

## **ИЗСЛЕДВАНЕ РЕЖИМИТЕ НА РАБОТА НА ТРОЛЕЙБУС MAN С МОДЕРНИЗИРАН БЛОК ЗА УПРАВЛЕНИЕ**

**Любомир Секулов**

[res\\_start@abv.bg](mailto:res_start@abv.bg)

**ВТУ „Тодор Каблешков” – София  
ул. „Гео Милев” 158, София 1574  
БЪЛГАРИЯ**

**Ключови думи:** градски наземен електрически транспорт, електрически транспортни средства, тролейбус, микропроцесорно управление

**Резюме:** Известно е, че значителен процент от електрическите транспортни средства (ЕТС), експлоатирани в градския наземен електрически транспорт са с постояннотоково електрозадвижване (ПЕЗ) и импулсно регулиране на основните режими на работа (тягов и спирачен). Продължителната експлоатация на возилата, неефективната поддръжка и остарялата технология са причини за честни откази в системата за управление и защита, което намалява надеждността и енергийната ефективност на електрическия транспорт.

На базата на проведено експериментално изследване на тролейбуса в реални пътни условия са заснети основните силови и управляващи параметри при движение и спиране на тролейбуса, и на тази база са установени основните алгоритми на управление на съществуващия блок. Резултатите от това изследване са използвани като начални условия при съставяне на заданието за проектиране на модернизирания блок за управление. Материалите по разработката на новото изделие са публикувани на предишни международни форуми

Въз основа на договор със „Столичен електротранспорт” ЕАД е проектиран нов микропроцесорен блок за управление на тролейбус MAN, експлоатиран от тролейбусно депо „Искър” - град София, с нов алгоритъм на управление в спирачен режим. Основните причини за направената модернизация са ниската степен на надеждност и свързаните с това честни откази при експлоатация на оригиналния блок за управление.

### **1. Увод**

Силовата схема на модернизирания тролейбус MAN представлява импулсен регулатор, реализиран с двуоперационни тиристори от типа GTO, свързани по специфична схема, осъществяваща регулиране на напрежението и тока на тяговия двигател по конкретно зададен алгоритъм в тягов и спирачен режим. Конкретният алгоритъм на управление на силовите тиристори се осъществява от електронен блок за управление в зависимост от конкретното задание и параметрите на движение. Блокът за управление посредством ШИМ реализира два основни режима на работа на тролейбуса – тягов и електрическо спиране. Съществуващата система реализира импулсно

управление на силовите тиристори от типа GTO в тягов режим по зададен алгоритъм, като спирачният режим може да бъде рекуперативен или реостатен, в зависимост от конкретните условия и параметри създадени в тяговата контактна мрежа при спиране.

В настоящия доклад са показани част от резултатите получени при проведените експериментални изследвания на тролейбуса на линия след модернизацията. Изследвани са основните параметри и устойчивостта на управление на тролейбуса в двата режима на работа – тяга и електрическо спиране. Изследванията показват стабилна и значително по-ефективна работа на тролейбуса във всички режими. Блокът за управление (БУ) е проектиран, изработен и въведен в редовна експлоатация на два тролейбуса от 1 година.

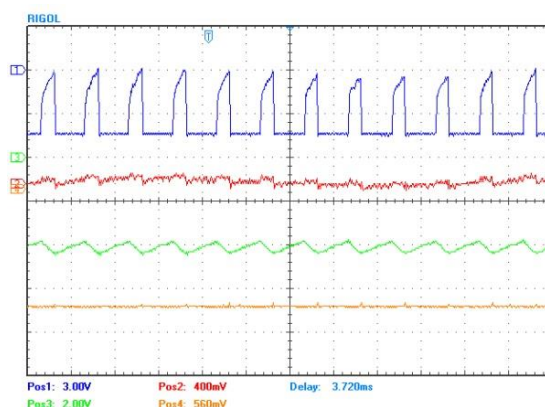
## 2. Устройство и основни функции на оригиналния блок за управление

