

ЗАМЕСТВАНЕ НА СУПЕРКОНДЕНЗАТОРА С МАХОВИК ПРИ ЕЛЕКТРОБУС

Мартин Димитров Златков, Петко Георгиев Костадинов

dj_marti79@mail.bg, petko_kostadinov@abv.bg

**ВТУ „ТодорКаблешков”
София, 1574, ул. "Гео Милев" 158
БЪЛГАРИЯ**

Ключови думи: *електробус, суперкондензатор, маховик, зарядна станция, натрупване, съхранение, запасяване, кинетична енергия, електродвигател, генератор, инерционен момент, спирка, тролейбус, контактна мрежа.*

Резюме: *В доклада е разгледана възможността да бъде заместен суперкондензатора на електробус, с маховик. Целта е чрез предварителни изчисления да бъде проверено до каква степен е възможно заместването на единия начин за натрупване на енергия с друг, съвсем различен. Търсенето на алтернативен начин за натрупване на енергия произлиза от факта, че в България нямаме технология за производство на суперкондензатори. Също така е под въпрос - високата първоначална инвестиция за суперкондензатор, ограничения му живот, последващата поддръжка, мощните специфични и скъпи зарядни станции на начална и крайна спирка дали са подобря вариант? Или предложената от авторите алтернатива, (въртящата се тежест с висока скорост) под шапката на на новите технологии – неодимови магнити, вакуум и IGBT транзистори.*

Дори и с определен компромис, възможността не бива да да бъде отхвърляна с лека ръка а трябва да бъде проверена. Натрупването на енергия да е не само на първа и последна спирка от линията а на всяка спирка, или светофар с налична стандартна тролейбусна контактна мрежа.

Увод

Преди няколко години по столичните булеварди бе пуснат в движение електрически автобус (електробус). Електробуса представлява електрическо превозно средство за обществен градски транспорт, захранвано от автономен енергиен източник – суперкондензатор. Първия електробус в София е и първия в Европа. В България не разполагаме с технология за производство на суперкондензатори. Високата им цена ни накарва да потърсим алтернативен начини за запасяване на енергия и да направим проверка дали заместването с кинетичен акумулатор – маховик може да се случи и при какви обстоятелства.

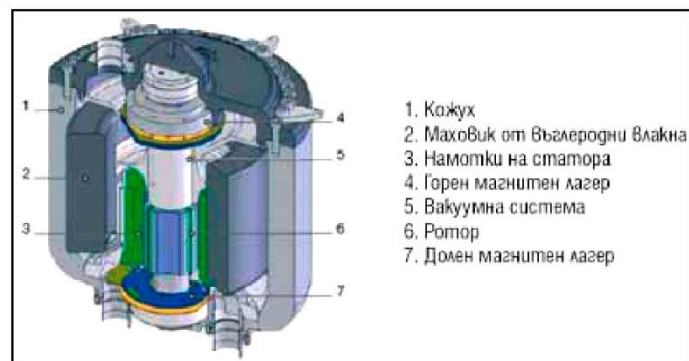
Идеята това да бъде проверено възникна поради следните обстоятелства:

- Суперкондензатора е скъп;

- Суперкондензатора има ограничен живот (около 30000 цикъла при настоящето разписание на електробуса около 10 години);
- Липсваща технология за производство на суперкондензатори в България;

1. Изложение.

Акумулирането на енергия в маховик за целия маршрут на един троейбус при условие че линията е 15-20km е трудно осъществимо. Акумулирането на енергия в маховик с цел изминаване на участък от две междуспиркови разстояния + запас още едно междуспирково разстояние е някакъв компромисен вариант. Също така възможността транспортното средство да бъде захранвано от тролейбусната контактна мрежа, а не от специализирана зарядна станция за електробус е едно голямо предимство на тази идея. Конструкция на механична система за акумулиране на енергия фиг.1. [3]. Натрупването на енергия може да става на всякъде където превозното средство се намира в състояние на престой (спирка, светофар, задръстване) неподвижно под стандартна тролейбусна контактна мрежа. Снемането на енергията трябва да стане със специален токоснемател който ще бъде разгледан в друг доклад.



Фиг.1. Маховик от въглеродни влакна.

