

# ЗАРЯДНЫЕ УСТРОЙСТВА МОЩНОСТЬЮ ДО 150 кВт ДЛЯ БЫСТРОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

ОМАР ХАРМОН (OMAR HARMON), ФРАНЧЕСКО ДИ ДОМЕНИКО (FRANCESCO DI DOMENICO),  
ШРИВАТСА РАГХУНАТХ (SRIVATSA RAGHUNATH), Infineon Technologies

*Зарядная инфраструктура для электромобилей с батарейным питанием (BEV, или ЭБП), совершающих поездки в т.ч. на дальние расстояния, во многом должна быть схожей с традиционной, которая применяется для автотранспорта с двигателями внутреннего сгорания.*

## ВВЕДЕНИЕ

Нельзя не заметить, что городские улицы и автомобильные паркинги претерпевают медленную трансформацию, которая свидетельствует о наступлении эпохи электромобилей. По мере широкого распространения электромобилей с батарейным питанием (BEV, или ЭБП) возрастает спрос на инфраструктуру, используемую для их зарядки. И хотя большинству таких электромобилей еще только предстоит конкурировать с традиционным автотранспортом с двигателями внутреннего сгорания (ДВС), задача обеспечить перемещение на дальние расстояния будет решена, если ЭБП станут заряжаться за время, сравнимое со временем обслуживания на АЗС.

В бытовых условиях большинство ЭБП заряжаются либо от источников питания переменного тока, либо с помощью настенного зарядного устройства. Рассчитанные на номинальную мощность до 22 кВт, такие решения позволяют зарядить аккумуляторы автомобиля примерно за 120 минут, чтобы он проехал следующие 200 км. Этого заряда вполне достаточно для коротких поездок. Однако чтобы зарядить батарею примерно за 15 минут, потребуется зарядное устройство постоянного тока с номинальной мощностью 150 кВт. Услуги по зарядке с такой мощностью могут предоставляться на специализирован-

ных станциях с необходимой электро-технической инфраструктурой, причем идеальными претендентами на эту роль являются автозаправки, стоянки такси и бензоколонки.

## МОДУЛЬНЫЙ ПРИНЦИП

В отношении зарядных устройств уже действуют региональные стандарты таких организаций как CharIN в Европе, CHAdeMO в Японии и GB/T в Китае. Эти стандарты определяют все компоненты и характеристики, начиная с разъемов, кабелей и заканчивая значениями напряжений и токов. Дополнительные стандарты предусматривают общие вопросы электробезопасности (IEC 60950), изоляции цепей с помощью опто-развязок (UL1577), а также применение электромагнитных и емкостных (VDE V 0844–11) технологий гальванических развязок. Таким образом, у разработчиков имеется возможность выбрать наилучший вариант реализации зарядного устройства постоянного тока.

На выбор конструкции устройства оказывают влияние многие факторы, в т.ч. габариты, внешний вид и цена. Однако, несмотря на эти требования, зарядные устройства с номинальной мощностью 50–150 кВт строятся по модульному принципу. Они связываются по шине данных с центральной управляющей системой, которая осуществляет биллинг. Кроме того, она

выполняет аутентификацию внешних сетей данных и подтверждает подлинность замещающих модулей зарядного устройства. На рисунке 1 представлена стандартная топология зарядного субмодуля с номинальной мощностью 15–40 кВт. Современные 50-кВт зарядные устройства состоят из трех отдельных аппаратных субмодулей мощностью примерно по 16,5 кВт.

В свою очередь, субмодули реализуются комбинированием трех блоков мощностью 5,5 кВт каждый. Такой модульный принцип построения обеспечивает экономичное масштабирование за счет повторного использования имеющихся субмодулей и проектирования блоков в соответствии с требованиями новых клиентов. В случае отказов модульный принцип упрощает техническое обслуживание и ремонт. С учетом тенденции к сокращению времени зарядки подаваемая мощность возрастает, что приводит к повышению мощности каждого субмодуля для поддержания баланса между производительностью, мощностью и простотой эксплуатации.

