

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ОСНОВНИТЕ РЕЖИМИ НА РАБОТА НА ТРОЛЕЙБУС MAN

Любомир Секулов, Георги Павлов, Явор Исаев, Румен Стоицев
res_start@abv.bg, g_pavlov61@abv.bg

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

Ключови думи: наземен електрически транспорт, електрозадвижвания, електрически транспортни средства, тролейбус, микропроцесорно управление.

Резюме: Обектът на изследване в доклада е тролейбус MAN с импулсно регулиране на основните режими на работа (тягов и спиращ) и регулатор изпълнен със силови двуоперационни тиристоры от типа GTO. Тролейбусите се експлоатират в град София от тролейбусно депо „Искър”. Експерименталното изследване на тролейбуса е направено в нормални експлоатационни условия при движение на линия. Изследвани са основните режими на работа (тягов и електрическо спиране) на електрозадвижването на тролейбус „MAN“ и на тази база е направен анализ на силовите и управляващи параметри. Основната цел е да се определят алгоритмите заложен в управляващия блок на тяговите и спиращи тиристоры на силовия регулатор на тролейбуса, както и формата и големината на всички сигнали, реализиращи контрола и защитата на тяговото електрообзавеждане.

При проведеното експериментално изследване са установени стойностите на изменение в преходните и гранични режими на основните силови параметри на тяговото електрозадвижване (котвен и възбудителен ток, напрежения на тяговия двигател, филтъра и контактната мрежа, обороти), както и изменението на всички управляващи сигнали от системата за управление.

1. Въведение

Електрическият транспорт, като решение на транспортната задача, се осъществява с въвеждането на първите пет трамвайни линии в България, пуснати в експлоатация на 1 януари 1901 г. и с това се полагат основите на електротранспорта в България. Най-дългата трамвайна линия тогава се запазила и до днес и е свързвала София със с. Княжево при обща дължина на трасето 7762 метра. През 1941 г. се въвежда в експлоатация и първата тролейбусна линия: бул. Цар Борис III – с. Горна баня.

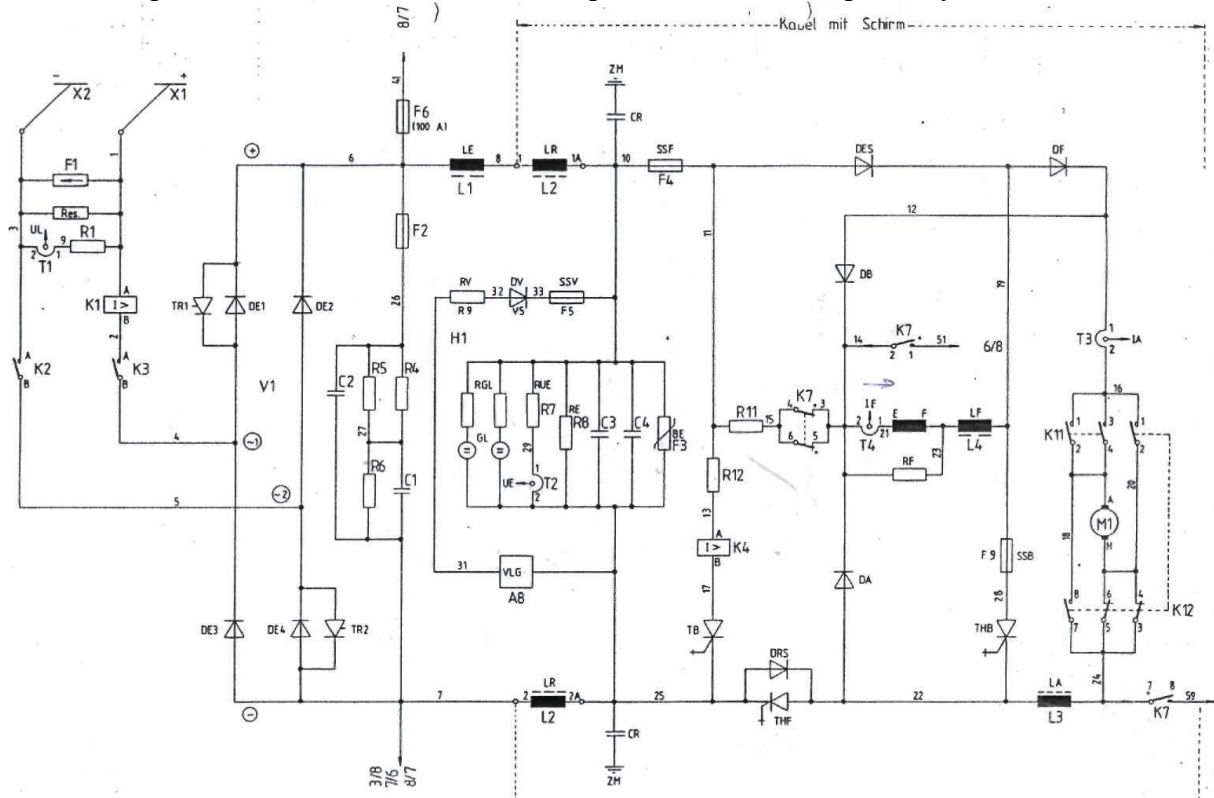
В момента във фирма „Столичен електротранспорт” ЕАД се експлоатират електротранспортни средства (ЕТС) от различни поколения. Най-новите са тролейбуси 26 и 27 Tr SOLARIS в единичен и съчленен вариант, както и закупените от PESA Bydgoszcz SA нови трамваи, серия 122 NaSF, с нисък под.