При измерванията направени в режим на движение и спиране в градски условия с оригиналния блок за управление бяха установени алгоритмите на управление на силовите прибори. Алгоритъмът на управление е заложен от фирмата производител в условия и време, което е различно от сегашното, предвид развитието на технологиите в областта на микропроцесорната техника. Оригиналният блок за управление е съставен от четири различни по своята функционалност платки, контактуващи помежду си чрез общи шини, към които се присъединяват електромеханично чрез моногоредови и многопинови букси. Самите платки са многослойни, на две нива, което ги прави, много трудни за ремонт и обслужване и с ниска надеждност. Технологиата на производство тогава е била на ниво 8 битови, 1 MHz микропроцесори от серията 68XX без вътрешна и енергонезависима памет. Външната памет на микропроцесорите се поддържа от допълнителна NiCd акумулаторна батерия.

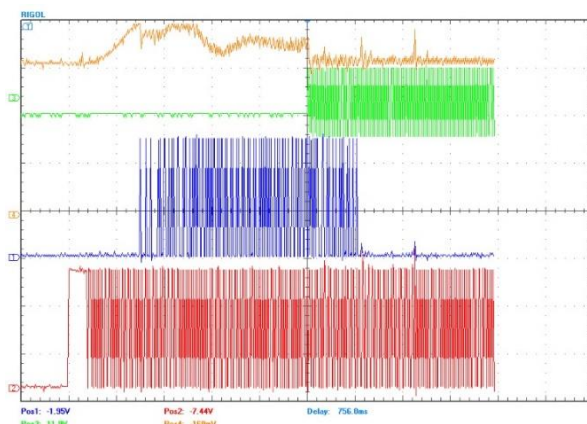
БУ за управление е със собствено галванично разделено от акумулаторът на тролея захранване, което осигурява стабилизирано захранване на микропроцесорите, паметите и периферните входно-изходни устройства.

Всички управляващи сигнали за тяга и спиране се формират от БУ, като те са съответно за управление на тяговия тиристор THF по оптичния кабел A1, за управление на тиристора THB за електрическо спиране (реостатно или рекуперативно) по оптичен изход A2, за управление на реостатно спиране на тиристор ТВ чрез изход A3. Оптичните сигнали постъпват в отделни драйвери за управление на всеки GTO тиристор по отделно. Управляващите сигнали за тиристорите за рекуперация T<sub>r</sub> не са оптични и управляват тиристорите през разделителни трансформатори.

На фигури 1 и 2 са показани формите на управляващите сигнали на отделните тиристори в режими на тяга и електрическо спиране на оригиналния блок за управление.



Фиг. 1. Осцилограма (тяга) импулси за управление на THF (CH1-син), THB (CH2-червен), I<sub>a</sub> тягов ток (CH3-зелен) и I<sub>o</sub> възбудителен ток(CH4-оранжев) на оригиналния БУ



**Фиг. 2. Осцилограма (спиране) импулси за управление на ТВ ( CH1-син), ТНВ (CH2-червен), Т<sub>c</sub> (CH3-зелен) и U<sub>ce</sub> напрежение филтър (CH4-оранжев) на оригиналния БУ**

Получената информация от предварителните контролни измервания на всички силови и управляващи сигнали на тролейбуса във всички възможни режими на работа са използвани за съставяне на алгоритъма за управление и асемблиране на хардуера на модернизирания блок за управление. Създаденото ново изделие първоначално беше монтирано на тролейбус MAN с инвентарен номер 1802, с който бяха проведени контролни изпитания на стенд и в реални пътни условия по конкретно задание.

