

---

**МОДЕРНИЗАЦИЯ НА СИСТЕМИТЕ ЗА УПРАВЛЕНИЕ  
И КОНТРОЛ С ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ КОНТАКТИ В ГРАДСКИЯ  
ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТ ПОСРЕДСТВОМ ЛОГИЧЕСКИ  
БЕЗКОНТАКТНИ ЕЛЕМЕНТИ**

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

**Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”,  
София, ул. „Гео Милев” № 158  
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ**

**Ключови думи:** безконтактен логически елемент, електрически транспорт, системи за контрол и защита, трамвайни мотриси

**Резюме:** Развитието на логическите безконтактни елементи започва приблизително от 1954-1955 година първо в САЩ. Този доклад предоставя схемно решение на безконтактен логически елемент изпълнен с полупроводници, който може да се използват както в спомагателните електрически вериги на градския електрически транспорт (ГЕТ) така и във веригите за управление и контрол на същия.

В електрическите транспортни средства (ЕТС) произведени преди 1990 г. масово се използват електромеханични контактни системи, които днешно време създават проблеми при експлоатацията и поддръжката на същите. Надеждността на движение на ЕТС е основен показател за качеството на транспортната услуга, която определя неговата значимост и се търсят начини за нейното повишаване.

Известни са безконтактни елементи за променлив ток и напрежение основани на тиристорна технология, които са трудно приложими при спомагателните вериги на ГЕТ поради сложността за комутация на постоянен ток и напрежение, какъвто е този в спомагателните вериги на съвременните ЕТС. Предложената схема в доклада е приложима, реализирана съобразно напреженията и токовете при спомагателните вериги на ЕТС захранвани с 24VDC и комутиращи токове и напрежения до 20A и 60VDC.

Въпреки, че е разгледана конкретна схема за контрол и защита на трамвайна мотриса (ТМ) Ве4/6S, същата схема за безконтактни логически елементи може да се приложи и при всички ЕТС, където напреженията за спомагателните вериги са стандартни.

За целите на модернизацията е избрана част от модул от блокова схема на БУ С0805, която изпълнява основна функция за контрол и защита на напреженията в БУ, и напреженията за спомагателните нужди на ТМ Ве4/6S, и където е налична контактна система управлявана от една бобина.

## 1. ВЪВЕДЕНИЕ

В създаването на съвременни системи за автоматично управление (САУ), контрол и защита всяка следваща година продължава тенденцията на разработването на комутиращи устройства, които нямат механични контакти. Тази тенденция е причинена от необходимостта от увеличаване на надеждността на САУ. Надеждността на контактните системи рязко се намалява с увеличаване на броя на контактите и необходимостта от бързодействие. Многоконтролни и високоскоростни САУ и контрол са необходими за много съвременни устройства за управление на ЕТС, както при тяговите така и при спомагателните вериги.

Когато е налице автоматизиран процес от електрическата верига със система от безконтактни елементи, които изпълняват същите функции, каквито се изискват от система електромеханични контактни релета, то тези елементи се наричат логически безконтактни елементи.

Понастоящем са налични различни безконтактни устройства, заместващи отделни контактни устройства - електромеханични релета, времеви релета, реверсори за задвижване на електрически двигатели и др.

## 2. ОПРЕДЕЛЯНЕ НАДЕЖДНОСТТА НА БЕЗКОНТАКТНИТЕ ЛОГИЧЕСКИ ЕЛЕМЕНТИ СПРЯМО ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИТЕ КОНТАКТНИ СИСТЕМИ

В системите за автоматично управление от релейно-контактен вид при експлоатация се изисква периодично да се проверява работата на контактите, тяхното почистване, настройка, подмяна при повреда. Колкото повече електромеханични устройства с контакти има в системата за управление и контрол, толкова по-голяма е вероятността за отказ на системата[2].

За количествената степен за вероятността за фалшиви сработвания на цялата контактна система автоматично управление с  $n$  контакти са известни следните съотношения. За вероятността за сработването на един контакт е:

$$(1) \gamma_1 = 1 - \varepsilon$$

където,

$\varepsilon$  - вероятност за отказ на един контакт.