Субмодули построены на основе эффективных многоуровневых и многофазных топологий, благодаря чему выделяемое тепло распределяется по имеющемуся объему, а также достигается масштабируемость. Модульный принцип также позволяет производителе-

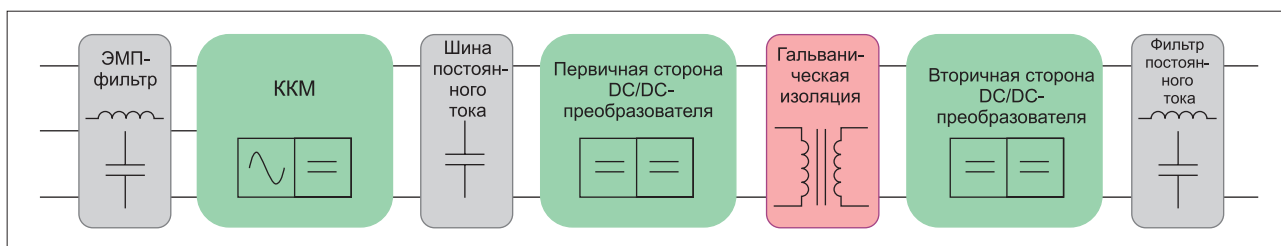
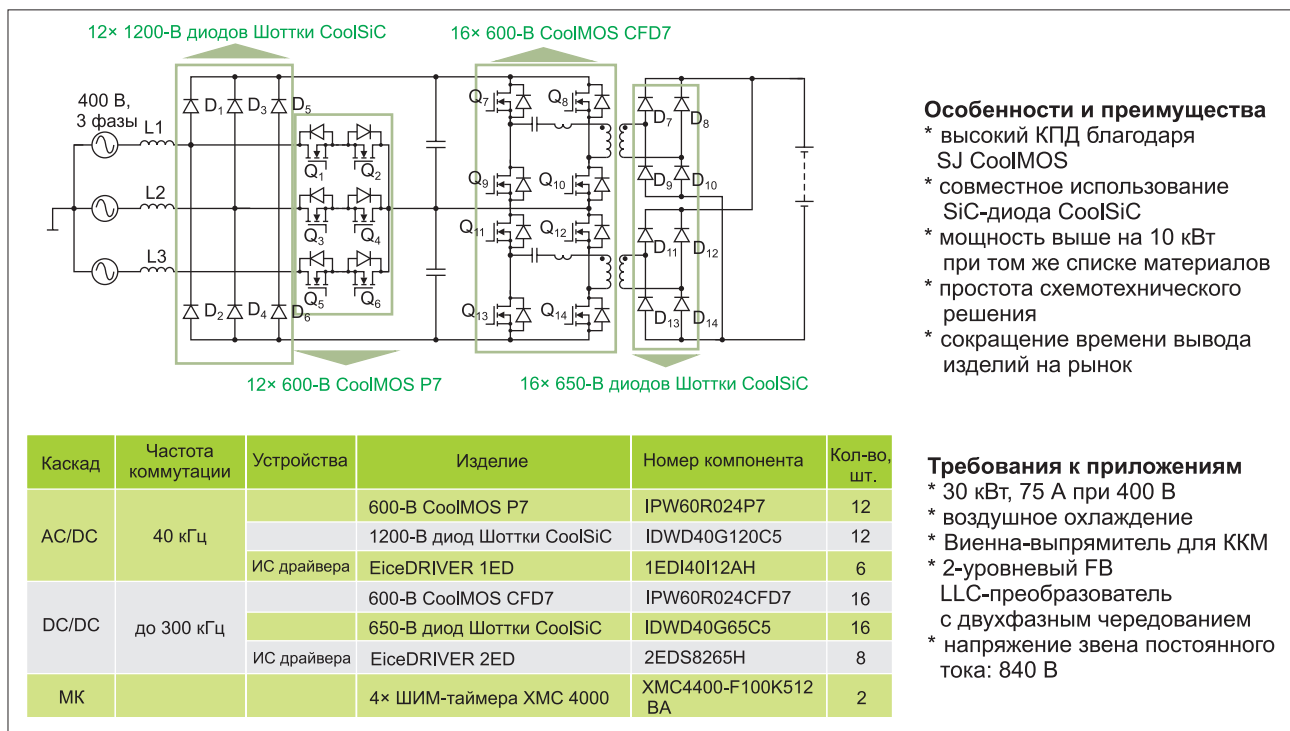


