

---

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ НА СТАТИЧЕН ПРЕОБРАЗОВАТЕЛ ТИП 2 UKSBRI-DB ЗА ТРАМВАЙНА МОТРИСА**

**Георги Павлов, Любомир Секулов, Явор Исаев, Тодор Лалев, Мартина Томчева**  
[g\\_pavlov61@abv.bg](mailto:g_pavlov61@abv.bg), [res\\_start@abv.bg](mailto:res_start@abv.bg)

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

***Ключови думи:** статичен преобразувател, електрически транспортни средства, трамвайна мотриси, градски транспорт*

***Резюме:** Статичните преобразуватели(СП) са устройства, които намират широко приложение в електрическите транспортни средства(ЕТС) за постоянен и променлив ток. Основната им функция е да осигурят необходимите захранващи параметри и тяхната стабилизация за спомагателните консуматори в ЕТС, както и да поддържат заряда на акумулаторните батерии.*

*Статичните преобразуватели от типа 2 UKSBR-DR се използват масово в чешките трамвайни мотриси T4-DM. Силовата им схема е реализирана посредством еднооперационни тиристорни и комутационни LC контури, което създава определени затруднения в експлоатацията и намалява надеждността на устройството. Тези схемни решения ограничават комутационната способност и ефективност на регулатора в тягов и спиращ режим.*

*В доклада са представени проектирането и модернизацията на силовата част на статичния преобразувател, посредством съвременни IGBT компоненти. Системата за управление също е модернизирана, тя е микропроцесорна, отговаряща на изискванията на съвременната IGBT технология.*

### **ВЪВЕДЕНИЕ В ПРОБЛЕМА**

Статичните преобразуватели намират широко приложение в градските електрически транспортни средства (трамваи и тролейбуси). Те захранват всички спомагателни електромеханичните устройства в ЕТС, както и поддържат заряда на акумулаторните батерии. За тази цел захранващото мрежово напрежение и ток се преобразуват и понижават до необходимите стойности за нормалната им работа. Основната им функция е да осигуряват необходимото стабилизирано електрозахранване на тези съоръжения, като по този начин поддържат нормалната работа на силовите тягови агрегати и управлението на ЕТС. [1]

В момента в Столичен електротранспорт се експлоатират различни поколения тролейбуси и трамвайни мотриси с променливотоково и постоянноково електрозадвижване, в зависимост от типа на тяговите двигатели. Използват се два вида СП с постоянноково или комбиниран (постоянноково и променливотоково) изход, определящ се от вида на захранващите параметри на спомагателните консуматори. При различните поколения СП тези схемни решения са реализирани посредством импулсни

регулатори с еднооперационни тиристори или транзистори, както и инвертори реализирани с IGBT.

В доклада е предложен вариант на модернизация на силовата схема на конкретен тип СП за трамвайна мотриса Т4-DM. Преобразувателят 600/26V DC ( $I_H=150$  A) е реализиран с еднооперационни тиристори и комутиращи L-C контури за запусване на тиристорите. Предназначен е за захранване на акумулаторната батерия и всички електрически устройства на 24V от напрежението на контактната мрежа. Предходната модернизация на това устройство включва изграждането на микропроцесорна система за управление, обезпечаваща необходимият алгоритъм на работа на устройството, както и контрол на входните и изходните параметри при основните режими на работа. [2]

В момента от този тип СП се експлоатират на повече от 70 броя трамвайни мотриси. Причината за модернизацията на силовата схема на базата на IGBT и системата за управление са честите откази при работа и ниската им надеждност.

## **1. ОСНОВНИ ПАРАМЕТРИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ НА СТАТИЧЕН ПРЕОБРАЗОВАТЕЛ ТИП 2-UKSBR-DB**

СП 2-UKSBR-DB е предназначен за захранване на акумулаторната батерия и електрическите устройства с  $U_H=24V$  от напрежението на контактната мрежа (600V). В устройството се осъществява галванично разделяне на входното (600V) и изходно напрежения (26V).

