

CIRCUITS FOR CHARGING OF ENERGY STORAGE ELEMENTS IN POWER SUPPLYING MODULE FOR COMMUNICATION SYSTEM

СХЕМИ ЗА ЗАРЕЖДАНЕ НА ЕЛЕМЕНТИ ЗА СЪХРАНЕНИЕ НА ЕНЕРГИЯ В ЗАХРАНВАЩ МОДУЛ НА КОМУНИКАЦИОННА СИСТЕМА

Ivan Nedyalkov

Faculty of Telecommunication and Management, University of Telecommunication and Post,
str. "Acad. St. Mladenov" №1, Sofia 1700, Bulgaria, e-mail: i.nedailkov@icloud.com

Иван Недялков

Факултет по Телекомуникации и Мениджмънт, Висше Училище по Телекомуникации и
Пощи, ул." акад. Ст. Младенов" №1, София 1700, България, e-mail: i.nedialkov@icloud.com

Keywords: Battery, CL – filter, Resonant converter

Резюме – В настоящият доклад са разгледани схеми за заряд и изравняване на напрежението върху последователно свързани елементи за съхранение на енергия, работещи с CL – филтър в изправителната верига. Изследваните схеми са базирани на Резонансен Инвертор с Обратни Диоди (РИОД) и Резонансен Инвертор с Обратни Диоди и Ограничение на Напрежението върху Комутирацията Кондензатор (РИОДОНКК). Проведени са симулационни изследвания на двете схеми. От симулационните изследвания са построени характеристики, с които могат да се оценят качествата на двете схеми.

Abstract – In this paperwork a study of circuits for charging and voltage balancing over series connected energy storage elements has been made. The proposed circuits are with CL – filter in the rectifier circuit. The studied circuits are based on Resonant Converter with Reverse Diodes (RIRD) and Resonant Converter with Reverse Diodes and Voltage Limitation over Commutating Capacitor (RIRDVLCC). Simulation studies have been made for the two circuits. Characteristics for assessing the qualities of the circuits are made, based on the simulation studies.

1. ВЪВЕДЕНИЕ.

С развитието на съвременните технологии и нуждата от екологични захранвания, фотоволтаичните системи все по – често се използват за захранване на различни консуматори. Затова е необходимо генерираната от тях енергия да бъде съхранявана, като целта е колкото се може повече от тази енергия да се натрупва в елементи за съхранение на енергия (ЕСЕ). Такива елементи са литиевите батерии и суперкондензаторите. Предимства са всеобщо известни. Един от основните им недостатъци са ниското напрежение върху отделната клетка. За да се премахне този недостатък се използва

последователното свързване на тези клетки, като така получаваме желаното по – високо напрежение. Проблемът, който се появява следствие от това, е необходимостта от балансиране на напреженията върху отделните клетки. Заряд до различно напрежение води до редица проблеми като: съкращаване на експлоатационният живот на клетките, неправилно натоварване, възможности от презаряд, дълбок разряд и други проблеми.

Елиминирането на тези проблеми става с използването на допълнителни схемни решения, които в повечето случаи са активни или пасивни методи за балансиране [1, 2, 3, 4].

Съществуват основна два режима за заряд на акумулаторни батерии:

- Заряд с импулсен ток: предимството при този метод на заряд е по – бързото развитие на химичните процеси, които се осъществяват в батерията. Този метод има и редица недостатъци като голямо натоварване на диодите в изправителната схема; стойността на импулсният ток не трябва да надвишава допустимата от производителя на батерията стойност. При такъв заряд това става трудно; при заряд на литиеви батерии не бива да се надвишава максималното допустимо напрежение, което при заряд с импулсен ток е по-трудно постижимо. Също така при заряд с импулсен ток трудно се реализират режимите на заряд с константен ток и константно напрежение;

- Заряд с постоянен ток: при него зареждаме батерията с постоянен ток, като се следи напрежението, до което е заредена батерията/клетката и нейната температура. Този тип заряд е много подходящ за батерии, които работят в цикличен режим, тъй като се избягват недостатъците от заряд с импулсен ток.

