

# Малошумящие источники высокого напряжения для чувствительных фотодетекторов

Виктор Жданкин (Москва)

В статье рассматриваются общие вопросы повышения стабильности выходного напряжения и снижения уровня пульсаций в выходном напряжении высоковольтных преобразователей напряжения в системах регистрации сигналов низкой интенсивности.

Статья подготовлена на основе материалов, предоставленных компанией XP Power.

При регистрации светового излучения низкой интенсивности приходится использовать устройства с более высокой чувствительностью, чем обычные фотодиоды или приборы с зарядовой связью. Для этих целей часто применяются специализированные детекторы, такие как лавинные диоды, фотоэлектронные умножители и микроканальные пластины. Высокая чувствительность данных устройств обуславливает ряд особых требований при проектировании электроники для обеспечения высокой эффективности и функциональности регистрирующих систем.

Приложения, в которых требуется регистрация светового излучения низкой интенсивности, включают в себя спектроскопию, обнаружение ионизирующего излучения, ночное видение, лазерные дальномеры, волоконно-оптические средства связи, анализаторы крови, эмиссионную томографию и физику элементарных частиц. Рассматриваемые в этой статье устройства преобразуют поступающее световое излучение в электронный сигнал посредством фотоэффекта, когда электроны высвобождаются при взаимодействии фотонов со светочувствительной поверхностью. Светочувстви-

тельная поверхность обычно находится под высоким отрицательным потенциалом, как правило от  $-100$  до  $-6000$  В (в зависимости от устройства). Некоторые примеры применения высоковольтных преобразователей напряжения различных типов в системах регистрации светового потока представлены в статье [1].

Чрезвычайно небольшая величина поступающего светового излучения ввиду высокой чувствительности детектора вызывает поток электронов. В некоторых случаях возможна регистрация отдельного фотона. Очевидно, что даже незначительные величины смещения амплитуды напряжения, шум или нестабильность на фоточувствительной поверхности способны ухудшить качество функционирования детектора. Кроме того, фотоэлектронные умножители особенно чувствительны к электромагнитному полю. Магнитные поля могут искажать траектории электронов, снижать коэффициент передачи детектора. Электронные схемы, не содержащие фотоэлектронные умножители, также являются незащищенными, и качество их функционирования может снижаться под воздействием электромагнитного излу-

чения и радиопомех. Вследствие этих причин для достижения максимального качества функционирования системы особое внимание должно быть уделено электронным схемам питания и усилению сигнала. Применение высокого напряжения усложняет проблему.

Формирование высокого напряжения смещения является задачей источника высокого напряжения. Внутри такого источника поступающее постоянное напряжение низкого уровня (обычно 5, 12 или 24 В) преобразуется в переменное напряжение с помощью инвертора, повышается высоковольтным трансформатором, затем выпрямляется и фильтруется (см. рис. 1).

Остаточная пульсация выходного высокого напряжения, проходящая через каскад выпрямления, является нежелательной в рассматриваемых здесь высокостабильных малошумящих применениях. Магнитные и радиочастотные излучения особенно нежелательны по указанным ранее причинам. Известно, что для уменьшения перечисленных проблем требуется хорошая фильтрация и экранирование, но эти меры могут быть минимизированы в том случае, когда высоковольтный генератор спроектирован таким образом, что генерирует минимальное электромагнитное излучение и радиопомехи.

С появлением импульсных источников питания возникла проблема повышенных коммутационных пульсаций и помех. Прямоугольная форма напряжения генерирует токи с высокой амплитудой и гармоники, которые создают помехи на высоких частотах. Эти частоты нередко являются сложными для фильтрации и экранирования, особенно в компактных системах, где присутствие высокого напряжения усложняет ситуацию. Кроме того, вследствие необходимости выдерживать высокое напряжение, высоковольтные трансформаторы характеризуются высокочастотными паразитными элементами, главным образом ёмкостями, и могут являться основным источником излучаемых электромагнитных помех.

