

УДК 621.385

Мощные высоковольтные электромагнитные колебания мегагерцового диапазона в LC -контурах

В. А. Алмазов, Э. Ф. Бурцев, В. Н. Зайцев, Р. Ш. Рудицкий, С. А. Черкасов

Экспериментально показано, что в электрических сетях высокочастотные колебания тока сопровождаются высоковольтными перенапряжениями. Они возникают вследствие включения ограниченного участка длины электрического провода катушки индуктивности за время, равное половине периода колебаний $t = T/2$, и работе индуктивности в автотрансформаторном режиме. Это явление определяется скоростью распространения тока электронной проводимости по длине провода катушки. Рассмотрено влияние тока предварительного смещения на высокочастотные колебания в LC -контуре. Проведен анализ эффективности применяемых средств защиты электрических цепей от импульсов перенапряжения.

PACS: 41.20.-q

Ключевые слова: LC -контур, резонансные колебания, автотрансформаторный режим, индуктивность, трансформатор Тесла, резонатор Тесла, высоковольтные перенапряжения.

Введение

В электрических сетях во время грозových разрядов, в процессе электрических коммутаций, при всех электрических разрядах, включая разряды на контактах с дефектами и частичные разряды на изоляционных барьерах металл—диэлектрик (М—Д) и диэлектрик—диэлектрик (Д—Д), регистрируются высокочастотные (ВЧ) колебания тока продолжительностью 400—500 нс. Это отмечается в ряде научных сообщений, однако конкретные результаты исследований этого явления в литературе практически отсутствуют.

В области радиотехники основные физические явления электрических колебаний в контурах и линиях рассмотрены в работе [1]. В электротехнике, имеющей свою специфику благодаря использованию мощных и сверхмощных энергетических потоков в условиях высоковольтных (ВВ) напряжений, для изучения генерации мощных ВВ ВЧ-импульсов применяются трансформаторы Тесла [2, 3]. Заметим, что мощные энергетические потоки в одних случаях являются одним из важных элементов промышленных технологий, а в других — инструментом разрушения, например изоляции в электроустановках.

Возникновение ВЧ-колебаний в реальных цепях можно, как правило, свести к колебаниям в эквивалентном контуре, содержащем индуктивность L и емкость C (LC -контур). К одним из первых работ по изучению мощных ВЧ-колебаний тока в LC -контурах можно отнести работы [4, 5]. Экспериментально показано [6, 7], что импульсы перенапряжения в LC -контурах связаны с распространением тока электронной проводимости по длине провода катушки индуктивности и работе катушки в автотрансформаторном режиме. Это делает возможным объяснить способ передачи электрической энергии на большие расстояния без проводов, который использовал в своих опытах Н. Тесла. Не исключено, что с этими эффектами связаны появившиеся в последние годы в средствах массовой информации сообщения о разработке устройств для беспроводной подзарядки аккумуляторов сотовых телефонов и электростимуляторов.

В данной работе определены следующие направления исследований для уточнения механизмов наблюдаемых явлений:

- экспериментальные исследования ВЧ-колебаний тока и напряжения в резонансном ВВ LC -контуре с учетом конструктивных особенностей изготовления импульсного трансформатора;
- анализ работы вибраторов (резонаторов) Тесла в качестве приемников ВЧ-колебаний;
- анализ влияния тока предварительного смещения на ВЧ-колебания в LC -контуре;
- анализ эффективности применяемых средств защиты в электрических сетях от ВВ-перенапряжений.

Алмазов Владимир Александрович, консультант.
Бурцев Эдуард Федорович, старший научный сотрудник.
Зайцев Владимир Николаевич, главный энергетик.
Рудицкий Рафаил Шоломович, начальник сектора.
Черкасов Сергей Александрович, начальник отдела.
Всероссийский электротехнический институт им. В. И. Ленина.
Россия, 111250, Москва, ул. Красноказарменная, 12.
E-mail: serg860@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 11 марта 2010 г.