2. Основни функции и параметри на системата за управление на тролейбус MAN

ЕТС реализира освен реостатно и рекуперативно спиране през еднооперационни тиристори TR₁, показани на схемата. Основният тиристор, осигуряващ възбудането на тяговата машина, работеща като генератор с последователно възбудяване, е ТНВ. В неговата верига при електрическо спиране са свързани последователно котвената М₁ и възбудителната ЕФ намотки и дроселът L₄.

Изследваният тролей е с плавно регулиране на теглителната и спираща сили, като спиращият процес е комбинация от електрическо и механично спиране с пневматично въздействие.

На фиг. 1 е показана силовата електрическа схема на тролейбус MAN



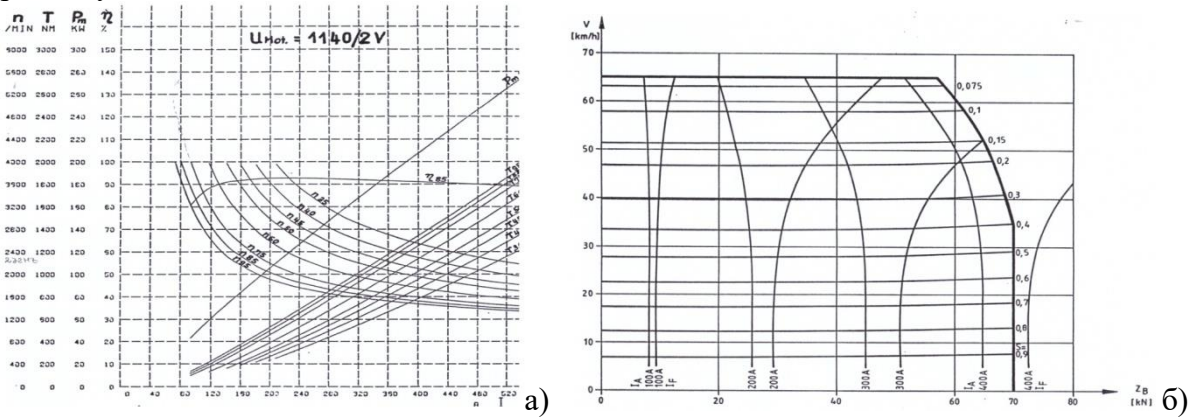
Фиг. 1. Силова схема на импулсен регулатор с тиристори GTO на тролейбус MAN

Входният филтър е реализиран от кондензаторите C₁, C₂ и дроселите L₁ и L₂. Тяговият режим на тролейбуса се обезпечава от управлението по зададен алгоритъм от системата за управление (СУ) на тиристора ТНВ, в зависимост от конкретното задание на контролера за управление (тяговия педал на шофьора). Веригата на котвения ток се затваря през токоснемател X₁ (+600 V), диод DE₁, индуктивностите L₁ и L₂, силов предпазител F₄, диодите DE₃ и DF, токов датчик T₃, контактите на реверсора K₁₁ и K₁₂, дросел L₃, управляващ тиристор ТНВ, диод DE₄ и токоснемател X₂ (-600 V). Възбудителната намотка на тяговия двигател EF е последователно свързана на котвената, като захранването ѝ в режим на тяга е през съпротивлението R₁₁, контактор K₇, токов датчик T₄, EF, дроселът LF и диода DF. Отслабването на полето при тази схема става автоматично през диодите DA и DB и не са необходими допълнителни управляеми елементи.

