

Быстрая зарядная станция электромобилей мощностью более 20 кВт

Дмитрий БЕЛЯКОВ
belyakov.d@milandr.ru
Сергей БЕСКРОВНЫЙ
beskrovnyj.s@milandr.ru

В наши дни в мире наблюдается все более глубокое понимание насущности проблемы безопасности окружающей среды. Одним из наиболее мощных воздействий на окружающую среду является загрязнение воздуха отработанными газами автомобилей. Особенно остро проблема проявляется в крупных городах. Улучшить ситуацию может помочь широкое внедрение электромобилей. Во многих странах, в том числе и в России, эта задача прорабатывается на государственном уровне.

Широкое внедрение электромобилей предполагает развитие сети станций для зарядки аккумуляторов электромобилей. Причем таких станций должно быть много, чтобы обслужить все электромобили, количество которых растет с каждым годом. Кроме того, важно зарядить электромобиль быстро. Штатные зарядные устройства электромобилей позволяют полностью зарядить аккумулятор за 10–12 ч, что далеко не всегда устраивает владельца такого транспорта. Требуются зарядные станции, способные зарядить аккумулятор электромобилей хотя бы в течение 1 ч. Сегодня в России количество зарядных станций невелико, и в основном они сосредоточены в крупных городах, в первую очередь в Москве и Санкт-Петербурге. Например, это хорошо видно на карте расположения зарядных станций в Москве и окрестностях с сервиса PlugShare (рис. 1) [1].

За пределами крупных городов станции зарядки электромобилей встречаются редко, и поэтому для облегчения ситуации в компании «Миландр» решено разработать переносное зарядное устройство, способное обеспечить зарядку аккумулятора электромобилей существенно быстрее, чем позволяет большинство штатных (встроенных в электромобиль) зарядных устройств. Для этого необходимо обеспечить зарядку аккумулятора постоянным током, поддержи-

вая мощность 20–25 кВт. Меньшая мощность не позволит заряжать аккумулятор достаточно быстро, большие мощности потребуют слишком значительных габаритов и массы зарядного устройства. То, что устройство переносное, позволяет брать его с собой в поездку в багажнике электромобилей и заряжаться в любом месте, где есть электрическая сеть необходимой мощности, например в авто-сервисе. В итоге разработан макет уникального зарядного устройства MCS-1T22-A (далее — ЗУ), которое обеспечивает зарядку электромобилей постоянным током в соответствии со спецификацией CHAdeMO. ЗУ позволяет заряжать такие электромобили, как Nissan Leaf или Mitsubishi i-MiEV. Стандарт CHAdeMO был выбран, поскольку в России таких электромобилей эксплуатируется больше всего: в 2019 году в нашей стране продано свыше 3100 штук Nissan Leaf около 70 штук Mitsubishi i-MiEV, то есть в сумме дает примерно 3200 штук. Это много больше, чем других электромобилей, вместе взятых, — порядка 110 единиц, включая Tesla Model S, BMW i3, Lada Ellada, Tesla Model X, Jaguar I-Pace, Renault Twizy, Hyundai Ioniq и Tesla Model 3 [2]. Кроме того, некоторые электромобили могут быть заряжены по стандарту CHAdeMO с помощью переходника, в частности электромобили компании Tesla.

Структурная схема ЗУ

На рис. 2 представлена структура ЗУ. Составные части выполняют следующие функции:

- Защитные элементы обеспечивают отключение питания от ЗУ в случае его отказа (например, короткое замыкание силовых цепей) и представляют собой автоматические выключатели для силовых цепей и цепей вторичного питания.
- Фильтр обеспечивает необходимую фильтрацию кондуктивных помех. Этот узел реализован в виде готового фильтра производства TDK.
- Корректор мощности и выпрямитель обеспечивают выпрямление входного напряжения (трехфазная сеть) и корректировку коэффициента мощности, а также стабильное напряжение на входе инвертора. Данный узел реализован в виде трехфазного диодного моста (выпрямление сетевого напряжения) и корректора мощности на базе микросхемы UC2852. В качестве силовых ключей использованы MOSFET на основе карбида кремния (SiC MOSFET).
- Инвертор необходим для формирования силового напряжения на первичной обмотке силового трансформатора. Этот узел построен по схеме полного моста, в котором использованы SiC