© Алмазов В. А., Бурцев Э. Ф., Зайцев В. Н., Рудицкий Р. Ш., Черкасов С. А., 2010

Результаты экспериментальных исследований

Рассмотрим работу типового LC-контура в режиме резонансных высоковольтных ВЧ-колебаний (рис. 1).

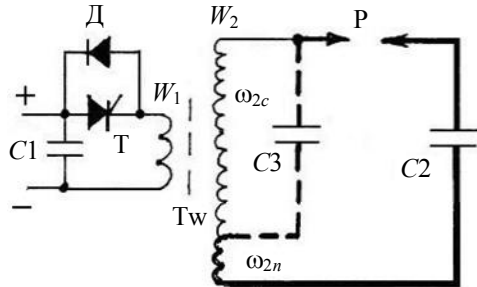


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки:

Tw — импульсный трансформатор на резонансных контурах;
P — разрядный промежуток в среде воздуха (длина ≤ 10 мм);
T — коммутирующий тиристор; Д — шунтирующий диод

С разрядом накопительного конденсатора C1 через первичную обмотку W1 на электродах ВВ-обмотки трансформатора Tw (W2 = 670 витков, длина провода намотки ≈ 40 м) устанавливается потенциал $U_a \approx 22$ кВ ($t_{fr} \approx 0,7$ мкс). Далее продолжаются процессы заряда межвитковых и межслойных емкостей обмотки W2 (эквивалентная емкость C3) и формирование условий пробоя воздушного промежутка ($t \approx 0,2$ мкс) [8]. После пробоя разрядного промежутка P потенциал $U_a \approx 22$ кВ прикладывался к зарядному конденсатору C2 с фронтом $t_{fr} \approx 15$ нс ($dU/dt \approx 1,3 \cdot 10^6$ В/мкс). На конденсаторе C2 в течение ~ 400 нс регистрировались гармонические затухающие ВВ ВЧ-колебания тока и напряжения. Импульс тока опережал импульс напряжения на время $t = 1/4T$, где T — период колебаний (десятки наносекунд). Методика эксперимента подробно рассмотрена в [6, 7].

В процессе колебаний мгновенное значение тока на каждом участке LC-контура имеет одинаковую величину. Также на каждом участке контура ток имеет свою качественную характеристику. Так, по электрическим проводам связи и включенному участку катушки индуктивности (ω_{2n}) протекает ток электронной проводимости. Он характеризуется омическими потерями и накоплением магнитной энергии. Омические потери при высоких частотах увеличиваются вследствие скин-эффекта. По не включенной части ВВ-катушки (ω_{2c}) протекает ток электрического смещения межвитковых и межслойных емкостей обмотки W2. Здесь имеют место потери на поляризацию, которые растут с увеличением частоты f. На участке электрического искрового разряда P протекают электронная и ионная составляющие тока переноса.

При заряде конденсатора C2 между его обкладками протекает ток электрического смещения. Ток смещения определяется безынерционным ($\leq 10^{-12}$ с) и инерционным ($\geq 10^{-10}$ с) токами поляризации [9], которые образуются движением связанных зарядов материала диэлектрика.

Проведенные экспериментальные исследования процесса заряда электрической емкости ($C \approx 5—30$ пФ) в диапазоне напряжений 2—24 кВ в импульсном режиме показали, что длительность импульсов тока заряда I_{ch} при амплитудном значении $I_{ch} \approx (0,01—1,0)$ А составляла $t_u \approx (2—2,5)$ мкс [10]. В данном случае при частотах единицы-десятки мегагерц и напряжении десятки-сотни киловольт полного энергетического заряда (перезаряда) электрической емкости может не происходить [11]. Этим можно объяснить процесс быстрого затухания колебаний в ВЧ LC-контуре за время в 0,4—0,5 мкс.

