

## ТРИФАЗНО ЗАРЕЖДАНЕ С МОНОФАЗНИ ЗАРЯДНИ УСТРОЙСТВА НА 96 КЛЕТКИ

Димо Димитров Стефанов  
Технически университет – Варна

## THREE-PHASE CHARGING OF 96 CELLS WITH MONOPHASE CHARGERS

Dimo Dimitrov Stefanov  
Technical University – Varna

### Abstract

*Replacement of a three-phase charger with three single-phase chargers with galvanically isolated DC outputs connected one at each of the phases has been proposed. The battery balance system adjusts the charging current in a small step. The process control is performed via a galvanically isolated CAN interface. Charging and balancing of a 96-cell 64 kWh battery pack is intended to take no more than 6 hours and 30 minutes.*

**Keywords:** electric vehicle, three-phase charging, monophasе charging device, battery balance system

### ВЪВЕДЕНИЕ

Батерията като преносим източник на енергия има основна роля в съвременната електроника. Медицинското оборудване, преносимите компютри, мобилните телефони и много други се хранят главно от литиеви батерии. В днешно време обаче електромобилната (EV) индустрия се нуждае от повече батерии, отколкото останалите индустрии в комбинация [1], [2], [3], [4]. Освен това, батериите стават все по-големи и по-големи, което затяга зоната им за безопасна работа (SOA). Това води до постоянен напредък в технологията на батерията и мониторинг на зареждането и защита на батериите.

Това важи особено за литиевите батерии. Тези батерии имат отлична ефективност, плътност на енергията и мощността и продължителност на цикъла в сравнение с други серийни батерии, но се нуждаят от допълнителна електроника.

Ако такава батерия със само две клетки (номинално напрежение 4,2 V) [5] без допълнителна електроника за регулиране на напрежението в клетката се зарежда от хранване от 8,4 V, една от клетките може да бъде заредена до 3,1 V, а другата до 5,3 V. На практика процесът на зареждане може

да доведе до произволни две напрежения, чиято сума дава 8,4 V (в краен случай би било 2,8 V и 5,6 V). В резултат на това литиевите батерии не могат да се използват без допълнителни електронни вериги за наблюдение и защита на батерията.

Система за управление на батерията (BMS) е електронната верига, която гарантира, че батерията работи в своята зона на безопасна работа. Тя може да наблюдава, защитава, оценява състоянията, да увеличава производителността и да комуникира с потребител или друго устройство. От изключителна важност е връзката със зарядно устройство и прецизното регулиране на зарядния ток. Традиционно в електрическите превозни средства се използват зарядни с мощности от 3 kW до 43 kW.

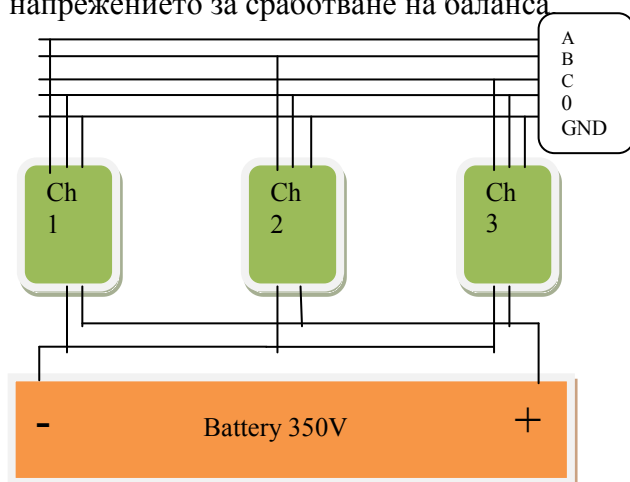
Този доклад се фокусира върху експерименталното проучване на BMS за деветдесет и шест LiFePO<sub>4</sub> клетки с капацитет 200 Ah и три монофазни зарядни устройства, свързани трифазно с обща мощност 10 kW.

### ЕКСПОЗИЦИЯ

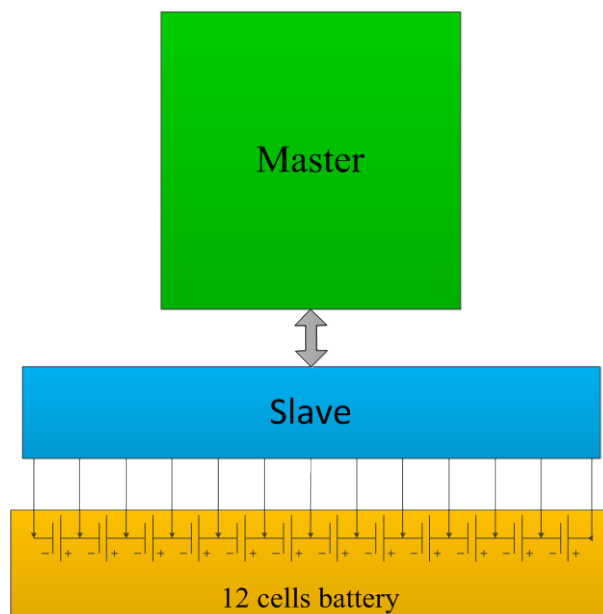
Настоящото предлагане на пазара на електрически товарни автомобили до 3,5 т е изключително малко. Това създаде нуждата от създаване на прототип в този пазарен