Рис. 1. Стандартная топология зарядного субмодуля с номинальной мощностью 15–40 кВт



### Особенности и преимущества

- \* высокий КПД благодаря SJ CoolMOS
- \* совместное использование SiC-диода CoolSiC
- \* мощность выше на 10 кВт при том же списке материалов
- \* простота схемотехнического решения
- \* сокращение времени вывода изделий на рынок

### Требования к приложениям

- \* 30 кВт, 75 А при 400 В
- \* воздушное охлаждение
- \* Виенна-выпрямитель для ККМ
- \* 2-уровневый FB LLC-преобразователь с двухфазным чередованием
- \* напряжение звена постоянного тока: 840 В

Рис. 2. Предлагаемая схема 30-кВт субмодуля зарядного устройства

лям быстро реализовать массив зарядных устройств с разными значениями выходной мощности в соответствии с потребностями заказчиков.

### ТОПОЛОГИИ 30-кВт СУБМОДУЛЕЙ

В диапазоне мощности 15–40 кВт рекомендуется использовать в субмодулях дискретные компоненты (см. рис. 2) с целью обеспечить КПД в пределах 93–95% при выходном напряжении 200–920 V<sub>DC</sub> (изделия компании CharIN). Входное напряжение, как правило 3-фазное величиной 380 В AC, выпрямляется с помощью 3-фазной схемы Виенна.

Далее используются изолированные одинарные DC/DC полномостовые резонансные LLC-преобразователи (рассчитанные на 1200 В) или стек мостовых LLC (на 600–650 В), которые обеспечивают меняющееся выходное напряжение постоянного тока. Если не требуется, чтобы зарядные устройства постоянного тока возвращали энергию в сеть, в каскаде ККМ применяется Виенна-выпрямитель. Этому 3-фазному 3-уровневому ШИМ-выпрямителю необходимы только три активных ключа. Его выходным напряжением можно управлять. Этот выпрямитель работает даже при несбалансированной питающей сети или в случае потери одной фазы. Он также сохраняет устойчивость к сбоям благодаря тому, что в случае сбоя управляющей схемы не возникает короткое замыкание на выходе или во входном каскаде. Входной ток имеет синусоидальную форму. Коэффициент мощности разных вариантов исполнения выпрямителей достигает 0,997; коэффи-

циент нелинейных искажений: 5%; КПД: не менее 97%.

Такая топология эффективно реализуется путем комбинации кремниевой и карбидокремниевой технологий. 1200-В диоды Шоттки CoolSiC 5-го поколения обеспечивают не зависящую от температуры коммутационную характеристику, стойкость к высоким значениям dv/dt и малое прямое напряжение величиной 1,25 В.

В результате снижаются требования к охлаждению всей системы, и повышается надежность при очень высокой скорости коммутации. Для реализации эффективных решений с оптимизированной стоимостью в паре с этими диодами используются ключи 650-В IGBT TRENCHSTOP 5 с малым напряжением насыщения V<sub>CEsat</sub> и низкими коммутационными потерями. В качестве альтернативного варианта, позволяющего повысить КПД, диоды применяются совместно с ключами серии CoolMOS P7 в коммутационном каскаде со встречным включением, благодаря чему значительно сокращаются потери на переключение за счет малого значения E<sub>OSSr</sub>, большому заряду затвора Q<sub>G</sub> и малому R<sub>DS(ON)</sub> величиной всего 24 мОм.