За вероятността за правилната работа на двуконтактна система:

$$(2) \gamma_2 = (1 - \varepsilon)^2$$

За триконтактна система:

$$(3) \gamma_3 = (1 - \varepsilon)^3$$

За  $n$  контакта:

$$(4) \gamma_n = (1 - \varepsilon)^n$$

Изразът (4) може да бъде разложен с помощта на Нютоновия бином. Тъй като стойността на  $\varepsilon$  при нормални работни условия на експлоатация е много малка (около  $10^{-5}$ ), тогава за членове, съдържащи  $\varepsilon$  във втора и по-висока степен се получава с приближение[1]

$$(5) \gamma_n \approx 1 - n \cdot \varepsilon$$

Тогава вероятността за безотказната работа  $P_{(t)}$  по време  $t_r$ , според теорията на вероятността, в този случай се определя от закона за разпределението на Поасон. Според този закон по време на работа  $t_r$ , вероятността за безотказна работа на САУ е:

$$(6) P_{(t)} = e^{-\lambda \cdot t_r}$$

където,

–  $\lambda = \frac{1}{t_{\varepsilon}}$  е средната честота на отказите за един час;

–  $T_{ср}$  е безотказната работа на полупроводниковия елемент.

При наличието на  $m$  елемента всеки от който си има честота на отказите  $\lambda_1$  до  $\lambda_m$  общата вероятност на безотказна работа  $P_{ср}(t)$  се изчислява по формулата:

$$(7) P_{ср}(t) = \prod_{i=1}^m P_i(t) = e^{-(\sum_{i=1}^m \lambda_i)t}$$

Важно е да се отбележи, че характерът на причините за отказите при контактните и безконтактните системи е различен, именно че при контактните системи се изчислява сработването на контактите, а при безконтактните времето за безотказна работа.

Ако се сравни при какви условия безконтактните системи се показват по-надеждни от контактните и ако цикълът за работа на системата и се положи с  $t_c$  то циклите за работа за 1 час са  $\frac{1}{t_c}$ . Вероятността за отказите на контактната система с  $n$  контакта е приблизително равна на:

$$(8) \lambda_n = n \cdot \lambda$$

то честотата на отказите е

$$(9) \lambda = \lambda_n \frac{1}{n}$$

Тогава вероятността за безотказната работа по време  $t_c$ , според теорията на вероятността, в този случай се определя от закона за разпределението на Пуасон

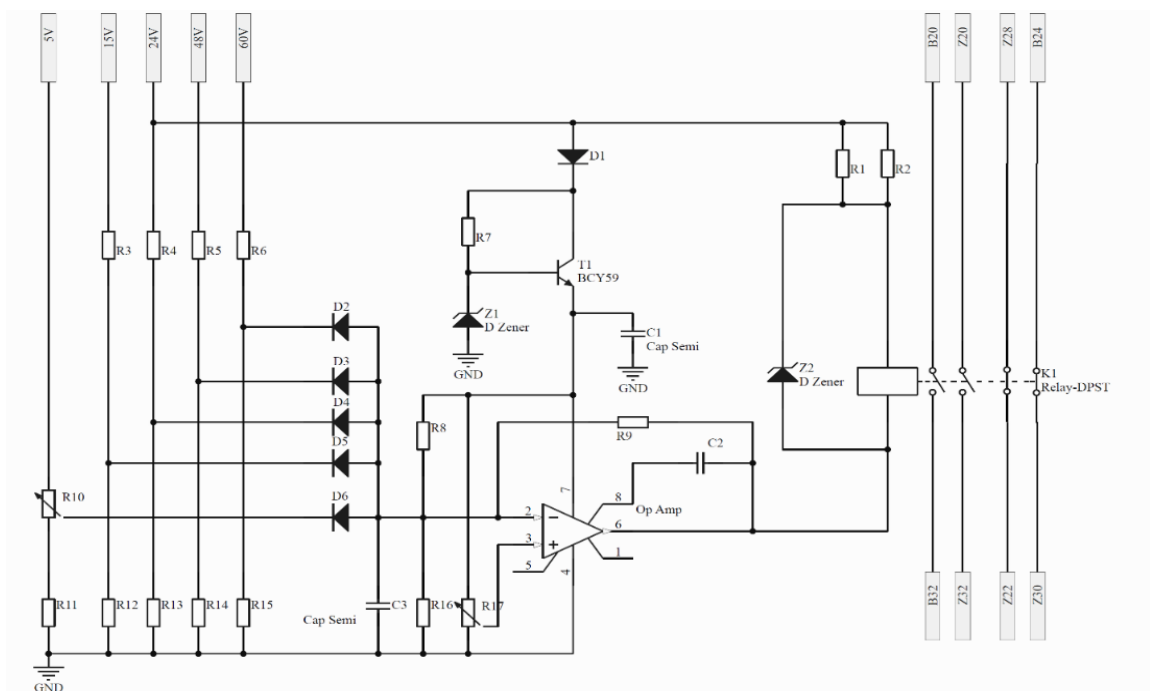
$$(10) P_{ср}(t) = e^{-\lambda_n \frac{t_c}{n}}$$