Тролейбусът реализира електрическо спиране в два режима – рекуперативен и реостатен. Необходимото възбудяване на електрическата машина, работеща в генераторен режим и регулирането на котвения и възбудителния ток в зависимост от спиращото задание се осъществява от тиристора ТНВ. През паузата на прекъснатия

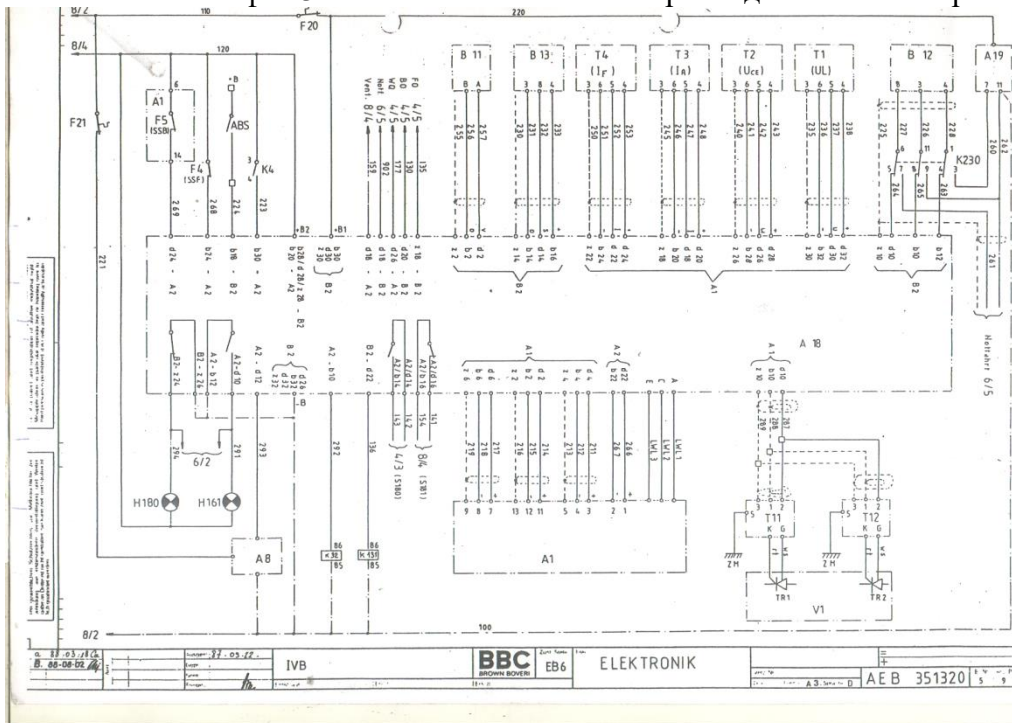
режим на работа на ТНВ електрическата енергия може да се връща в контактната мрежа през тиристорите TR или да се гаси в спирачния резистор R₁₂ (разположен на покрива на тролейбуса) при работещ тиристор ТВ. Видът на електрическото спиране се определя от зададения алгоритъм на СУ, която отчита непрекъснатите сигнали от напрежените (U_I и U_e) и токовете (T₃ и T₄) сензори, както и текущото задание на спирачния педал.

На фиг. 2 а,б са показани тяговите (а) и спирачни (б) характеристики на тролейбус MAN.



Фиг. 2. Тягови (а) и спирачни (б) характеристики на тролейбус MAN модел GE152 M18

Управлението на силовата схема се извършва посредством импулсен регулатор (ИР), в който е заложен алгоритъмът на тяговия и спирачния режим. Всички защити на силовата схема, по напрежение и ток, забрани свързани с едновременната работа на силовите елементи, максимални и минимални времена за отпушване на тиристорите се осъществяват от ИР. На фиг.3 е показана ел. схема на присъединяване към тролея.