Номинални технически данни:

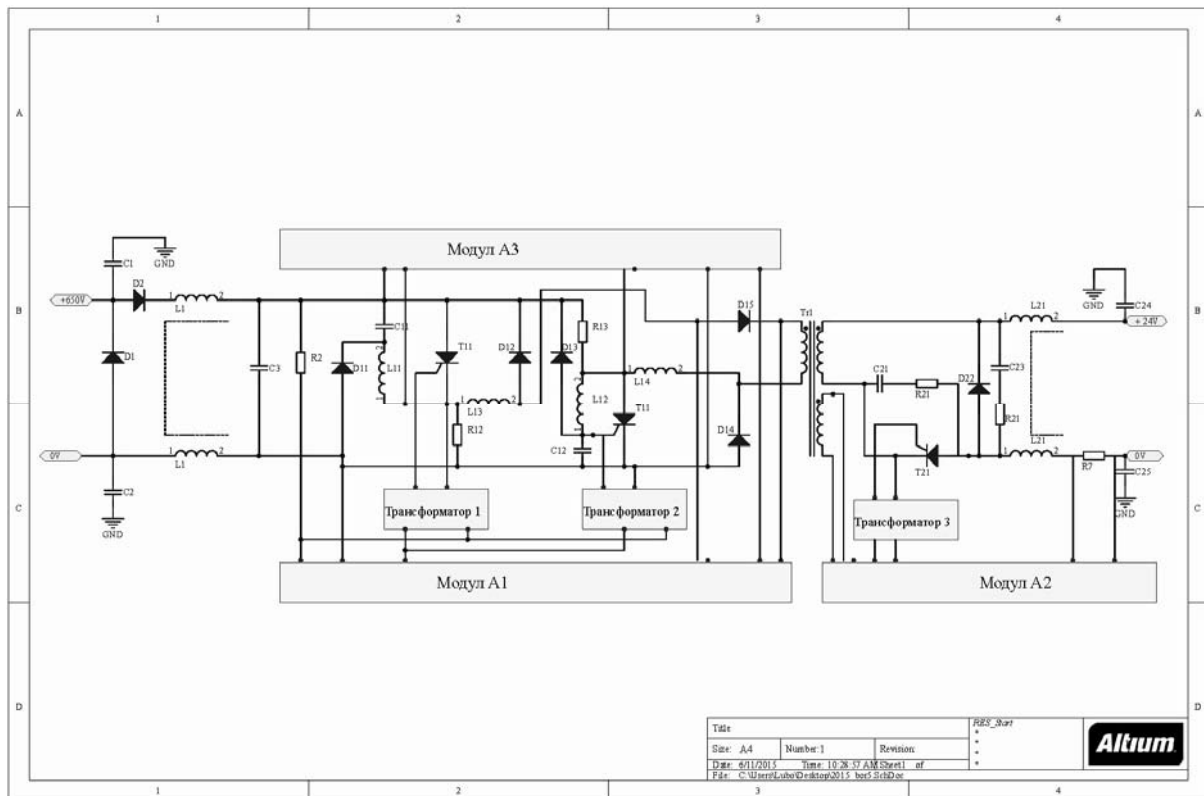
- Номинално входно напрежение - 600 V;
- Допустим диапазон на изменение на напрежението - 400 - 820 V;
- Номинален входен ток - 8 A;
- Номинална мощност - 3,9 kW;
- Номинално изходно напрежение - 26 V;
- Диапазон на изменение на изходното напрежение – 25,5 – 26,5 V;
- Номинален изходен ток - 150 A;
- Максимален изходен ток - 160 A;
- Работна честота на СП – 400 Hz.

СП се състои от следните функционални групи – входен контур (филтър), инвертор, състоящ се от тиристорите  $T_{11}$  и  $T_{12}$ , еднофазен тринамотъчен трансформатор с две вторични намотки, едната от които е свързана към модул А2(управление на регулатора). Другата вторична намотка е свързана към изходен контур, представляващ импулсно регулиращо устройство, реализирано с тиристора  $T_{21}$ . Управляваната честота е 400Hz, тя е ограничена от възможностите на използваните тиристори. [4]

На фиг. 1 е показана принципната силова схема на СП, на която се виждат част от функционалните групи на преобразувателя. Системата за управление, модули А1 и А2, не е показана поради това, че не е обект на разглеждане в този доклад. Модул А3 е изграден от защитни RC вериги, които защитават мощните тиристори  $T_{11}$  и  $T_{12}$  от пренапрежения. Между СУ и тиристорите съществуват съгласуващи импулсни трансформатори, които осигуряват нужното напрежение и ток за отпушване на тиристорите.