2. СХЕМА ЗА ЗАРЯД НА ПОСЛЕДОВАТЕЛНО СВЪРЗАНИ ЕСЕ, БАЗИРАНА НА РЕЗОНАНСЕН ИВЕРТОР С ОБРАТНИ ДИОДИ.

На фигура 1 е показана симулационната схема на Резонансен Инвертор с Обратни Диоди (РИОД) за заряд и изравняване на напрежението върху последователно свързани литиеви клетки. Високочестотният трансформатор е съставен от една първична намотка (L_1) и шест вторични намотки (от L_2 до L_7).

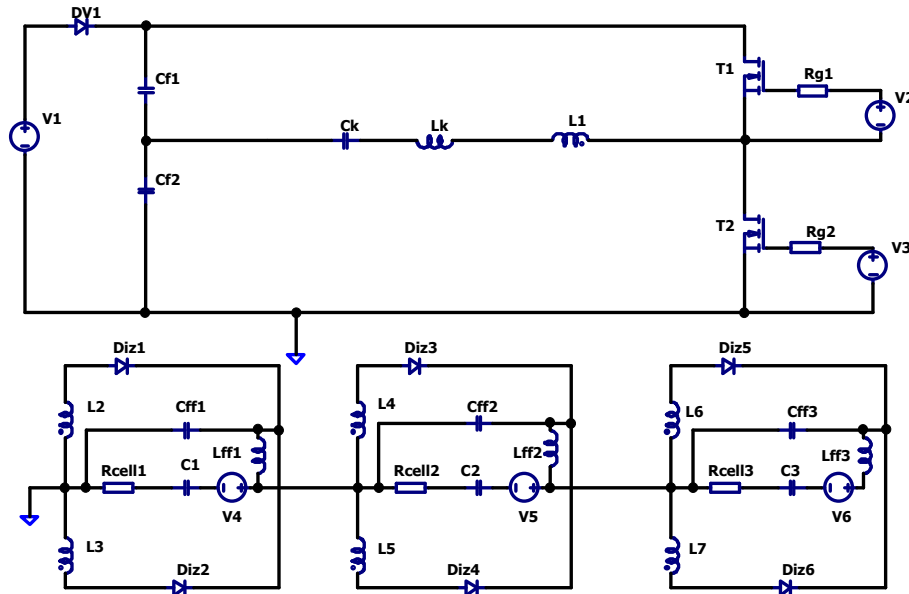
Схемата е подробно описана в [5]. Предлаганата схема от фигура 1 съчетава предимствата на резонансен преобразувател и заряд с константен ток. CL – филтърът води до получаването на нови свойства на схемата, в сравнение с разгледаната по - горе.

CL – филтърът запазва високочестотността на схемата, защото, ако филтърът е LC, приведената еквивалентна филтрова индуктивност се сумира с резонансната, което означава схемата да работи на по – ниски честоти.

При провеждането на симулациите, батерията е представена с нейната еквивалентна схема, като капацитетите на кондензаторите са силно занижени,

за постигане на по – малки симулационни времена. Чрез източниците от V_4 до V_6 се имитира различно начално напрежение на отделните клетки.

Избраните за симулацията модели на транзистори (T_1 и T_2) са с вградени обратни диоди.

