

ПРОЕКТИРАНЕ И ИЗГРАЖДАНЕ НА СТЕНД ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА СПИРАЧНИ СИСТЕМИ НА ТРАМВАЙНИ МОТРИСИ

Георги Павлов, Любомир Секулов, Мартина Томчева

g_pavlov61@abv.bg, res_start@abv.bg

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

Ключови думи: *електрическо спиране, електрически транспортни средства, трамвайни мотриси и ремаркета, микропроцесорно управление.*

Резюме: *Съвременните изследвания в областта на спирачните режими на електрическите транспортни средства (ЕТС) са ориентирани към повишаване на електроенергийната ефективност при използване на електрическите спирачни системи. При трамвайните мотриси, състоящи се от моторен и прикачен вагон е необходимо ефективно съгласуване на електрическото спиране на моторния вагон с механичното спиране на немоторния. В доклада са представени основните резултати от модернизацията на основните електронни модули асемблиращи стенд за изследване на ефективността на реалните спирачни системи експлоатирани в трамвайни мотриси и ремаркета в Столичния електротранспорт.*

1. Въведение

Развитието на електрическия транспорт през последните години е изключително динамично и е тясно обвързано с последните Европейски директиви за постигане на висока енергийна ефективност, екология и развитие на градската инфраструктура. Електрическият транспорт е изключително важен за всички европейски градове, характеризиращи се с голяма плътност на населението. В съвременните ЕТС се обръща внимание, както на комфорта, така и на енергийната ефективност и екологичност. Тя се определя от различни фактори, които трябва да бъдат използвани комплексно. Това важи с особена сила за градския електрически транспорт, където се поставят завишени изисквания в това отношение.

Всички съвременни ЕТС се реализират схемно с възможност за реализиране на избиращо електрическо спиране (електродинамично и рекуперативно), както и механично спиране с пневматично или хидравлично въздействие. Чрез изследвания е доказано, че ефективността при оптимални условия на рекуперативното спиране може да достигне до 40%, което представлява едно предизвикателство пред конструкторите и експлоатацията на съвременните ЕТС. [1,3]

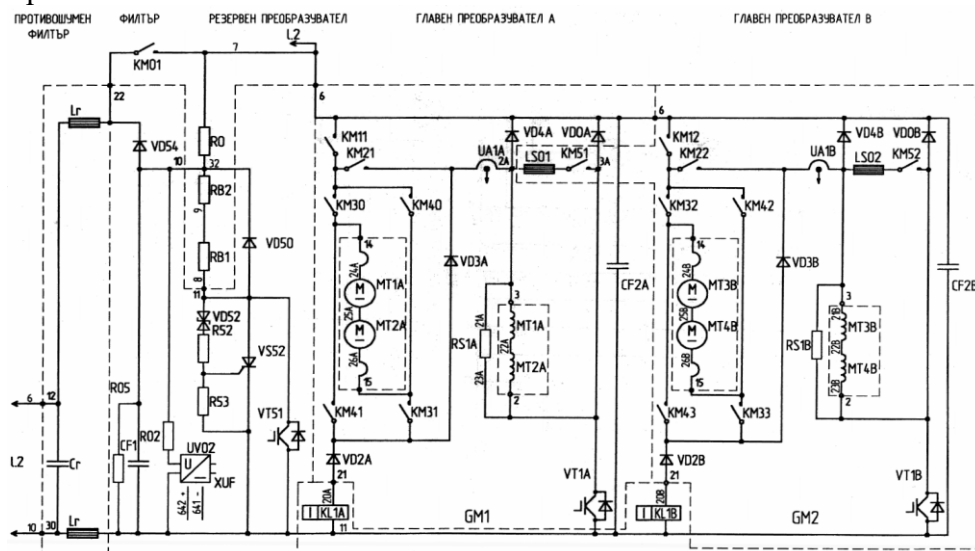
В доклада са представени основните резултати от проектирането и изработването на стенд за изследване на основните параметри и характеристики на микропроцесорните системи за управление (МСУ) на спирачните процеси в ЕТС за

градски наземен електрически транспорт. Проектирането е направено на базата на проучване и анализиране на прилаганите в техниката алгоритми и методи за управление на спирачните режими на ЕТС.