Променливото импулсно напрежение върху първичната намотка на трансформатора Т1 се създава чрез съвместната работа на тиристорите  $T_{11}$  и  $T_{12}$  и включените в схемата индуктивни и капацитивни елементи. Тяхното правилно оразмеряване определя формата на тока и напрежението на трансформатора  $T_1$ . Комутиращите контури, състоящи се от реактивните елементи  $C_{11}$ ,  $L_{11}$  и  $C_{12}$ ,  $L_{12}$ , гарантират правилната работа на основните тиристори  $T_{11}$  и  $T_{12}$ . Те определят

необходимите параметри за запущване (напрежение, ток и време) на силовите тиристори и с това гарантират надеждната работа на силовата схема на СП. [3]



Фиг. 1. Силова електрическа схема на СП

В схемата на фиг.1 от стойностите на комутиращите индуктивности  $L_{11}$  и  $L_{12}$  и капацитети  $C_{11}$  и  $C_{12}$  се определят големините на схемното време ( $t_{cx}$ ) за запущване на тиристорите и презарядният ток на комутиращия кондензатор  $C_k$  по формулите:

$$(1) \quad t_{cx} = \frac{2}{\omega} \cdot \arccos\left(\frac{I_T}{I_m}\right)$$

$$(2) \quad i_{C_{11}} = U_{C_{11}} \cdot \sqrt{\frac{C_{11}}{L_{11}}} \cdot \sin(\omega.t)$$

където  $\omega = \frac{1}{\sqrt{L_{11} \cdot C_{11}}}$  е кръгова честота на собствени колебания на комутиращия контур;  $I_T$  и  $I_m$  са големините на товарния ток на СП и максималната (пикова) стойност на презарядния ток на комутиращия контур.

Схемното време на комутатора е един от основните параметри на регулатора. То се съобразява с типа на избраните полупроводникови елементи и режима на работа на устройството. За тиристора  $T_{12}$  зависимостите са аналогични, само се сменят индексите на реактивните елементи участващи в този контур.

Във вторичната верига на трансформатора е включен тиристора  $T_{21}$  чрез който се осъществява стабилизация на изходното напрежение. СУ реализира широчинно регулиране в зависимост от големината на товарния ток на СП, като поддържа изходното напрежение в зададените по-горе граници.

С цел да се осъществи нормална работа на силовата схема на СП, а от там на ЕТС, в новоизграденото микропроцесорно управление са вградени следните функции:

- Кварцово стабилизирани източник на напрежение с честота 400 Hz;
- Контрол на напрежението на входният контур – следят се минимална и максимална стойност на входното напрежение;
- Контрол на напрежението в специфични точки на силовата верига на СП, с цел обезпечаване на сигурна и надеждна работа на тиристорите  $T_{11}$ ,  $T_{12}$  и  $T_{21}$ ;
- Контрол на зададената външна характеристика на устройството;
- Блокиране на управляващите импулси при аварийни режими и др.. [5]

Реализирана силова схема на СП има редица недостатъци, които могат да бъдат отстранени като се използват по-големите възможности на съвременната полупроводникова техника. Недостатъците на това схемно решение могат да се формулират по-следният начин:

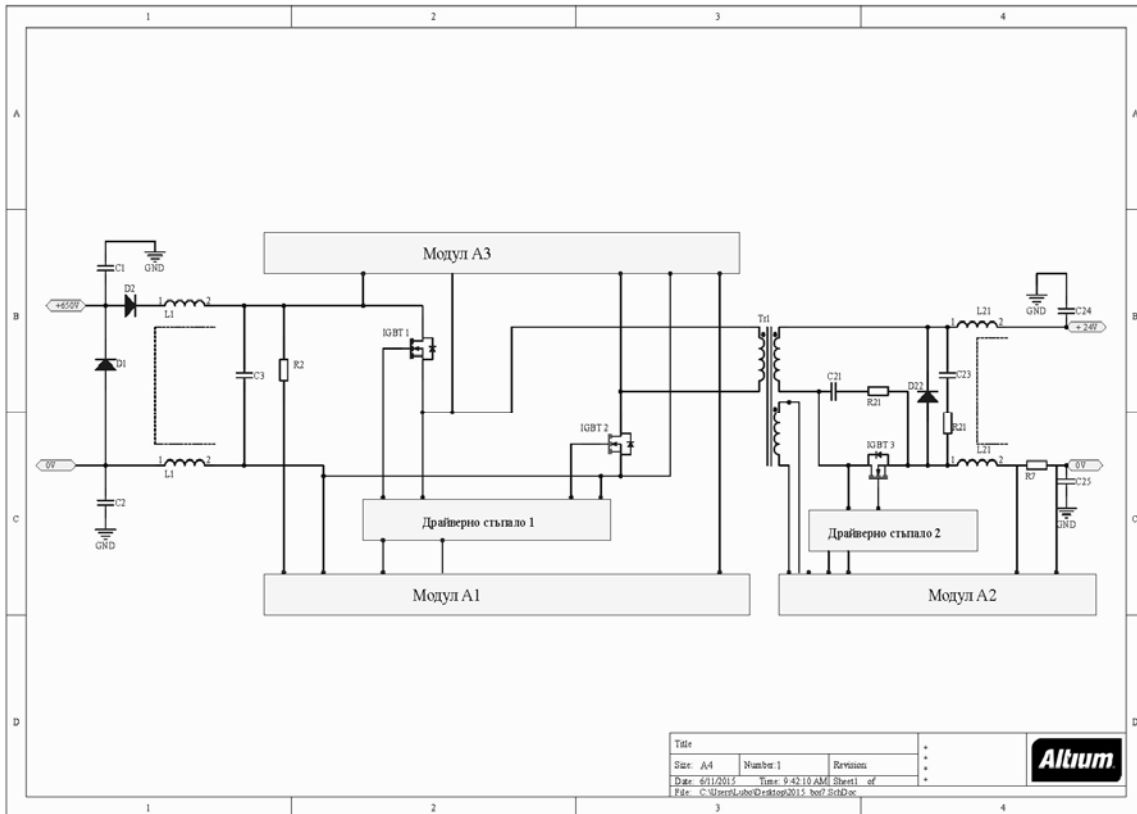
➤ ниска комутационна честота, ограничена от типа на използваните еднооперационни тиристори. Увеличава габаритите на устройството и намалява комутационната му способност;

➤ наличието на комутиращи контури, необходими за запусване на главните тиристори. Увеличават габарита и усложняват силовата схема на СП. При промяна на стойностите на реактивните елементи (при стареене на кондензаторите) се намалява нейната надеждност и се създават условия за поява на аварийни режими;

➤ проектираната и вградена от една година микропроцесорна СУ дава възможност за използване на съвременни IGBT, които по силови и управляващи параметри многократно превъзхождат използваните тиристори. Това до голяма степен води до опростяване на силовата схема, отпадане на комутиращите контури и други елементи. Бързодействието на тези прибори позволява надеждно и адекватно управление във всички режими на СП.