В двухуровневых резонансных полномостовых LLC-преобразователях используются устройства CoolMOS CFD7 с внутренним быстродействующим диодом, благодаря чему обеспечивается защита в течение критических рабочих фаз зарядного устройства ЭБП, особенно при запуске двигателя, в случае короткого замыкания на выходе

или в режиме пиковой производительности. Такая устойчивость достигается не за счет каких-то дополнительных мер, а исключительно благодаря малым значениям E<sub>OSSr</sub>, Q<sub>G</sub> и заряда обратного восстановления Q<sub>RR</sub>. Ключи этого семейства с разными значениями R<sub>DS(ON)</sub> позволяют подобрать наиболее приемлемое устройство для каждого класса мощности. Выпрямительный каскад на вторичной стороне построен на 650-В диодах Шоттки CoolSiC.

### ПОВЫШЕНИЕ КПД 30-кВт СУБМОДУЛЕЙ

Перейдя к решению, в котором доля карбидокремниевых устройств больше, можно увеличить КПД той же топологии. Кроме того, повышается надежность схемы за счет меньшего числа компонентов, т. к. снижаются тепловые потери. Вместо многоуровневых решений с высоковольтными DC/DC-преобразователями применяются параллельно установленные полномостовые LLC-преобразователи. Для работы с более высокими напряжениями звена постоянного тока на первичной стороне применяются 1200-В CoolSiC MOSFET (см. рис. 3).

Для работы с более высокими напряжениями на вторичной стороне применяются 1200-В устройства CoolSiC. Сочетание меньшего числа компонентов с меньшим значением R<sub>DS(ON)</sub> каждого устройства позволяет сократить потери на проводимости. В общей сложности, у реализованных по этому принципу субмодулей – более продолжительный срок службы, более

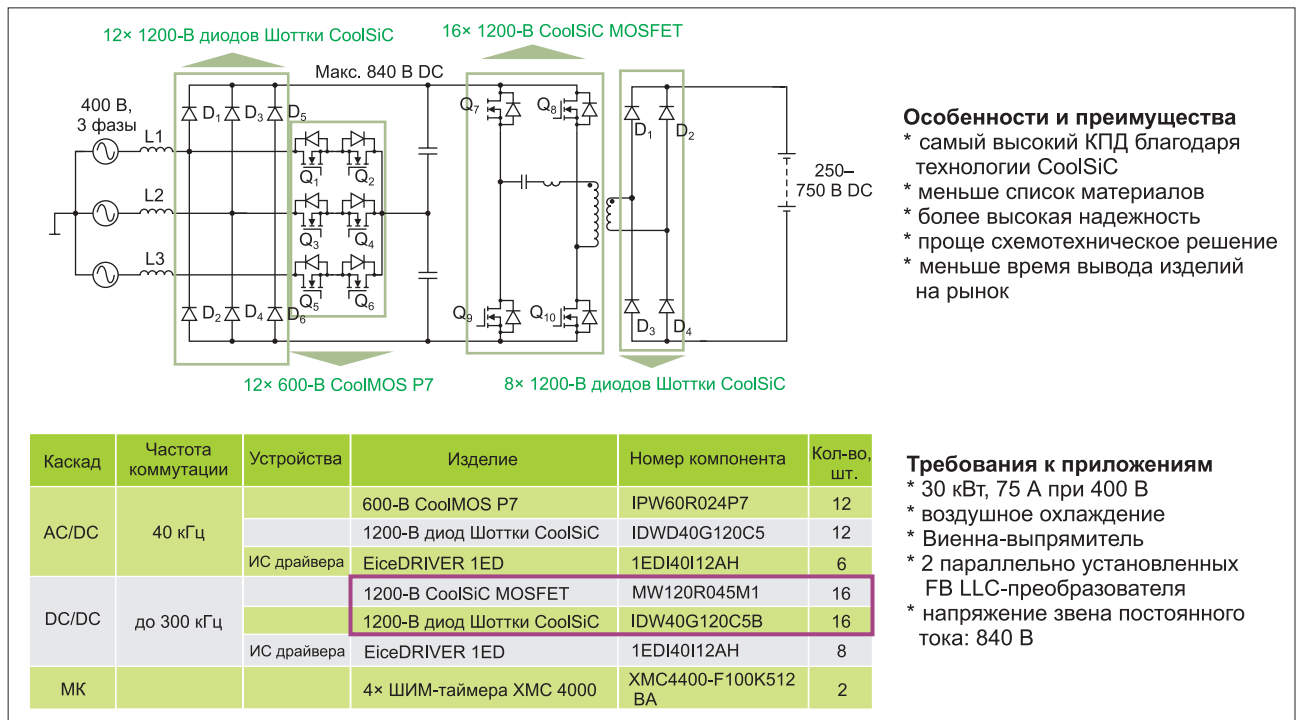


Рис. 3. Резонансный полномостовой LLC-каскад, полностью построенный на SiC-компонентах, в еще большей мере позволяет повысить КПД системы