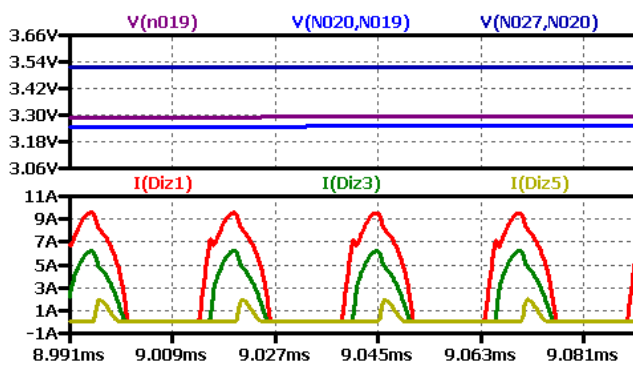


Фиг.1. Схема на РИОД с CL - филтър

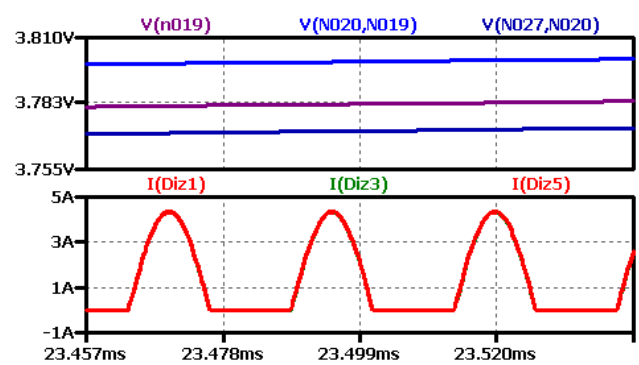
2.1 Симулационни изследвания на схемата.

За схемата от фигура 1 са проведени симулационни изследвания в процеса на заряд на отделните клетки.

На фигури 2 и 3 са показани времедиagramите на токовете и напреженията, в схемата на изправителя, за два различни момента от режима на заряд.



Фиг.2. Токове и напрежения в изправителната верига



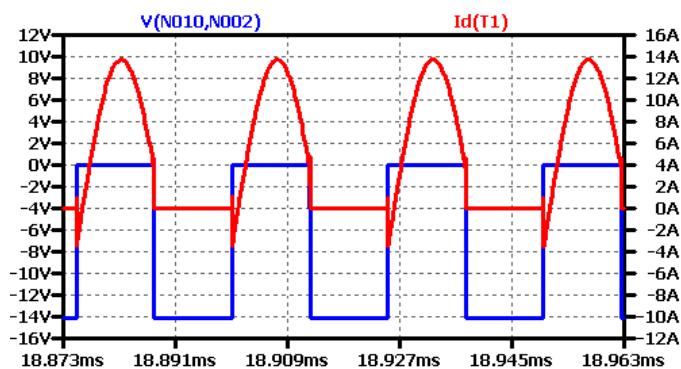
Фиг.3. Токове и напрежения в изправителната верига

На фигура 2 са показани токовете и напреженията в схемата на изправителя в момента на заряд, преди напреженията върху отделните клетки да се изравнят. Показани са напреженията върху отделните клетки: $V(n019)$ – напрежение върху клетка №1; $V(N020,N019)$ – напрежение върху клетка №2 и $V(N027, N020)$ – напрежение върху клетка №3. Както се вижда, напреженията върху отделните клетки не са изравнени.

Също така са представени токовете през отделните изправителни диоди на трите изправителя. $I(Diz1)$ – ток през диод на първият изправител; $I(Diz3)$ – ток през диод на вторият изправител и $I(Diz5)$ – ток през диод на третият изправител. Поради различните напрежения, до които се заредени отделните клетки, токовете през диодите са с различна стойност. През клетка 1 токът е най – голям, след това е токът през клетка 2, токът през клетка 3 е най – малък. Изкривяванията на формата на тока през диодите спрямо тока през първичната намотка на трансформатора, се дължи на различните моменти на включването на диодите. Моментите на включванията зависят от моментите, в които напреженията се изравняват.

На фигура 3 са показани времедиаграмите на токовете и напреженията като на фигура 2, но в различен етап от процеса на заряд – когато напреженията върху отделните клетки са вече изравнени. Това се потвърждава и от времедиаграмите. Тъй като напреженията са изравнени токовете също са изравнени. Вижда се, че изкривяваният в диаграмата липсват, защото трите напрежения са изравнени и диодите се отпушват едновременно за трите звена.