Рис. 1. Расположение зарядных станций в Москве и окрестностях

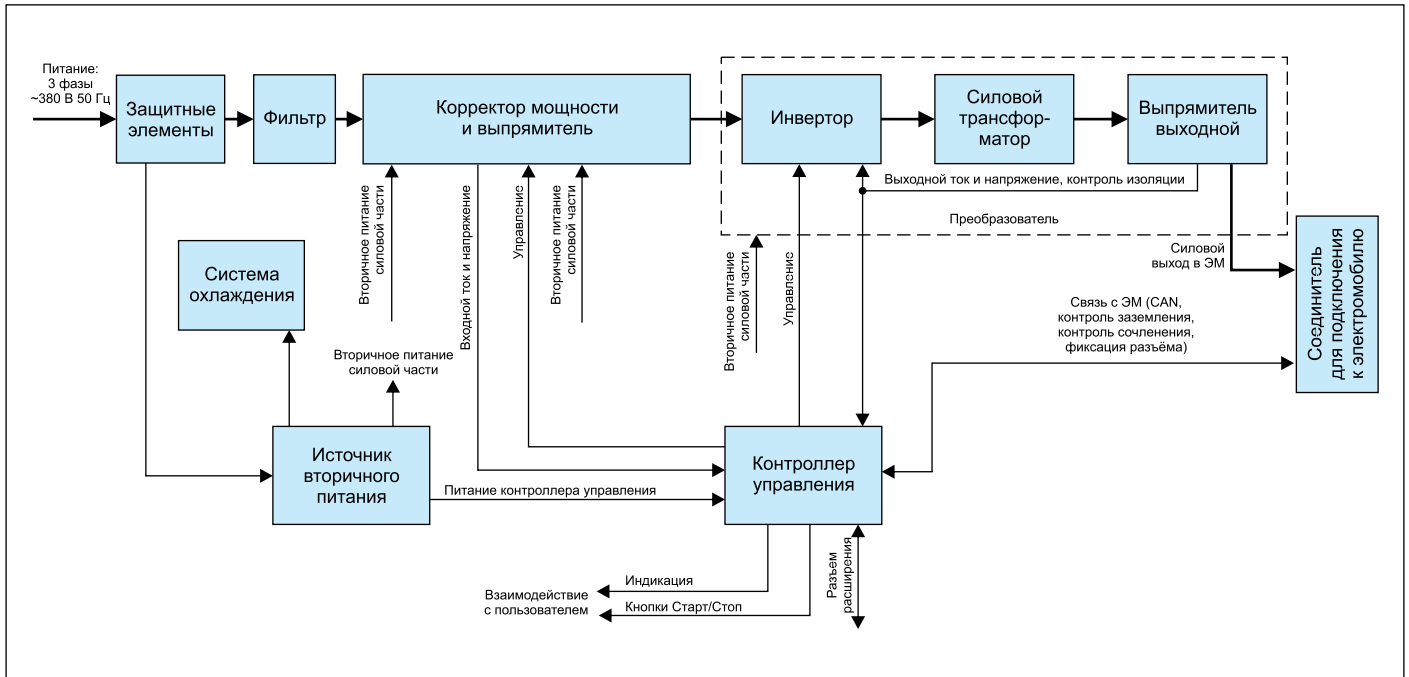


Рис. 2. Структурная схема зарядного устройства

MOSFET в качестве силовых ключей. Управление мостом производится микросхемой UC2875 с ШИМ со сдвигом фазы. Частота работы силовых ключей 65 кГц. Управление силовыми ключами выполняется в соответствии с величиной выходного тока ЗУ, поступающей в виде сигнала обратной связи из выпрямителя, и требуемой величиной выходного тока, поступающей в виде сигнала управления из контроллера управления.