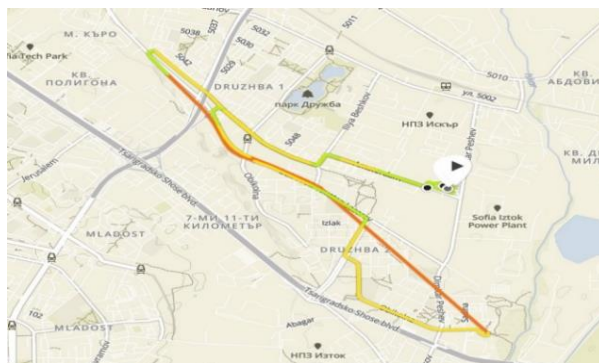
### **3. Основни резултати от проведените контролни изпитания на модернизиран БУ за тролейбус MAN в реални пътни условия**

След извършените контролни измервания на съществуващия блок за управление и заснемането на всички входно изходни сигнали, както беше споменато по-горе, се определи алгоритъмът на управление в основните режими на работа на тролейбуса. Беше създаден симулационен модел на MATLAB, като в него бяха заложени параметрите на оригиналните силови елементи, както и тези установени от експерименталните изследвания. След направените симулации на основните режими на работа на схемата бяха постигнати същите резултати, както при измерванията.

На тази база се проектира нов блок, като се използва съвременното ниво на микропроцесорната техника. Съществуващите платки бяха заменени с една платка, изпълнена с микропроцесорно управление и създаден софтуер за управление, като беше проектирано и изпълнено ново захранване за БУ, което да отговаря на изискванията на микропроцесорното управление. Създаденият хардуер и софтуер за управление намали броя на елементите, размерите, енергоемкостта, увеличи качеството и надеждността на работа, тактовата честота на процесорите се увеличи, паметта стана енергозависима.

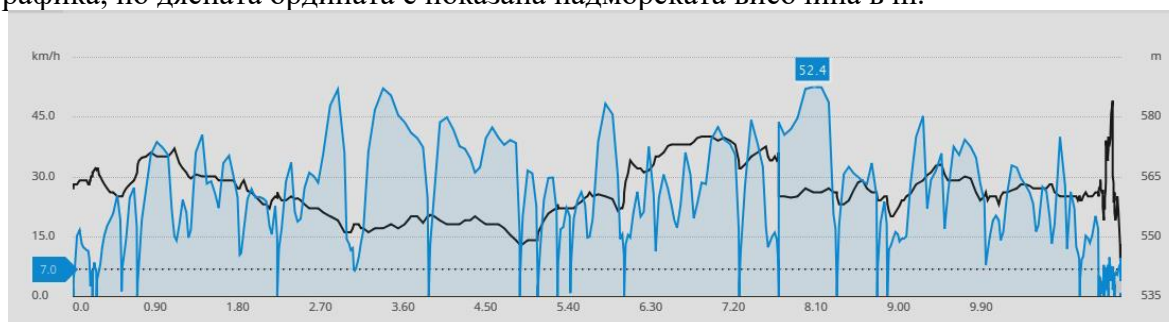
За целите се извършиха изпитания на място, като се симулираха всички известни режими в движение и спиране. Установено беше пълно съответствие между съществуващия и модернизирания БУ.

Следващата стъпка от изпитанията на тролейбуса се реализира в реални пътни условия по маршрут от тролейбусно депо „Искър“ с номер на спирка 0517 до последна спирка на Дружба-2 с номер 0611. Общата дължина на избраното трасе, показано на фиг.3, е 11,43 km. Изпитанията по избраният маршрут включват престой по светофари и кръстовища, преминаване през секционни изолатори, резки потегляния и спирания, типични за реалната експлоатация. По време на изпитанията тролейбусът беше натоварен с допълнителен товар от 5000kg, равномерно разпределен в пътническия салон. Проведоха се 40 дневни изпитания за период от два месеца в различни часове от денонощието и различни дни от седмицата. Дневните изпитания бяха по няколко курса от посоченото трасе.