Сравняване на изрази **Error! Reference source not found.** и **Error! Reference source not found.** можем да кажем, че системата, която абсолютната стойност на показателя  $\lambda$  е по-малка, т.е. безконтактната система ще бъде по-надеждна от контактната, когато е изпълнено неравенството [1]:

$$(11) \sum_{i=1}^m \lambda_i < \frac{n \cdot \lambda}{t_c}$$

### 3. ФУНКЦИЯ И ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ НА СХЕМА ЧАСТ ОТ МОДУЛ С0805 ЗА КОНТРОЛ И ЗАЩИТА НА БЛОК ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ТМ Ве4/6S

БУ за управление на ТМ е съставен от 9 електронни модула, като всеки един има конкретно предназначение. Блок С0805 има три функции и три отделни електрически, като схеми, като схемата за контрол и защита по напрежение е показана на Фиг. 1[3].



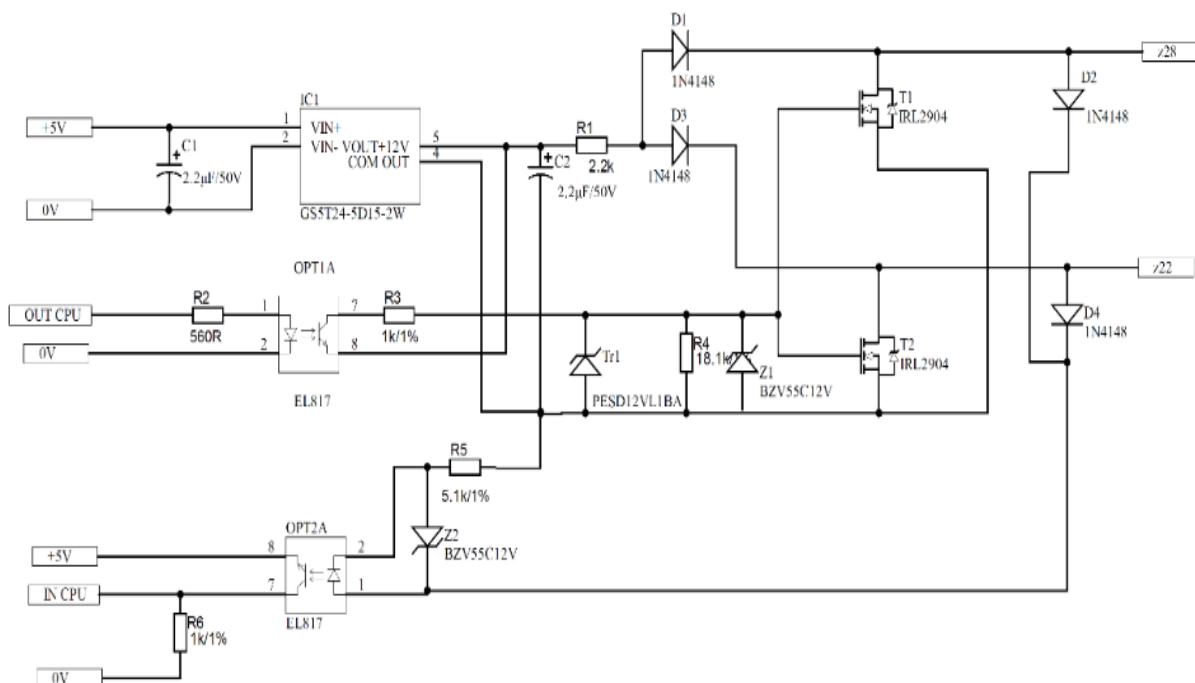
Фиг. 1. Принцилна схема за защита и контрол на напрежението, част от модул С0805

Схемата е реализирана посредством операционен усилвател(ОУ), който работи като компаратор на напрежение. На инвертиращия вход е реализирана схема, логическо “ИЛИ” с пет входа посредством пет диода с общ анод и пет делителя на напрежения, като единият от тях е регулируем. На неинвертиращия вход на ОУ има регулируем резистор R17, с който се настройва нивото на сработване на ОУ. Схемата се захранва с регулатор на напрежение реализиран с транзистор Т1, ценов диод Z1, резистор R7, като изходното напрежение се филтрира с кондензатор С1. Изходът на ОУ захранва бобината на постоянноотково напреженово реле, което е с четири единични механична контакта, два нормално отворени и два нормално затворени. Бобината на релето и схемата е защитена от пренапрежения с паралелно включен към нея ценов диод Z2. Обратната връзка осигурява голям коефициент на усилване на ОУ. Осигурена е честотна компенсация посредством С2.