На фигура 4 е показано напрежението върху транзисторът T_1 - $V(N010, N002)$, токът през него и вграденият му обратен диод $I_d(T1)$.



Фиг.4. Токове и напрежения за транзистор T_1

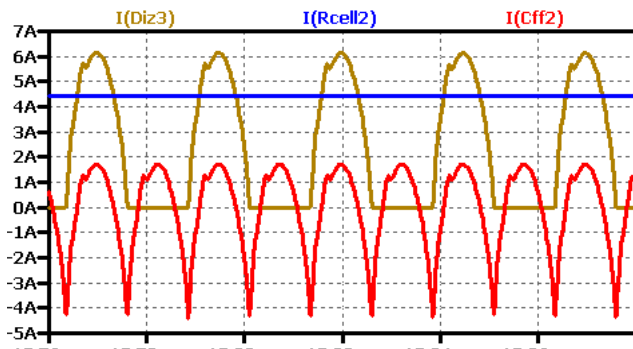
Тук транзисторът се включва при нулево напрежение и нулев ток, и може да се изключи при нулево напрежение.

На фигури 5 и 6 са показани времедиаграмите на токовете през изправителния диод, клетката и филтровият кондензатор.

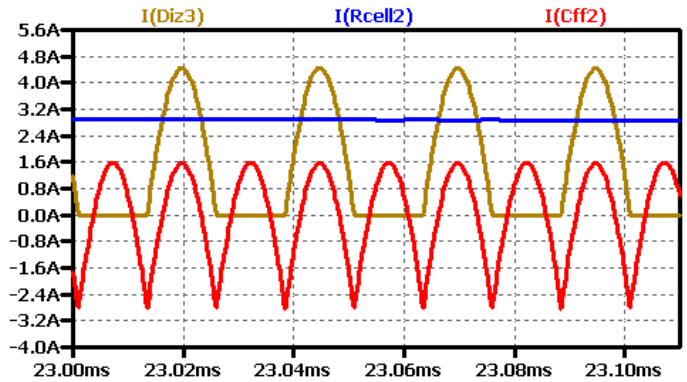
$I(Diz3)$ – ток през изправителен диод D_{iz3} , $I(Rcell2)$ – ток през клетка №2, $I(Cff2)$ – ток през филтровият кондензатор C_{ff2} .

На фигура 5 са показани токовете в началото на режима на заряд. Токът през клетката се вижда, че е константен. Токът през филтровият кондензатор е сумата от токовете през двата изправителни диода и през него минава променливата съставка на тези токове.

На фигура 6 са показани същите токове, но в момент, когато напреженията са се изравнили. Тук зарядният ток вече намалява, но остава изгладен.



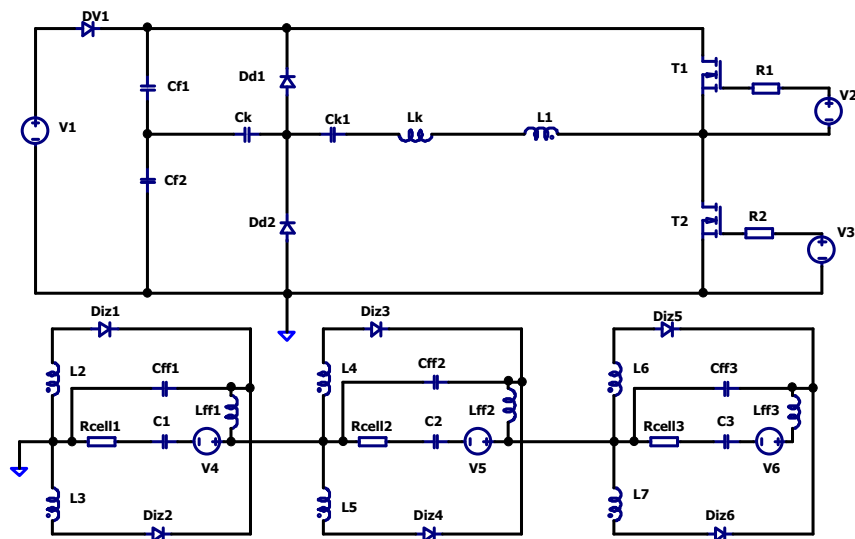
Фиг.5. Токове през диод, клетка и филтров кондензатор