## **2. МОДЕРНИЗАЦИЯ НА СИЛОВА СХЕМА НА СТАТИЧЕН ПРЕОБРАЗОВАТЕЛ ТИП 2-UKSBR-DB ЗА ТРАМВАЙНИ МОТРИСИ**

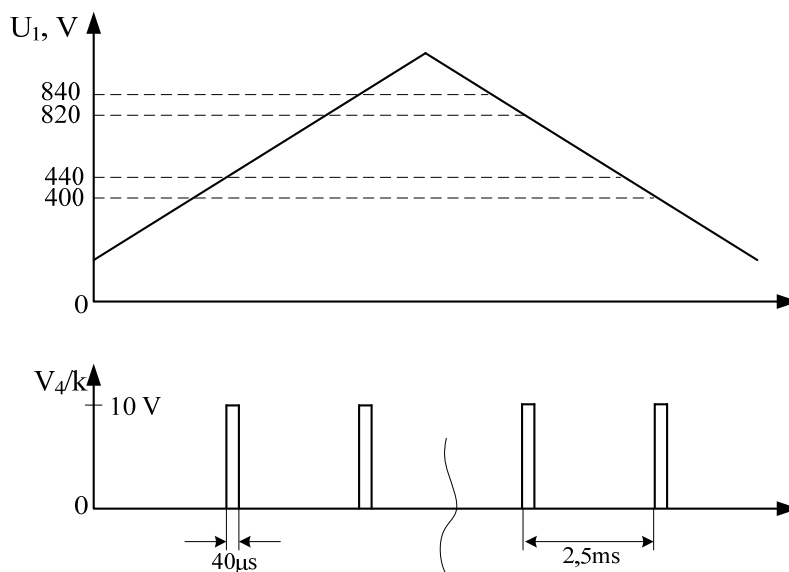
Модернизацията включва проектиране и изработване на силова схема на СП на базата на използване на IGBT транзистори вместо еднооперационни тиристори. Съгласуващите импулсни трансформатори се заместват с драйверни стъпала, които са оптронно разделени от СУ. Те превъзхождат съществуващите трансформатори, по консумация, изолационно съпротивление, габарити и себестойност, като не са разгледани в този доклад.



**Фиг. 2. Модернизирана силова електрическа схема на СП**

Използването на IGBT транзистори (Фиг. 2) опростява и намалява теглото и обема на предлаганата схема. Отпадат LC контурите  $C_{11}$ ,  $L_{11}$  и  $C_{12}$ ,  $L_{12}$ , които са със значителни габарити, обем и тегло, диодите  $D_{11}$ ,  $D_{13}$ , които служат за тяхното презареждане, обратните диоди  $D_{12}$ ,  $D_{14}$  поради наличието на вградени диоди в структурата на IGBT транзисторите. Отпада също бързият, силов диод  $D_{15}$ , който отдавна е спрял от производство и е трудно заменим със съвременен аналог.

Алгоритъмът на работа на силовите транзистори  $T_{11}$  и  $T_{12}$  във функция от входното напрежение в модернизираната схема е показан на фиг. 3.



**Фиг. 3. Алгоритъм на работа на СП**

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Направеното изделие е реализирано на базата на съвременно техническо решение. Използвани са възможностите и предимствата на IGBT и микропроцесорната технология, даващи редица приоритети по отношение на бързодействие и надеждност. Това гарантира висока енергийна ефективност на режимът на работа на СП и транспортното средство, лесна софтуерна настройка при необходимост в зависимост от конкретните изисквания на режима на работа.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Българанов А. Електрически транспорт. София, 2009 г.
- [2] Българанов Л., Павлов Г., И. Миленов, Ч. Джамбазки. Електродвижане, София, 2009 г.
- [3] Павлов Г., В. Димитров. Ръководство за проектиране по електрообзавеждане, София, 2010 г.
- [4] Техническа документация на статичен преобразувател ТИП 2-UKSBR-DB;
- [5] Техническа документация за управляващ модул А1.

## MODERNISATION OF STATIC CONVERTORS OF THE UKSBR-DB FOR A TRAM MOTRICE

Georgi Pavlov, Lyubomir Sekulov, YavorIsaev, Todor Lalev, Martina Tomcheva  
[g\\_pavlov61@abv.bg](mailto:g_pavlov61@abv.bg), [res\\_start@abv.bg](mailto:res_start@abv.bg)

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

**Key words:** *static converter, electric transportation vehicles, tram motrice, public transport*

**Abstract:** *Static converters (SC) are widely applied devices in electric transport vehicles (ETV) for direct and alternate current. Their key function is to ensure the required power-supply parameters and their stabilisation for the auxiliary loads in ETV, as well as to maintain the power charge level of batteries.*

*Static converters of the 2 UKSBR-DR type are widely used in the T4-DM Czech tram motrices. Their power circuit is designed with a single cycle operation thyristor and commuting LC contours, which results in certain operational difficulties and reduces the reliability of the device. These circuit solutions reduce the commutation capacity and the effectiveness of the regulator in traction and braking modes.*

*The report presents the designing and modernisation of the power section of the static converter by the use of contemporary IGBT components. The control system has also been modernised by the use of microprocessors and made compliant with the requirements of modern IGBT technology.*