- Силовой трансформатор применен для обеспечения передачи энергии на выход ЗУ и гальванической развязки выхода ЗУ от входной питающей сети. Трансформатор намотан проводом литцендрат на кольцевом ферритовом сердечнике производства TDK.
- Выпрямитель выходной выполняет выпрямление и фильтрацию напряжения с вторичной обмотки силового трансформатора. Здесь же реализованы цепи измерения выходного тока и напряжения, а также цепь контроля целостности изоляции выходных цепей ЗУ. Выпрямление напряжения обеспечивается диодами Шоттки на основе карбида кремния. Фильтрация напряжения осуществляется выходным

фильтром LC, основным элементом которого является дроссель, намотанный на кольцевом сердечнике с распределенным зазором. Все сигналы обратной связи (выходное напряжение, ток, сигнал потери изоляции и т. д.) гальванически развязаны от выходных цепей ЗУ.

- Система охлаждения представляет собой совокупность радиатора и нескольких вентиляторов, необходимых для охлаждения силовых компонентов ЗУ (силовых ключей в корректоре мощности и инверторе, диодов в выходном выпрямителе и на входе силового питания, силового трансформатора и выходного дросселя).
- Контроллер управления — узел, выполняющий контроль над всем ЗУ. Здесь обеспечивается сбор данных о состоянии устройства (величины входных и выходных напряжений и токов, сигнал потери изоляции), взаимодействие с пользователем (вывод необходимой информации на ЖК-индикатор, обработка нажатий на кнопки «Старт»/«Стоп»), обмен данными с электромобилем и выполнение предписанных спецификацией CHAdeMO алгоритмов при заряде аккумулятора автомобиля. Узел построен на базе микро-

контроллера производства «Миландр». Все сигналы обмена с электромобилем гальванически изолированы.

- Источник вторичного питания обеспечивает необходимые номиналы напряжений для питания составных частей узлов ЗУ. Данный узел построен с использованием готовых преобразователей AC/DC, DC/DC и микросхем линейных стабилизаторов напряжения.

При разработке ЗУ был проведен анализ существующих на данный момент полупроводниковых силовых компонентов. В результате было решено использовать в качестве силовых ключей SiC MOSFET, а в качестве быстродействующих диодов — SiC-диоды Шоттки. Основанием для такого выбора являются хорошие характеристики данного типа полупроводниковых приборов. Сравнение основных характеристик различных типов полупроводниковых приборов приведено в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что SiC MOSFET имеют преимущество практически по всем основным характеристикам в сравнении с остальными полупроводниковыми ключами, а значит, позволят достичь высоких показателей всего ЗУ. В частности, SiC MOSFET способны работать на частотах до 500 кГц при напряжениях до 1200 В и даже более, таким сочетанием параметров не обладают другие типы ключей. Необходимо отметить, что SiC MOSFET дороже, однако возможность работы с высокими частотами преобразования (это позволяет добиться меньших габаритов и массы конечного изделия) при довольно высоких рабочих напряжениях (это позволяет использовать более простые схемотехнические решения) практически выравнивает

Таблица 1. Сравнение основных характеристик различных типов полупроводниковых приборов

Показатель	Тиристоры	MOSFET	SiC MOSFET ¹	IGBT ¹
Максимальное рабочее напряжение, В	6000–10 000	950	1200–1700 (1200–1700)	1600 (6500)
Средний прямой ток, А	до 10 000	109	115 (450)	160 (3600)
Напряжение в открытом состоянии, В	3–6	1,8 ²	1,7–1,8 (1,2–1,3) ²	1–3,7 (1,1–3,4)
Максимальная рабочая частота, кГц	2	500	500	150 (–)

Примечания. 1. В скобках указаны величины для модульного исполнения.

2. Величина рассчитана исходя из максимального тока и минимального сопротивления открытого канала ($R_{DS ON}$).

Таблица 2. Сравнение основных параметров быстродействующих кремниевых диодов (Si) и диодов Шоттки (SiC)

Показатель	Si	SiC
Максимальное рабочее напряжение, В	1200	1200
Средний прямой ток, А	50	50
Напряжение в открытом состоянии, В	1–2,7	1,25–1,5
Заряд обратного восстановления (емкостный заряд для SiC-диодов), нКл	400–2000	200

конечное изделие по цене с таким же по характеристикам изделием, но выполненным на других типах полупроводниковых ключей.

