



ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА СТАТИЧЕН ПРЕОБРАЗОВАТЕЛ МОДЕЛ 2 UKSBRI-DB

Любомир Секулов

res_start@abv.bg

Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“

София, ул. „Гео Милев № 158

РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ

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

***Резюме:** Статичният характер на мощните полупроводникови преобразуватели се дължи на факта, че преобразуването на електрическата енергия се извършва в полупроводникова структура без механично движение и следователно без износване на части под въздействието на триене. Тук има само движение на електрически заряди и техните носители, което се подчинява на законите на електродинамиката. Безконтактният характер на тези преобразуватели се определя от факта, че включването и изключването на електрическия ток става без видимо прекъсване на веригите, без електрическа дъга и без износване на материала на комутационния възел.*

Високата енергийна ефективност на полупроводниковите преобразуватели се дължи на волт-амперните характеристики на силовите полупроводникови устройства, които се доближават до идеалните характеристики на превключващите устройства без загуби. Те имат висока електрическа проводимост (малък спад на напрежението) в посока на пропускане на тока и високо електрическо съпротивление (малък обратен ток) в обратна посока и в затворено състояние. Следователно преобразуването на електрическата енергия става с минимални загуби.

Схемите на силовите полупроводникови преобразуватели се развиха бързо през последните двадесет години и сега са почти идентични. Наскоро бе постигнат известен напредък в схемни решения на силовите и управляващите и вериги чрез използването на микропроцесори и оптоелектрически елементи, също така MOSFET и IGBT технологиите изместиха тиристорите.

1. Въведение

Преобразувателите на електрическа енергия са технически средства за преобразуване на електрическа енергия, използвани в електротехниката. Преобразуването на енергията е необходим процес за преноса и потреблението ѝ, при което се запазва нейната физическа същност и става възможно да се удовлетворят конкретните нужди на потребителите по отношение на основните ѝ параметри – напрежение, честота, брой на фазите, форма на тока и напрежението, наличието на

пулсации и хармоници. Процесът на преобразуване не е едностъпален, а комбинация от последователни трансформации във веригата: производство – потребление на електроенергия.

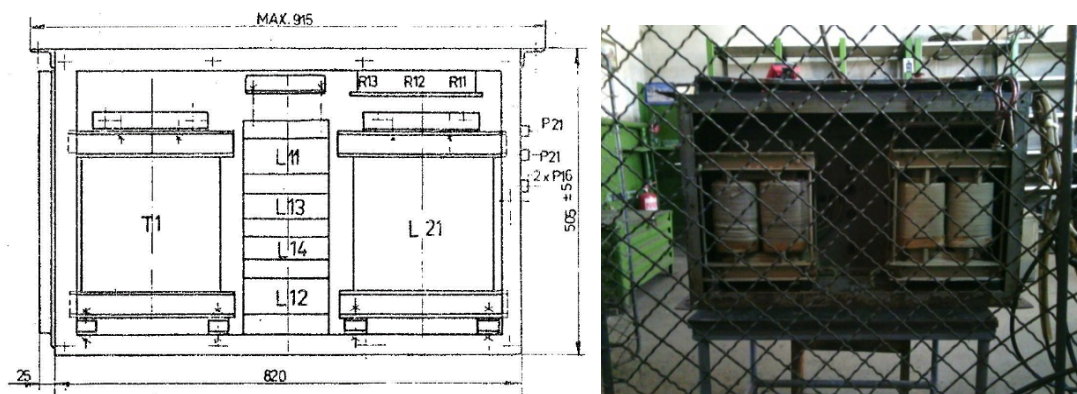
Класификация по основни функции:

- преобразуване на параметрите на електрическата енергия;
- преобразуване за регулиране и стабилизация на параметрите на електрическата енергия;
- преобразуване за регулиране и управление на генератори и консуматори на електрическа енергия;
- преобразуване на енергия с променлив ток (AC) в електрическа енергия с постоянен ток (DC);
- преобразуване на енергия с AC в електрическа енергия с други параметри на AC;
- преобразуване на енергия с DC в електрическа енергия с AC;
- преобразуване на енергия с DC в електрическа енергия с други параметри на DC.