При исследовании электрических колебаний в LC-контуре экспериментально измеряли ток, частота [4, 5] и максимальное амплитудное значение импульса напряжения U_{max} на зарядном конденсаторе C2. Значение U_{max} принималось как среднее значение полного размаха колебаний напряжения (положительного и отрицательного значения) [6, 7]. Нулевой потенциал осциллограммы колебания напряжения соответствовал 22 кВ. Такой подход относится к конструкции трансформатора с однослойной ВВ-катушкой по типу трансформатора Тесла. В данном конкретном случае ВВ-обмотка является многослойной. Число витков в начале и конце катушки при одинаковой длине включенного участка $l_{\omega_2} = c \cdot T/2$, где c — скорость света, T — период ВЧ-колебания, существенно отличаются. Значение $U_{max} = U_{w_2} \cdot W_2 / \omega_{2n}$, где U_{w_2} — начальное выходное напряжение на обмотке W2 (22 кВ). Число витков включенного участка ω_{2n} определялось в соответствии с конструктивными данными исследуемого трансформатора. В качестве примера для контура с резонансной частотой $f_{res} \approx 20$ МГц приведены экспериментальные значения положительного и отрицательного импульсов напряжения U_{max} . Так, $U_{max\ pos} \approx 185$ кВ (176 кВ) и $U_{max\ neg} \approx 100$ кВ (88 кВ). Расчетные значения U_{max} для данной конструкции трансформатора (результаты расчета приведены в скобках) находятся в хорошем согласии с экспериментом.

Исследования показали, что ВВ-обмотка трансформатора в процессе ВЧ-колебаний работает попеременно с разных сторон катушки. С началом спада импульса тока на включенном участке обмотки ω_{2n} накопленный магнитный поток пересекает все витки катушки и наводит на включенном участке ЭДС самоиндукции, а на остальной обмотке ЭДС — взаимоиנדукции. При смене поляр-

ности на выводах катушки начинается процесс включения следующего полупериода колебания тока с противоположной стороны обмотки.

С увеличением длительности полупериода импульса тока происходит включение все большего количества витков ВВ-обмотки трансформатора. Это приводит к уменьшению коэффициента автотрансформаторного режима работы обмотки, т. е. к уменьшению амплитудного значения напряжения на конденсаторе LC -контура.

Представляет интерес рассмотреть работу конкретного ВВ LC -контура при частотах менее 20 МГц. Дальнейшие исследования проводились с применением в качестве зарядного конденсатора $C2$ конденсаторов с изоляцией на основе полистирола (тип — ПОВ, $C_{nom} = 390$ пФ, $U_{nom} = 15$ кВ). Конденсаторы соединялись в секции, комбинированные сборки заданной емкости и величиной рабочего напряжения. С увеличением емкости уменьшались измеренные значения резонансной частоты контура f_{res} и значения U_{max} . Зависимость $U_{max} = f(f_{res})$ представлена на рис. 2.

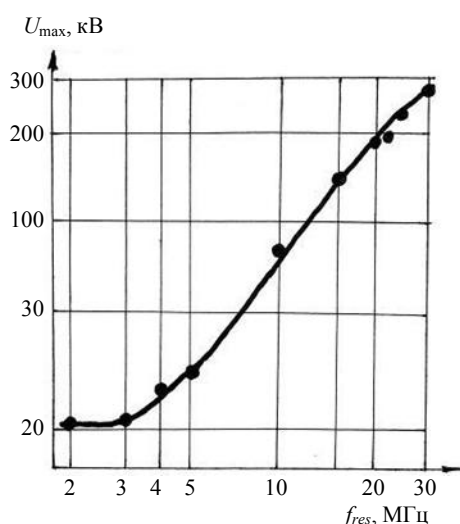


Рис. 2. Зависимость максимального значения амплитуды импульса напряжения на конденсаторе LC -контура от резонансной частоты колебаний в контуре:

• — эксперимент; — расчет

С уменьшением частоты отмечается увеличение, практически вдвое, продолжительности процесса колебаний до 0,8—1 мкс.

Можно предположить, что при создании генератора униполярных импульсов напряжения Тесла применял принципы направленного регулирования магнитного потока включенного участка ВВ-обмотки трансформатора.

Резонаторы Тесла как приемники ВЧ-колебаний

Скорость распространения процесса включения по длине электрического провода в цепи при по-

тенциалах, равных десяткам киловольт и более, и высоких значениях dU/dt приближается к скорости света [12].

