

ПРОЕКТИРАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА МИКРОПРОЦЕСОРНИ СИСТЕМИ С ПРИЛОЖЕНИЕ В ЕЛЕКТРИЧЕСКИЯ ГРАДСКИ ТРАНСПОРТ

Любомир Секулов
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:** Столичният електротранспорт (СЕТ) играе основна роля в икономическия и социален живот на почти двумилionната ни столица, поради това той трябва да функционира надеждно и ефективно. Всяко възникване на повреди и аварии в системите му води до влошаване на качеството на живота на столичани.*

Електрическите транспортни средства (ЕТС) са основно звено от структурата на наземния градски електрически транспорт. Те представляват сложни технически съоръжения, работещи при изключително тежки експлоатационни и климатични условия и в почти непрекъснат режим на работа. Това до голяма степен обяснява все по-високите изисквания, които се поставят и ще се поставят към градските транспортни системи, за опазването на околната среда и намаляването на сумарните разходи за транспорт – критерии, които в най-голяма степен успешно може да защитава електрическият транспорт.

Приоритетно използваната система в тяговите задвижвания за градски транспорт (над 60%) е импулсното регулиране на напрежението на постоянно-токовите двигатели (ПТД). Тук именно се получава и най-голям качествен скок в КПД от прилагане на тиристорите (транзисторите) в пуско-регулирущите устройства.

В доклада са представени основните резултати от проведените експериментални пътни изпитания на линия на модернизирания тролейбус, по конкретна методика, в реална пътна среда.

УВОД

В настоящия доклад са показани специфичностите и особеностите при проектирането и изпълнението на микропроцесорна система за управление (МСУ) импулсен регулатор (ИР) изпълнен и произведен по договор, сключен със „Столичен електротранспорт” ЕАД. Проектираният блок за управление е реализиран на базата на 8 битови микропроцесори последно поколение, като посредством зададен алгоритъм, реализира широчинно импулсна модулация (ШИМ), в зависимост от режима на работа

на ТЕЗ – тягов или спиращен. Конкретните параметри на заданието за проектиране на МСУ са установени на базата на извършеното разширено експериментално изследване в продължение на 2 години. [3]

В тази връзка са изследвани аналитично и експериментално тяговите и спиращни режими на тролейбус MAN, модел GE152 M18. Той е с постоянноково тягово електрозадвижване (ТЕЗ) и осъществява плавно регулиране на теглителната и спиращна сили посредством импулсен регулатор, реализиран с двуоперационни (GTO) тиристори. Изследвани са преходните процеси в силовата схема на ЕТС и алгоритмите на управление на системите за управление (СУ) в основните му режими на работа – тяга и електрическо спиране (електродинамично и рекуперативно). [1]

На тази база е проектиран, изграден и внедрен в експлоатация управляващ блок, реализиран с микропроцесорно управление, контрол и защита, по зададени алгоритми, на всички основни параметри на ТЕЗ и основни режими на работа на тролейбуса (тягов и спиращен-електродинамичен и рекуперативен). При проектирането на разработката са търсени решения, които в максимална степен да повишат енергийната ефективност на возилата, като при това се запазят всички останали предимства на импулсното регулиране: динамични качества на возилото, ниски ремонтни разходи и надеждност и ремонтнопригодност.

Проектирането на МСУ е направена на няколко основни етапа:

- 1) Аналитично определяне на параметрите на рекуперативния режим на ЕТС в условията на градско движение;
- 2) Програмно симулационно моделиране в средата на MATLAB SIMULINK на различни схемни решения и управления;
- 3) Анализ на получените резултати от симулациите и на тази база избор на окончателното схемно решение и на структуриращите го елементи;

ВХОДНИ ПАРАМЕТРИ ЗА ПРОЕКТИРАНЕТО НА МСУ И АНАЛИТИЧНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА РЕКУПЕРАТИВНИЯ РЕЖИМ НА ЕТС В УСЛОВИЯТА НА ГРАДСКО ДВИЖЕНИЕ

При измерванията направени в режим на движение и спиране в градски условия с оригиналния блок за управление бяха установени основните електрически параметри на алгоритмите на управление на силовите прибори. Основните параметри за двата основни режими на работа на тролейбуса могат да бъдат обобщени по-следния начин:

Тягов режим

- ✓ Начин на регулиране – ШИМ с константна честота $f = 500\text{Hz}$;
- ✓ Минимална ширина на импулса на ТНФ - $120\mu\text{s}$;
- ✓ Работа на БУ по конкретно зададен алгоритъм – съответстващ на съществуващия БУ;
- ✓ Регулиране на тяговия ток – в зависимост от конкретното управляващо задание (УЗ);
- ✓ Контрол на напрежението U_{ce} на филтъра на тролейбуса – до 800V ;

Спиращен режим

- ✓ Възможност за реализация на – електродинамично и рекуперативно спиране;
- ✓ Спиране по конкретен алгоритъм в зависимост от спиращното УЗ на спиращния контролер;
- ✓ Управление на ШИМ на ТНВ – по зададен алгоритъм, в зависимост от текущата стойност на U_{ce} ;
- ✓ Осигуряване на всички време-забрани и защиты в рамките на един период.

Където ТНФ е тяговият тиристор, ТВ е тиристорът за реостатно спиране, TR е тиристорът за рекуперация, ТНВ е тиристорът за генераторен режим на двигателя, I_a. Ток през котвата на постоянно токовия тягов двигател (ПТД).

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.

При известните механични характеристики на возилото се определя режима за рекуперация.

Рекуперативното спиране се ограничава от спирачните характеристики на возилото и като правило освен поддържането на постоянна скорост при движение трябва да се съблюдава и динамиката на спирачния процес, както и механичната устойчивост на конкретното возило. [2]

$$(1) \quad \frac{dB}{dV} \geq \frac{d(i_{cp} - \omega_0) \cdot G}{dV}$$

където:

B – спирачната сила, kN; - V – скорост движение, km/h; - i_{cp} – среден наклон ‰; - ω_0 – специфичното съпротивление на движение; - G – теглото на ЕТС, t.

Тези характеристики могат да бъдат сформирани с помощта на система уравнения, които да бъдат заложили като алгоритъм в микроконтролера.

Количеството на енергията при рекуперация се определя по следната формула :

$$(2) \quad A'_{рек} = 1,073 \cdot P \cdot (V_n^{2-} - V_k^2) \cdot (1 + v) \cdot 10^{-5} \cdot \left(1 - \frac{\omega_0 - i_{cp}}{10^2 \cdot (1+v) \cdot a}\right) \cdot \eta \text{ ,kWh}$$

където:

- V_n и V_k – начална и крайна скорост на спирането, km/h; - $(1+v) = 1.15-1.18$ коефициент на инерция за тролейбусите; - i_{cp} - среден наклон ‰; - P – масата на ЕТС, t; - a – забавяне на ЕТС, m/s^2 трябва да бъде до 1,6 за тролейбусите ; - η – КПД на ЕТС при рекуперация около 0,85. [5]

Таблица 1

№	Начална скорост на движение	Мощност на двигателя	Спиране	Енергия	Време за рекуперация
	km/h	Nm/s	m/s^2	kWh	s
1	65	200000	-1,2369	0,2039	4,3282
2	60	180000	-1,2058	0,1874	3,9791
3	50	160000	-1,1627	0,1546	3,2810
4	40	140000	-1,1247	0,1217	2,5829
5	30	120000	-1,0917	0,0888	1,8848
6	20	100000	-1,0638	0,0559	1,1868
7	15	80000	-1,0440	0,0395	0,8377
8	10	60000	-1,0254	0,0230	0,4887
9	5	20000	-0,9927	0,0066	0,1396