высокая надежность, плотность мощности и коммутационные частоты.

#### ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ДРАЙВЕРА ЗАТВОРА

Управляющие сигналы от микроконтроллера XMC4000 или цифрового сигнального процессора (DSP) подаются на силовые устройства через соответствующий драйвер затвора. Решения

на базе технологии КНИ (кремний-на-изоляторе) с реализованным в микросхеме сдвигом уровня и гальваническим разделением сигналов с помощью трансформатора с воздушным сердечником обеспечивают требуемую эффективность при управлении полумостовыми и мостовыми каскадами. К числу критически важных измеряемых параметров относятся задержка на распространение, управляющий ток, устойчивость

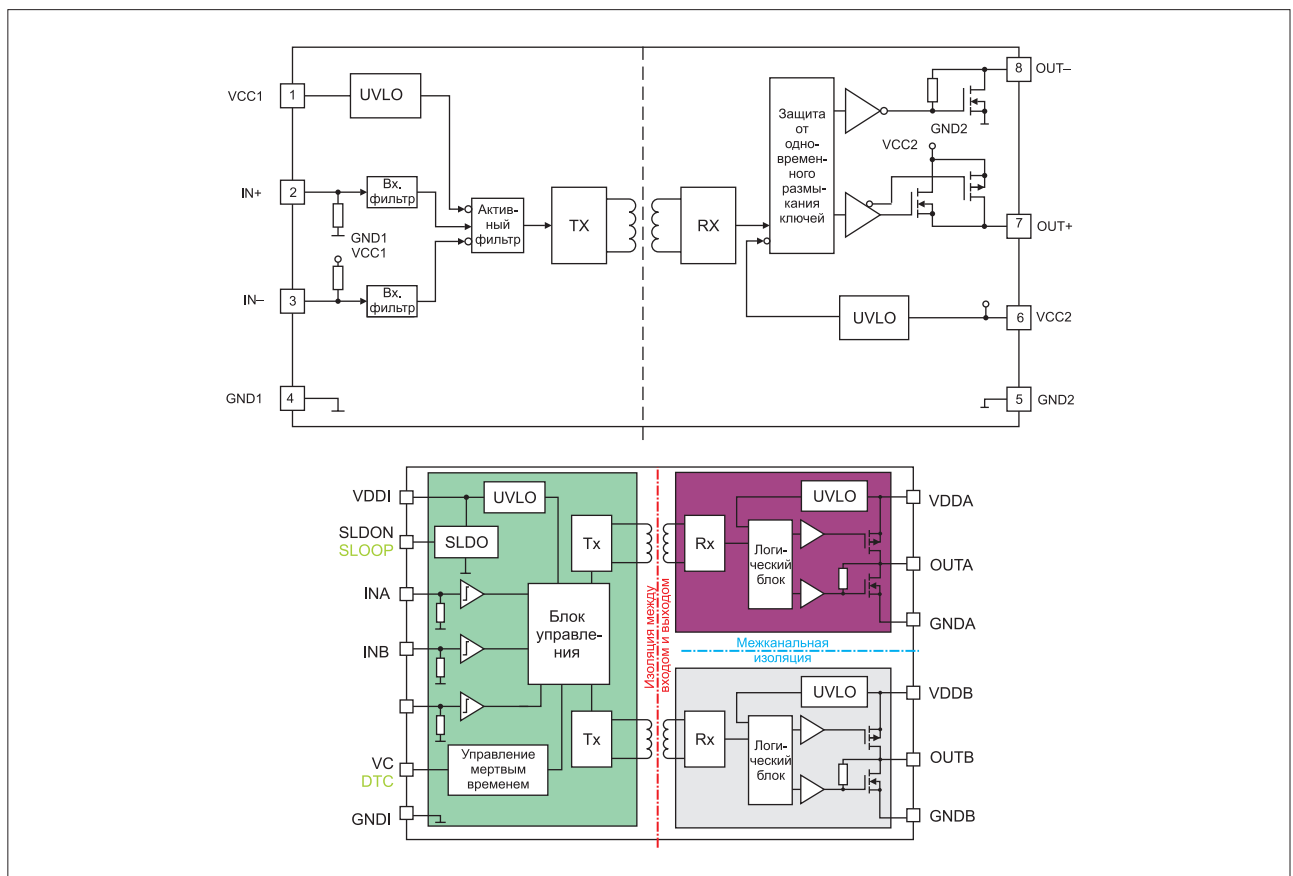


Рис. 4. Структурные схемы одно- и двухканального драйверов затворов EiceDRIVER с трансформаторами с воздушным сердечником

к броскам напряжения, потери при смещении уровня, коммутационная частота и др.

В рассматриваемых схемах применяются драйверы двух семейств – 1ED и 2EDi. 1EDCx0112AH – одноканальные изолированные драйверы затвора с трансформаторной развязкой, которые выпускаются в разных корпусах и отвечают требованиям стандарта UL-1577. Первичная сторона поддерживает широкий ряд напряжений, благодаря чему упрощается подключение к микроконтроллеру или DSP, а вторичная сторона поддерживает режимы работы с биполярными и униполярными сигналами.

Выходной драйвер с полным размахом напряжения упрощает выбор резистора затвора, исключает необходимость во внешнем сильноточном возвратном диоде и улучшает управление  $dv/dt$  в конфигурациях с верхним и нижним плечами.

2EDS8265H – быстродействующий двухканальный драйвер затвора с изоляцией между первичной и вторичной сторонами, а также с межканальной изоляцией на выходе. Устройства CoolMOS CFD7 и CoolSiC, используемые на первичной стороне стекового LLC-преобразователя, отлично подавляют синфазный сигнал, обеспечивают быстрое распространение сигнала и высокий управляющий ток.