2. Основни функции и параметри на системите за управление на основните спирачни режими на трамвайна мотриса

Съвременните изследвания в областта на спирачните режими на ЕТС са ориентирани към повишаване на електроенергийната ефективност при използване на електрическите спирачни системи. Възможностите на рекуперативните режими са големи по отношение на намаляване разхода на електрическата енергия, посредством връщането ѝ в тяговата мрежа и ефективното ѝ използване след това. [2]

На фиг. 1 е показана принципната електрическа схема на трамвайна мотриса Т4ДМ, експлоатирана в Столичния електротранспорт (СЕТ). Транзисторите VT1A и VT1B, заедно с допълнителната комутационна апаратура, реализират двата основни режима на работа на ЕТС – тягов и спиращен, а резисторното спиране се управлява от транзистора VTS1.



Фиг. 1. Принципна електрическа схема на трамвай Т4ДМ с IGBT

Обикновено силовата схема на ЕТС допуска използването на два спирачни режима – рекуперативен и реостатен. Прилага се стъпаловидна рекуперация, с което се осъществява пълна взаимозаменяемост на рекуперативното и реостатното спиране. Електрическото спиране реализирано от моторния вагон протича в следните етапи:

- предварително възбуждане на генераторите (инициализиране на спирачния процес);
- рекуперация или електродинамично спиране в зависимост от конкретните условия в тяговата мрежа и ЕТС;

В края на спиралния процес, при ниски скорости, се реализира механично спиране чрез хидравлично или пневматично спирално въздействие.

При трамвайните мотриси състоящи се от моторен и немоторен (ремарке) вагон, спирачният режим включва и изцяло механично спиране с хидравлично управление на спирачната сила на ремаркетото. За целта е необходимо ефективно съгласуване на електрическото спиране на моторния вагон с механичното спиране на немоторния, като същото се осъществява от електронен блок, който работи съгласувано с всички основни параметри на спирачния процес на возилото. Микропроцесорното управление въздейства на режима на работа на два хидравлични вентила (двупътен и

пропорционален), управляващи посоката на хидравличното налягане на механичната спирачна система на вагона. [4]

Изследваният трамвай е с плавно регулиране на теглителната и спирачна сили, като спирачния процес е комбинация от електрическо и механично спиране с хидравлично въздействие. Спирачната система работи по определен алгоритъм, като управлението се осъществява от електронен блок, състоящ се от няколко електронни модула – PSO, LFO, SPB, PAB и шинна платка, което реализира връзката между модулите и електрическата схема на трамвая. Всяка една от платките има конкретно функционално предназначение.

Платка PSO е основен модул от спирачната станция и осигурява захранването, както на станцията (електронния блок), така и на датчиците, свързани към нея. Тя е крайно стъпало за пропорционалния и двупътния вентил и управлява помпата на хидравликата на спирачната система. Основните функции са:

- осигурява двуполлярно захранване на станцията;
- осигурява стабилизирано захранване на датчиците за обороти и налягане;
- усилва сигнала от LFO и осигурява регулируем ток на пропорционалния вентил;
- реализира защита по ток на пропорционалния вентил; [4]
- осигурява управление на хидравличната помпа;
- осигурява необходимия ток на двупътния вентил;
- обработва сигналите от обратните връзки на спирачната система;
- визуализира моментното състояние на спирачната система;
- осигурява защита от непрекъсната работа на хидравличната помпа;

