХХ., КЗ., рабочий и т.п.). Поэтому хорошо известно, что картина магнитного поля в поперечном сечении линии имеет вид, приведенный на рис.1. Ее экспериментальное исследование возможно на основе использования датчиков Холла и измерительных катушек. Положение тех и других критично отношению к полю. Например, измери-

тельная рамка даст максимальный сигнал в положении 1, а при ее развороте на 90° (положение 2 на том же рисунке) измеряемый сигнал будет равен нулю.

Важно подчеркнуть, что известные картины магнитных полей линии относятся к режиму ее работы на конкретную нагрузку, т.е. в условиях протекания в основном тока проводимости, когда значением тока смещения можно было пренебречь. Однако та же задача может быть решена, например, экспериментальным путем и для режима холосто хода, когда по линии в основном протекает ток смещения. В итоге окажется, что и здесь магнитное поле по форме также аналогично рис.1. В этом результате нет ничего парадоксального, поскольку работу линии в том и другом режимах определяют падающие и отраженные волны тока и напряжения. Если же полагать, что между проводами существуют трубки тока смещения, обеспечивающие замкнутость цепи, то вокруг них должны сформироваться силовые линии продольного магнитного поля. При этом для получения максимального сигнала измерительная рамка должна быть поставлена в положение 2 (рис.1), где, как уже указывалось, при поперечном поле выходной сигнал измерительного устройства равен нулю. Но все предпринятые усилия по установлению продольного магнитного поля успеха не имели. Таким образом, можно утверждать, что при выборе для анализа линии без потерь ее ток холостого хода будет одновременно и током смещения. В этой связи полезно обращение к электрическим и магнитным аналогиям, выбрав в качестве объектов сопоставления линию и трансформатор. Для описания работы последнего ток ХХ является одним из основных показателей. Он имеет четкое физическое толкование, как ток, обеспечивающий создание магнитного поля в сердечнике. Отсюда его второе название: ток намагничивания. При этом механизм процесса описан столь четко, что предложения по намагничиванию сердечника протекающим по нему током будут сразу

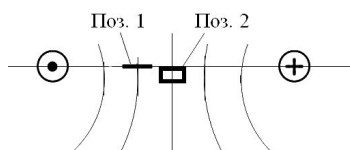


Рис.1. Магнитное поле линии

отнесены к числу абсурдных. По аналогии линия также должна характеризоваться током ХХ, который нужен для создания между проводами переменного электрического поля. Достигается это распределением зарядов вдоль линии и нет необходимости в том, чтобы эти заряды стекали между проводами через диэлектрик. Но движение зарядов вдоль линии принято называть током проводимости. Следовательно, для линии физическая суть токов проводимости и смещения одинакова и связана с движением электрических зарядов непосредственно по проводам. Дополнительные подробности на этот счет вскрывает анализ работы конденсатора.

Конденсатор – простейший элемент электрической цепи. Поэтому считается, что его поведение изучено во всех подробностях [1]. Особо подчеркивается, что ток, протекающий по соединительным проводам, является током проводимости, трубки которого имеют продолжение непосредственно между пластинами конденсатора в виде трубок тока смещения. Утверждается, что тем самым обеспечивается замкнутость электрической цепи, несмотря на наличие диэлектрического слоя. Однако закономерен вопрос, а нужна ли замкнутость цепи для понимания работы конденсатора. Поэтому сменим ракурс взгляда на его устройство. Дело в том, что конструкция современных технических конденсаторов представляет собой рулон из двух станиолевых пластин, между которыми проложена парафинированная бумага. Если этот рулон развернуть, например, вдоль горизонтальной плоскости, то получится (пусть в миниатюре) та же самая длинная линия (см. рис.2).

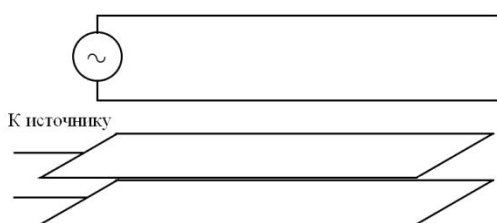


Рис.2 Принципиальная схема устройства длинной линии и конденсатора

Механизм формирования ее магнитного поля как результат движения падающих и отраженных волн выше уже был рассмотрен и приложим к конденсатору. Однако здесь скажется наличие диэлектрика. Действительно, если вдоль металлической пластины пойдет прямая падающая волна, то диэлектрик ответит ей аналогичной волной зарядов противоположного знака в силу явления поляризации. В итоге магнитные поля обеих волн скомпенсируют друг друга, и магнитное поле между пластинами исчезнет, но вокруг соединительных проводов (от источника к пластинам) оно будет реально существовать, что подтверждает эксперимент.

Итак, физическая картина процессов при подключении конденсатора к источнику переменного синусоидального напряжения может быть расписана следующим образом. Пусть его верхняя пластина со-

единена с условным зажимом «+» источника, а нижняя – с зажимом «-». Тогда на первой из них расположатся положительные заряды, на другой – отрицательные. Очевидно, что в этом случае любое изменение потенциала зажимов приведет соответственно к увеличению или снижению зарядов на пластинах. При нулевых потенциалах зажимов все заряды будут возвращены источнику. Смена же полярности зажимов приведет к повторению картины, но со сменой знака зарядов. В итоге с пластины на пластину через источник будут смещаться электрические заряды, формируя электрический ток. Логично и уместно назвать его током смещения, как предложил Максвелл, но только следует четко понимать, что у Максвелла это ток, протекающий через конденсатор по кратчайшему пути (т.е. через диэлектрик), а в нашем случае – это ток во внешнем по отношению к зажимам конденсатора участке цепи. В свете изложенного можно констатировать, что в замкнутых электрических цепях происходит циркуляционное движение электрических зарядов, а при наличии конденсатора оно приобретает колебательный характер и не требует замкнутости цепи. Такому движению соответствуют многие механические аналогии: качели, скатывающиеся по круглому желобу шарики и т.п.