Фиг.6. Токове през диод, клетка и филтров кондензатор

3. СХЕМА ЗА ЗАРЯД НА ПОСЛЕДОВАТЕЛНО СВЪРЗАНИ ЕСЕ, БАЗИРАНА НА РЕЗОНАНСЕН ИВЕРТОР С ОБРАТНИ ДИОДИ С ОГРАНИЧЕНИЕ НА НАПРЕЖЕНИЕТО ВЪРХУ КОМУТИРАЩ КОНДЕНЗАТОР.

На фигура 7 е показана симулационната схема на Резонансен Инвертор с Обратни Диоди с Ограничение на Напрежението върху Комутиращият Кондензатор (РИОДОНКК).



Фиг.7. Схема на РИОДОНКК с CL - филтър

Високочестотният трансформатор е съставен от една първична намотка (L_1) и шест вторични намотки (от L_2 до L_7).

Схемата е подробно описана в [6]. Предлаганата схема от фигура 7 съчетава предимствата на резонансен преобразувател и заряд с константен ток. CL – филтърът води до получаването на нови свойства на схемата, аналогични на коментираните по - горе.

3.1 Симулационни изследвания.

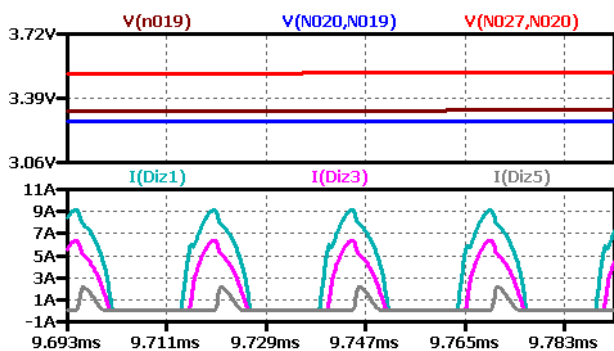
На фигури 8 и 9 са показани времедиаграмите на токовете и напрежения в схемата на изправителя, в различни моменти от режима на заряд.

$V(n019)$ – напрежението върху клетка №1; $V(N020,N019)$ – напрежението върху клетка №2 и $V(N027, N020)$ – напрежението върху клетка №3.

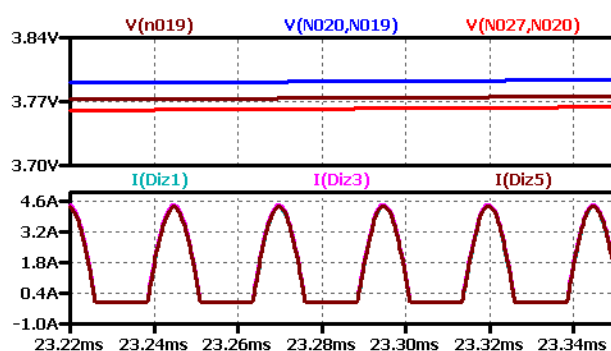
$I(Diz1)$ – ток през диод на първият изправител; $I(Diz3)$ – ток през диод на вторият изправител и $I(Diz5)$ – ток през диод на третият изправител.

На фигура 8 са показани токовете и напреженията в схемата на изправителя в момента на заряд, преди напреженията върху отделните клетки да се изравнят. Резултати са аналогични на тези от схемата за заряд с РИОД.