Свойственные высоковольтным трансформаторам паразитные элементы приводят к появлению узкопо-

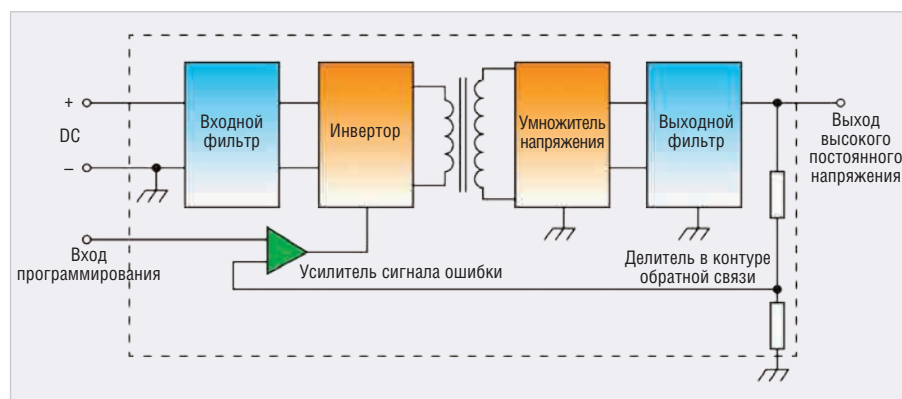


Рис.1. Структурная схема преобразователя постоянного напряжения в высокое напряжение



## Простой выбор источника питания

Компания XP Power предлагает широкий ряд стандартных и конфигурируемых устройств электропитания AC/DC и DC/DC. Источники питания сочетают подтверждённую надёжность с габаритами и ценой, соответствующими практически любому требованию.



### Источники питания открытого типа

- от 5 до 350 Вт
- Компактная конструкция
- Сертифицированы для медицинского и ИТ-оборудования



### Конфигурируемые источники питания

- от 25 до 5000 Вт
- Высокоэффективная конструкция
- Работа от одно- и трёхфазной сети
- Сертифицированы для медицинского и ИТ-оборудования



### Для монтажа на DIN-рейку

- от 5 до 960 Вт
- Сверхкомпактные
- AC/DC- и DC/DC-преобразователи



### Корпусированные источники питания

- от 25 до 5000 Вт
- Высокоэффективная конструкция
- Сертифицированы для медицинского и ИТ-оборудования



### DC/DC-преобразователи

- от 0,25 до 750 Вт
- Монтаж в отверстия печатной платы и поверхностный монтаж
- Для железнодорожного и медицинского оборудования



### Высоковольтные источники питания

- До 500 кВ и 200 кВт
- Конструкция модульного типа и для монтажа в стойку
- Входное напряжение переменное и постоянное



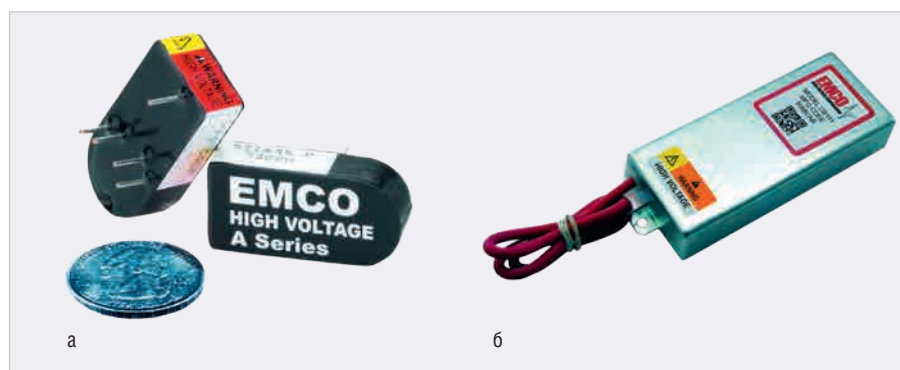


Рис. 2. Миниатюрные источники питания высокого напряжения для чувствительных фотодетекторов: а) EMCO 5120 A Series; б) XP EMCO CB101

