

## Высоковольтные твердотельные коммутирующие устройства

*Высоковольтные твердотельные коммутирующие устройства являются необходимым компонентом таких высокотехнологичных устройств, как импульсные лазеры, лазерные усилители, газовые лазеры, радиолокационные системы, лазерные дальнометры, а также всевозможные электровакuumные приборы и устройства. Традиционно российские компании занимают серьёзные позиции в данных сферах на мировой арене, однако невозможность купить надёжный высоковольтный ключ российского производства значительно ограничивает потенциал развития науки и промышленности. Особенно остро эта проблема проявилась после введения экономических санкций в отношении России, поскольку надёжные высоковольтные твердотельные коммутаторы на протяжении многих лет производятся лишь в Германии (Behlke) и Англии (e2v).*

*В данном цикле статей авторы ставят задачу ознакомить российских производителей оборудования с высоковольтными источниками питания, высоковольтными твердотельными коммутаторами и высоковольтными генераторами импульсов, производимых отечественной компанией ООО «ПАРАМЕРУС», помочь сориентироваться в этой наукоемкой и высокотехнологичной отрасли Силовой Электроники.*

*Высоковольтные твердотельные коммутирующие устройства, общий обзор и классификация – тема второй статьи цикла.*

-----

Переключение высокого напряжения и формирование высоковольтных импульсов – крайне сложная задача, ввиду ограниченности большинства быстродействующих высоковольтных транзисторов рабочим напряжением 1.2 кВ, а более медленных – 4.7 кВ. Транзисторы с большим рабочим напряжением в широкой продаже не представлены. Для переключения напряжения большей амплитуды долгое время использовались лампы, разрядники, тиратроны и высоковольтные реле, однако каждому из перечисленных устройств свойственны значительные недостатки, ограничивающие их применимость. Так, лампы не способны коммутировать большие импульсные токи, а ввиду низкого КПД их нагрев недопустимо высок для современных применений. Разрядники могут коммутировать напряжение лишь в небольшом диапазоне, для них характерны низкая предельная частота и недолговечность. Тиратроны требуют высокоомощного вспомогательного источника постоянного тока накала, а форма получаемого с их помощью высоковольтного импульса не только далека от идеального прямоугольника, но и дрейфует в течение срока службы. Недостатками высоковольтных реле являются низкие предельные частоты и недолговечность.

Для формирования высоковольтных импульсов современной альтернативой устаревающим приборам стали высоковольтные твердотельные коммутирующие устройства. Они сочетают в себе высокую долговечность и надёжность, возможность работы на частотах до нескольких мегагерц, а также способность формировать прямоугольные импульсы длительностью от десятков наносекунд до неограниченной. Благодаря возможности работы в режиме реле (открытие на неограниченное время) коммутаторы также подходят для подачи постоянного тока на высоковольтную нагрузку, такую как лампа бегущей волны (лбв). Электрически коммутаторы

представляют собой высоковольтный транзистор с цифровым управлением затвором, гальванической изоляцией силового канала и интегрированным антипараллельным высоковольтным диодом.

Ключевыми параметрами твердотельных коммутаторов являются рабочее напряжение, импульсный ток, рабочая частота, скорость открытия и закрытия, а также средняя рассеиваемая мощность.

В 2019 году в РФ была зарегистрирована компания ООО «ПАРАМЕРУС», которая поставила себе амбициозную цель – в течение 5 лет устранить недоразумение, заключающееся в зависимости российских разработчиков от высоковольтных коммутаторов зарубежного производства и обеспечить отечественный рынок высоковольтными коммутаторами, которые будут, как минимум, не хуже западных аналогов, как по части технических характеристик, так и по части промышленного исполнения. Вся разрабатываемая продукция проектировалась с учетом требований рынка ЕС, США и Китая, а продукция позиционируется не только как ориентированная на импортозамещение, но, в первую очередь, как экспортноориентированная.

На момент апреля 2022 года ООО «ПАРАМЕРУС» освоило и запустило в промышленное производство высоковольтные коммутаторы с рабочим напряжением до 25 кВ и пиковым током до 300 А.

Высоковольтные твердотельные коммутаторы, производимые компанией «ПАРАМЕРУС», подразделяются на одноктактные, двухтактные, а также коммутаторы для задач фотоники. Одноктактный коммутатор представляет собой высоковольтный транзистор с гальванически развязанной силовой частью, который можно использовать для переключения напряжения любой полярности, либо двуполярного. Модельный ряд одноктактных коммутаторов включает в себя серии HVS-B, HVS-C, HVS-D и HVS-E.

HVS-B – серия ультракомпактных высоковольтных коммутаторов с рабочим напряжением до 10 кВ, пиковым током до 42 А и частотой коммутации до 300 кГц, предназначенных для мобильных и передвижных систем, а также НИОКР. Данный тип коммутаторов также подойдет для бюджетных решений, а также для применений, в которых ожидается незначительный нагрев коммутатора (не более 10 Вт), например, для модуляции добротности в твердотельных и волоконных импульсных лазерах. Основное достоинство приборов данной серии – малые габариты и вес.

HVS-C – базовая серия высоковольтных коммутаторов с рабочим напряжением до 15 кВ, пиковым током до 250 А и частотой коммутации до 200 кГц. Данный тип коммутаторов характеризуется высокой импульсной мощностью, богатым модельным рядом и подойдет для широкого спектра прикладных задач.

HVS-D – серия высоковольтных коммутаторов с повышенным рабочим напряжением (до 25 кВ), пиковым током до 100 А и частотой коммутации до 30 кГц, предназначенных для работы с высоковольтными СВЧ-приборами, импульсными источниками излучения и электростатическими линзами. Устройства данной серии характеризуются повышенной помехоустойчивостью, что позволяет обеспечить стабильную работу устройства даже в присутствии сильных помех.

HVS-E – серия высоковольтных сильноточных коммутаторов повышенной мощности с рабочим напряжением до 20 кВ, пиковым током до 1000 А и частотой коммутации до 50 кГц. Устройства данной серии предназначены для работы в сильноточных высоковольтных контурах, таких как газовые лазеры и лазеры на парах металлов, системы поджига плазмы, высоковольтные

двигатели. Для коммутаторов серии HVS-E характерны пиковая мощность импульса до нескольких мегаватт, повышенная теплопроводность корпуса, широкий спектр опций для улучшенного охлаждения.

Подобрать высоковольтный коммутатор под задачу, помочь согласовать систему с высоковольтным каскадом, обеспечить стабильность выходных характеристик высоковольтных импульсных устройств – все эти и многие другие проблемы уходят от разработчиков оборудования при сотрудничестве со специалистами ООО «ПАРАМЕРУС».

Купить высоковольтный ключ производства ООО «ПАРАМЕРУС» можно, обратившись по телефону или электронной почте, указанным на официальном сайте компании в разделе контакты – [www.paramerus.com](http://www.paramerus.com) или [www.paramerus.ru](http://www.paramerus.ru).

---

Вывод: в статье представлен общий краткий обзор деятельности отечественного производителя высоковольтных источников питания, высоковольтных коммутаторов и высоковольтных генераторов импульсов ООО ПАРАМЕРУС. Приведено описание одноконтурных серий высоковольтных твердотельных коммутаторов, указаны основные достоинства, приведены габаритные размеры и другие критически важные параметры, позволяющие разработчикам приборов, имеющих в своем составе высоковольтные модули, оценить качество изделий, выпускаемых под торговой маркой «ПАРАМЕРУС».