На фигура 9 са показани същите токове и напрежения, както от фигура 8, но в следващ етап от процеса на заряд. Вижда се, че напреженията върху отделните клетки са изравнени. И тук симулационните резултати са аналогични с тези от фигура 3.

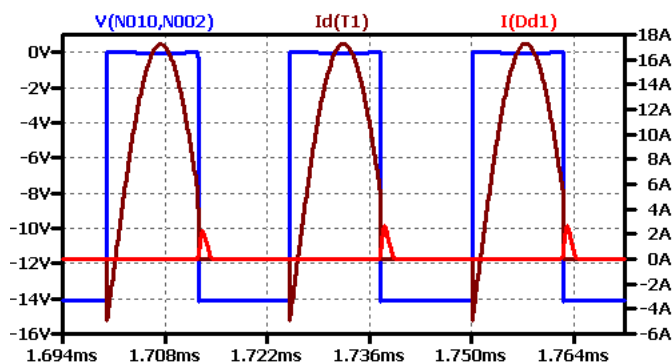


Фиг.8. Токове и напрежения в изправителната верига



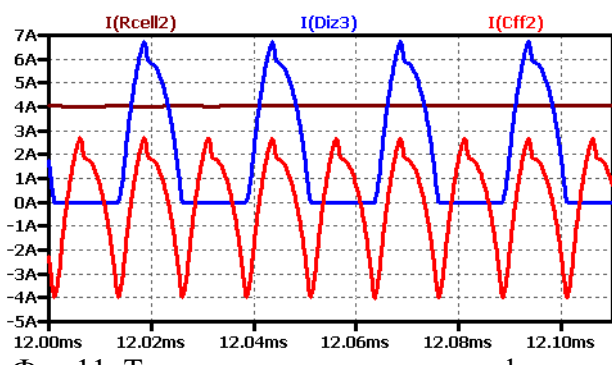
Фиг.9. Токове и напрежения в изправителната верига

С $V(N010, N002)$ е представено напрежението върху транзистора T_1 , $I_d(T1)$ е токът през транзисторът и обратният му диод, $I(Dd1)$ – ток през ограничителният диод D_{d1} . При тази схема транзисторът се включва при нулево напрежение и нулев ток, и се изключва при не нулев ток.

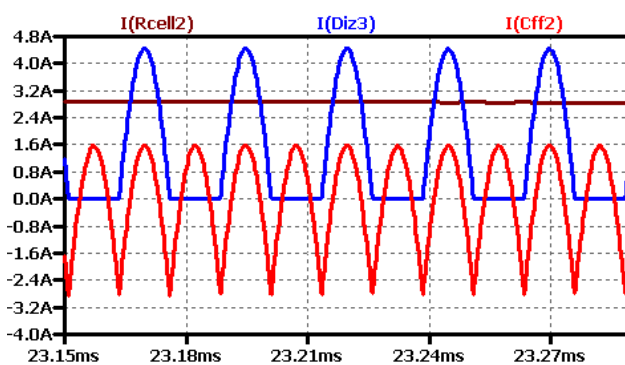


Фиг.10. Токове и напрежения за транзистор T_1 и ток през ограничителен диод

На фигури 11 и 12 са показани времедиаграмите на токовете през един изправителен диод, клетка № 2 и филтровият кондензатор.



Фиг.11. Токове през диод, клетка и филтров кондензатор



Фиг.12. Токове през диод, клетка и филтров кондензатор

4. ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ИЗСЛЕДВАНИТЕ СХЕМИ.

На базата на симулационните изследвания са построени характеристиките за максимална стойност на тока през транзистора (фигури 12 и 13) и средна стойност на консумираният ток (фигури 14 и 15), които са в относителни единици. Характеристиките са дадени при изменение на напрежението върху клетките, в процеса на заряд на двете схеми. Построени са, като получените резултати от симулационните изследвания, са отнесени към параметъра I_{sh}

$$I'_{Tmax} = \frac{I_{Tmax}}{I_{sh}}, \quad I'_{V1} = \frac{I_{V1}}{I_{sh}} \quad (1)$$

където

$$I_{sh} = fC_k U_d, \quad (2)$$

като f е честотата на управление, C_k е стойността на комутиращият кондензатор, а U_d е захранващото напрежение на схемата.



