

С. И. МОШКУНОВ
В. Ю. ХОМИЧ

**ГЕНЕРАТОРЫ
ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ
ИМПУЛЬСОВ
НА ОСНОВЕ
СОСТАВНЫХ
ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ
КОММУТАТОРОВ**



С. И. МОШКУНОВ
В. Ю. ХОМИЧ

**ГЕНЕРАТОРЫ
ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ
ИМПУЛЬСОВ
НА ОСНОВЕ
СОСТАВНЫХ
ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ
КОММУТАТОРОВ**



МОСКВА
ФИЗМАТЛИТ®
2018

УДК 62-555
ББК 32.844.1
М 87



*Издание осуществлено при поддержке
Российского фонда фундаментальных
исследований по проекту 18-18-00034,
не подлежит продаже*

Мошкунов С.И., Хомич В.Ю. **Генераторы высоковольтных импульсов на основе составных твердотельных коммутаторов.** — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2018. — 168 с. — ISBN 978-5-9221-1820-0.

Монография посвящена вопросам разработки и создания высоковольтных генераторов импульсов на полупроводниковой основе. Описаны основные принципы построения составных высоковольтных твердотельных коммутаторов на биполярных транзисторах с изолированным затвором. Подробно описана работа некоторых газоразрядных устройств, в составе которых эффективно работают твердотельные высоковольтные генераторы, предложенные авторами: лазер на парах меди, эксимерный лазер.

Книга предназначена специалистам в области импульсной техники и электрофизики, а также аспирантам и студентам физико-технических специальностей.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	7
Глава 1. Описание и анализ работы высоковольтных импульсных генераторов	11
1.1. Введение	11
1.1.1. Область применения высоковольтных импульсных генераторов	11
1.1.2. Классические типы коммутирующих элементов для систем импульсного питания: газоразрядные и вакуумные коммутаторы	12
1.2. Полупроводниковые коммутаторы	13
1.2.1. Типы полупроводниковых коммутирующих элементов	13
1.2.2. Составные полупроводниковые коммутаторы	16
1.2.3. Составной коммутатор на основе биполярных транзисторов с изолированным затвором	17
1.3. Генераторы накачки газоразрядных лазеров	21
1.3.1. Принцип работы лазера на парах меди	21
1.3.2. Схемы генераторов импульсов возбуждения ЛПМ	23
1.3.3. Эксимерный AgF-лазер	26
1.3.4. Системы накачки эксимерных лазеров	27
1.4. Генераторы высоковольтных наносекундных импульсов для электрофизических установок на основе барьерного разряда	28
1.4.1. Барьерный разряд с высокой степенью однородности/наносекундный барьерный разряд	28
1.4.2. Основные схемы генерации высоковольтных импульсов для реализации наносекундного барьерного разряда	29
1.5. Методы и аппаратура для получения электрогидродинамических потоков	31
1.5.1. Принцип создания электрогидродинамических потоков	31
1.5.2. Установки на основе коронного разряда для получения ЭГД потоков	33
Список литературы	41
Глава 2. Генератор высоковольтных импульсов на основе составного твердотельного БТИЗ-коммутатора	56
2.1. Введение	56
2.2. Основные параметры БТИЗ-коммутаторов	56
2.2.1. Основные требования к твердотельным БТИЗ-коммутаторам	56
2.2.2. Экспериментально полученные коммутационные характеристики разных БТИЗ	60

2.3. Составной полупроводниковый коммутатор на 12 кВ, 100 А	63
2.3.1. Конструкция составного коммутатора на 12 кВ, 100 А	63
2.3.2. Влияние температуры кристалла БТИЗ на работу составного коммутатора	66
2.3.3. Электрические характеристики составного коммутатора	70
2.3.4. Устройство управления сборкой БТИЗ	70
2.4. Генератор наносекундных импульсов с высоковольтным составным коммутатором и с системой магнитного сжатия.	71
2.4.1. Методы формирования импульсов с высокой скоростью нарастания тока	71
2.4.2. Схема генерации высоковольтных импульсов наносекундной длительности при использовании системы магнитного сжатия	73
2.4.3. Расчет системы магнитного сжатия импульсов	75
2.4.4. Экспериментальное моделирование схемы магнитного сжатия импульсов	79
2.4.5. Расчет параметров схемы генератора высоковольтных наносекундных импульсов	81
2.4.6. Блок-схема генератора высоковольтных импульсов наносекундной длительности	82
2.4.7. Тестирование генератора высоковольтных наносекундных импульсов на активную нагрузку	83
2.5. Твердотельный генератор высоковольтных импульсов микросекундного диапазона	86
2.5.1. Высоковольтные микросекундные ключи	86
2.5.2. Принцип управления ключами микросекундного диапазона	87
2.5.3. Высоковольтный модульный коммутатор	89
2.5.4. Генератор высоковольтных импульсов с неполным разрядом накопительной емкости	90
Список литературы	92
Глава 3. Генераторы высоковольтных импульсов на основе составного твердотельного коммутатора для питания газоразрядных лазеров.	94
3.1. Введение	94
3.2. Лазер на парах меди с твердотельной системой накачки.	94
3.2.1. Принцип действия твердотельного генератора накачки лазера на парах меди	95
3.2.2. Блок питания системы накачки — импульсный преобразователь	95
3.2.3. Управление длительностью импульсов накачки лазера	96
3.2.4. Конструкция лазера на парах меди с твердотельной системой накачки	96
3.2.5. Оптимизация параметров системы питания лазера на парах меди	98
3.2.6. Оптимизация работы магнитного компрессора	99
3.2.7. Зависимость мощности лазерного излучения от значения обостряющего конденсатора	101