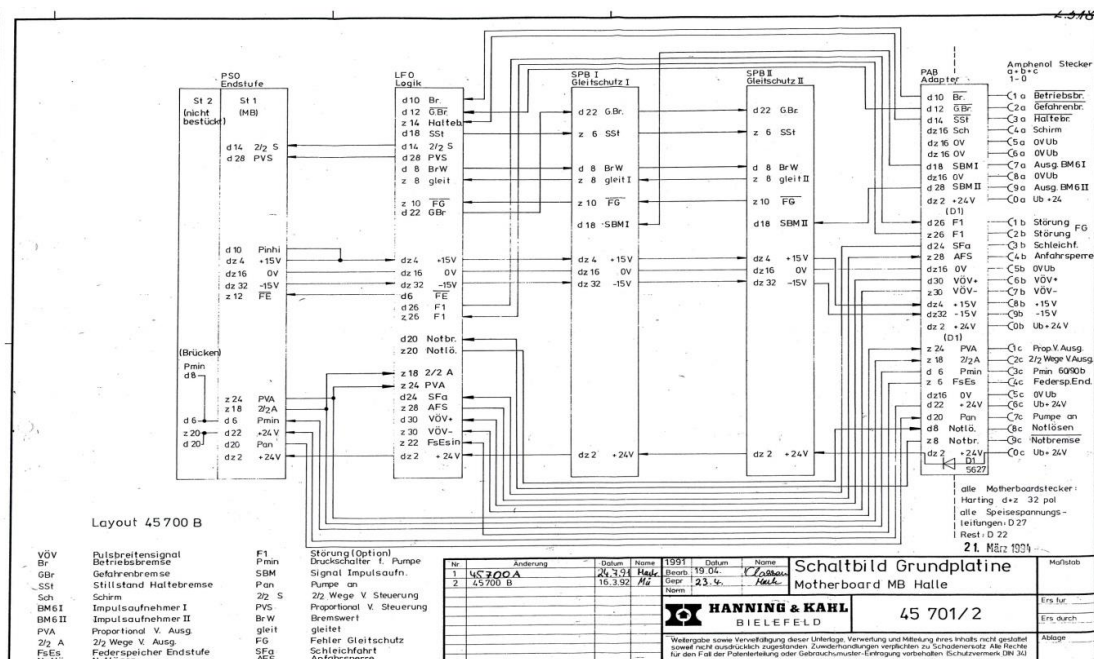
Платка LFO също е основен модул и осигурява изпълнението на алгоритъма на спирането и формира маломощните сигнали за ABS системата, двупътния и пропорционалния вентил. Тя обработва входните сигнали и ги съгласува с крайното стъпало изпълнено от PSO. Съгласува спирачното задание и дефинира приоритетите на спирачния режим. Основните функции на платка LFO са следните:

- осигурява приоритетите на управляващите сигнали в зависимост от режимите на спиране;
- осигурява и формира напрежението на управлението на пропорционалния вентил;
- осигурява сигнал за управлението на двупътния вентил;
- показва текущото състояние на спирачната система, различните задания, посредством блока за визуализация;
- интегрира сигналите от платките SPB за ABS системата;
- осигурява сигнал за електромагнитното спиране;
- подава управление за светлинни сигнали при възникнали проблеми в спирачната система, които се визуализират на арматурата в кабината на ватмана.

Платките SPB, два броя, за съответните талиги обработват и съгласуват сигналите от индукционните датчици за обороти, които следят скоростта на въртене на колоосите на двете талиги. Основните функции които изпълняват са:

- визуализират наличието на верига и изправност на датчиците за обороти;
- съгласуват по амплитуда сигнала от датчиците, които се обработват от платка LFO.

На фиг. 2 е показана схема на електрическите връзки между основните модули на блока за управление и трамвая. [5]



Фиг.2. Схема на електрическите връзки между модулите на блока и мотрисата

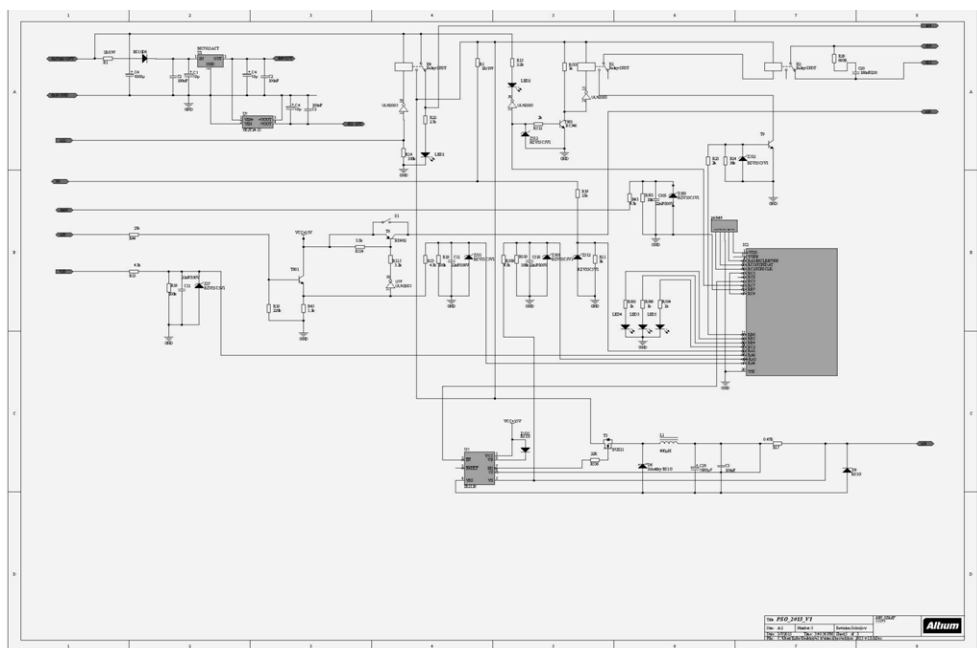
3. Проектиране на основните модули в блока за управление