Фиг.12. Максимална стойност на тока през T_1 , при РИОДОНКК

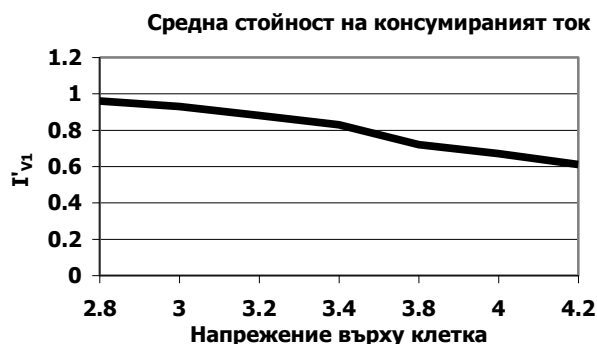


Фиг.13. Максимална стойност на тока през T_1 , при РИОД

Чрез характеристиките от фигури 12 и 13 можем да видим границите на изменението на максималният ток през транзистора в процеса на заряд на клетките.

Фигура 14 се отнася за РИОДОНКК, а фигура 15 се отнася за РИОД. От характеристиките можем да заключим, че при схемата РИОДОНКК

консумираният ток е почти константен, което е едно от предимствата на схемата.



Фиг.14. Средна стойност на консумираният ток



Фиг.15. Средна стойност на консумираният ток

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Направено е симулационно изследване и сравнение между характеристики на РИОД и РИОДОНКК при зареждане на ЕСЕ.

Добавянето на СL – филтър във веригата на изправителите на двете разгледани схеми води до получаването на заряд с константен ток на ЕСЕ.

Добавянето на СL – филтър не води до промяна в принципа на работа на РИОД и РИОДОНКК, спрямо същите без използването му.

Построените характеристики могат да се използват за оценка на качествата на схемата. Характеристиките за максималният ток през транзистора T_1 могат да се използват при подбора на транзисторите и оразмеряването на елементите в схемата.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Andrea D., "Battery Management Systems for Large Lithium – Ion Battery Packs", Artech House 2010, ISBN-13 978-60807-104-3, 2010
- [2] Nasser H. Kutkut, Deepakraj M. Divan, Donald W. Novotny, "Charge Equalization for Series Connected Battery Strings", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS. VOL. 31, NO. 3. MAY/JUNE 1995, pp 562 – 568.
- [3] Raghu Raman S, X.D. Xue, K.W.E Cheng, "Review of Charge Equalization Schemes for Li-ion Battery and Super-Capacitor Energy Storage Systems", 2014 International Conference on Advances in Electronics, Computers and Communications (ICAEECC), 2014
- [4] Rahn Christopher D., Chao-Yang Wang, "Battery Systems Engineering", John Wiley & Sons, Ltd, 2013, ISBN: 9781119979500
- [5] Димитър Арнаудов, Николай Хинов и Иван Недялков, "Изследване на схема за заряд и изравняване на напреженията върху последователно свързани елементи за съхранение на енергия", Национален форум "Електроника 2015", 14 - 15 май 2015 г., Национален дом на науката и техниката, Сборник доклади стр. 139 - 146, ISSN 1314 - 8605
- [6] Димитър Арнаудов, Николай Хинов и Иван Недялков, "Изследване на схема с ограничение върху комутиращите елементи за заряд на последователно свързани елементи за съхранение на енергия", Национален форум "Електроника 2015", 14 - 15 май 2015 г., Национален дом на науката и техниката, Сборник доклади стр. 147 - 153, ISSN 1314 - 8605.