

Анатолий Нефедов (г. Москва)

Требования международных стандартов к новым разработкам приборов для силовой электроники

Силовая электроника — эффективная технология ресурсо- и энергосбережения

Силовая электроника — это одна из динамично развивающихся областей электроники и электроэнергетики. По оценкам экспертов, она обеспечивает до 85% всего оборота отечественных изделий электроники во многих областях применения, решает задачи энергосбережения, экономии материалов и важнейшие проблемы экологии.

К элементам силовой электроники относятся, прежде всего, мощные импульсные преобразователи энергии для питания различной электронной и электротехнической аппаратуры.

Возрастающий расход энергоносителей и рост их стоимости определили ведущее место силовой электроники как эффективной технологии ресурсо- и энергосбережения.

Основные требования рынка силовой электроники: увеличение плотности мощности, снижение габаритов, уменьшение потерь мощности, расширение температурного диапазона и повышение надежности работы в пиковых режимах.

Элементы силовой электроники широко применяются в различных отраслях промышленности:

- в преобразователях: для железнодорожного и городского транспорта;
- для энергосберегающих приводов (преобразователи частоты и устройства плавного пуска для низковольтных асинхронных электроприводов мощностью от 1,5 до 400 кВт, высоковольтных асинхронных и синхронных электроприводов мощностью свыше 500 кВт);
- в энергетике для распределения и генерирования энергии (подстанционные шкафы управления, щиты постоянного тока, зарядно-подзарядные выпрямители, выпрямители для систем возбуждения генераторов тепло- и гидроэлектростанций);
- для нефтегазового комплекса (устройства бесперебойного питания, пусковые тиристорные устройства для плавного пуска для газоперекачивающих электроагрегатов, преобразователи для электрохимической защиты трубопроводов от коррозии);
- для черной и цветной металлургии и электротерапии (выпрямители для электролиза, автоматизированные системы управления током серии электролизеров, выпрямители для питания электродуговых печей и электрошлаковых установок, регуляторы мощности);
- для машиностроения и обрабатывающего оборудования (выпрямители для гальваники термообработки оборудования, системы индукционного нагрева и закалки, преобразователи для привода постоянного тока, преобразователи частоты для испытаний мощных трансформаторов, зарядные устройства);

– для строительства (выпрямители для ручной дуговой электросварки, возбудители для синхронных электродвигателей);

– для коммунального хозяйства (выпрямители для систем электроснабжения городского электротранспорта, преобразователи для сетей уличного освещения и промышленных предприятий) и т.д.

Создание электротермических установок немыслимо без применения силовой интеллектуальной электроники, мощных силовых преобразователей с системами управления, а это внесет вклад в уменьшение выбросов в атмосферу углекислого газа (CO₂).

Экологически чистыми и безотходными (не связаны с утилизацией отходов) источниками электроэнергии являются установки, использующие энергию морских приливов, а также ветроэнергетические установки (ВЭУ), в которых используются конверторы и инверторы ветротурбин.

Основные тенденции развития силовых приборов: уменьшение (снижение) потерь в проводящем состоянии, обеспечение высокой надежности и «мягкие» характеристики переключения (особенно для приборов с высокой токовой нагрузкой) и расширение области безопасной работы, высокая стойкость к токам короткого замыкания и надежность при выключении. Сочетание высоких рабочих токов и паразитных внутренних индуктивностей конструкции корпуса обычно приводит к перенапряжению и увеличению вероятности возникновения колебательных процессов при выключении.

Стандарты безопасности и электромагнитной совместимости

Улучшение эксплуатационных параметров силовых приборов происходит за счет оптимального применения современных и экологически безопасных технологий, новых конструкций корпусов и материалов, обеспечивающих уменьшение электромагнитных помех.

Интеллектуальные силовые модули, которые используются в силовой электронике, представляют собой гибридные приборы, включающие высокоскоростные IGBT-модули с драйверами управления затвором и схемами защиты и выпускаются в виде одиночных, двухтранзисторных (полумост), шеститранзисторных (полный трехфазный мост) и семитранзисторных (полный трехфазный мост и тормозной транзистор) ключей.

Выпускаемые силовые приборы должны удовлетворять международным стандартам безопасности (Safety standards) и электромагнитной совместимости (EMC Standards). Международной организацией по стандартизации ISO (International Organization for Standardization) сертификация продукции производит-

ся по спецификации ISO 9000 (ISO 9001 — контроль качества при проектировании, разработке, производстве, монтаже и обслуживании; ISO 9002 — при производстве, монтаже и обслуживании; ISO 9003 — при контроле и испытаниях готовой продукции). Существуют и другие системы менеджмента качества.

Директива 2002/95/EC Евросоюза (RoHS — Restriction of Hazardous Substances) ограничивает использование опасных химических соединений (материалов) в промышленном и электронном оборудовании и продукции (в новой электронной технике), опасный для здоровья и окружающей среды. В число таких материалов входят свинец, ртуть, кадмий, 6-валентный хром, соединения брома, которые входят в состав оловянно-свинцовых припоев (бессвинцовые технологии), а также бифенилы и дифениловый эфир.