2. Параметрите на електробуса като изходни данни за пресмятане на необходимия маховик

В процеса на експлоатация на тролейбусите Škoda 26Tr Solaris са правени анализи на изразходваната от тях енергия в следствие на което е достигнато до становище, че средния относителен разход на енергия не надхвърля - 2,80 kWh/km. [1]. Като вземем в предвид че средното разстояние между две тролейбусни спирки в София е около 0,92 км , то енергията необходима за такъв преход ще бъде 2,58 kWh, която е достатъчно малко за да бъде акумулирана, но малкото количество енергия налична в превозното средство създава предпоставки за така наречените „закъсвания”. За целта, за да бъде надеждно превозното средство смятаме че е необходимо запасената енергия да е достатъчна за преминаване на минимум две междуспиркови разстояния и допълнителен запас от трето междуспирково разстояние, като има и остатъчна енергия тоест маховика остава да се върти с някакви относително ниски обороти при които енергията на може да бъде усвоена. При тази ситуация необходимата енергия ще бъде:

$$(1) (\text{брой междуспиркови разстояния}) * 2,58 = (2+1)*2,58=7,7 \text{ [kWh]}$$

което е:

$$(2) (\text{енергия в kWh}) * 3600 = 7740 * 3600 = 27864000 \text{ J} = 27,8 \text{ [MJ]}$$

като не е взета в предвид енергията която ще се върне по време на рекуперация т.е. при kWh/km) ще увеличи надежността на превозното средство. Друго съществено предимство на такъв вид система е че не е необходимо да се съобразяваме с пренапрежението в контактната мрежа, което от своя страна ще доведе до увеличаване на относителна върната при рекуперация енергия, което от своя страна ще повиши енергийната ефективност на ЕТС. възможност за рекуперация (относителна върната в тяговата мрежа енергия – 0,40÷0,46

3. Параметри на механичния акумулатор.

Нека предположим че съществува възможността да вградим маховик в транспортното средство с формата на плътен цилиндър като диаметърът му е 700мм и можем безопасно да го развъртим със скорост от порядъка на $n= 10000$ оборота/минута В случай че при избраните параметри системата е достатъчно безопасна то запасената енергия в маховика може да бъде изчислена:

$$(3) \quad E = \frac{1}{2} * I * \omega^2 \quad [J]$$

Където:

E_k запасена енергия в маховика

ω е ъгловата скорост [rad/s]

I е инерционния момент на масите спрямо оста на въртене [$kg.m^2$]

Инерционния момент на плътен цилиндър е:

$$(4) \quad I_z = \frac{1}{2} * m * r^2 \quad [kg.m^2]$$

M маса на цилиндъра (маховика) [kg]

r радиус на цилиндъра [m]

Ъгловата скорост:

$$(5) \quad \omega = 2 * \pi * \frac{n}{60} = 2 * \pi * \frac{10000}{60} \approx 1047 \quad [rad/s]$$

Необходимия инерционния момент изведен от формула (3) е:

$$(6) \quad I = \frac{2 * E}{\omega^2} = \frac{2 * 28,82 * 10^6}{1047^2} = 52 \quad [kg.m^2]$$

От формула (4) за масата на цилиндъра получаваме:

$$(7) \quad m = \frac{2 * I_z}{r^2} = \frac{2 * 52}{(\frac{0,7}{2})^2} = 858 \quad [kg]$$

По различно е положението ако за база на разглежданията се вземе електробуса движещ се между спирките Веслец и Искър
Разхода на енергия на километър е 1,57 kWh/km [2].

С около 45% по нисък спрямо Škoda 26Tr Solaris

Необходима енергия за преход на две междуспиркови разстояния :

$$E = 3 * 0.92 * 1.57 = 4.33 \text{ kWh} \approx 15.59 \text{ MJ}$$

Необходимия инерционния момент по формула (4) е:

$$(8) \quad I = \frac{2 * E}{\omega^2} = \frac{2 * 15.59 * 10^6}{1047^2} = 28.46 \text{ [kg.m}^2\text{]}$$

От формула (7) за масата на цилиндъра получаваме:

$$(9) \quad m = \frac{2 * I_z}{r^2} = \frac{2 * 17.33}{\left(\frac{0.7}{2}\right)^2} = 464.66 \text{ [kg]}$$

Резултатът е много приемлив, но в следствие на занижената мощност на електробуса той разполага с малък ресурс от теглителна сила което би било съществен проблем при преодоляването на някои наклони които съществуват по тролейбусните линии. С цел избягването на такива проблеми е редно по нататъшните изчисления да се правят само с цел изграждане и вграждане на системата на тролейбусите с шаси и оборудване от типа на Škoda 26Tr Solaris.

От формула (7) получихме че необходимата маса на маховика е 858 килограма, но това е масата само на един ротор, който ще е обграден от статор с почти същата или по-голяма тежест нуждаещ се от не по-малко по обем електронно управление, като в крайна сметка този агрегат се нуждае от здраво и надеждно закрепване към превозното средство.