Известно, что скорость распространения электромагнитной волны в диэлектрике $v = c/\sqrt{\epsilon}$, соответственно, в намагничивающейся среде $v = c/\sqrt{\mu}$, где c — скорость распространения волны в вакууме, ϵ — диэлектрическая проницаемость диэлектрика, μ — магнитная проницаемость среды [1].

Информация о скорости включения тока электронной проводимости в LC -контурах при ВЧ-колебаниях практически отсутствует.

Авторами проведен анализ конструктивных данных и технических характеристик самонастраивающихся резонансных LC -контуров типа Тесла ВР3111, изготовленных в Чехословакии. Набор состоял из 15 эталонов индуктивностей. Каждая катушка крепилась к крышке алюминиевого стакана ($\varnothing = 73$ мм, $h = 82$ мм). Один из выводов катушки заземлялся к корпусу стакана. Собственная частота набора катушек индуктивностей перекрывала диапазон 50 кГц — 40 МГц. В качестве примера в таблице приведены технические характеристики для образца № 8 (тип ВР3111/8).

C , пФ	500	120	30
f , МГц	1,08	2,17	4,06
$\sim Q$		180	

Значения электрической емкости 500, 120, 30 пФ были одинаковыми для всех образцов индуктивностей (при разных частотах). Если исходить из результатов [6, 7] и результатов настоящей работы, то с учетом конструктивных данных конкретного образца (ВР3111/8, катушка индуктивности из 50 витков медного провода намотана в один слой на изоляционном каркасе $\varnothing 35$ мм) экспериментальное значение скорости процесса включения по длине провода катушки индуктивности за половину периода колебаний составило величину более чем на порядок меньшую скорости света.

Символ Q обозначает добротность контура. Добротность контура указывает, во сколько раз амплитуда напряжения на конденсаторе или амплитуда ЭДС самоиндукции катушки при резонансе больше, чем амплитуда внешней ЭДС [1].

Чтобы учесть все особенности колебательного процесса в LC -контуре, необходимо проведение экспериментальных исследований с привлечением метода подвижного электрического зонда по длине катушки индуктивности. Так, в момент, когда ток в контуре равен нулю, напряжение на участке конденсатора (не включенный участок L) достигает максимального значения [1]. На оставшемся участке катушки индуктивности в последующий

полупериод колебаний протекает ток электронной проводимости.

Постоянный ток предварительного смещения в электрических цепях

Ниже приведены конкретные примеры применения предварительного тока смещения в электротехнике, технике связи и телевидения.

- Для размагничивания магнитопровода импульсного трансформатора через одну из обмоток пропускается постоянный ток. Время перемагничивания определяется числом витков обмотки и величиной тока. Этот метод широко применяется в импульсных системах управления электрическими цепями.

- В процессе исследования частичных электрических разрядов (ЧР) на изоляционных барьерах М—Д—М при приложении к электрическому конденсатору ВВ-импульсов напряжения с высокими значениями dU/dt ($t_{fr} \leq 1$ мкс) первые ЧР наступали в момент времени $t \geq 0,25$ мкс [5]. Первоначально при потенциалах на барьерах ≥ 130 В регистрировались затухающие ВЧ-колебания тока и напряжения продолжительностью 0,4—0,5 мкс. Затем они переходили в нестационарные ЧР, которые продолжались в процессе протекания тока заряда конденсатора. Частота ВЧ-колебаний соответствовала частоте собственных колебаний LC-контра и была одинаковой как при малых напряжениях на барьерах, так и при высоких значениях напряжения и dU/dt . Необходимо отметить, что в момент времени $t_u \approx 0,25$ мкс через все витки ВВ-катушки трансформатора протекает ток заряда конденсатора плотностью $j \approx 10$ А/см² (пластина диэлектрика — стеклотекстолит толщиной $h = 0,6$ мм; диаметр медных прижимных электродов $\varnothing = 17$ мм). Этот ток является током предварительного смещения в LC-контуре. Он оказывает влияние на скорость процесса включения ВЧ-колебаний при потенциалах, равных сотням вольт.