сегмент 3,5 т, 100 kW задвижващ мотор, 64 kWh литиева батерия и 10 kW бордово зарядно. Батерийният пакет е съставен от 96 броя LiFePo4 клетки с капацитет 200 Ah, общото номинално напрежение е 308 V. Времето и начинът за зареждане на една товарна машина са от голямо значение за потребителите. Настоящото състояние на зарядната инфраструктура и точките на потребителите за зареждане е ограничена в повечето случаи до 32 A на фаза на мрежата, тоест 7.2 kW. Това поражда нуждата от трифазно зарядно устройство с 16 A на фаза. Избираме да използваме три зарядни устройства, галванично разделени. Всяко едно е свързано към отделна фаза на мрежата, а DC изходите са в паралел. Управлението е по CANbus интерфейс, който също е галванично разделен. Той позволява фино регулиране на максималното напрежение от 110 V до 400 V през 0.1 V и ток на зареждане от 0.1 A до 10 A през 0.1 A. Системата за баланс на батерията изпраща съобщения по CAN шината за нужния заряден ток на всяко от трите зарядни, като токовете винаги трябва да са еднакви, за да не се разбалансира мрежата. Задава се и горна граница на напрежението, съобразено с максималното напрежение на зареждане на пакета  $96 \times 3,65 = 350,4V$ .

Системата за баланс на батерията е изградена от главен модул (Master) и осем управляеми модула (Slave) управлявани по RS485. Всеки Slave измерва и балансира дванадесет на брой клетки. Токът на балансиране е 400 mA, а точността на измерване на напрежението е  $\pm 5mV$  в диапазон от 0 до 5 V. Главният модул задава праговете на напрежението за сработване на баланса



Фиг. 1. Три монофазни зарядни устройства в трифазно свързване.

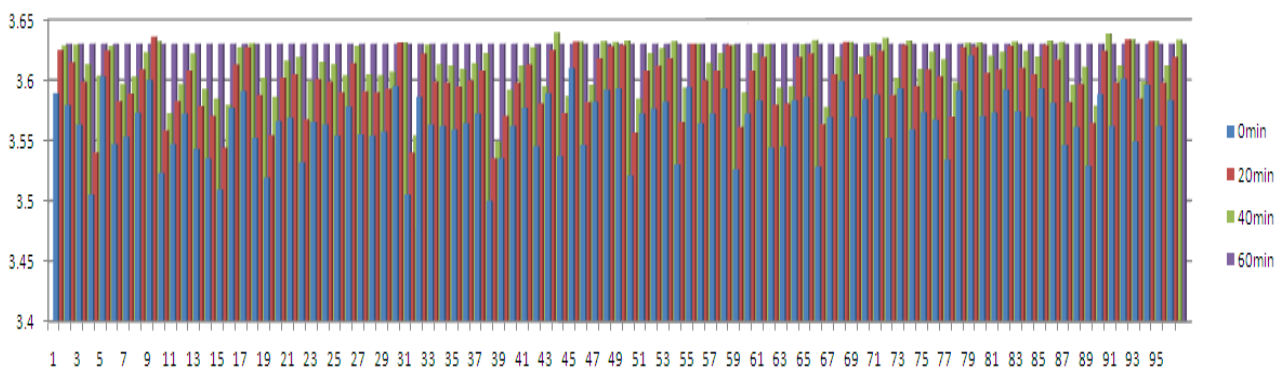


Фиг. 2. Блок схема на система за баланс на батерията.

