

# МЕТОД ЗА ОЦЕНКА НА КОНСУМАЦИЯТА НА ЕЛЕКТРОБУС ЧРЕЗ ТОВАРОВ ПРОФИЛ НА ЗАРЯДНИТЕ СТАНЦИИ

*Георги Милушев<sup>1)</sup>, Камелия Кирилова<sup>2)</sup>, Калоян Станев<sup>3)</sup>*

<sup>1)</sup> ТУ-София, Факултет Автоматика,  
Катедра „Електроизмервателна техника“, гр. София, бул. “Климент Охридски” 8,  
*gm@tu-sofia.bg*

<sup>2)</sup> ТУ-София, Факултет Автоматика,  
Катедра „Електроизмервателна техника“, гр. София, бул. “Климент Охридски” 8,  
*kame\_to@abv.bg*

<sup>3)</sup> ТУ-София, Факултет Автоматика,  
Катедра „Електроизмервателна техника“, гр. София, бул. “Климент Охридски” 8,  
*kaloqn.stanev@yahoo.com*

*Резюме:* Представен е метод за оценка и контрол на консумираната енергия от електробус на крайните станции по фиксиран маршрут. Методът включва измерване на енергийна консумация и регистрация на напрежения, токове, мощности и товари профили. В табличен вид са представени получените резултати от направените контролни измервания за сравнение с декларираните данни от производителя.

*Ключови думи:* анализ, енергия, измерване, контрол

## 1. Въведение

Стремежът към по-голяма ефективност на превозните средства стимулира развитието на енергоносители и устройства, акумулиращи енергия. Електрическите и хибридните модели имат голямо бъдеще при оптимизиране на електро-енергоносителите по отношение на срок на експлоатация, надеждност, ефективност и габарити. Двуслойните кондензатори (EDLC) отговарят в най-голяма степен на тези изисквания. Те намират приложение най-често в трамваи, влакове, автобуси, както и в много други превозни средства. Обикновено имат коефициент на полезно действие над 95 %, като енергийната им плътност е многократно по-голяма в сравнение с тази на конвенционалните кондензатори. Срокът им на експлоатация достига до 10 години при изключителна стабилност на цикъла с възможност за милиони пъти зареждане и разреждане. Нечувствителни са към презареждане и което е особено важно, към голямо разреждане. Могат да акумулират и да отдават голямо количество енергия за няколко секунди. Те работят в широк температурен диапазон (от -40 до +85°C), изключително здрави са и на практика не се нуждаят от техническо обслужване. Биват наричани още супер-кондензатори, ултра-кондензатори, Green Cap и т.н.

Супер-кондензаторите (фиг.1) са много по-леки и по-компактни в сравнение с акумулатори с подобна енергия. В същото време са и много

по-устойчиви на механични въздействия. По-настоящем се предлагат „plug and play” модули с които разработчика си спестява необходимостта от изграждане на собствени решения за балансиране, следене на напрежението и температурата, а така също и за охлаждане, тъй като те са вградени от производителя в модулите. [1]



*Фиг.1. Супер-кондензаторен модул Aowei за транспортни приложения с капацитет 780 F, със самостоятелно следене параметрите на всяка клетка [3]*

## 2. Изследван обект - електробус HIGER, модел KLQ6125GEV3

Предмет на изследване, с оглед на съответствие с декларираните енергийни характеристики е електробус HIGER, показан на фиг. 2.

Техническото описание на изследвания електробус Higer, дадено от фирмата производител е показано в таблица 1.



Фиг. 2 Електробус HIGER на сп. Сточна гара в София

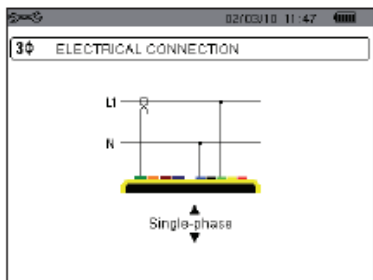
### 3. Метод за изследване, оценка и контрол на консумацията.

Измерванията са извършени чрез отчитане на консумираната енергия от електробус между две станции, за четири курса по зададен маршрут състоящ се от двадесет и две спирки. На всяка начална и крайна станция се отчита изминатият пробег от превозното средство, консумираната енергия, среден разход, както и температура и влажност на въздуха. На всяка една спирка по маршрута се отбелязват брой слизащи и качващи се пътници. Контролират се постоянни напрежения, постоянни токове, постоянни мощности и енергии.

