

Выбор схемотехнического решения генератора для формирования плазмы диэлектрического барьерного разряда

К. И. Меледин, А. В. Аксючиц

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Описаны существующие типовые схемы импульсных генераторов для формирования плазмы диэлектрического барьерного разряда. Проведен анализ существующих схемотехнических решений импульсных генераторов. Приведены достоинства и недостатки для типовых структур импульсных генераторов для формирования плазмы диэлектрического барьерного разряда.

Ключевые слова: Импульсный генератор, задающий генератор, формирование плазмы.

Одной из перспективных технологий, предоставляющей уникальные возможности для решения важнейших проблем мирового сообщества в различных направлениях деятельности, является технология, основанная на «холодной» атмосферной плазме. Важной особенностью технологии атмосферной плазмы диэлектрического барьерного разряда является возможность обработки различных материалов, в том числе низкотемпературных полимеров и биологических объектов. В этой связи актуальным является решение задачи разработки устройства питания для «холодной» плазмы при атмосферном давлении.

Устройство питания может представлять собой импульсный задающий генератор. Такие приборы способны генерировать как простые, так и сложные широкополосные сигналы в широком диапазоне изменения их частоты и длительности. Среди основных проблем при проектировании подобных устройств можно выделить: устойчивость к пробоям, обеспечение высоковольтной изоляции, отвод большого количества тепла, сравнительно небольшие габариты. В сравнении с ламповыми определяющими преимуществами твердотельных силовых ключей являются: повышенный ресурс и долговечность, отсутствие времени разогрева и вспомогательных источников питания цепей накала и электродов, меньшие значения выходных емкостей и сопротивлений в открытом состоянии, что позволяет уменьшить статические и динамические потери мощности. К недостаткам ключей с полупроводниковой структурой следует отнести меньшую устойчивость к перенапряжениям и броскам тока при возможных высоковольтных пробоях, что требует принятия ряда важных дополнительных мер защиты.

На рис. 1 представлена традиционная структура с импульсным трансформатором. Главным недостатком такой схемы является сложность исполнения высоковольтного трансформатора. Чтобы передать короткий импульс с малыми искажениями необходимо малое значение индуктивности рассеяния и распределенной ёмкости трансформатора, которые уменьшаются с уменьшением числа витков и сечения магнитопровода импульсного трансформатора. А для формирования длинного импульса с малым спадом вершины необходимо увеличивать индуктивность намагничивания трансформатора, что достигается увеличением числа витков обмоток и сечения магнитопровода [1]. Немаловажным является тот факт, что подобрать трансформатор для определенной частоты может быть проблематично.

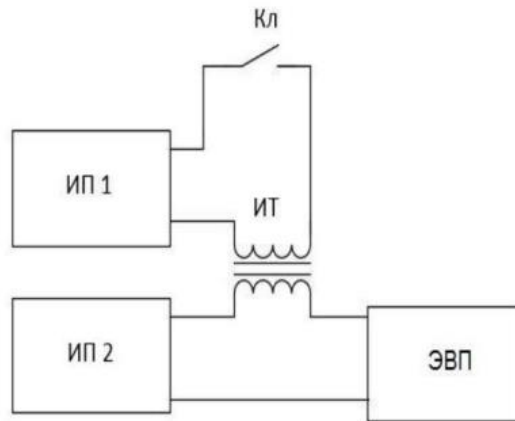


Рис.1. Структура твердотельного сеточного модулятора с трансформатором

На рис. 2 представлена структура твердотельного модулятора с широким диапазоном перестройки длительности импульсов и периода их повторения. Такая двухтактная схема с поочередным включением ключей смещения и превышения обеспечивает требуемое импульсное напряжение на управляющем электроде. Из-за разброса параметров полупроводниковых приборов, а также их схем управления, число последовательно соединенных приборов в данной структуре следует выбирать с некоторым запасом по напряжению, не смотря на использование цепей выравнивания напряжений. Плюсом подобной структуры является то, что можно создавать твердотельные ключи практически на любые напряжения. Но для этого необходимо добиться синхронности управления ключами, также транзисторы должны иметь минимальные различия внутренних параметров. Помимо вышеперечисленного, необходимо соблюдение условия отсутствия перенапряжений на отдельных транзисторах [1].