**Фиг. 3. Маршрутът за изпитания в реални градски условия на модернизирания БУ на тролейбус MAN**

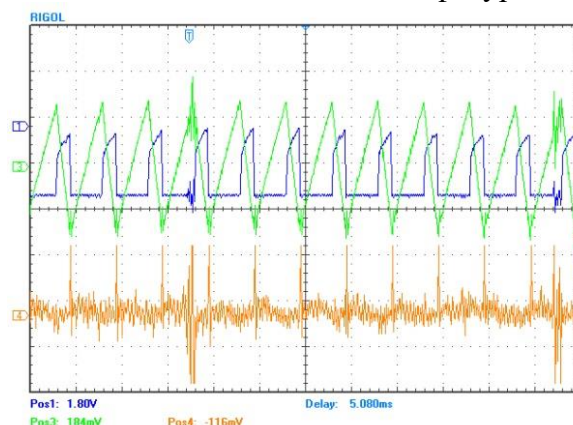
Изпитанията бяха проведени през месеци август и септември 2016 г. по предварително приет и съгласуван график на движение. По време на изпитанията с прецизна микропроцесорна измервателна техника са измерени и запазени всички основни управляващи и силови параметри, характеризиращи процеса на движение и спиране на тролейбуса. На фиг.4 е показана графика на скоростта и режима на работа на тролейбуса, както и профила на пътя за конкретен участък при изпитанията. По абсцисата е даден пробег в km, по лявата ордината е скоростта km/h по светлата графика, по дясната ордината е показана надморската височина в m.



**Фиг. 4. Профилът на пътя и скоростта при изпитания в реални градски условия**

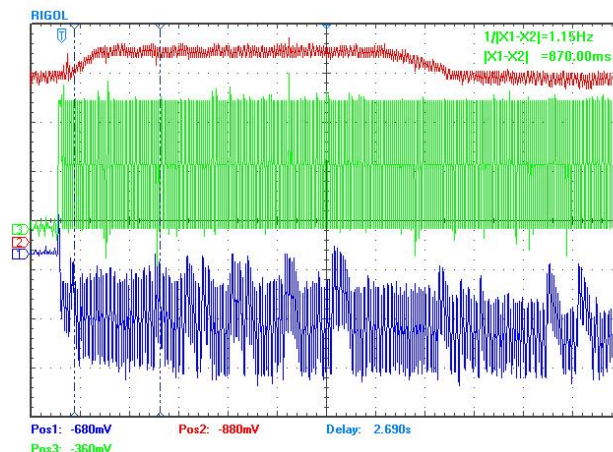
За показания участък са преминали 16 светофара в двете посоки и са направени 25 спирания отделно от тези при светофарите. Създадени са условия за 41 рекуперации. Максималната скорост на тролей при тези условия е 52.4 km/h.

Направени са аналогични измервания на основните сигнали в режим на тяга и електрическо спиране, като две от тях са показани на фигури 5 и 6.



**Фиг. 5. Осцилограма (тяга) импулси за управление на THF ( CH1-син, Ia тягов ток (CH3-зелен) и Io възбудителен ток(CH4-оранжев) на модернизирания БУ**





Фиг. 6. Осцилограма (спирание) ток Ia ( CH1-син), Uсе напрежение филтър (CH2-червен), ТНВ (CH3-зелен) и на модернизирания БУ

При направеното измерване от първата графика  $U_{ce}$  на канал 2 на осцилограмата на фиг.6 се вижда, че ефективността на рекуперативния режим при модернизирания блок за управление е значително по-висока. Тя се определя от началния процес при спиране и напрежението  $U_{ce}$  на филтър (CH4-оранжев) на оригиналния БУ фиг. 2 в сравнение с  $U_{ce}$  напрежение на филтър (CH2-червен) на фиг.6. Енергията върната в КМ при рекуперация се определя по следната формула

$$(1) E = \int_{t_1}^{t_2} U \cdot I \cdot dt + 800 \int_{t_2}^{t_3} I \cdot dt + \int_{t_3}^{t_4} U \cdot I \cdot dt, J$$

където :

$t_2-t_1$  - е времето за установяване на константно напрежение  $U_{ce}$  (800V) на филтъра, което е около 500mS по-кратко за модернизирания БУ ;

$t_3-t_2$  - е времето за рекуперация при  $U_{ce}$  (800V)

$t_4-t_3$  - е времето за изравняване на напрежението на филтъра с напрежението на КМ;

-U е напрежението на двигателя в генераторен режим;

-I е токът на двигателя в генераторен режим.