Фиг. 3. Електрическа схема на присъединяване на ИР към тролей MAN

3. Изследване на режимите на тяга и спиране на тролейбус MAN

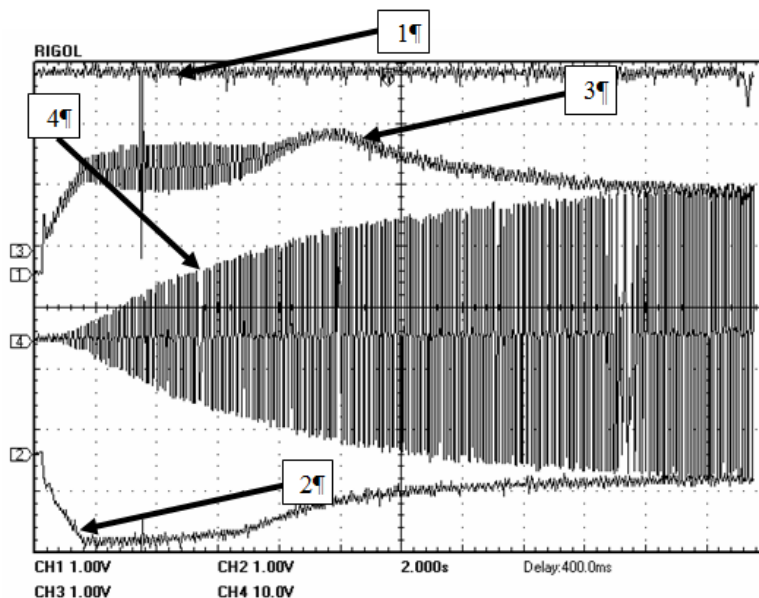
Тролейбус MAN модел GE152 M18 притежава дизелов двигател, който осигурява аварийно придвижване на тролея, като този режим не е обект на

изследването. Изследването се отнася само до нормалната експлоатация на ЕТС в нормални градски условия, при допустими наклони, нормално влияние на околната среда и стандартно електрозахранване.

Основни принципи за управление при автоматично регулиране на тяга и спиране са свързани със следните изследвания и измервания:

- измерване на времето – необходим е контрол на времето с подходящи апарати;
- измерване на скоростта – използват се апарати, контролиращи обороти на двигателя (центробежни регулатори, тахогенератори, енкодери, контрол по косвен път (е.д.н. на двигателя, честота на тока в ротора);
- измерване на тока – използват се подходящи датчици за ток;
- измерване на напрежение- използват се датчици за напрежение;
- измерване на температура- температурни датчици;
- Освен споменатите величини за измерване се следят и път, ускорение, въртящ момент и др.

СУ на тролейбус MAN (фиг. 2), който е обект на изследване, с цел проектиране и модернизация, реализира по зададен алгоритъм управлението на GTO тиристорите – тягов ТНФ, спиращ ТНВ, динамичен ТВ, рекуперативен TR, в тягов и спиращ режим. Връзката между блока за управление и драйверите, комутиращи отделните тиристори, е оптична. В съществуващия блок за управление са включени оптичен модул, два отделни електронни модула, LPG, FLG, които реализират контрола на всички параметри (котвен и възбудителен ток, скорост, напреженията на филтъра и контактната мрежа, заданието и др.) при отделните режими на работа на ЕТС. Тези модули формират импулсите, моментите на подаване към тиристорите и като цяло определят конкретния алгоритъм на управление при зададения режим. Реализира се ШИМ при константна честота 500 Hz. В СУ е поместен и захранващ блок, осигуряващ необходимите захранващи напрежения за неговите електронни блокове +5 V, ± 24 V и ± 15 V за захранване на датчиците за ток и напрежение.



Фиг. 4. Режим на тяга на тролейбус MAN

На фиг. 4 са показани снетите експериментално осцилограми в различен мащаб в режим на тяга и движение в градски условия, като канал 1 е напрежението на контактната мрежа (КМ) и на канал 2 е токът през възбудителната намотка, канал 3 е токът през котвената намотка, а канал 4 е напрежението на датчика за обороти на двигателя.

По данните, получени при измерванията, се построяват статичните входно-изходни характеристики за всеки сензор.