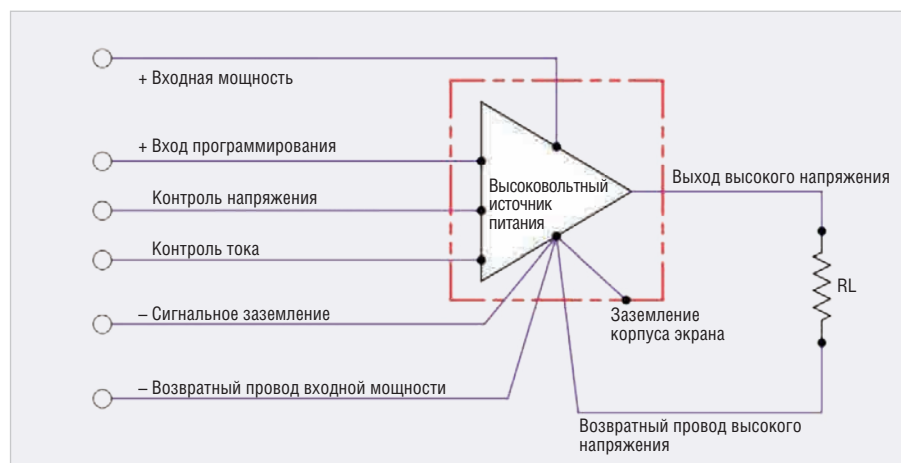


Рис. 3. Разделение соединений заземления силовых и управляющих цепей

лосной резонансной частоты с высокой добротностью. Эта резонансная частота может меняться от устройства к устройству, а также с изменением нагрузки, выходного напряжения и температуры. Частотное рассогласование между фиксированной частотой, широтно-модулированным сигналом управления и собственной резонансной частотой трансформатора вызывает короткие импульсы высокого тока, перенапряжения и высокие переходные напряжения. По этим причинам топологии переключательного типа с прямоугольной формой напряжения и тока являются нежелательными в чувствительном к шумам оборудовании, таком как детекторы светового излучения низкой интенсивности. К тому же при повышении частоты преобразования возрастают коммутационные потери в полупроводниковых приборах.

Более предпочтительной топологией, которая свободна от указанных выше недостатков, является резонансное преобразование, которое используется в ряде модулей-преобразователей постоянного напряжения в высокое напряжение от компании XP Power (см. рис. 2). Автогенерация на собствен-

ной резонансной частоте трансформатора приводит к тому, что сильноточные выбросы, переходные напряжения и шумовые гармоники минимизируются. Выбор этого режима переключения, также известного в литературе как резонанс на фронтах или «мягкое» переключение, особенно актуален в малошумящих применениях.

Электромагнитное излучение содержит связанные электрические и магнитные поля, а также электростатические поля из-за наличия высокого напряжения. Дополнительными мерами, доступными для уменьшения уровня шума в преобразователе постоянного напряжения в высокое напряжение, являются использование конфигурации с экранированным магнитным сердечником, технологии «мягкого» переключения, схемы подавления помех, высокоэффективной фильтрации и хорошего экранирования от ЭМИ и радиопомех.

Когда эти меры реализованы должным образом, формирователь высокого напряжения может быть расположен весьма близко к детектору без ухудшения рабочих характеристик, что позволяет использовать компактные корпуса

конструкции. Размещение небольшого высоковольтного источника рядом с детектором устраняет необходимость в высоковольтной кабельной проводке от габаритного источника питания.