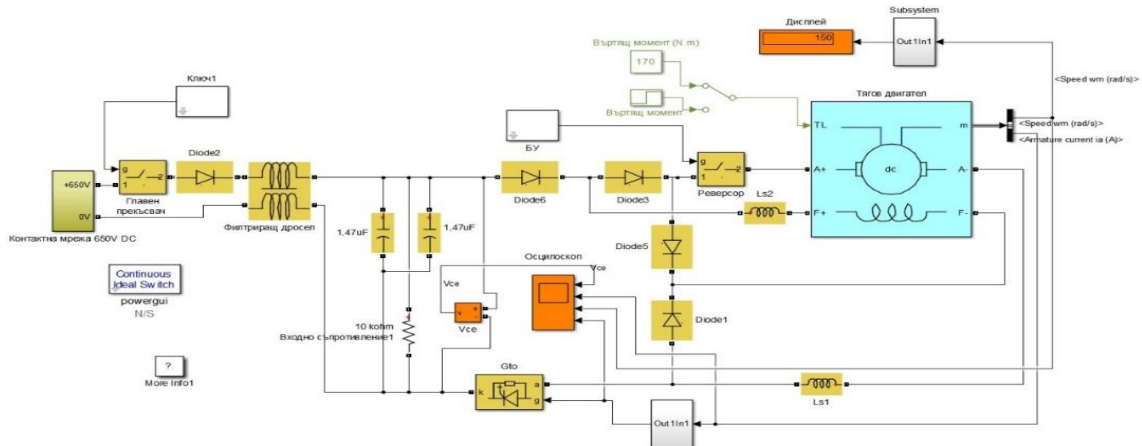
В таблица 1 е показан в табличен вид резултатът от аналитичните изчисления за рекуперативния режим на работа на тролейбус MAN при средна стойност на забавянето $a_{cp} = -1,10531 \text{ m/s}^2$ и среден наклон на пътя $i_{cp} = 0 \text{ ‰}$.

Измерените стойности в реални пътни условия са близки и до

аналитично получените от изчисленията, което дефинира обхват на входните параметри за проектирането на МСУ.

СИМУЛИРАНЕ НА СИЛОВАТА СХЕМА НА ТРОЛЕЙБУС В СРЕДАТА НА MATLAB-SIMULINK

На MATLAB е направена симулация според схемата на фиг. 1, като силовите елементи са маркирани в жълто, а измервателните уреди в оранжево, съответстваща на

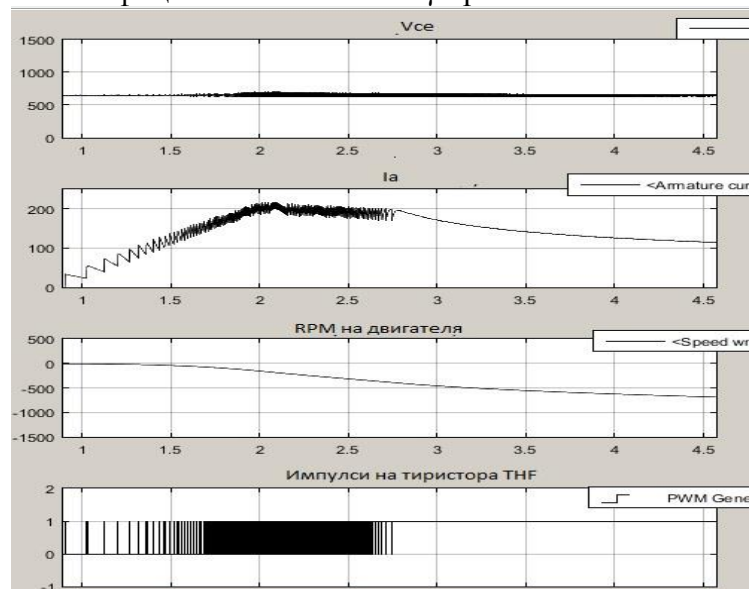


Фиг. 1. Симулация на силовата схема на тролейбус MAN в тягов режим

оригиналната схема на тролейбуса. Обозначени са също ключа за главния прекъсвач, реверсора и блока за управление.

За зададени времена, честота и коефициент на запълване γ при известните параметри на тяговия двигател, филтрите, изглаждащия дросел и силовите комутационни прибори на тролейбус MAN и резултатът от симулацията е при тегло на тролейбуса 19 000 kg наклон 10‰ задание 45% и известно съотношение на колелата към редуктора на тролейбуса е представен графично на фиг. 2.

На първата осцилограма е показано и напрежението V_{ce} на филтъра, на втората тяговия ток I_a , на третата оборотите на двигателя, които трябва да се отчетат по модул и на четвъртата управляващите импулси на тяговия тиристор THF.



Фиг. 2

Резултати от симулацията на силовата схема на тролейбус MAN в тягов режим и товар

СЪЗДАВАНЕ НА АЛГОРИТЪМ ЗА УПРАВЛЕНИЕ ПРИ ТЯГА И СПИРАНЕ НА ТРОЛЕЙБУС MAN

За да се проектира МСУ е необходимо да се създаде алгоритъм за управление за тяга и за спиране, който да съответства да всички направени измервания. Алгоритъмът описва режимът на работа на тролейбуса.