1. Изчисляват се коефициентите на преобразуване за всяко измерване [5]:

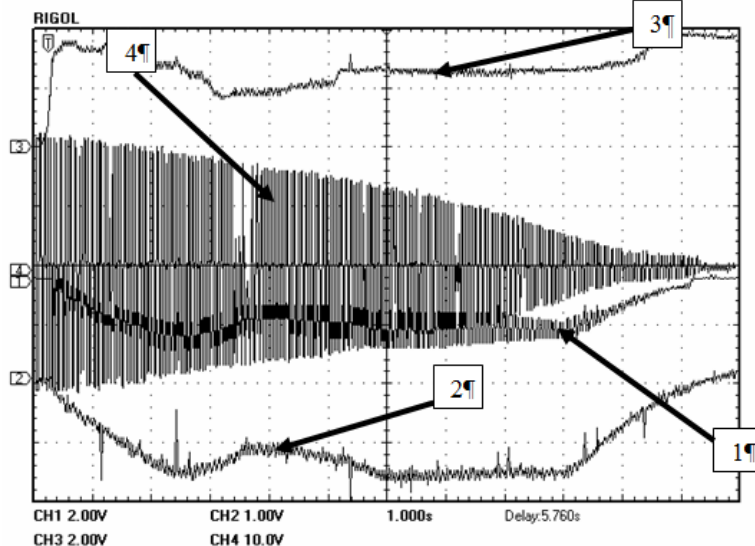
2. За всяко измерване се пресмятат абсолютната, относителната и приведената грешка ε спрямо измерените и коригираните стойности на контролираните величини:

$$(1) \quad \varepsilon_{\text{abs}} = y_{\text{mes}} - y_{\text{act}}; \varepsilon_{\text{rel}} = \frac{\varepsilon_{\text{abs}}}{y_{\text{act}}}; \varepsilon_{\text{red}} = \frac{\varepsilon_{\text{abs}}}{y_{\text{max}}},$$

където y_{mes} е измерената стойност

y_{act} – действителната стойност, измерена със съответния уред,

y_{max} – максималната стойност, която може да бъде контролирана от сензора. [1]



На фиг. 5 са показани снетите експериментално осцилограми в различен мащаб в режим на спиране при градски условия, като канал 3 е заданието на педала, канал 2 е токът през възбудителната намотка, канал 1 е токът през котвената намотка, а канал 4 е напрежението на датчика за обороти на двигателя.

Фиг. 5. Режим на спиране на тролейбус MAN

За достигане на скорост 50 km/h изчисленото време за ускорение е 8,37s. Това време съвпада с измереното, но трябва да се отчете и фактът, че самата методика не може да даде абсолютната точност. [4]

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получените резултати при изследването на тролейбус MAN в Столичен електротранспорт ще допринесат за точно и правилно определяне на алгоритъма на управление и ще дадат възможност за изграждане на ново, съвременно управление на силовата част на ЕТС. Получените обобщените електромеханични характеристики в режим на електрическо спиране и тяга са при различни задания на спирачния педал и ходовия педал. Проведени са многобройни изследвания при различни начални скорости на спиране, управляващи задания в условията на движение, като основната цел е да се определят алгоритмите на управление и областта на работа на ТД в режим на рекуперативно и електродинамично спиране и ход. Определени са експериментално граничните параметри на електрозадвижването в режим на тяга и електрическо спиране.

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

EXPERIMENTAL TESTING OF THE MAIN OPERATING MODES OF 'MAN' TROLLEYBUS

Lubomir Sekulov, Georgi Pavlov, Javor Isaev, Rumen Stoicev
res_start@abv.bg, g_pavlov61@abv.bg

Todor Kableshkov University of Transport
158 Geo Milev Str., Sofia 1574
BULGARIA

Key words: *land electric transport, electric traction, electric transportation vehicles, trolleybus, microprocessor control*

Abstract: *The subject examined in the present report is a “MAN” trolleybus with impulse control of the main modes of operation (traction and braking) and a regulator based on high-power bi-operational semiconductor switches of the GTO-type. The trolleybuses are in exploitation of the ISKAR trolleybus depot in Sofia. The experimental testing of the trolleybus was conducted in normal working conditions, while in motion along the route. The main operating modes of electrical traction of the „MAN“ trolleybus were tested (traction and braking) and, thereby, the high-power and control parameters were analysed. The main goal is to identify the algorithms built into the control module of the traction and braking semiconductor switches of the trolleybus high-power regulator, as well as the form and the value of all signals triggering the control and protection of the traction electric equipment.*

In the course of the experimental testing, the fluctuation values of the main high-power parameters of electric traction power were identified for transition and borderline regimes (armature and field current, voltages of the traction engine, the filter and the contact network, rotations), as well as the variation of all controlling signals from the control system.