Предназначението на схемата е да осигурява минимално напреженова защита на всички оперативни напрежения, които се използват от БУ и посредством релето да спира работата на БУ. В случай, че някои от следените напрежения +5V, +15V,+24V,+48V,+60V падне с 10% или изчезне, на изхода на компаратора нивото става близко до 24V и прекъсва захранването на бобината на релето, което променя състоянието на контактната система в нормално състояние. Когато контактната система е в нормално състояние се спира работата на БУ[3].

#### 4. МОДЕРНИЗАЦИЯ НА СХЕМА ЗА КОНТРОЛ И ЗАЩИТА НА БЛОК ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ТМ Ве4/6S C0805

На Фиг. 2 е разработена и проектирана схема на безконтактен логически елемент, който може да се използва за модернизация на част от БУ C085 и да замести успешно електромеханичната контакторна система обяснена и показана в предишна точка от доклада.



Фиг. 2. Логически безконтактен елемент

Използваните елементи и номерация им за реализация на схемата са показани в Таблица 1.

Таблица 1 Използвани елементи

2.2μF/50V	C1, C2
1N4148	D1, D2, D3, D4
GS5T24-5D15-2W	IC1
EL817	OPT1, OPT2
2.2k	R1
560R	R2
1k/1%	R3, R6
18.1k/1%	R4
5.1k/1%	R5
IRL2904	T1, T2
PESD12VL1BA	Tr1
BZV55C12V	Z1, Z2

Схемата работи като електронен, униполярен, постоянен ток и променлив ток ключ. Ключът е изпълнен с два MOSFET транзистора, в които има вградени обратни диоди. Управлението на транзисторите се осъществява от оптрон OPT1, като по този начин се разделя галванично силовата част от управлението. Схемата се захранва DC/DC преобразувател 24/15V, който също осигурява галванично разделяне на управлението от ключа. Има налична обратна връзка осъществена през диодите D2 - D4, резистора R5 и оптрона OPT2, която следи за състоянието на ключа.

Схемата работи по следния начин. Осигурява се захранване 24V на DC/DC инвертора. При липса на напрежение на диода на оптрона транзисторът му е запушен и потенциалът на двата гейта на MOSFET транзисторите е близък до 0V, транзисторите са запушени. През диодите D1-D4 се подава захранващо напрежение на диода на оптрона OPT2 като той осигурява високо ниво 5V TTL на резистора R6. Това е индикация, че ключът е готов за комутация и е запушен.

Когато постъпи управляващо напрежение 5V или високо TTL ниво на оптрона OPT1, през резистора R2 с отпушва транзистора в оптрона и през резистора R3 се осигурява ток и напрежение за отпушване на двата MOSFET транзистора. Те понижават напрежението на диода на OPT2 и на резистора R6 се получава ниско TTL ниво 0V, което е индикация за нормална работа и за отпушен транзистор.

## 5. ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА НАДЕЖДНОСТТА НА СХЕМАТА НА ТМ СЛЕД МОДЕРНИЗАЦИЯТА

Според спецификацията на използваното реле в схемата производителя дава 1000000 безотказни комутации и предвид, че релето е с четири контакти се изчислява по формула **Error! Reference source not found.** След изчисление се получава стойността  $4 \cdot 10^{-6}$

В Таблица 2 са показани отказите на елементите използвани в схемата от Фиг. 2.

Честотата на отказите са за елементи използвани произведени след 2017 г и времето между отказите (MTBF) са изчислени по метода MIL-HDBK-217F и съобразно публикуваните данни за различните електронни компоненти [4].

