

В.В. ДЮНЯШЕВ, канд. техн. наук, ООО «ИЭИ»;
Ю.П. ЕРМОШЕНКО, студентка, НТУ «ХПИ»;
В.П. КРАВЧЕНКО, зав. отд., НТУ «ХПИ»;
В.В. РУДАКОВ, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ ДЛЯ КОМПАКТНЫХ АВТОНОМНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Приведені особливості конструкцій і характеристики високовольтних імпульсних конденсаторів для потужного імпульсного широкопasmового джерела живлення.

The features of designs and characteristic of high-voltage pulse capacitors for the powerful pulse wide-band power supply are given

Начиная с 70^х годов 20-го века ведущими специалистами в области СВЧ генераторов развитых стран мира проводятся интенсивные теоретические и экспериментальные исследования, целью которых является разработка сверхмощных импульсных микроволновых генераторов. Одно из направлений создания таких генераторов связано с разработкой устройств, генерирующих сверхширокополосные сигналы.

Традиционно генераторы сверхширокополосного излучения применяются в радиолокации для исследования взаимодействия мощного микроволнового излучения с различными веществами и средами. Однако в последнее время круг их применения расширился за счет использования таких устройств для дистанционного зондирования состояния земной поверхности, обнаружения подпочвенных вод, определения состояния растительного покрова, влажности почвы, обнаружения металлических предметов в почве и т.п. В настоящее время также интенсивно развивается их применение для дистанционных методов нейтрализации экологически опасных образований в нижней и верхней атмосфере. Именно эти применения и диктуют необходимость создания автономных компактных беспучковых сверхширокополосных генераторов с высокой мощностью и большой длительностью импульса, доставляемых в места расположения экологически опасных образований. Хотя спектральная плотность мощности и энергия излучения в таких устройствах сравнительно мала, однако, благодаря широкой полосе излучения сравнительно просто решается проблема воздействия на исследуемый объект на его рабочей частоте. Работы, проведенные в последнее десятилетие [1,2] в этом направлении, тем не менее, позволили создать автономные импульсные сверхширокополосные генераторы с уровнем мощности до 1 ГВт и длительностью импульса около 1 нс. Однако расширение спектра в таких устройст-

вах связано с уменьшением длительности импульса, что ведет к уменьшению его энергии, соответственно, к снижению эффективности воздействия излучения на исследуемый объект. Одним из путей совершенствования таких генераторов является использование неустойчивостей, развивающейся в плазме сильноточного разряда в газах в дополнение ко всем известным эффектам [3]. В том случае, если сильноточный разрядный промежуток помещен непосредственно в электродинамическую структуру, в ней возбуждаются высокочастотные колебания, спектральные характеристики которых определяются видом неустойчивостей и их параметрами, а также дисперсионными характеристиками используемых электродинамических структур. В генераторах такого типа, диапазон излучаемых частот определяется спектральными характеристиками неустойчивостей токового разряда, а не только Фурье-спектром токового импульса, возбуждающего электродинамическую структуру. В результате оказывается, что принципиально возможно увеличить длительность импульса излучения без сужения его ширины спектра. В этом случае ее величина определяется многими факторами, в том числе как параметрами возбуждающего импульса, так и электродинамическими характеристиками генератора. В результате проведенных исследований, были разработаны мощные генераторы с длительностью импульса, достигающей 10 нс, мощностью более 500 МВт и шириной спектра, лежащей в пределах от 0,1 ГГц, до 0,6 ГГц.

Разработка мощных генераторов сверхширокополосного излучения представляет собой сложную техническую задачу. Одной из основных проблем при этом является создание автономного высоковольтного источника питания для формирователя выходного СВЧ сигнала, который мог бы накапливать и в сравнительно короткие интервалы времени отдавать в нагрузку необходимую энергию в жестких эксплуатационных условиях. Наиболее широкое распространение в настоящее время в силу ряда причин получили конденсаторные источники. В генераторах, использующих сильноточные разряды в газах, необходимы питающие напряжения в сотни киловольт, а протекающие в них токи достигают десятков килоампер. Конденсаторные установки при этом достигают значительных габаритов, что приводит к практической невозможности создания малогабаритных автономных генераторов на вышеприведенных физических принципах.