Въпреки голямото разнообразие на силови елементи, при експлоатацията на ЕТС(електрически транспортни средства) в България за СП(статични преобразуватели) се използват само две схеми: едната е за трифазен инвертор от вида DC/AC в съвременните ЕТС: трамваите Pesa и T8M-700-IT, тролейбусите Solaris и електробусите Yutong E12LF и Higer KLQ6125GEV3 , а другият преобразувател от вида DC/DC, който се среща при всички ЕТС. Последният служи за зареждане на акумулаторите и захранване на оперативните вериги на ЕТС. Изпълнен е по една от двете схеми мостов или полу-мостов преобразувател, като при съвременните СП се използва основно пълна мостова схема. Някои ЕТС имат повече от един СП, като трамваите PESA и вагоните на Метрополитен 81-740, 81-741 **Error! Reference source not found.**

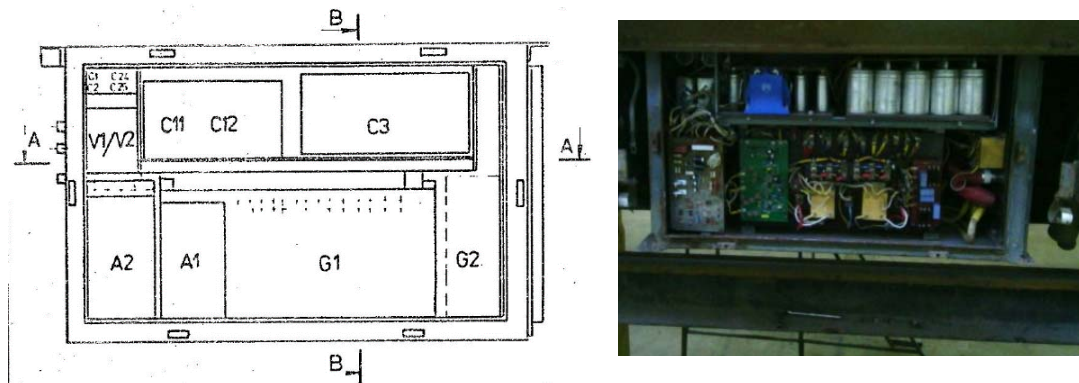
2. Силова схема и основни параметри на статичен преобразувател модел 2 UKSBRI-DB

Шкафът на СП модел 2 UKSBRI-DB е изработен с две секции с обща преграда от желязна ламарина като в едната секция без охлаждане са СПП (силовите полупроводникови прибори), а в другата секция с естествено охлаждане са силовите индуктивности и три резистора R11-R13. Габаритите и разположението на СП им са показани на Фиг. 1 и Фиг. 2.



Фиг. 1 Разположение на елементите и общ изглед откъм страната на индуктивностите

През годините е извършена една модернизация като на входа на СП е монтиран варистор с цел защита на СП от пренапрежения. Той се вижда на цветната снимка от Фиг. 2. Разположен е непосредствено над блок А1 и пред групата от кондензатори С11, С12.



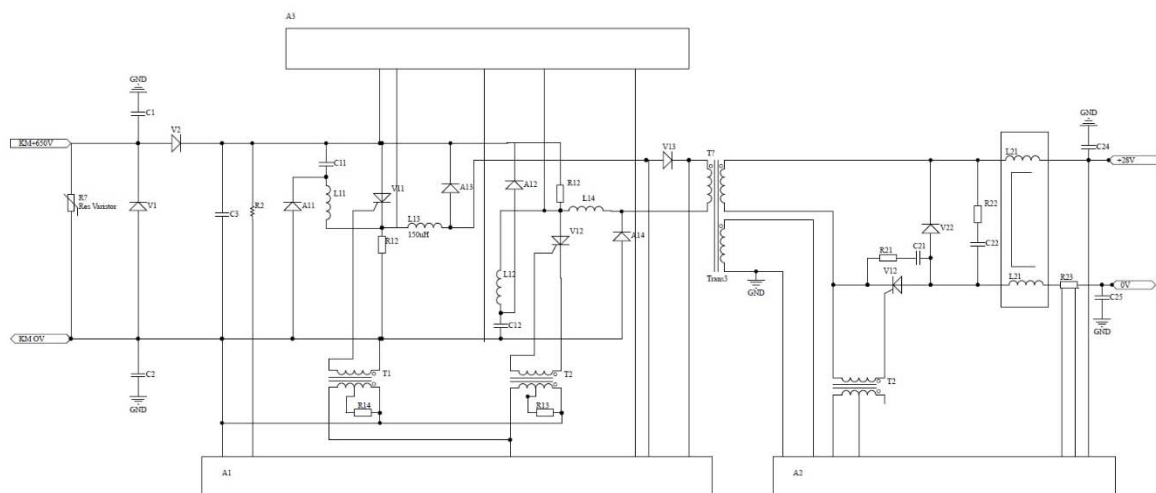
Фиг. 2 Разположение на елементите, общ изглед откъм страна силови полупроводникови прибори и блокове за управление и защита