- В процессе распространения электромагнитной волны вдоль линии электрических проводов происходит постепенное затухание ее энергии. Так, на расстоянии 1000 м энергия волны уменьшается в 22 000 раз [1]. Уменьшению энергии электромагнитной волны соответствует уменьшение амплитуд напряженностей электрического и магнитного полей волны.

В телекоммуникационных системах передачи цифровых сигналов по проводным кабельным линиям связи используется принцип усиления проходящих импульсов на промежуточных регенерационных пунктах. Питание регенераторов (до 6—7 регенераторов в линии тракта) осуществляется путем протекания постоянного тока по проводам

кабеля связи при $j \approx 100$ А/см². При длительности импульса $t_u \approx 240$ нс и скорости передачи цифрового сигнала 2048 кбит/с, благодаря особым принципам обработки и коррекции сигнала, длина регенерационного участка доведена до ~ 25 км. Так, при амплитудном значении сигнала в начале участка $U_{ex} \approx 2$ В сигнал на конце длины участка регенерации составляет $U_{ent} \approx 0,01$ В, т. е. коэффициент затухания равен 50 дБ. Анализ показал, что особую роль играет способ протекания постоянного тока питания для систем обработки и усиления сигналов по основным проводам кабельных линий связи. Это позволило увеличить скорость распространения сигналов до скорости, близкой к скорости света, увеличить объем передаваемой информации и улучшить ее качество.

- Многие типы телевизионных антенн имеют в своей конструкции предварительные усилители принимаемого сигнала. Постоянный ток питания плотностью $j \approx 20$ А/см² протекает от телевизора к усилителю антенны по ВЧ-кабелю. По этому же кабелю к телевизору поступают усиленные сигналы. Постоянный ток смещения уменьшает потери энергии передаваемых сигналов, тем самым обеспечивается устойчивый прием всех телепрограмм.

Защита от перенапряжений

По результатам исследований [6, 7] и настоящей работы экспериментально показано, что в электротехнике в LC-контрах высоковольтной и низковольтной обмоток трансформатора имеют место мощные электромагнитные колебания мегагерцового диапазона. В этом случае важным требованием к элементам защиты устройств от перенапряжения является их высокое быстродействие. Так, например, при $f = 50$ МГц быстродействие средств защиты должно быть на уровне 10 % от времени, равного половине периода колебаний, т. е. должно составлять ~ 1 нс. Анализ показал, что такому требованию по быстродействию удовлетворяют одиночные низковольтные (60—100 В) диодные полупроводниковые структуры (ПС) и последовательные сборки из таких элементов. Если фронт нарастания импульса перенапряжения составляет $t_{fr} \approx 1$ нс, то в промежуток времени $t = (0—1)$ нс через обратносмещенный диод или диодный столбик протекает зарядный ток смещения p - n -переходов. Момент выхода на участок вольт-амперной характеристики (ВАХ) с лавинообразованием практически одинаков как для одного диода, так и для столбика из 20 последовательно соединенных диодов и составляет $\sim 1,2$ нс.

Для одиночной диодной ПС с напряжением лавинообразования (1—2) кВ наблюдается двукратный всплеск импульса напряжения ($t_{fr} = 3$ нс) [13].

Далее идет переходной процесс выхода на лавинный участок обратной ВАХ ПС. Это имеет место, примерно, к 4 нс с момента приложения напряжения.

Быстродействие оксидно-цинковых ограничителей перенапряжения находится в пределах (5—15) нс [14—16].

Принципы защиты электротехнических устройств рассмотрены в [17]. Современные системы защиты представляют собой сложные схемотехнические решения. Так, например, в ВВ-устройствах продольной компенсации для защиты конденсаторной батареи от перенапряжений применяются силовые тиристоры [18] ($t_{in} \approx 1$ мкс), управляемые вакуумные разрядники [19] ($t_{in} = 1—2$ мкс), оксидно-цинковые ограничители напряжения и другие элементы. Высокие напряжения (сотни киловольт), большие коммутируемые токи (единицы — сотни килоампер), высокие скорости процессов (dU/dt , dI/dt) затрудняют вопросы метрологии и в целом изучение проблемы.