Рассмотрим еще один пример работы конденсатора в составе колебательном контуре. Пусть заряженный конденсатор подключен к катушке индуктивности (КИ). Начало процесса здесь ознаменуется нарастанием тока за счет стекания зарядов, созданием магнитного поля вокруг витков КИ и возникновением ЭДС самоиндукции. Из-за ограниченного количества зарядов рост тока закончится при достижении амплитудного значения, что одновременно приведет к максимальному магнитному потоку и снижению ЭДС до нуля. Но в следующее мгновение ЭДС самоиндукции сменит направление, и пластины конденсатора, получив иную полярность, будут готовы для приема зарядов противоположного знака. Это приведет к перезарядке пластин и повторению процесса. В итоге, если контур идеальный, то в нем возникнут незатухающие колебания. Важно подчеркнуть, что и здесь при описании работы контура необходимость требования замкнутости электрической цепи не проявилась.

Если в состав рассмотренного колебательного контура включить источник ЭДС резонансной частоты, то электрическая цепь окажется в режиме резонанса напряжений, при котором возможны колебания неограниченной амплитуды. Однако в реальной электрической цепи всегда имеется какое-то активное сопротивление, которое сведет эти амплитуды к конечным значениям. Однако остается неясным другой вопрос, а именно: в силу каких причин при указанных условиях пластины конденсатора будут всасывать в себя большее количество электрических зарядов для обеспечения требуемого значения тока. Ответ построим на анализе работы схемы, приведенной на рис.3.

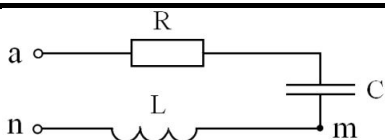


Рис.3 Последовательное соединение элементов цепи
 Пусть одна из пластин конденсатора подключена к зажиму источника, который в данный момент времени имеет полярность «+», другая – к зажиму «-», но через последовательное соединение резистора и катушки индуктивности. Очевидно, что включение цепи определит рост тока, который приведет к возникновению ЭДС самоиндукции. Воздействие этой ЭДС на работу цепи определится снижением потенциала точки «m» до более «глубокого» значения по сравнению с точкой «n». В итоге пластины конденсатора окажутся под значительно более высоким напряжением, чем напряжения источника. Однако падения напряжения на реактивных элементах этой цепи окажутся близкими друг другу.

Если же в качестве КИ использован дроссель (катушка с ферромагнитным сердечником), то работа цепи существенно усложняется, поскольку на уже рассмотренные процессы наложатся параметрические колебания. Они вызваны тем, что система дроссель – конденсатор при модуляции индуктивности способна выполнить функции параметрического генератора, работа которого подробно описана в [2]. Однако даже в этих условиях основной механизм работы цепи, сводящийся к периодическому заряду и разряду конденсатора, полностью сохранится.

В заключение рассмотрим работу излучающего диполя (вибратора). По сути, это тот же колебательный контур, но с конденсатором, у которого пластины развернуты в противоположные стороны (рис.4).

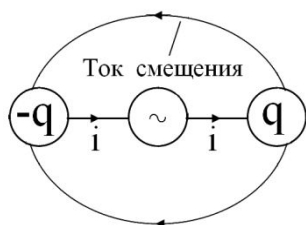


Рис.4. Излучающий диполь

Принято считать, что с них стекает ток смещения. Это обстоятельство крайне усложняет анализ. Действительно, нужно, используя вектор Пойнтинга, показать, что диполь излучает энергию. Здесь же при оговоренных условиях ток проводимости и ток смещения формируют обмотку тороидального вида, внутри которой сосредоточено все магнитное поле и потому излучения не может быть. В реальности дело обстоит немного проще. Допустим, что пластины конденсатора выполнены в виде тонких дисков. Тогда его электромагнитное поле примет форму цилиндра, где линии электрической напряженности будут направлены от пластины к пластине и параллельны оси z, а магнитные силовые линии, созданные током, протекающим по соединительному проводу (он выполняет

одновременно и функции КИ), расположатся в радиальных плоскостях. Отсюда очевидно, что вектор Пойнтинга будет направлен перпендикулярно боковой поверхности цилиндра. Поэтому с поверхности вибратора в окружающее пространство пойдет поток энергии в виде волны.

Список использованной литературы

1. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи. / Г.И.Атабеков – М: Энергия, – Ч.1. 1978. – 592 с.
2. Мандельштам Л.И. О параметрическом возбуждении параметрических колебаний / Л.И.Мандельштам, Н.Д.Папалекси // ЖТФ. – 1934. – Вып.1. –Т.4. – С. 5-30.
3. Николаев Г.В. Современная электродинамика и причины ее парадоксальности /Г.В. Николаев. – Томск: // Твердыня, – 2003. – 149 с.

Получено 17.05.2011



Китаев
 Александр Васильевич,
 к.т.н., проф. каф. Энергетики и электротехники Херсонск. нац. техн. ун-та.
 Бериславское шоссе, 24
 г. Херсон, 73008,
 тел.+38(0552)516-468,
 e-mail:
 laurvignon@yahoo.fr,