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

Номинални технически параметри:

- 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 регулиране на изходното напрежение – 25,5 – 28,5 V;
- Номинален изходен ток - 150 A;
- Максимален изходен ток - 160 A;
- Работна честота на СП – 400 Hz.

Силвата схема на СП е показана на Фиг.3[4].



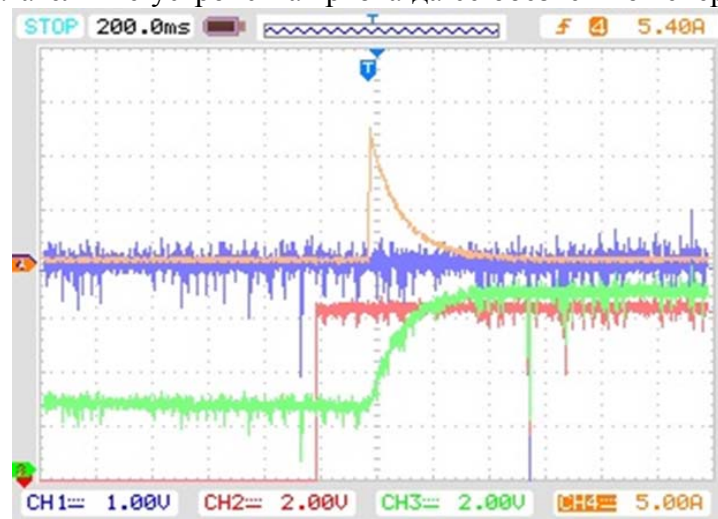
Фиг. 3 Силва схема на статичен преобразувател 2 UKSBR-DB

Сензорите използвани в СП са три броя резистивни. Единият е от първичната страна на СП, който следи напрежението на КМ и подава информация на блока за управление А1. Вторият и третият са на вторичната страна и следят изходното напрежение и изходния ток, като подават информация на блока за управление А2[2].

3. Режими на работа на СП

Включване на СП

Като всеки силов прибор и за СП най-критични са преходните процеси, именно режимите на включване и изключване на СП. Докато режимът на изключване се контролира от системата на автоматично управление (САУ). Режимът на присъединяване на СП към контактната мрежа (КМ) не се контролира и като допълнително усложняване е че се повтаря многократно. Получава се както при преминаване на трамвайната мотриси през неутрална ставка, така и през стрелки, също и при лош контакт между токоснемателя и КМ. От направеното измерване на Фиг. 1 се вижда, че пиковите стойности на тока не са по високи от 15 А, което се дължи на входните филтърни индуктивности. Времето за установяване на напрежение на входния кондензатор е равно на напрежението на КМ и е 400 ms, след което СП може да влезе в работен режим. В режим на експлоатация това време трябва да се добави към общото време за липса на напрежение от КМ (преминаване през изолатор) и през което работата на спомагателните устройства трябва да се обезпечи от енергия на АБ **Error!**



Фиг.3 Включване на СП. Оранжево ток на СП, синьо изходно напрежение, червено напрежение на КМ, зелено напрежение на филтърните входни кондензатори

Reference source not found.Error! Reference source not found..

Режим на празен ход

Измерена е пълната мощност при работа на СП на празен ход при коефициент $\gamma=0.39$ и тя е 680VA. Измерена е пълната мощност по време на работа на през индуктивностите L11 и L12 и тя е 240VA за всяка една индуктивност.

Работен режим

Работният режим на този СП е непрекъснат и предвид конструкционните му особености във връзка с охлаждането е съществена част от изследването. На практика СП работят най-малко 8 часа при различни околни температури, които зависят от сезона. По време на работа СП, като всеки силов агрегат не трябва да променя изходните си електрически параметри.

Направени са измервания за КПД на СП при различен активен товар и резултатите са показани в таблица 1.