Заключение

В исследованиях по изучению ВЧ-колебаний в LC-контурах получены следующие результаты:

- экспериментально показано, что процесс включения первого полупериода ВЧ-колебания имеет место со стороны ВВ-обмотки импульсного трансформатора с положительным потенциалом. При смене полярности на выводах обмотки включение второго полупериода колебания проходит с противоположной стороны обмотки;

- затухание колебательного процесса за время 400—500 нс связано с ограниченным временем заряда (перезаряда) электрической емкости LC-контура (десятки наносекунд). При уменьшении частоты колебаний от 30 до 3 МГц ($T/2 = 16—160$ нс) продолжительность колебаний увеличивалась практически вдвое (до 0,8—1 мкс);

- с изменением номинального значения зарядного конденсатора C_2 изменялась резонансная частота колебаний LC-контура (f_{res}). Экспериментальная зависимость максимального амплитудного значения импульса напряжения на конденсаторе C_2 от f_{res} -контура связывается с количеством включенных витков ВВ-обмотки трансформатора за время, равное половине периода колебаний f_{res} -контура. При $f_{res} \leq 3$ МГц обмотка W включалась по всей длине катушки. Значение скорости распространения процесса включения по длине провода катушки W_2 при $U_2 \approx 22$ кВ приближалось к скорости света;

- проведен анализ конструктивных данных и технических характеристик резонансных LC-контуров типа Тесла. Получено, что при подключении

к контуру низковольтного (десятки вольт) источника внешней ЭДС скорость процесса включения по длине провода катушки индуктивности за время, равное $T/2$, более чем на порядок меньше скорости света;

- протекание постоянного тока предварительного смещения в электрических цепях;

- ($j \geq 10$ А/см²) позволяет увеличить скорость распространения сигналов до скорости, близкой к скорости света, увеличить объем передаваемой информации и улучшить ее качество;

- средства защиты от мощных импульсов перенапряжения мегагерцового диапазона должны обладать высоким быстродействием (наносекунды). Этому требованию удовлетворяют одиночные низковольтные (60—100 В) диодные полупроводниковые структуры ПС (~ 1 нс), последовательные сборки таких ПС (для сборки из 20 элементов — $\sim 1,2$ нс), одиночные ПС с напряжением лавинообразования (1—2) кВ (~ 4 нс) и оксидно-цинковые ограничители перенапряжения ($\sim 5—15$ нс).

Литература

1. Хайкин С. Э. Электромагнитные колебания и волны. — М.—Л.: Госэнергоиздат. 1959. МРБ. Вып. 325. — 256 с.
2. Балдыгин В. А., Белошапко А. А., Григорьев И. Н. и др. // Прикладная физика. 2001. № 4. С. 11—14.
3. Григорьев И. Н. Вопросы применения резонансных трансформаторов для зарядки формирующих линий в высоковольтных генераторах нано- и субнаносекундных импульсов: Сб. науч. тр./ Под общей ред. В. Д. Ковалева. — М.: Государственное унитарное предприятие "Всероссийский электротехнический институт им. В. И. Ленина" (ГУП ВЭИ). 2006. С. 164—172.
4. Бурцев Э. Ф. Емкостные токи в приборах, аппаратах и устройствах силовой электроники// Прикладная физика. 2001. № 5. С. 69—73.
5. Алмазов В. А., Бурцев Э. Ф., Васильев В. Р., Крупнин Н. В. Высокочастотные импульсные электрические разряды на изоляционных барьерах (частичные разряды) в силовой электротехнике// Там же. 2004. № 4. С. 60—66.
6. Бурцев Э. Ф. Возможность разработки мощного высоковольтного генератора импульсов тока радиодиапазона. "Электротехника 2010": VIII Симпозиум// Сб. докл. Май. — М., 2005. № 1. 20. С. 57.
7. Алмазов В. А., Бурцев Э. Ф. Формирование мощных высоковольтных импульсов тока коротковолнового радиодиапазона// Прикладная физика. 2006. № 1. С. 129—133.
8. Королев Ю. Д., Месяц Г. А. Физика импульсного потока газов. — М.: Наука, 1991. — 224 с.
9. Богордицкий Н. П., Волокобинский Ю. М., Воробьев А. А. и др. Теория диэлектриков. — М.: Энергия, 1965. — 344 с.
10. Бурцев Э. Ф., Рудицкий Р. Ш. Вольт-зарядовая характеристика электрической емкости при высоких напряжениях в импульсном режиме работы. Электрическая изоляция — 2002: Тр. конф. — СПб.: Нестор, 2002. С. 209—212.
11. Сканава Г. И. Физика диэлектриков (область сильных полей). — М.: ГИФМЛ, 1958. — 908 с.
12. Элементарный учебник физики/ Под ред. Г. С. Ландсберга. Т. 2. Изд. второе. — М.: ГИФМЛ, 1958. — 448 с.
13. Гейфман Е. М., Елисеев В. В., Максимова С. А., Мустафа Г. М., Скорородов Ю. Ю., Чибиркин В. В. Мощные им-