Альтернативными покрытиями выводов являются чистое олово, сплавы олова и висмута и многослойное покрытие золотом, палладием и никелем, сплавы олова, серебра и меди, хотя они имеют более высокую температуру плавления.

Основными причинами перехода к бессвинцовым технологиям являются: влияние свинца на здоровье человека (оказывает вредное воздействие на кровеносную и центральную нервную системы) и большие тепловые нагрузки на компоненты, что ужесточает требования к работоспособности узлов пайки (прочностные характеристики припоев при циклических нагрузках ухудшаются при температуре 125°C, а при более высоких температурах происходит пластическая деформация, диффузия, рекристаллизация и рост зерна внутри узла пайки).

Альтернативными припоями являются сплав SnAgCu, устойчивый к появлению трещин при термических нагрузках, чистое олово (Sn), реже — сплавы олова и висмута (Sn-Bi), многослойное покрытие золотом, палладием и никелем (Au-Pd-Ni), сплав олова, серебра и меди (для корпусов BGA), сплав олова и цинка (Sn-Zn).

В новых обозначениях типов полупроводниковых приборов фирм-изготовителей указывается используемый материал выводов, в котором отсутствует свинец (например, индексы G4, E4, L, F, G, X, J, U, R, N, P, Q, T, E1...E7, Z, Y, W, NORB).

В соответствии с директивой RoHS, которая вступила в силу с 1.07.2006 г., все компании, входящие в цепочку изготовления продукта — от базовых материалов до конечных систем, обязаны предоставлять документы, гарантирующие отсутствие запрещенных веществ в составе их продукции.

Все это влечет увеличение стоимости оборудования и материалов, и в конечном счете — увеличение себестоимости реализованной продукции (на 2,5...5%).

Необходимо принять во внимание еще директивы WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment Directive) об утилизации электротехнического и электронного оборудования, а также REACH (Registration, Evaluation and Authorization of Chemicals) о регистрации, оценке и разрешении применения химических

продуктов, чтобы обеспечить доступность экологических данных относительно 30 тыс. химических продуктов (материалы, химические реактивы и др.), используемых при производстве изделий электроники и других отраслях промышленности.

В качестве покрытия выводов компонентов, используемого при пайке по бессвинцовой технологии, применяются: олово (применяется в варисторах, стабилитронах, постоянных резисторах и индуктивностях для поверхностного монтажа); олово-бериллий (для алюминиевых электролитических конденсаторов); олово-медь (для трансформаторов, линейных фильтров); золото (для ПАВ фильтров, генераторов, управляемых напряжением, высокочастотных приборов).

При определении наличия свинца в выводах приборов используется спектральный, а также химический анализ (в основе последнего которого лежит свойство некоторых химических реактивов менять цвет при взаимодействии со свинцом).

Для бессвинцовой пайки волной существуют флюсы на водной и спиртовой основе, которые используются в зависимости от конкретного изделия.

По бессвинцовой технологии используются различные виды пайки: конвекционная, пайка волной и ручная пайка, которые имеют свои достоинства и недостатки.

При пайке по бессвинцовой технологии используются различные сплавы: SAC-SnAgCu (олово-серебро-медь), SAC305 (Sn 3%, Ag 0,5%, Cu), SAC387 (Sn 3,8%, Ag 0,7%, Cu), SAB — SnAgBi (олово-серебро-висмут), SABC — SnAgBiCu (олово-серебро-висмут-медь). Данные сплавы SAC рекомендуются в качестве замены припоя, содержащего олово и свинец, так как они переходят в жидкое состояние при температуре ниже 220°C и имеют стабильный состав.

Все остальные сплавы (SnAg; SnCu; SnZn; SnAgBi; SnZnBi; In) имеют ограничения в эксплуатации (более высокая температура оплавления и худшее смачивание; низкие производственные показатели; проблемы коррозии сплава; трудности с фазой низкой температуры плавления; высокочлоррозийность; высокая стоимость).

Загрязнение окружающие среды электромагнитными помехами (ЭМП) представляет опасность как для технических средств, так и для биологических объектов. Невыполнение требований электромагнитной совместимости причиняет ущерб из-за сбоев систем управления автоматизированных производственных линий, неустойчивость работы линий связи, из-за потери информации в компьютерах, в медицинской аппаратуре диагностики и жизнеобеспечения человека. При МЭК создан Технический комитет защиты человека от электромагнитных полей — ТК106 «Оценка воздействия на организм человека».

Сейчас уже производятся экологически безопасные корпуса (green package) транзисторов (TO-220, TO-262, TO-263) для автомобильной электроники, удовлетворяющие требованиям директив WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment — отходы электрического и электронного оборудования) и RoHS

(Restriction of Hazardous Substances — ограничение на использование опасных веществ, а также применяется экологичная «безгалогенная» технология изготовления).