Таблица 1 Измерено КПД на СП

Пълна входна мощност	Пълна изходна мощност	Коефициент на запълване	КПД
VA	VA	γ	%
2056	1225	0.38	0.595817
3180	2390	0.38	0.751572
4490	3543	0.38	0.789087
4240	3390	0.38	0.799528

Направени са многократно следните измервания. Измерени са температурите на СП и коефициента запълване “ γ ” и изходния ток на СП в режим на работа. Температурните измервания са направени с термокамера. Отбелязани са три точки на измерване М1,М2,М3, които са на преградата между двете секции в горната част на СП. Първите три измервания, са направени в рамките на 1 час и 40 минути , а последното на след 72 часа работа на СП, като се приема, че това е установената температура на СП.

От направените измервания на напреженията с осцилоскоп на силовия трансформатор е измерено време от 950 μ s през което протича ток през тиристорите. Предвид факта, че честотата на генератора е 400Hz , а времето на целия полупериод е 2500 μ s. Коефициентът на запълване “ γ ” се изчислява по формула **Error! Reference source not found.**

$$(1) \gamma = \frac{t_{on}}{T}$$

$$(2) \gamma = \frac{950}{2500} = 0,38$$

Този коефициент при пускане на СП е по-нисък от зададения фабричен 0,4. Трябва да се вземе предвид и температурите на трите точки М1,М2,М3, които са по-високи от тази на околната среда.

Аналогични са нещата и при следващите измервания, като се забелязва зависимост между температурата и коефициента на запълване.

Според измерванията с термокамера мястото на най-високата температура на СП това са РС групите на тиристорите.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От разгледаните СП се установява, че използването на съвременни силови полупроводникови прибори повишават енергетичните параметри на агрегатите. Това се дължи на по-малкото тегло, по-високата честота на комутация, по-малките вътрешни електрически съпротивления, по-ниските термични съпротивления, по-ниската собствена консумация. При по-старите СП наличието на комутиращи контури, които са необходими за запущане на главните тиристори увеличават габарита и усложняват силовата схема на СП. При промяна на стойностите на реактивните елементи (при стареене на кондензаторите) се намалява надеждността и се създават условия за поява на аварийни режими.

При изследвания СП модел 2 UKSBRI-DB са установени температурни зависимости, именно че при покачване на температурата на СП коефициентът на запълване “ γ ” намалява, което води и до по-ниска изходна мощност, както и че КПД е

най-нисък при малки товари, съответно повишаването на температурата води до понижаване на КПД на СП.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Бакалов З., Павлов Г, Христова А, Петров И., Ненов Н., Димитров Г., Миленов И., "Сборник с материали по въпроси относно инженерни изследвания и проектиране на съоръжения за електроснабдяване и електрообзавеждане на транспорта", Национално дружество на електроинженерите в транспорта в Република България, София, 2006, ISBN 954-8640-03-1978-954-8640-03-9, 2006г.
- [2] 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
- [3] Столичен електротранспорт ЕАД .;
- [4] Техническа документация на статичен преобразувател 2 UKSBRI-DB

TESTING THE ENERGY EFFICIENCY OF STATIC CONVERTOR, MODEL 2 UKSBRI-DB

Lubomir Sekulov
res_start@abv.bg

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

Key words: static converters, electric vehicles, tram, public transport

Abstract: The static nature of the powerful semi-conductor convertors is attributable to the fact that the electric energy is converted in a semi-conductor structure without mechanical movement and, subsequently, without the wear-and-tear of parts due to friction. Here we can only observe the motion of electric charges and their carriers following the laws of electrodynamics. These convertors operate in a contactless manner as the electric current is switched on and off without a visible break of the circuit, without an electrical arc and without the wear-and-tear of the material at the switching point.

The high energy efficiency of semi-conductor convertors is determined by the volt-ampere features of the power semi-conductor devices, which are close to the ideal features of switching devices without loss. They have high electric conductivity (low voltage reduction) in the forward direction of the passage of electric current and high electrical resistance (low return current) in the opposite direction on a closed circuit. Therefore, electric energy is converted at a minimal loss.

The circuits of power semi-conductor convertors have developed rapidly over the past twenty years and are almost identical at present. Recently, certain advancement was attained in the circuit solutions of power and control circuits with the use of microprocessors and optoelectrical elements. Also, the MOSFET and IGBT technologies had replaced thyristors.