Важно заметить, что обычно используемые пластиковые и алюминиевые корпуса обеспечивают недостаточное ослабление ЭМИ и радиопомех. Пластик вовсе не обладает эффектом экранирования. Металлы, не содержащие железа, такие как медь, латунь и алюминий, имеют магнитную проницаемость, которая идентична «свободному пространству». То есть относительная магнитная проницаемость такой конструкции равна 1. Обычная малоуглеродистая сталь имеет магнитную проницаемость около 2000. Сталь весьма подвержена окислению и обладает плохой пригодностью к пайке, поэтому на практике часто применяется дополнительное покрытие, например цинк. Подробно вопросы снижения уровней помех излучения в источниках электропитания импульсного типа экранированием узлов рассмотрены в работе [2].

На выходе детектора используется чувствительная схема электронного усилителя для обеспечения устойчивого сигнала. Эти элементы схемы часто экранированы от ЭМИ. Специальные методы заземления позволяют уменьшить влияние на работу прибора схем, генерирующих помехи, например источников питания. Тщательное разделение заземлений силовых каскадов, управляющих цепей и экранов уменьшает влияние нежелательных эффектов в чувствительных приложениях. В системе высоковольтного источника питания существует три контура заземления: источник входной мощности, низковольтные схемы управления текущим контролем и возвратный провод высокого напряжения (см. рис. 3). Эти три контура заземления должны иметь собственные независимые выделенные обратные тракты и соединяться с использованием метода заземления «звезда».

Миниатюрные высоковольтные источники характеризуются точной стабилизацией, дистанционной программируемостью и управлением. Наряду с этим предусмотренная в них динамическая обратная связь и внутренняя схема стабилизации позволяют поддерживать стабильное высокое напряжение при изменении тока




нагрузки, входного напряжения, температуры и времени. Благодаря этому можно легко интегрировать высоковольтный источник питания в систему, используя только низковольтные сигналы входа/выхода.

Применение небольших модулей для установки на печатной плате исключает временные издержки, стоимость и риск, связанный с приобретением или разработкой традиционного источника питания. Изменения в уровнях напряжения и тока могут быть достаточно просто внесены даже на поздней стадии проектирования системы, так как одинаковая площадь основания обеспечивает взаимозаменяемость различных моделей.

Миниатюрные высоковольтные источники питания выпускаются в больших количествах и хорошо зарекомендовали себя среди разработчиков и потребителей. При разработке данных источников обеспечено соответствие требованиям стандартов по безопасности, что способствует снижению рисков при проектировании систем. Устанавливаемые на плату высоковольтные источники питания доступны на рынке, как обычные электронные компоненты, что благоприятно сказывается на скорости разработки прототипа. Обзор популярных высоковольтных преобразователей напряжения XP Power EMCO приводится в статье [3], где представлены некоторые применения этих модулей и показана,

что компоновка высоковольтных систем электропитания из стандартных модулей позволяет преодолеть распространённые трудности проектирования высоковольтных подсистем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Жданкин В.К. Миниатюрные высоковольтные модули электропитания нового поколения. Компоненты и технологии. 2017. № 4.
2. Павлов А.В., Павлова В.А. Экранирование электромагнитных помех в ИВЭП. Практическая силовая электроника. 2011. № 2 (42).
3. Жданкин В.К. Высоковольтные преобразователи напряжения в виде стандартных модулей: просто, компактно, экономно. Современная электроника. 2016. № 4. 

## НОВОСТИ МИРА

### ВИЦЕ-ПРЕМЬЕР ЮРИЙ БОРИСОВ РАССКАЗАЛ, КТО РАЗВАЛИЛ МИКРОЭЛЕКТРОНИКУ В РОССИИ

На конференции «Электроника в России: будущее отрасли» вице-премьер Юрий Борисов рассказал, что СССР в 1970–1980-х занимал второе место в мире по производству микроэлектроники и даже в начале 1990-х поставлял простейшую электронику в Китай.