Поэтому оптимальным оказывается применение схемы построения источника питания, в котором накопление энергии, осуществляемое в течение нескольких десятков секунд, производится в высоковольтных конденсаторах со сравнительно низким уровнем напряжения (до 40 киловольт). Затем с помощью разрядного устройства батарея конденсаторов разряжается на первичную обмотку импульсного трансформатора. На вторичной обмотке трансформатора напряжение повышается до требуемого (не менее 500 киловольт), накапливается в течении нескольких микросекунд в конденсаторе, имеющим

соответствующие характеристики, и отдается в нагрузку. При этом, учитывая квадратичную зависимость энергии конденсатора от его напряжения, емкость такого конденсатора оказывается сравнительно малой (на уровне сотен пикофарад).

В НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» разработаны и созданы 3 типа высоковольтных импульсных конденсаторов для широкополосного импульсного источника питания, разработанного в ООО «Институт электромагнитных исследований» (рис. 1). Характеристики конденсаторов приведены в таблице, а на рис. 2 представлены фотографии конденсаторов. Конденсаторы КИМ-141 и КИМ-152 выполнены на основе бумажно-касторовой изоляции. Предназначены для работы в первичном контуре импульсного источника питания (на рис. 1 размещены в прямоугольном блоке слева). Конденсатор КИМ-141 выполнен в металлическом корпусе с одним высоковольтным выводом (материал проходного изолятора высоковольтного вывода – оргстекло). Вторым выводом является корпус конденсатора. Средняя напряженность электрического поля в диэлектрике составила 90 кВ/мм при толщине изоляции 110 мкм. Конденсатор КИМ-152 выполнен в корпусе из полиэтилена низкого давления с расположением выводов с противоположных граней конденсатора. КИМ-152 имеет повышенную надежность за счет оптимального соотношения толщины обкладки к толщине диэлектрика, равного 0,18 [4]. Рабочий градиент напряженности электрического поля составил 100 кВ/мм при толщине изоляции 50 мкм. Корпус из полиэтилена состоит из двух крышек и боковой стенки. Герметизация стыков обеспечивается путем тепловой сварки с температурой не более 150⁰С, не повреждая при этом внутренний пакет секций. Выводы конденсатора представляют собой латунные шайбы с центральным глухим отверстием под резьбу М5. Наружная поверхность выводов и граней корпуса конденсатора, на которых они расположены, выполнены на одном уровне, что обеспечивает удобство монтажа. Высоковольтный конденсатор КИМ-153 на 500кВ, пакет которого изображен на рис. 2, выполнен на основе бумажно-полипропиленовой изоляции, пропитанной трансформаторным маслом. Средняя напряженность электрического поля в диэлектрике составила 170 кВ/мм. Пакет размещен в цилиндрической части (рис. 1) импульсного

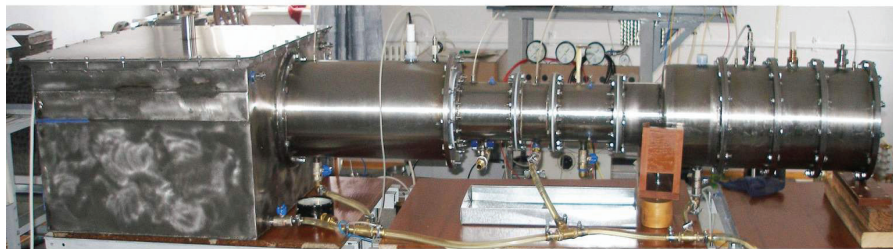


Рисунок 1 – Широкополосный источник питания

Тип конденсатора	КИМ-141	КИМ-152	КИМ-153
Номинальное напряжение, кВ	40	40	500
Емкость, мкФ	0,8	0,04	0,0002
Ресурс, имп.	10^4	10^5	10^2
Частота следования	Однократный	Однократный	Однократный с микросекундным зарядом
Режим разряда	Колебательный	Колебательный	Апериодический
Индуктивность, нГн	80	40	60
Удельная энергия, Дж/дм ³	85	33	230 (по активной части изоляции)