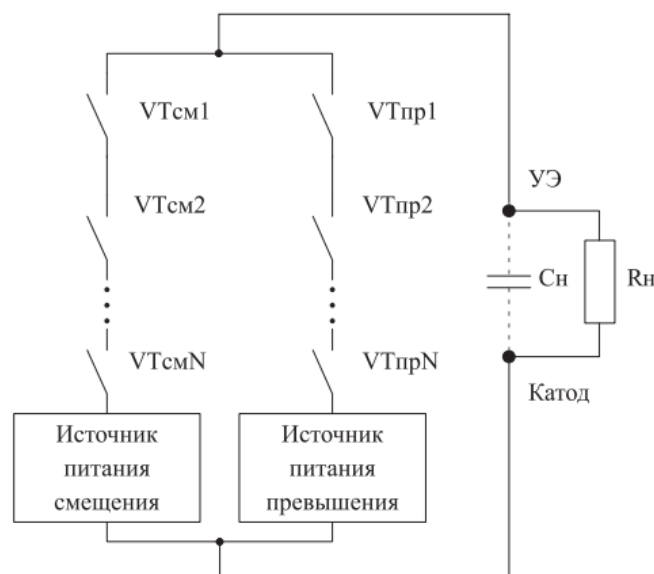


Рис.2. Структурная схема твердотельного сеточного модулятора

В таких схемах разброс параметров полупроводниковых приборов приводит к усилению эффекта Миллера, и как следствие, росту перенапряжений и потерь на переключение, связанных с перезарядом собственных выходных емкостей ключей и емкости нагрузки в статических и динамических режимах работы, что требует применения

эффективной системы охлаждения в заданном гермообъёме [1].

На рис. 3 представлена структурная схема многомодульного модулятора с рекуперацией энергии. Идея дискретной рекуперации энергии заключается в разработке самозащищенной от внешних перенапряжений структуры силового модуля и применении асинхронного управления зарядными и разрядными ключами модулей [2]. Применение временного сдвига обеспечивает формирование ступенчатого напряжения в течение фронта и спада рабочего импульса. Регулируя длительность и амплитуду отдельных ступеней так, чтобы переходные процессы коммутации были практически завершены к моменту начала следующей ступени, возможно формирование импульсов с требуемыми фронтом и спадом при существенном уменьшении потерь энергии и мощности коммутационной помехи [2]. В случае возникновения перенапряжений на ключах модулей во время форсированного заряда или разряда емкости нагрузки открываются соответствующие защитные диоды и, тем самым, происходит ограничение напряжения на ключах. Уровень напряжения ограничения не превышает величину выходного напряжения выпрямителя данного модуля. Для обеспечения равенства потребляемой от каждого модуля мощности и исключения перекося напряжений накопителей модулей в случае их питания через трансформатор от общего преобразователя следует осуществлять циклический сдвиг очередности работы ключей модулей при формировании каждого нового импульса. При этом один цикл будет содержать количество импульсов, равное числу силовых модулей. Применение временного сдвига обеспечивает формирование ступенчатого напряжения в течение фронта и спада рабочего импульса.