Проектирането на основните електронни модули на МСУ на спирачните режими на трамвайната мотриса е направено съгласно изготвено техническо задание на базата на разширено експериментално изследване на режимите на работа на блока за управление. Техническото задание е съгласувано с възложителя и е реализирано съгласно договор със Столичен електротранспорт ЕАД.

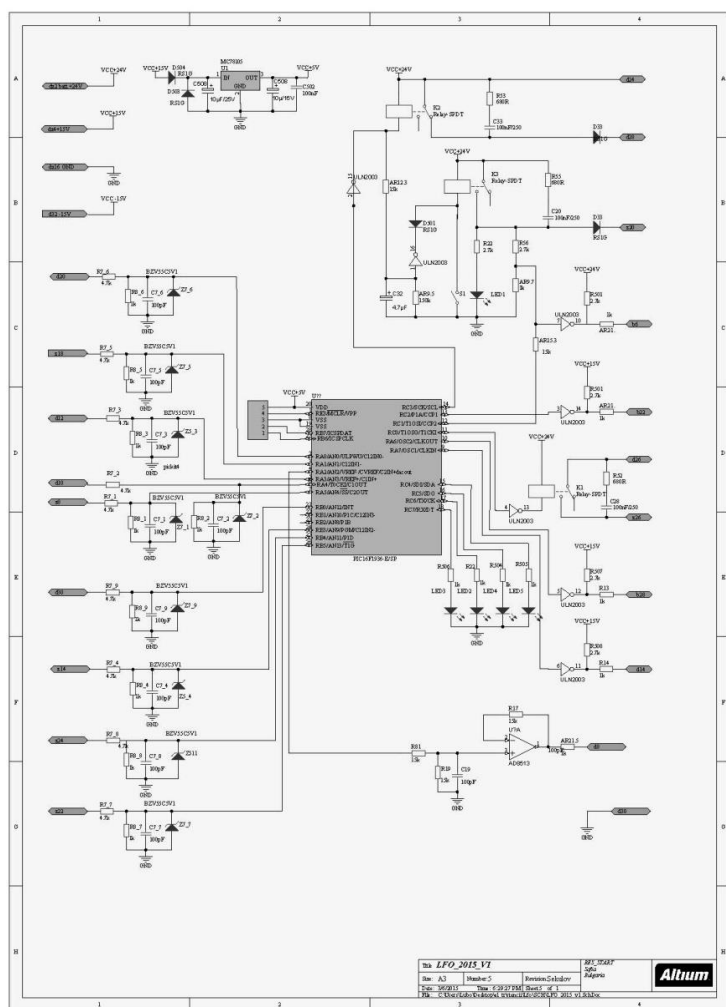
Проектираните и изработени платки PSO_2015_v2 и LFO_2015_v2 са пълни функционални аналози на съществуващата платки производство 1994 г. на фирмата *Hannig & Kahl*. Те са основни модули от спирачната станция. На фигури 3 и 4 са показани проектираните модернизиращи схеми на модулите PSO и LFO, които са изпълнени с много по-малко на брой SMD елементи и микропроцесорно управление, заместващо остарялото TTL логическо такова. Захранването на блока, което се извършва от платка PSO е модернизирано, като мултивибраторната каскадна схема за отрицателно напрежение е заменена с интегрален DC/DC преобразувател. Регулирането на тока на пропорционалния вентил се осъществява посредством ШИМ, реализирана от микропроцесора, като краен усилвател се използва средно-мощен MOSFET транзистор.