пульсные ограничители напряжения. — Электротехника 2010: VI симпозиум// Сб. докл. Т. 3. — М.: ВЭИ-ТРАВЭК, 2001. С. 28—30.

14. Алмазов В. А., Зеленев В. Е., Мирошниченко В. П., Перунов А. А., Филиппов В. Г. Защита электрооборудования от перенапряжений// Прикладная физика. 2001. № 5. С. 54—57.

15. Лаврентьев Г. Г., Рыжов С. Ю., Минакова Л. В., Попов Д. К. О диагностике ограничителей перенапряжения микропроцессорным регистратором импульсов. — Электротехника 2010: VII симпозиум// Сб. докл. Т. 3. — М.: ВЭИ-ТРАВЭК, 2003. С. 110—113.

16. Алмазов В. А., Люцарева Л. А., Платова Е. С., Любимова В. А., Попова Н. А. Влияние химического состава доба-

вок на свойства варисторов на основе оксида цинка// Электротехника. 2006. № 9. С. 26—28.

17. Глух Е. М., Зеленев В. Е. Защита полупроводниковых преобразователей. 2-е изд., перераб. и дополн. — М.: Энергоиздат, 1982. — 152 с.

18. Ивакин В. Н., Магницкий А. А., Шульга Р. Н. Применение установок тиристорно-управляемой продольной компенсации на линиях электропередачи переменного тока// Электротехника. 2006. № 9. С. 42—49.

19. Алферов Д. Ф., Белкин Г. С., Ивакин В. Н., Иванов В. П., Сидоров В. А. Новые системы защиты электротехнического оборудования от перенапряжений и токовых перегрузок// Там же. 2006. № 9. С. 21—26.

Powerful high-voltage electromagnetic oscillations of a MHz range in the LC-circuit

V. A. Almazov, E. F. Burtsev, V. N. Zaitsev, R. Sh. Ruditskii, S. A. Cherkasov
All-Russian Electrotechnical Institute, 12 Krasnokazarmennaya str., Moscow, 111250, Russia
E-mail: serg860@yandex.ru

It is shown experimentally that in high frequency (HF) circuits current oscillations are accompanied by extremely high over-voltage (OV). These oscillations arise due to turn on of a finite part of the inductance coil during the half of oscillation period $t = T/2$, and inductance operation in an autotransformer mode. It is shown that peculiarities of this mode depend on the propagation velocity of electron conduction current through the coil wire. The effect of preliminary bias on HF oscillations in the LC-circuit is considered. Analysis of commonly used electrical circuit over-voltage protection facilities is carried out.

PACS: 41.20.-q

Keywords: LC-circuit, resonance oscillation in MHz range, autotransformer mode of inductance operation, Tesla transformer, Tesla resonator, high over-voltage.

Bibliography — 19 references.

Received March 11, 2010

* * *