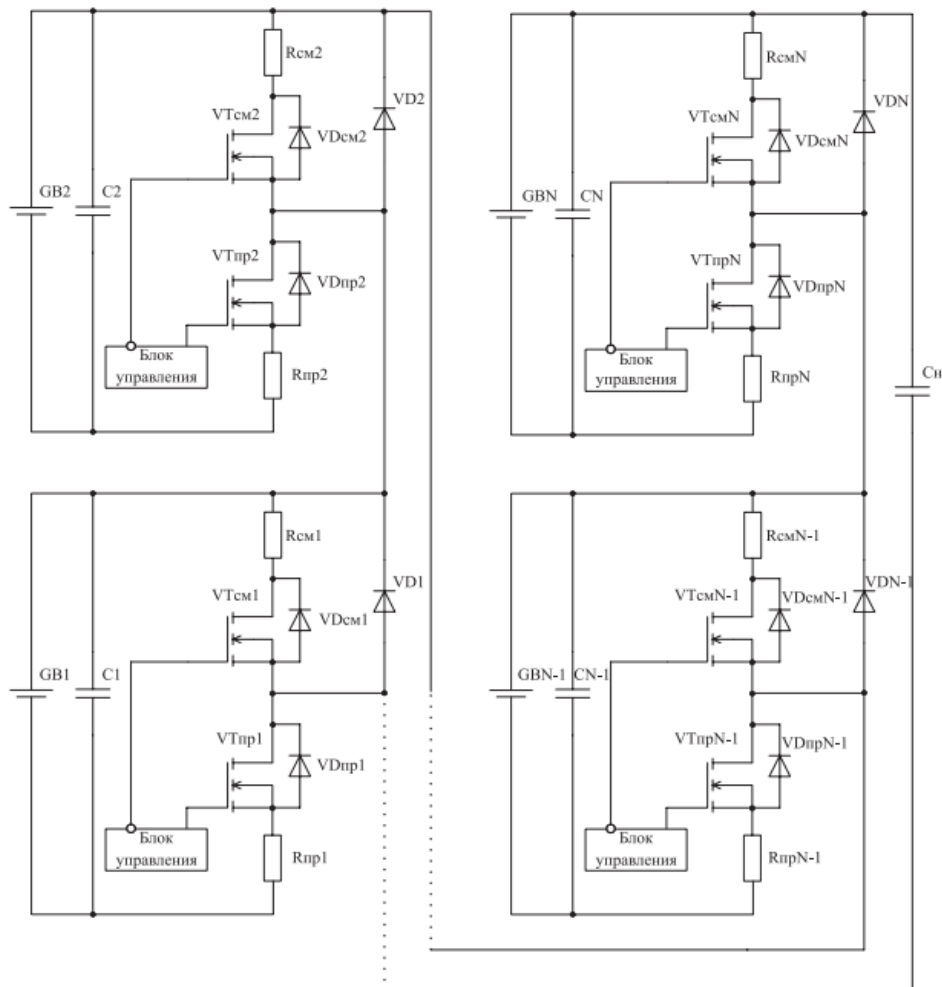


Рис.3. Структурная схема многомодульного модулятора с рекуперацией энергии

Регулируя длительность и амплитуду отдельных ступеней так, чтобы переходные процессы коммутации были практически завершены к моменту начала следующей ступени, возможно формирование импульсов с требуемыми фронтом и спадом при существенном уменьшении потерь энергии и мощности коммутационной помехи [1]. В случае возникновения перенапряжений на ключах модулей во время форсированного заряда или разряда емкости нагрузки открываются соответствующие защитные диоды и, тем самым, происходит ограничение напряжения на ключах. Уровень напряжения ограничения не превышает величину выходного напряжения выпрямителя данного модуля [2]. Применение подобной структуры позволяет существенно снизить потери энергии и перегрев, а также обеспечивает лучшие массогабаритные показатели, однако требует более совершенной и дорогой элементной базы.

Таким образом, на первом этапе разработки задающего генератора для формирования плазмы диэлектрического барьерного разряда стоит множество проблем, требующих решений определенных схемотехнических задач. Ознакомившись с типовыми схемами импульсных генераторов, можно сделать вывод, что при наличии необходимой элементной базы самым простым решением является разработка схемы с использованием импульсного трансформатора для формирования плазмы диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении.

Список источников

- [1] **Шиш, А.Л.** Разработка новых структур высоковольтных импульсных модуляторов для приборов СВЧ / А. Л. Шиш, С. И. Коновалов, К. Ю. Войтенко // 7-я Международная научная конференция по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения (Минск, 20–22 мая 2017 г.): сборник научных статей. В 3 ч.– Минск: 2017 – С. 236-245.
- [2] **Коновалов, С. И.** Исследование процессов коммутации в твердотельных импульсных модуляторах приборов СВЧ с апериодической формой перезаряда емкости нагрузки / С. И. Коновалов, О. В. Доницков // Новости науки и технологий. – 2015. – №4. – С.12-17.

Selection of a generator circuit solution for forming a dielectric barrier discharge plasma

K. I. Meledin, A. V. Aksiuchyts

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Annotation

Existing typical circuits of pulse generators for the formation of plasma of a dielectric barrier discharge are described. The analysis of existing circuit solutions of pulse generators is carried out. The advantages and disadvantages for typical structures of pulsed generators for the formation of dielectric barrier discharge plasma are presented.

Keywords: pulse generator, master generator, plasma formation