Изборът на съвременни и малко на брой елементи осигурява висока надеждност и ниска вътрешна консумация на изпълнението. Софтуерът за управление е разработен съобразно функционалността на модула и гарантира безотказност на работата и простота на схемата. Светодиодната индикация показва в реално време функционалността на модула и аварийите. Тя служи за лесна и точна диагностика на цялата електрическа схема на спирачната система на трамвайната мотриса, това липсва и е основен недостатък при старите модули.

Схемата на платка LFO е изградена с микропроцесор, който замества изцяло логиката на TTL изпълнението, откъдето намалява консумацията на схемата и броят на елементите, които участват в изпълнението. Визуализацията реализирана посредством светодиодна индикация показва моментното състояние на режимите на спиране – спирачни позиции, стационарни режими и аварии.



Фиг. 3. Модернизираната електрическа схема на модул PSO



Фиг 4. Модернизирана електрическа схема на модул LFO
спирачна система работи надеждно, не изисква поддръжка и е високоефективна. В проекта ще се изградят всички основни модули на спирачния блок, като на тази база ще

По аналогичен начин са проектирани и изработени всички функционални модули в блока за управление. Разработената микропроцесорна спирачна система е въведена в експлоатация от 3 години на 14 трамвайни мотриси в трамвайни паркове „Красна поляна“ и „Искър“. Икономическият ефект от разработката е много голям и се изразява в сигурната и надеждна работа на спирачната система на ремаркетото на всички спирачни позиции, намаляване на тласъците и вибрациите, в следствие на плавното регулиране на спирачното усилие и добрата съгласуваност на спирачните режими на двата вагона.

През периода на експлоатация силно намаляха отказите и ремонтите по спирачната система, повиши се енергийната ефективност на мотрисите. Внедрената

се изгради стенд с възможност за измерване и анализ на основните параметри на спирачния процес. Това ще разшири възможностите за обучение на студентите в тази област на техниката.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получените резултати при внедряването на модернизирани модули в Столичен електротранспорт показват безотказност и надеждност при работа на спирачната система на трамвая. Чрез реализацията на стенда, включващ МСУ на спирачните режими в съвременните ЕТС, се създават възможности за провеждане на експериментални изследвания и снемане на основните характеристики при различни алгоритми на управление на спирачните системи и реализация на ефективно обучение на студентите по редица специалности във ВТУ „Тодор Каблешков“.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Българанов Л. Електрически транспорт – гр. София, 2009г.
- [2] Димитров В., Е. Димитрова, Определяне качеството на регулиране при системи за автоматично управление – лабораторен стенд, Научни трудове на Русенския университет - 2013, ISSN 1311-3321, том 52, серия 3.2, стр. 153-158, <http://conf.uni-ruse.bg/bg/docs/cp13/3.2/3.2-26.pdf>
- [3] 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.
- [4] Лалев Т., Ив. Миленов. Проектиране на цифрова релейна защита за тягови електрически вериги за постоянен ток - Научно списание Механика Транспорт Комуникации том 12, брой 3/2, 2014 г. статия № 1008 ISSN 1312-3823
- [5] Hannig & Kahl, Техническа документация на съществуващия спирачен блок за управление, 1988г.;

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A STAND FOR TESTING THE BRAKING SYSTEMS OF TRAM CARRIAGES

Georgi Pavlov, Lubomir Sekoulov, Martina Tomcheva
g_pavlov61@abv.bg, res_start@abv.bg

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

Key words: *electric braking, electric vehicles, tramcars and carriages, microprocessor control.*

Abstract: *Contemporary researches in the area of braking regimes of electrical vehicles (EV) are mainly targeted to improve the electric energy efficiency in the use of the electric braking systems. Tramcars comprised of an engine and a coupled carriage require an effective coordination of the electrical braking of the engine car and the mechanical braking of the coupled carriage. This report presents the key results of the modernisation of the main electronic modules assembled in a stand for testing the effectiveness of the actual braking systems employed in tram cars and carriages in the public electric transport of the Bulgarian capital.*