3.2.8. Зависимость энергии потерь в коммутаторе от длительности импульса тока через ключ	102
3.2.9. Оптимизация быстродействия управления транзисторами в составе ключа	103
3.2.10. Выходные параметры лазера на парах меди с твердотельной системой накачки	104
3.3. Твердотельный генератор импульсов возбуждения мощного эксимерного лазера	106
3.3.1. Численное моделирование работы генератора	106
3.3.2. Схема генератора накачки эксимерного лазера	108
3.3.3. Конструкция генератора накачки эксимерного лазера	110
3.3.4. Результаты экспериментов	112
3.3.5. Методы улучшения пространственных и спектральных характеристик лазерного пучка	114
3.3.6. Увеличение длительности генерации эксимерного лазера	116
Список литературы	119
Глава 4. Применение генераторов на основе высоковольтных БТИЗ-коммутаторов в электрофизических установках	122
4.1. Введение	122
4.2. Высоковольтный импульсный генератор для создания «электрического ветра» на основе барьерного разряда	122
4.2.1. Теоретическая модель электрогидродинамического потока	122
4.2.2. Расчет основных параметров электродинамического потока на основе барьерного разряда	124
4.2.3. Математическое моделирование и анализ	127
4.2.4. Расчет скорости электрического ветра	130
4.2.5. Расчет параметров высокочастотного генератора высокого напряжения	130
4.2.6. Плазменный эмиттер ионов с высокочастотным барьерным разрядом, распределенным по поверхности диэлектрика	132
4.2.7. Полностью твердотельный генератор синусоидальной формы для питания плазменного эмиттера ионов	134
4.2.8. Высоковольтный генератор с перестраиваемой частотой и длительностью импульсов для питания плазменного эмиттера ионов	135
4.2.9. Исследование электроразрядных и вольт-амперных характеристик ионного пучка при синусоидальном напряжении питания	136
4.2.10. Влияние режимов питания плазменного эмиттера на работу ЭГД устройства	139
4.3. Экспериментальная электрофизическая установка «ЭХО»	143
4.3.1. Принцип действия установки для исследования процессов физико-химической модификации органической среды	143
4.3.2. Блок-схема установки «ЭХО»	143
4.3.3. Принцип работы частотного генератора высоковольтных импульсов	144
4.3.4. Выходные параметры генератора импульсов	145

4.4. Генераторы импульсов для питания клистронов	146
4.4.1. Устройство управления высоковольтным твердотельным коммутатором	146
4.4.2. Высоковольтный модулятор для питания клистрона	147
4.4.3. Высоковольтный 50 кВ-коммутатор	149
4.5. Генераторы импульсов для систем очистки воды стримерным разрядом	149
4.5.1. Импульсный разряд как метод обеззараживания воды	149
4.5.2. Требования к системе питания разряда применительно к очистке воды	150
4.5.3. Составной высоковольтный коммутатор для системы питания стримерного разряда	150
4.5.4. Установка для очистки воды стримерным разрядом	151
4.5.5. Система с адаптивной подстройкой длительности напряжения, прикладываемого к разрядному промежутку	153
4.5.6. Электрические параметры импульсов возбуждения стримерного разряда в жидкости	154
4.6. Управление электрооптическими затворами с помощью составных высоковольтных БТИЗ-коммутаторов	155
4.6.1. Электрооптические затворы	155
4.6.2. Высоковольтные полупроводниковые коммутаторы для управления электрооптическими затворами	156
4.6.3. Схемы включения ЭОЗ при использовании составного высоковольтного коммутатора	158
4.6.4. Выходные характеристики генераторов управления ЭОЗ	159
Список литературы	161