Таблица 1. Описание на автобуса

Описание на автобуса	
Европейски сертификат за типово съответствие (за цяло превозно средство), RDW Холандия	Европейското типово одобрение № e4*2007/46*0841*00
Основен тягов агрегат	Два броя асинхронни електромотори SIEMENS, по 67 kW всеки, куплирани към обединяващ редуктор
Контролер на основния тягов агрегат	система Siemens ELFA
Обединяващ редуктор	Производител-ZF (Германия) /предавателно число - 4.05
Инвертори за управление на електромоторите	SIEMENS A5E00468614
Максимален въртящ момент	430x2 Nm
Габаритни размери дълж./шир./вис.	12 000x2 550x3 680 mm
Тегло нето (без пътници)	12 540 kg
Максимално допустимо тегло (натоварен с пътници)	18 000 kg
Натоварване по оси (празен) предна / задна	3 780 / 8 760 kg
Оси и спирачни апарати	ZF (Германия)
Джанти / гуми	Алуминиеви / Michelin 275/70R22.5
Спирачна система	Пневматична, двукръгова, с електронно управление, WABCO
Окачване	Пневматично, с електронно управление, WABCO
Климатик	Thermo King E-Aircon (26kW)
Отопление	WEBASTO Spheros E320 (32kW)
Пътници	
Брой седалки места (без водача)	27+2
Брой правостоящи места (макс. допустим)	53
Разход на енергия на електробуса	
Минимален разход на енергия с включен климатик	0,54 kWh/km
Максимален разход на енергия с включен климатик	1,16 kWh/km
Среднодневен разход на енергия с включен климатик	0,95 kWh/km
Ултракондензатор	
Ултракондензатор / модел	Aowei / MUCK585V92000 със самостоятелно следене параметрите на всяка клетка
Капацитет	20kWh / 780F
Размери дълж. / шир. / вис.	1 370x1 000x930 mm
Тегло	?1 000 kg
Гаранционен период, даден от производителя	8 години
Начин на зареждане – специализирани зарядни станции	600V DC или 380V AC вход; 600V стабилизирани DC, безстепенно регулируем изход

Измерванията са извършени с калибрирана апаратура – енергоанализатори С.А 8335, с постояннотокowi клещи от типа PAC 93 с токов обхват до 1400 А. Регистриран е всеки отделен заряден процес на крайните спирки. По този начин се обхваща консумацията за средния пробег за маршрута, вкл. рекуперацията, пасажерния поток, допълнителната консумация за климатизиране. Загубите в зарядните станции не се отчитат. Начинът на присъединяване на изхода на зарядните станции по напрежение и ток е представен на фигура 3.



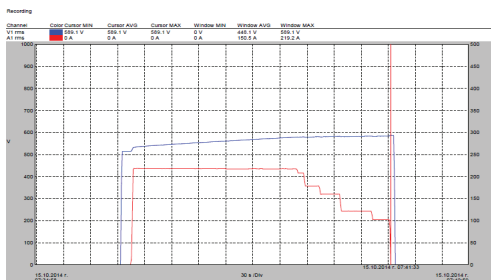
Фиг.3. Начин на присъединяване на изхода на зарядни станции [2]

#### 4. Резултати от измерванията

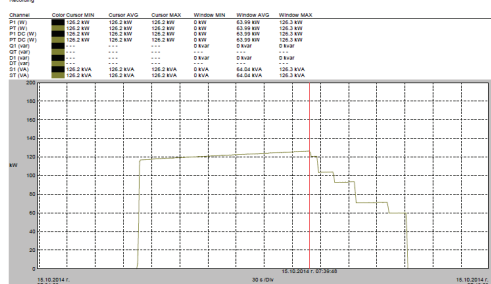
Първоначалната консумация (начален заряд) до ниво определено от автоматичното разкомутиране на контактното поле на електробуса е показана в таблица 2.

На фиг. 4 и 5 са показани графиките на началния заряден процес съответно по ток, напрежение и мощност. Оценени са максималните стойности на напреженията и мощностите за съответния заряден цикъл. Ясно се наблюдават лимитирането на зарядния ток и изключването на групи от кондензатора в края на заряда.

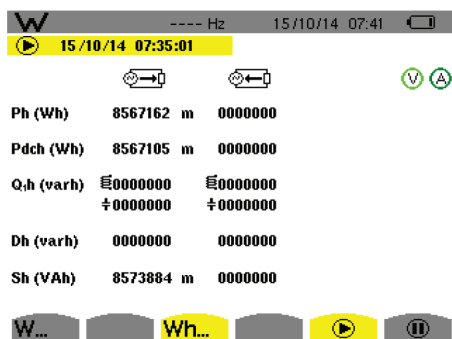
Регистрацията на прехвърлената енергия към електробуса се извършва директно от апаратурата в съответствие с коефициентите на преобразуване на токовите сонди за всеки заряден цикъл поотделно – фиг 6.