Аналогично был проведен выбор силовых диодов для выходного выпрямителя и диода в корректоре мощности. В таблице 2 приведено сравнение основных параметров быстродействующих кремниевых диодов (Si) и SiC-диодов Шоттки (SiC).

Из таблицы 2 видно, что SiC-диоды обладают меньшим прямым падением напряжения и меньшим зарядом, который должен рассасываться при восстановлении. Таким образом, потери при использовании SiC-диодов меньше, а значит, повышается эффективность всего устройства.

В течение разработки ЗУ большое внимание уделялось безопасности при эксплуатации ЗУ. Для чего в нем реализован ряд функций:

- контроль изоляции выходных цепей;
- все сигналы управления гальванически изолированы от силовых цепей (как входного питания, так и выходных цепей), в том числе сигналы управления и интерфейс обмена данными с электромобилем;
- силовые вход и выход изолированы друг от друга;
- на входе питания используются автоматические выключатели, а на выходной силовой цепи установлен плавкий предохранитель.

Конструктивно ЗУ выполнено в металлическом корпусе, в котором смонтированы все узлы. На передней стенке закреплены разъемы для подключения кабеля зарядки и кабеля питания. Данное решение позволяет отключить кабели от ЗУ при транспортировке, легко заменить кабель в случае его повреждения, а также имеется возможность при необходимости использовать различные кабели питания (с разными типами сетевых вилок). Жидкокристаллический дисплей и кнопки управления расположены на верхней панели. Для удобства пользователя ЗУ оснащено удобным интерфейсом управления с возможностью выбора мощ-

ности заряда электромобиля. Дисплей отображает информацию о состоянии зарядного устройства, о времени заряда и времени завершения заряда электромобиля. Там же, на верхней панели, располагается кнопка отключения, которая позволяет быстро отключить ЗУ в случае каких-либо нестандартных ситуаций. Устройство снабжено двумя ручками для комфортной переноски. Для удобства пользователя на корпусе нанесены обозначения для подсоединения кабеля питания и кабеля подключения к автомобилю (рис. 3, 4).

Благодаря применению SiC MOSFET и других современных комплектующих, в том числе разработанных компанией АО «ПКК Миландр», зарядное устройство MCS-1T22-A обеспечивает следующие характеристики:

- максимальная выходная мощность 22,5 кВт, что позволяет зарядить аккумулятор электромобиля емкостью 30 кВт·ч (Nissan Leaf после 2015 года выпуска) до уровня 80% примерно за 1 ч;
- выходное напряжение: 50–450 В;
- максимальный выходной ток: 50 А;
- максимальное значение КПД: 95%;
- питание от трехфазной сети переменного тока напряжением 380 В, 50 Гц;
- масса ЗУ без кабелей питания и подключения к электромобилю: 30 кг.

В дальнейшем планируется разработка зарядного устройства с инвертором на основе резонансного LLC-преобразователя (индуктивность — индуктивность-емкость), что позволит улучшить КПД и снизить массу и габариты устройства. Также оценивается возможность разработки стационарного зарядного устройства с большими мощностями (50 кВт и выше), необходимость которого диктуется постоянным увеличением емкости тяговых аккумуляторов современных электромобилей. Кроме того, планируется разработать зарядные устройства с поддержкой других стандартов заряда электромобилей (например, CCS Type2).

Литература

1. www.plugshare.com/
2. www.iz.ru/969778/2020-01-29/nazvany-samye-populiarnye-poderzhannye-elektromobili-v-rf-v-2019-godu
3. Быстрое мобильное зарядное устройство для электромобиля MCS-1T22-A. www.device.milandr.ru/products/zaryadnye-ustroystva/bystroe-mobilnoe-zaryadnoe-ustroystvo-dlya-elektromobilya-mcs-1t22-a/



Рис. 3. Внешний вид ЗУ с отключенными кабелями



Рис. 4. ЗУ, готовое к работе