След стартиране на системата се сравняват условията за изправност на всички устройства, и се проверява тестовия режим, след което се включва ГП, проверява се

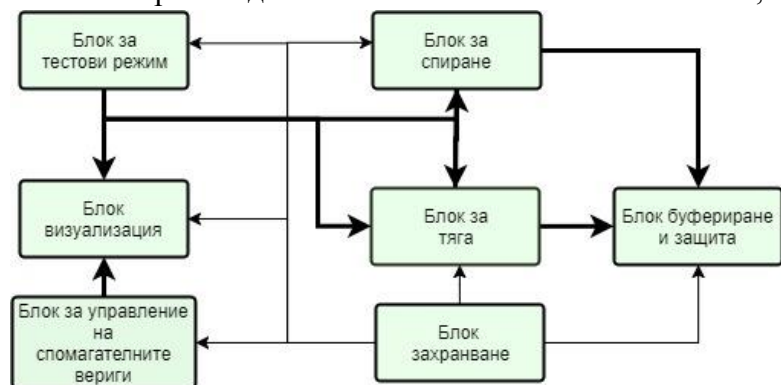
напрежението на КМ, проверяват се за наличието на ток през тиристорите, проверява се включен ключ за дизел генератора и се очаква задание за тяга или за спиране .

В режим на тяга се установява заданието и се управлява тиристорът ТНФ чрез ШИМ. Измерва се котвения ток I_a и започва сравняване на напрежението от заданието, дали отговаря на измерения котвен ток I_a , като се променя коефициента на запълване „ γ “, измерват се времената на импулсите и се сравняват със заложените максимални и минимални допустими стойности. При несъответствие се спира регулатора и се записват стойностите под формата на грешки. При съответствие се следва заданието от педала.

ПРОЕКТИРАНЕ НА МИКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ТРОЛЕЙБУС MAN

Оригиналният блок за управление е съставен от четири различни по своята функционалност платки. Технологиите 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.

След получените резултати от математическите изчисления и от симулацията и предвид входните и изходни параметри, които са измерени и изследвани, се проектира БУ за управление. Блоквата схема на устройството е показана на Фиг. 3.



Фиг. 3 Блоквата схема на МСУ за тролейбус MAN

Блок захранване осигурява нормалната работа на МСУ и е свързан електрически едностранно към всички модули. Блок визуализация показва основните режими за работа посредством светлинна индикация на панела на БУ, както и на арматурата за управление на тролейбуса. Блок за управление на спомагателните вериги служи за управление на ГП на дизел генератора. Блок спиране осигурява електрическото спиране. Блок за тяга осигурява режима на движение на тролейбуса. Системата за управление е вкарана в експлоатация през 2016 година. [4]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получените резултати от проектирането на МСУ за тролейбус MAN и експлоатацията му в Столичен електротранспорт показват, че системата се държи устойчиво в реални условия на експлоатация при всички режими на работа на тролейбуса. Изчисленията и анализите съвпадат с реалната работа на електротранспортното средство .

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] <http://www.elektrotransportsf.com> 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] Богдан Н. В. “Троллейбус. Теория, конструиране, расчет” Мн.: Ураджай, 1999.

DESIGNING AND TESTING MICROPROCESSOR SYSTEMS APPLICABLE IN THE ELECTRIC PUBLIC TRANSPORT

Lyubomir Sekulov
res_start@abv.bg

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

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

Abstract: The public electric transport of Sofia plays a vital role for the economic and social life of the capital inhabited by almost two million residents. Thereby, it is crucial that transport services operate in a reliable and effective manner. Any system failures or critical incidents deteriorate the quality of life of the urban population.

The electric transportation vehicles are key units of the public electric road transport. These vehicles are complex technical devices working under extremely harsh exploitation and climate conditions. This explains the rising demands towards the city transportation systems regarding the protection of the natural environment and the reduction in the cumulative transportation costs, which are the criteria most readily attributable to the electric transport.

The system predominantly used in the traction drives of public transport vehicles (over 60%) is the voltage impulse control in DC engines. This is where the highest efficiency output can be gained from the application of the semiconductor switches (transistors) in the drive control devices.

The report presents the main results of the experimental road testing of the modernised trolleybus during line service, where the testing was conducted following a specific method, in real road conditions.