Фиг.4. Начален заряден процес: постоянен ток и постоянно напрежение



Фиг.5. Начален заряден процес: мощност при постоянен ток и напрежение



Фиг.6. Начален заряден процес: регистрирана стойност на прехвърлената енергия

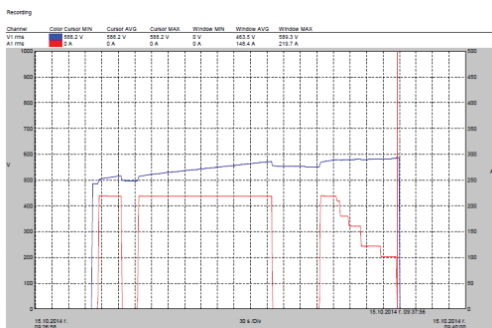
Таблица 2.

Зарядна станция	Начало на заряда	Край на заряда	Енергия, kWh DC	Пробег, km	Среден разход, kWh/km
Депо „Дружба“	07:36:34 ч.	07:41:37 ч.	8,567105	0	-

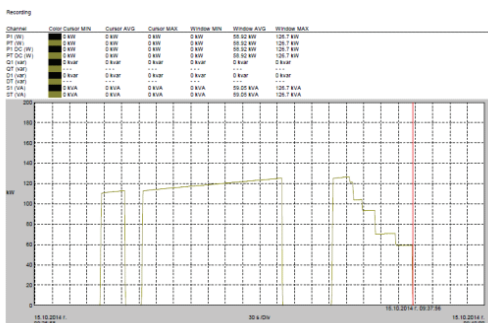
Таблица 3.

Зарядна станция	Начало на заряда	Край на заряда	Енергия, kWh DC	Пробег, km	Среден разход, kWh/km
Депо „Дружба“	09:28:42 ч.	09:38:00 ч.	12,815	11, 5643	1,10815181

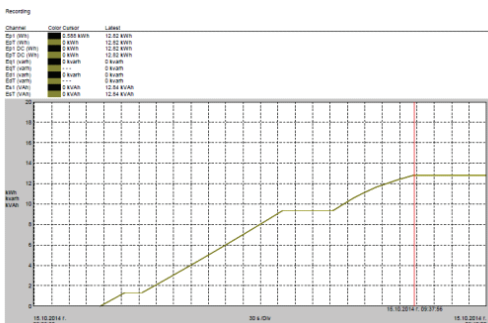
Следващата група от таблица 3 и фигури 7, 8, 9 и 10 представя типов заряден процес при който следствие на външни смущения – пренапрежения от рекуперацията на тролейбуси в контактната мрежа в близост до зарядните станции се получава защитно изключване и последващо включване на заряда. Отново автоматичното разкомутиране на контактното поле определя прехвърлената енергия (таблица 3).



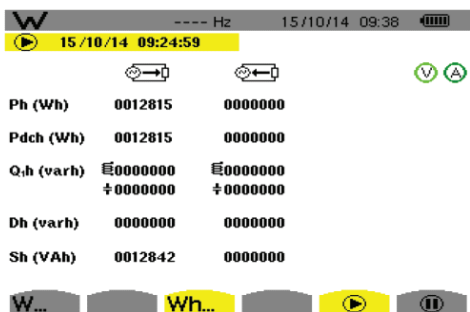
Фиг. 7. Заряден процес №2: ток и напрежение.



Фиг. 8. Заряден процес №2: товарен профил на мощността PDC



Фиг. 9. Заряден процес №2: енергиен профил



Фиг. 10. Заряден процес №2: регистрирана стойност на прехвърлената енергия

## 5. Обобщение на резултата за средната консумация от четирите курса

Резултатите за средна консумация на електробуса от четири курса са представени в табл. 4.

Разликите в консумацията между различните курсове се определя не от незначителните разлики в пробег, а от различните режими на натоварване между спирките и климатизирането на кабината.

## 5. Изводи

Обобщеният резултат за дневната консумация, както и възпроизводимостта на резултатите между курсовете проведени при относително сходни условия потвърждава състоятелността на приложния метод за оценка на енергийната консумация на базата на прехвърлената енергия от зарядните станции.

Методът е приложим за оценка на разхода за всички електрически превозни средства, работещи със собствен зареждаем източник, при доказана представителност на дневния пробег.

Регистрираните и онагледени товарни профили могат да се ползват за аналитични нужди при диагностиката на подвижния състав и зарядните станции, както и за настройка на защитните съоръжения.