Таким образом, производители электронных компонентов, чтобы быть успешными на рынке сбыта, должны учитывать современные требования, связанные с защитой окружающей среды, с использованием экологически чистых (безопасных) материалов и комплекующих, что связано со снижением загрязнения окружающей среды после утилизации отработавшего свой срок оборудования.

Способность работать в условиях промышленных напряжений питания, большая плотность тока, высокие скорости переключения (до 20 кГц) — основные преимущества БТИЗ, применяемых в источниках питания, частотных преобразователях и приводах.

Стремление обеспечить оптимальные динамические характеристики и снизить уровень потерь переключения требует увеличение скорости коммутации по напряжению (до 15 кВ/мкс) и току (до 2 кА/мкс), но при этом возрастает уровень электромагнитных помех и высокочастотных шумов в диапазоне от несущей частоты ШИМ (10...20 кГц) до радиочастот (30 МГц). Низкочастотные помехи проникают в сеть питания, высокочастотные составляющие создают мощные радиопомехи, измеряемые в дБ/мкВ. Кондуктивные помехи могут быть симметричными и несимметричными, дифференциальными и синфазными. Дифференциальные помехи возникают при коммутации тока силовыми ключами: БТИЗ и антипараллельными диодами (FWD-Free Wheel Diodes). Синфазные помехи возникают при высокой скорости коммутации, наличии паразитных емкостей между токоведущими цепями и корпусом и замыкаются на шину заземления (корпус). Для снижения уровня дифференциальных помех необходимо уменьшать токи обратного восстановления диодов и уровень паразитных индуктивностей конденсаторов звена постоянного тока.

Зарубежные стандарты (CISPR22, EN55022, EN55011, EN55013 и др.) определяют допустимый уровень помех в полосе частот 150 кГц ... 30 МГц для двух классов аппаратуры: для использования в про-

мышленности (класс А) и в быту (класс В, более жесткие требования).

В России действует стандарт ГОСТ Р51318.14.1-99 «Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от бытовых приборов, электрических инструментов и аналогичных устройств. Нормы и методы испытаний». Новые зарубежные стандарты по электромагнитной совместимости (EN61000-3-2; МЭК/IEC 6100-3-2- и др.) вызвали в России появление аналогичного стандарта ГОСТ Р51317.3-2-99.

Во многих видах аппаратуры применяются модульные импульсные источники вторичного электропитания (ИИВЭП). Однако их недостатком является то, что они являются источником электромагнитных помех. Кондуктивные помехи, создаваемые источниками питания, могут вызвать сбои в близко расположенной аппаратуре. Высокая частота преобразования (100...500 кГц), коммутация значительных токов и возникновение при этом высоких значений dU/dt и dI/dt приводят к возникновению высокочастотных помех на входных выводах ИИВЭП.

Помехи попадают на вход через межобмоточную емкость трансформатора, емкость между корпусом силовых ключей и основанием модуля и распространяются по печатным проводникам внутри. Поэтому для уменьшения электромагнитных помех используется рациональная трассировка печатной платы, применяются внутренние многозвенные пассивные фильтры и внешние помехоподавляющие фильтры.

Электрические характеристики транзисторов и диодов, используемых в мощных модулях, оказывают существенное влияние на уровень излучаемых радиопомех. Процессы, влияющие на уровень электромагнитных помех (EMI — Electro Magnetic Interference): режимы работы силового ключа (U , I , f), технология БТИЗ, структура модуля (кристаллы БТИЗ и диодов, топология соединений, изоляция), параметры цепи управления затвором, температура и условия заземления.

Изготовители модулей оптимизируют его конструкцию с точки зрения уменьшения EMI (повышение импедансов контуров, в которых наводятся помехи или создание коротко замкнутых цепей для токов помехи с помощью селективных подавляющих фильтров). ■

Издательство «СОЛОН-ПРЕСС» представляет

В 6-м издании справочника приведены данные по параметрам и конструктивному исполнению на отечественные транзисторы, диоды, столбы и блоки, варикапы, стабилизаторы и стабилитроны, оптопары, ИК диоды, линейные шкалы и цифро-буквенные индикаторы, оптопары.

По приведенным в книге приборам даны соответствующие аналоги.

Книга может быть полезна специалистам и радиолюбителям, занимающимся разработкой, эксплуатацией и ремонтом радиоэлектронной аппаратуры.

Наложенным платежом цена — 590 руб.

Заказ оформляется одним из двух способов:

1. Пошлите открытку или письмо по адресу: 123001, Москва, а/я 82.
2. Оформите заказ на сайте www.solon-press.ru в разделе «Книга-почтой» или «Интернет-магазин».

Бесплатно высылается каталог издательства по почте.

При оформлении заказа полностью укажите адрес, а также фамилию, имя и отчество получателя.

Желательно указать дополнительно телефон и адрес электронной почты. С полным перечнем и описанием книг можно ознакомиться на сайте www.solon-press.ru, по ссылке <http://www.solon-press.ru/kat.doc>

Телефон: (495) 254-44-10, 8 (499) 795-73-26.

Цены для оплаты по почте наложенным платежом действительны до 01.12.2009.