Приблизителната предполагаема обща маса на механичния акумулатор:

$$(10). \quad m_o = 4 * m = 4 * 858 = 3432 \text{ [kg]}$$

Голямата тежест на получения агрегат може да бъде намалена по три възможни начина:

- Чрез намаляване на пробегата по задание от три на две междуспиркови разстояния
- Чрез увеличаване на инерционния момент:
 - Увечаване диаметъра на маховика, което би довело до невъзможно монтирането на агрегата в превозното средство
 - Увеличаване максималните обороти на маховика

В случая е разгледан вариант с един един модул за акумулиране на енергия, но смятаме че правилната концепция е „разбиването“ на няколко по-малки двигател-маховика с което ще постигнем няколко съществени предимства

- Увеличаването броя на кинетичните акумулатори води до намаляване на единичното им тегло, което е единственото ограничение за максималните им обороти, от своя страна всяко удвояване на оборотите води до четирикратно увеличаване на натрупаната енергия в следствие на което се увеличава енергийната им плътност.
- Възможност за надграждане до необходимия капацитет с цел вграждането на такъв вид модули във всякакви ЕТС или изграждане на системи за непрекъсваемо захранване
- ремонтпригодност и гъвкавост при монтажа.

3. Изводи

От получените резултати става ясно, че сме близко до реалистичните стойности, но все пак не достатъчно за да е рентабилно реализирането на такъв тип транспортното средство поради което предаваме щафетата на на колегите от:

- катедри „Механика“ и „Транспортна техника“ с надеждата да предложат новаторско решение на шаси което да носи Повече на брой маховици без да се разваля пространствения комфорт на пътниците.
- катедри „Механика“ и „Транспортна техника“ с надеждата да предложат лагерно окачване които да позволят повишаване на оборотите на маховика.
- катедри „Механика“ и „Транспортна техника“ с надеждата, ако се стигне до някакъв окончателен вариант на акумулиращата система, да предложат съответен план за обслужването ѝ за период от 300 000 цикъла заряд-разряд, с цел да бъде направена икономическа оценка и сравнение на системата със същата такава изградена на базата на суперкондензатори.

От получените резултати стигахме до изводът, че този тип системи е по-рационално да се използват за кратковременно акумулиране на енергията по време на рекуперативно спиране, а след това запасената енергия да бъде употребена за последващо потегляне и ускорение, което ще доведе до елиминиране загубите в тяговата мрежа при преноса на енергия по време на рекуперация и увеличаване енергийната ефективност на ЕТС. По този начин ще бъде избегнато огромното електропотребление при ускорение и загубите от предизвикания пад на напрежение в тяговата мрежа. В следствие при спиране енергията ще бъде рекуперирана ако няма друго движещо се електро-транспортно средство на същия фидер, което да поеме енергията от рекуперация. Въпреки загубите, които ще възникнат при акумулирането по време на рекуперацията, ще бъдат елиминирани загубите от пренос в тяговата мрежа и пренапреженията довеждащи до изключване на защити а понякога и аварии.

Реализираната „саморекуперация“ е описана в доклад [4].

Литература:

[1]. Анализ на ефективността на рекуперативните спиращи системи на тролейбуси Škoda Solaris в реални експлоатационни условия <http://www.mtc-aj.com/library/1380.pdf>

[2]. Експериментално изследване на енергийните показатели на експлоатирания в град София електробус <http://www.mtc-aj.com/library/1252.pdf>

[3]. Оптимизиране системите за непрекъсваемо захранване. <http://www.engineering-review.bg/bg/optimizirane-sistemite-za-neprekasvaemo-zahranvane/2/889/>

[4]. Доклад „Запасяване на енергия при транспортните средства“ представен на конференция на 2016.09.30 град Банско

REPLACEMENT SUPERCAPACITORS WITH FLYWHEEL IN ELECTRIC BUS

Petko Kostadinov, Martin Zlatkov
petko__kostadinov@abv.bg, dj_marti79@mail.bg

*Todor Kableshkov University of Transport, Sofia, 1574, ul. „Geo Milev“ 158
BULGARIA*

Key words: *elektrobus, supercapacitor, flywheel, charging station, accumulation, storage, stockpiling, kinetic energy, electric motor, generator, moment of inertia, stop, trolleybus, contact network.*

Abstract: *The report examined the possibility of being replaced supercapacitors of electric bus with flywheel. Their objective is to preliminary calculations to verify the extent possible replacement of one way of accumulating energy to another, quite different. Demand for alternative energy storage derived from the fact that Bulgaria has no technology to produce supercapacitors. It is also questionable – high initial investment for supercapacitor, its limited life, subsequent maintenance, powerful and expensive special charging stations at start and end station whether a better option? Or suggested by the authors alternative, known to us for centuries (the rotating weight at high speed) under the umbrella of the new technologies – neodymium magnets, vacuum and IGBT transistors. Even with certain compromise, the possibility should not be rejected lightly and should be checked. The accumulation of energy is not only the first and last stop on the line and at every stop or traffic lights available with a standard trolley bus catenary.*