Това се дължи на оптимизирания алгоритъм на управление в режим на електрическо спиране.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получените резултати при изследването на тролейбус MAN в Столичен електротранспорт показват, че енергийната ефективност в режим на електрическо спиране е по-висока при модернизирания БУ, поради променения алгоритъм на управление на рекуперативния режим в началото на спирачния процес. При оригиналния БУ се осъществява първоначално включване на тиристора за реостатно спиране в рамките на 500 ms, след което, ако конкретните условия на движение позволяват се преминава в режим на рекуперация. При модернизирания БУ с приоритет е режимът на рекуперация и само ако условията не позволяват този спирачен режим се реализира реостатно електрическо спиране. За изследването трасе от 11,43 km и направените средно 41 спираня за същото при различни условия е отчетено, че върнатата енергия в КМ от тролейбуса с модернизирания БУ е средно с 4 100 000 J повече от оригиналния БУ за движение и спиране по същото трасе от фиг.3. и същата дистанция т.е. за един курс.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Димитров В., Изследване на сензори, специфични за съвременните електрически транспортни средства, Международна научна конференция „КЕИТ–2014”, н. сп. “Механика, Транспорт, Комуникации”, ISSN 1312-3823, том 12, брой 3/2, 2014 г. статия № 1012
- [2] Българанов Л. Електрически транспорт. София, 2009 г.
- [3] Столичен електротранспорт ЕАД .;
- [4] Миленов И., В. Димитров, Р. Баев, В. Станков, Модулно задвижване за електромобил, VII научна конференция „ЕФ 2015”, България, Созопол, 19 - 21 Септември, 2015, Годишник на Технически Университет - София, ISSN 1311-0829, т. 66, кн. 1, 2016, стр. 321-328
- [5] Иванов Е., Н. Стойчева, Основи на автоматиката и телемеханиката, София, ВТУ „Т. Каблешков“, 2009
- [6] Бобчева М., Г. Малеев, П. Горанов, Е. Попов „Ръководство за проектиране на силови електронни устройства”, Техника, 1991 г., София
- [7] Богдан Н.В. “Тролейбус. Теория, конструиране, расчет” Мн.: Ураджай, 1999.

## TESTING THE WORKING MODES OF A MAN TROLLEYBUS WITH A MODERNISED CONTROL BLOCK

Lubomir Sekulov

[res\\_start@abv.bg](mailto:res_start@abv.bg)

*Todor Kableshkov University of Transport,  
Sofia, Geo Milev 158 str.  
BULGARIA*

**Key words:** *electric public road transport, electric transport vehicles, trolleybus, microprocessor control*

**Abstract:** *It is well known that a considerable share of the electric transportation vehicles operating on urban transportation lines are equipped with a DC electric traction mechanism and impulse controls for their main modes of operation (traction and braking). The long years of exploitation of the vehicles, the ineffective service maintenance and the outdated technology are the main reason for the frequent failures in the control and defence systems, which reduces the reliability and the energy efficiency of electric transportation.*

*Through experimental testing of the trolleybus in real working conditions, the basic power and control parameters of the trolleybus during motion and braking have been taken, whereby the main control algorithms for the existing block were identified. The results of this testing were used as baseline data in drafting the terms of reference for the design and modernisation of the control block. The documentation relevant to the design of the new product was published during previous international fora.*

*Pursuant to a contract with Stolichen Elektrotransport EAD (Sofia Public Electrical Transport Company JSC), a new microprocessor control block was designed for a MAN trolleybus, currently in exploitation by the Iskar Trolleybus Depot in Sofia. It uses a new control algorithm in braking mode. The main reason for the modernisation was the low reliability and the ensuing failures of the original control block.*