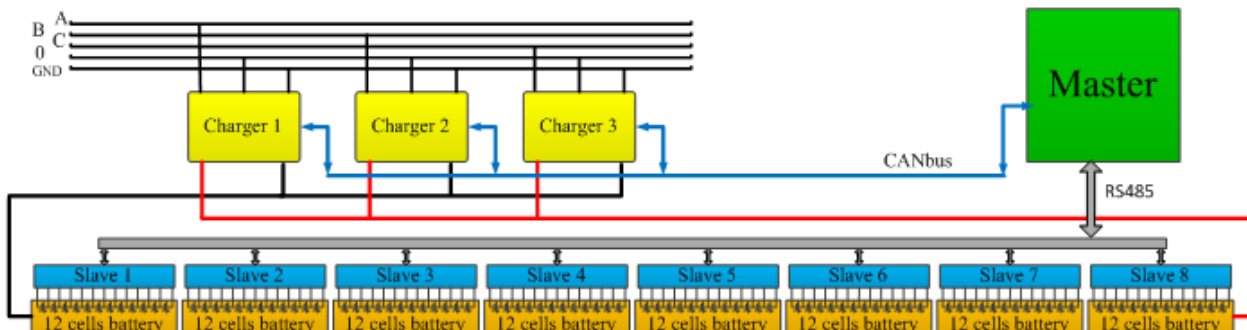
Най-важната част от алгоритъма на микропроцесора е именно адекватното измерване на входните величини, тоест напрежението на всяка клетка с максимално висока точност. Тук се обръща внимание на обработката на входните данни и тяхното изчисление. След инициализацията на микропроцесора главният цикъл започва с изчакване от 100 ms, това е нужно, за да приключат всички започнали процеси. Измерването на входните величини се прави от 12 bit АЦП което е с 12 на брой мултиплексорни входа. Подбран е конкретният микропроцесор, заради функцията му да сканира всичките 12 входа в един и същ момент от време, а не да ги обхожда един след друг. Именно тази функция позволява да се направят 1000 на брой отчета на всеки един от каналите за максимално кратко време. С този процес се подобрява бързодействието на алгоритъма в сравнения с предходния. От събраните отчети се премахват тези с най-висока и най-ниска стойност. Следващата стъпка е извеждането на средната стойност от всички отчети, за да се получи точната стойност. На базата на измерения резултат се взема решение за ON или OFF на балансиращия резистор на съответния канал.

Главният модул отчита достигането на прага за високо напрежение на всяка клетка. След детектирането намалява зарядния ток, който е 30 А. При първата стъпка намалява тока на 50% от номиналния или 15 А. След достигане на, която и да е клетка отново до прага на високо напрежение, токът се намалява с още 50% или 7.5 А. При трето достигане вече се установява до 0.6 А, тоест по 0.2А на всяко от зарядните устройства. Тази стойност на тока вече е малко над тока на баланс на устройството. При този режим отново се използва методът на

баланс с ON и OFF ток, но вече с по-ниска стойност. По този начин се увеличава времето, в което е ON и балансиращите резистори го компенсират. Тоест в заредените клетки не се зареждат с повече от 0.1 А. Това увеличава времето за нарастване на напрежението им до заредено състояние, което позволява на незаредените клетки да получават по-дълго време зареден ток от 0,5 А. По този метод се намалява времето за балансиране на клетките с 20% в сравнение с ON/OFF метод.



Фиг. 3. Балансиране на 96 клетки за 60 минути



Фиг. 4. Пълна блок схема

На Фиг. 3 графично е показано в четири отчета във времето, балансирането на 96 броя клетки 200 Ah. Първият отчет са измерени стойностите на клетките в началото на балансиращия цикъл и ток на заряд 30 А. Вторият отчет са измерените стойности след 20 минути балансиране и ток 15 А. Третият отчет е след 40 минути и ток на зареждане 7.5 А. Четвъртият отчет е в края на балансиращия цикъл, когато всички клетки са достигнали заредено състояние от 3.630 V при ток на заряд 0.6 А. След достигане на всички клетки до максимално напрежение, зареждането се пре-

установява. Времето за пълно зареждане на батерията от 20% до 100% отнема 5 часа, а балансирането и отнема 1 час, което прави общо време за зареждане 6 часа.

На Фиг.4 се вижда пълната блок-схема на трифазно свързаните монофазни зарядни устройства, които зареждат целия пакет от 96 клетки, свързани последователно. Системата се състои от 8 управляеми устройства. Всяко устройство измерва и балансира дванадесет клетки едновременно и изпраща измерените резултати на главния модул, който освен обработване и ги визуализира за улеснение на потребителя.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Изборът на три монофазни зарядни устройства, свързани на всяка фаза на трифазната мрежа, намалява цената на крайния продукт в сравнение с аналогично трифазно зарядно. Възможността им за регулиране на зарядния ток с малка стъпка позволява системата за баланс на батерията, бързото и точно балансиране на 96 броя клетки в пакета.

## **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] C. Vyas, D. Hurst, and J. Gartner, "Electric vehicle consumer survey," Pike Research, Tech. Rep., 2011.
- [2] "China publishes plan to boost fuel-efficient and new energy vehicles and domestic auto industry," <http://www.greencarcongress.com/2012/07/china-20120709.html>, 2012, [Online; accessed 15-September-2012].
- [3] U. EIA, "Annual energy outlook 2012 with projections to 2035," U.S. Energy Information Administration, Tech. Rep., 2012.
- [4] P. D. Blair, "Modeling energy and power requirements of electric vehicles," *Energy Conversion*, vol. 18, no. 3, pp. 127 - 134, 1978.
- [5] D. Andrea, *Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs*, 2010 ARTECH HOUSE, ISBN-13 978-1-60807-104-3, Boston, 2010.