Быстродействующее зарядное устройство для ЭБП оснащено функцией останова на те случаи, когда выходное устройство не подключено к источнику питания, а защита от просадок напряжения питания (UVLO) обеспечивает надежную работу всего приложения. Использование оптимальной топологии, в которой, например, развязывающие конденсаторы установлены рядом с выводами питания, а паразитная индуктивность уменьшается с помощью заземляющих слоев,

обеспечивает хорошие тепловые и электрические характеристики (устойчивость к шуму).

На рисунке 4 представлены структурные схемы одно- и двухканального драйверов затворов EiceDRIVER с трансформаторами с воздушным сердечником.

### ВЫВОДЫ

Итак, чтобы электромобили с батарейным питанием можно было полноценно использовать при передвижении на небольшие и дальние расстояния, возможности зарядных станций должны во многом быть сходными с теми, которые имеются у автомобилей с двигателями внутреннего сгорания. С этой целью разрабатываются зарядные устройства постоянного тока большой мощности, в т. ч. на 150 кВт.

Зарядные устройства с такими габаритами строятся по модульному принципу, т. е. совмещают в себе несколько силовых модулей, чтобы обеспечить требуемую выходную мощность. Если рассматривать зарядные устройства, обладающие высоким КПД, повышенной надежностью, хорошими тепловыми характеристиками, малым размером и стоимостью, становится очевидным, что карбидокремниевые компоненты станут играть важную роль в разработке требуемых решений. Их можно комбинировать с имеющимися кремниевыми MOSFET-ключами или с карбидокремниевыми ключами в тех случаях, когда необходимо обеспечить максимальный КПД при сравнительно малом количестве компонентов. Модули с воздушным охлаждением мощностью 30 кВт и выше, в которых применяются соответствующие драйверы затворов и управляющая электроника, отвечают требованиям международных стандартов по зарядке. 