## 6. Литература

- [1] „Инженеринг ревю“, брой 8, 2014 г., ISSN 1311-0470
- [2] Operating Manual C.A. 8335, France, 2009
- [3] [www.ecars.bg/blogs/elektromobili-1/618-elektrobust-ultrakondenzatori-sofia](http://www.ecars.bg/blogs/elektromobili-1/618-elektrobust-ultrakondenzatori-sofia)

Таблица 4.

	Депо "Дружба" - Сточна Гара	Зяряд	Среден разход	Сточна Гара - Депо "Дружба"	Зяряд	Среден разход	Среден разход за курса
	[m]	kWh, DC	kWh/km	[m]	kWh, DC	kWh/km	kWh/km
I - курс	10705,93	11,347	1,059879898	11564,30	12,815	1,10815181	1,08494614
II - курс	10636,57	10,626	0,999006259	11237,57	13,218	1,17623294	1,09005428
III - курс	10744,65	12,679	1,180029131	11518,28	14,469	1,25617714	1,21942619
IV - курс	10687,75	15,359	1,437065800	11498,31	18,196	1,58249343	1,51243619
						Средна консумация от всички курсове	<b>1,22705584</b>

Общ пробег, km	Обща консумация, kWh
88,59336	108,709

### Данни за авторите:

**Георги Милушев**, доц. д-р инж. Факултет Автоматика, катедра „Електроизмервателна техника“ Технически Университет – София. Научни интереси: измервания в енергетиката, контрол и оценка на съответствието в енергетиката, контрол на качеството на електрическата енергия.

**Камелия Кирилова**, докторант Факултет Автоматика, катедра „Електроизмервателна тех-

ника“ Технически Университет – София. Научни интереси: калибриране на работна измервателна апаратура, системи за управление на лаборатории и органи за контрол.

**Каляян Станев**, бакалавър инженер Факултет Автоматика, катедра „Електроизмервателна техника“ Технически Университет – София. Научни интереси: електрически измервания, измервания в енергетиката.

## METHOD FOR ASSESSMENT OF THE CONSUMPTION OF ELEKTROBUS USING LOAD PROFILE OF THE CHARGING STATIONS

*George Milushev 1), Kameliya Kirilova 2), Kaloyan Stanev 3)*

- 1) TU-Sofia, Faculty of Automation, Department Electrical Measurement, Sofia, 8 Kliment Ohridski blvd, *e-mail: gm@tu-sofia.bg*
- 2) TU-Sofia, Faculty of Automation, Department Electrical Measurement, Sofia, 8 Kliment Ohridski blvd, *e-mail: kame\_to@abv.bg*
- 3) TU-Sofia, Faculty of Automation, Department Electrical Measurement, Sofia, 8 Kliment Ohridski blvd, *e-mail: kaloqn.stanev@yahoo.com*

*Abstract:* A method for assessment and control of the electrical energy consumption of electrobus from the final charging stations of fixed route is presented. The method cover measurement of the electrical consumption, recording of voltages, currents and powers and load profiles. The results from the measurements are presented in a table for comparison with the declared by the producer specifications.

*Key-Words:* analysis, energy, measurement, control.

## References

[1] “Engineering Review”, ussue 8, 2014, ISSN 1311-0470  
[2] Operating Manual C.A. 8335, France, 2009

[3] [www.ecars.bg/blogs/elektromobili-1/618-  
elektrobus-ultrakondenzatori-sofia](http://www.ecars.bg/blogs/elektromobili-1/618-<br/>elektrobus-ultrakondenzatori-sofia)

# МЕТОД ОЦЕНКИ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОБУСА ПОСРЕДСТВОМ ПРОФИЛЯ НАГРУЗКИ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ

*Георги Милушев<sup>1)</sup>, Камелия Кирилова<sup>2)</sup>, Калоян Станев<sup>3)</sup>*

<sup>1)</sup> ТУ-София, Факультет Автоматики,  
Кафедра Электроизмерительной техники, г. София, буль. им. Климента Охридского 8,  
*gm@tu-sofia.bg*

<sup>2)</sup> ТУ-София, Факультет Автоматики,  
Кафедра Электроизмерительной техники, г. София, буль. им. Климента Охридского 8,  
*kame\_to@abv.bg*

<sup>3)</sup> ТУ-София, Факультет Автоматики,  
Кафедра Электроизмерительной техники, г. София, буль. им. Климента Охридского 8,  
*kaloqn.stanev@yahoo.com*

*Резюме:* Представлен метод оценки и контроля потребляемой энергии электробусом на конечных станциях по фиксированному маршруту. Метод включает измерение энергетического потребления и регистрацию напряжений, токов, мощностей и профилей нагрузок. В табличном виде представлены полученные результаты осуществленных контрольных измерений для сравнения с декларированными данными со стороны производителя.

*Ключевые слова:* анализ, энергия, измерение, контроль.