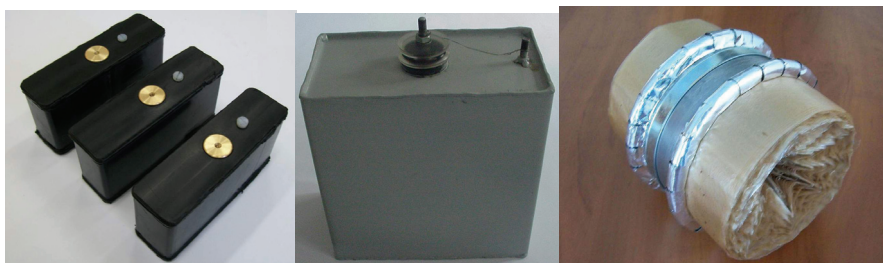


Рисунок 2 –Высоковольтные конденсаторы (слева направо) КИМ-152, КИМ-141, пакет КИМ-153

источника питания за импульсным трансформатором, но перед нагрузкой. Особенностью конденсатора является отсутствие зон с резко неоднородным распределением электрического поля. Максимальный коэффициент усиления электрического поля не превышает 1,3. Поскольку заряд конденсатора осуществляется в микросекундном диапазоне, а разряд в наносекундном, то существенно уменьшен путь разряда вдоль поверхности пропитанной маслом изоляции. Рабочая расчетная максимальная напряженность вдоль поверхности изоляции в слабоненормированном электрическом поле достигает предельно возможного значения 4,5 кВ/мм. В ранее созданном уникальном конденсаторе КИМ-32 на 2,5 МВ с микросекундным зарядом рабочая максимальная напряженность вдоль поверхности изоляции в слабоненормированном электрическом поле составила 2,5 кВ/мм [5]. Все элементы источника расположены в герметичном корпусе, заполненном трансформаторным маслом. Проведены приемочные высоковольтные испытания конденсаторов КИМ-141 и КИМ-152 на номинальном напряжении и предварительные – конденсатора КИМ-153 в наладочном режиме при уровне напряжения 75 % от номинального.

Получены удовлетворительные положительные результаты по формированию выходного импульса источника питания.

Список литературы. 1. *Месяц Г.А.* Импульсная энергетика и электроника. – М.: Наука, 2004. – 420 с. **2.** *Agee F.J., Prather W.D.* et al. Ultra-Wideband Transmitter Research // IEEE Trans. And Plasma Science. Special Issue on НРМ. – June 1998. – Vol. 26(3). **3.** *Базелян Э.М., Райзер Ю.П.* Искровой разряд – М.: Изд. МФТИ, 1997. **4.** *Рудаков В.В.* Оптимизация конструкции конденсатора // Техническая электродинамика. – 1996. – № 4. – С. 6-9. **5.** *Бойко Н.И., Кравченко В.П., Рудаков В.В.* и др. Высоковольтные импульсные конденсаторы разработки НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2002. – № 7, т. 1.

Поступила в редколлегию 22.06.2010

УДК 537.523.4

Л.С.ЕВДОШЕНКО, ст. науч. сотр., НТУ «ХПИ»

РЕЗИСТИВНАЯ МОДЕЛЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ РАЗРЯДНОГО ПРОМЕЖУТКА

На основі запропонованої резистивної моделі відновлення електричної міцності показано, що наближену величину опору розрядного проміжку, який відновлюється, можна обчислити за досить простою формулою, що не враховує розподіл заряджених частинок по перерізу розрядного каналу. Шляхом аналізу відомих експериментальних даних з застосуванням моделі показано, що відновлення електричної міцності відбувається скоріше, ніж зростання опору розрядного проміжку до первинного значення.

На основе предложенной резистивной модели восстановления электрической прочности (ВЭП) показано, что сопротивление восстанавливающегося разрядного промежутка (РП) приближенно может быть рассчитано по достаточно простой формуле, не учитывающей распределение заряженных частиц по сечению разрядного канала. Путем анализа известных экспериментальных данных с использованием модели показано, что ВЭП происходит быстрее, чем рост сопротивления РП до первоначального значения.

Введение. Работа искровых разрядников (ИР) с высокой частотой срабатывания возможна при обеспечении высокой скорости ВЭП РП после каждого разряда. В прошлые десятилетия в отечественной технической литературе вопросу ВЭП РП было посвящено несколько публикаций – гораздо меньше, чем вопросу коммутации ИР. В [1] описаны эксперименты по ВЭП в различных газах. Для сравнения приведены кривые ВЭП, рассчитанные по пробивной прочности ионной пленки, образующейся у катода под действием прикладываемого к искровому разряднику (ИР) напряжения, и кривые ВЭП, рассчитанные по плотности газа. В [2] показано, что при разряде в ксеноне предел повышения частоты срабатывания ограничивается возникновением