«С 90-х годов фактически начался закат того, что было наработано в Советском Союзе. Я думаю, что (причина этого – Прим. ред.) – бездумная приватизация в первую очередь, когда активы оказались в частных руках. Сегодня глупо говорить, что в России существует серийное микроэлектронное производство. Мы даже отсутствуем в статистике мировой», – отметил он.

Борисов объяснил, что частники не смогли выдержать темп, не вкладывали средства в развитие производства, государство же не занималось этим вопросом, не обеспечивало заказ. Ситуация начала меняться только после совещания в апреле 2018 года, когда решили возродить производство.

«Государством выделены деньги на достройку фабрик. Это даёт надежду на то, что у нас появятся подконтрольные государству микроэлектронные производства. <...> Средства

инвестиционные, которые государство вкладывает в это направление, требуют кратного, повторюсь, кратного увеличения. Мы задумываемся об одной-двух серийных фабриках в России. В Китае их свыше 30», – добавил он.

По мнению заместителя председателя правительства, развитие микроэлектронной промышленности затягивается в том числе из-за бюрократии в Минфине, Минэкономразвития и ВЭБе.

«Средние сроки строительства передовых производств в чистом поле – 9–12 месяцев, а у нас на одно только согласование столько уходит. Будем с коллегами обсуждать это и с предложениями идти к руководству страны. В отрасли не хватает 25–30 тыс. специалистов, нам нужно сделать сферу и образование более привлекательными, чтобы молодые люди сами шли. В перспективные разработки нужно где-то 10 млрд, надеюсь, смогу убедить правительство выделить эти деньги», – добавил Борисов. Он отметил, что микроэлектроника – важная отрасль, и назвал данное направление самым рентабельным в мире.

Телеканал «Звезда», РИА Новости

### ШЕСТЬ КАТЕГОРИЙ OSD-ПРОДУКТОВ ПОКАЖУТ РЕКОРДНЫЙ РОСТ

По оценке аналитической компании IC INSIGHTS, мировой рынок микропроцессоров, росший последние 9 лет, в 2019 году «просядет» на 4%, достигнув объёма \$77,3 млрд. Причина состоит в слабости смартфонного и компьютерного рынков и в ожиданиях убытков от торговых войн. Вместе с тем аналитик предсказывает значитель-

ный рост продаж в последующие годы – до \$91,7 млрд в 2023 году. Примечательно, что, по оценке аналитика, физический объём рынка практически не меняется от года к году (начиная с 2016 года) и колеблется в диапазоне 2,2...2,4 млрд штук MPU. По прогнозу, в 2019 году 29% всего «парка MPU» придёт на сегмент сотовых телефонов, ещё 3% – на планшеты, самая большая доля 52% будет установлена в ноутбуках, компьютерах, серверах и т.п., а оставшаяся доля придёт на «встраиваемые процессоры», главной нишей для которых являются IoT-, AI- и Industry 4.0-приложения. Последний сегмент самый динамичный – рост составил 10% по сравнению с показателем 2018 года.

6 категорий OSD-продуктов (Optoelectronics, Sensors, Discretes) покажут в 2019 году рекордный рост. И это на фоне общего замедления полупроводниковой отрасли. Двухзначный рост ожидается у КМОП-датчиков изображения (+19%) и лазерных передатчиков (+10%). Силовые транзисторы «вырастут» на 4%. В целом же OSD-группа покажет рост лишь на 1% до \$83,5 млрд, что составит около 19% всего рынка полупроводников.

Постепенное замедление роста ВВП Китая может иметь серьёзные последствия. И хотя на фоне трёхпроцентного роста мирового ВВП китайская цифра кажется огромной, она способна «обрушиться» с большой долей вероятности. Ведь, по оценке китайского правительства, для поддержания текущих темпов роста в стране ежегодно необходимо создавать около 8 млн новых рабочих мест.

Новостная рассылка проекта  
«Мониторинг рынка электроники»