Според Формула **Error! Reference source not found.** и замествайки данните от Таблица 1 се изчисляват отказите относими към цикъла на включване  $t_c$  на релето.

$$\text{За } t_c < \frac{n \cdot s}{\sum_{i=1}^m \lambda_i} = \frac{4 \cdot 10^{-6}}{4.16 \cdot 10^{-6}} = 6 \square 40 \text{min}$$

**Таблица 2 Откази на използваните елементи**

Наименование на елементите	Количество на елементите, k	Честота на отказите за 1 час, λ	λ.k
Кондензатори керамични	0	3,60E-09	0,00E+00
Кондензатори електролитни	2	2,40E-08	4,80E-08
Резистори метално оксидни	0	1,20E-09	0,00E+00
Резистори въглеродни	5	2,30E-09	1,15E-08
Диоди бързодействащи	4	9,40E-10	3,76E-09
Диоди ценови	3	3,30E-09	9,90E-09
Транзистори биполярни	0	1,50E-10	0,00E+00
Транзистори MOSFET	2	1,20E-08	2,40E-08
Транзистори IGBT	0	1,40E-08	0,00E+00
Опторони	2	2,70E-08	5,40E-08
Платка	1	4,00E-11	4,00E-11
Сума от времената за отказите			<b>1,51E-07</b>

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Според получените резултати става ясно, че в конкретния случай е по-надеждно използването на схемата на безконтактен логически елемент обект на доклада, вместо електромагнитно напрежено реле навсякъде, където има повече от една комутация на денонощие. На практика това са всички спомагателни релета за контрол и управление в ЕТС. При нормална експлоатация на ТМ тази контактна система включва най-малко веднъж на ден като по-голямата честота на комутация е пропорционалната включването на ТМ и най-вече от графика на движение на ТМ и прибирането в депо от линия. Също така е очевидно, че с дългосрочна работа на контактната система вероятността за отказ също ще се увеличи, поради фактори които не са засегнати в доклада свързани с увеличаване на контактното съпротивление вследствие намаляване на еластичността на пружината, характера на тока и напрежението, които се комутират, и температурата на контактната система.

Предложената схема има обратна връзка, с която се установява изправността на електронния ключ и нормалната комутация, което е съществено предимство. Бързодействието на предложената схема не е обект на този доклад. Схемата може да работи и при променливо напрежение, както и да комутира мощности с по-високи честоти от 50Hz, което не е обект на този доклад. Комутираната мощност зависи от подбора на MOSFET транзистори и възможността на охлаждане, което също не е обект на този доклад.

### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Миллер Е.В. Бесконтактные логические элементы на полупроводниках и их применение УДК65.011.56:62-52
- [2] Петров И., В. Димитров, Системи за автоматично управление – Ръководство за лабораторни упражнения, трето преработено и допълнено издание, ISBN 978-619-7472-07-3, София, ВТУ "Т. Каблешков", 2019г.
- [3] Техническа документация на ТМ Ве4/6S експлоатиран от Столичен електротранспорт ЕАД.
- [4] Данни за отказите на съвременни електронни компоненти [https://reliabilityanalyticstoolkit.appspot.com/mil\\_hdbk\\_217F\\_parts\\_count](https://reliabilityanalyticstoolkit.appspot.com/mil_hdbk_217F_parts_count)

# MODERNISATION OF THE COMMAND AND CONTROL SYSTEMS WITH ELECTROMECHANIC CONTACTS IN PUBLIC ELECTRIC TRANSPORT THOROUGH CONTACTLESS LOGICAL ELEMENTS

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

*Todor Kableshkov University of Transport  
Sofia, 158 Geo Milev Str.158  
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

**Keywords:** *contactless logical element, electric transport, control and safety systems, tram motrices*

**Abstract:** *Contactless logical elements were first developed about 1954-1955, in the USA. This report provides a circuit design for a contactless logical element made with semiconductors, which can be used in both the auxiliary electric circuits of the electric public transport, as well as in its command and control circuits.*

*The electric transport vehicles (ETV) manufactured before 1990 vastly employ electromechanic contact systems, which tend to be quite problematic for exploitation and maintenance today. The rail and road worthiness of ETV is a key indicator for the quality of the transport service, which predetermines its significance, whereby, ways for its further improvement are constantly being sought.*

*There are contactless elements for alternating current and voltage based on thyristor technology, which are hard to use in EPT auxiliary circuits due to the complexity in the commutation of direct current and voltage, which operate the auxiliary circuits of modern ETV. The circuit proposed in the report is applicable, and accomplished based on the voltage and current values in the auxiliary circuits of ETV powered on 24VDC, with commuting currents and voltages of up to 20A and 60VDC.*

*Although the report dwells on a specific control and safety circuit design for tram motrice (TM), Be4/6S, the same circuit for contactless logical elements can be used in all ETV with auxiliary circuits on standard voltages.*

*For the purposes of modernisation, a module segment was selected from the block circuit of BY C0805, which is in charge of the main voltage control and safety function in the control panel and of the voltages for the auxiliary demands of TM Be4/6S, with a contact system controlled by one coil.*