

## ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕНЕРГЕТИЧНИТЕ ПАРАМЕТРИ НА ТОКОИЗПРАВИТЕЛНИ СТАНЦИИ ЗА НАЗЕМЕН ГРАДСКИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ТРАНСПОРТ

Мартина Томчева<sup>1</sup>, Георги Павлов<sup>1</sup>, Тодор Лалев<sup>1</sup>,  
Любомир Секулов<sup>1</sup>, Момчил Неделчев<sup>2</sup>, Юлиан Кьосев<sup>2</sup>, Лазар Михайлов<sup>2</sup>  
[mtomcheva@vtu.bg](mailto:mtomcheva@vtu.bg), [lalev85@gmail.com](mailto:lalev85@gmail.com)

<sup>1</sup> ВТУ „Тодор Каблешков” – София, ул. „Гео Милев” 158, София  
<sup>2</sup> „Столичен електротранспорт“ ЕАД, ул. „Подполковник Калитин“ 30, София  
БЪЛГАРИЯ

**Ключови думи:** тягова енергозахранваща система, токоизправителна станция, токоизправителен агрегат.

**Резюме:** Захранването на тягова електрическа мрежа (ТМ) на наземния градски електрически транспорт (НГЕТ) се осъществява чрез тягови изправителни станции (ТИС). Основен елемент от ТИС е тягово-изправителния агрегат (ТИА), който е изградени от тягов изправител (ТИ) и тягов трансформатор (Т-ТР). Според вида Т-ТР и ТИ, към момента у нас в ТИС на НГЕТ основно се експлоатират два типа ТИА.

Първият тип ТИА е изграден от стандартен трифазен двунамотъчен Т-ТР и трифазен ТИ свързан в мостова схема „Ларионов“.

Вторият тип ТИА е изграден от специален Т-ТР с една първична и две вторични намотки. Вторичните намотки на Т-ТР са свързани съответно в звезда и триъгълник, като по този начин се получават шест фази дефазирани една спрямо друга на 60 електрически градуса. Към вторичните намотки на Т-ТР се присъединява шест фазен двуполупериоден ТИ също схема „Ларионов“.

На базата на данни, получени от проведени експериментални изследвания, в доклада е направен и анализ и сравнение на техническите показатели на двата типа ТИА. За целта е използвана подходяща микропроцесорна измервателна техника с висок клас на точност. Направена е оценка до каква степен вида на ТИА, определя качеството на изправеното напрежение, параметрите на електрическата енергия в това число и загубите и как тези величини зависят от броя на пулсациите на изправителя.

### 1. Въведение

Електрификацията на НГЕТ в Столицата започва през 1901 г. със захранването на първият електрически трамвай, като от тогава до днес тяговата електрозахранваща система (ТЕС) претърпяла редица реконструкции и модернизации. Към настоящия момент в ТИС за НГЕТ масово се експлоатират трифазни шест-импулсни ТИ. Внедряването на този тип ТИ в ТЕС на НГЕТ започва през през 1966 г. когато в ТИС

“Юнак” е монтиран и пуснат в експлоатация първият силициев токоизправител производство на “ЧКД” с мощност 900kW. За времето си това е била една революционна технология, която заменя живачните ТИ и се налага в ТЕС на НГЕТ като технология без алтернатива.

Развитието на полупроводниковата техника и създаването на нови полупроводникови елементи с по-големи технически възможности и подобрени експлоатационни показатели позволи реализирането на по-сложни схеми за ТИ и съответно внедряване на дванадесетимпулсни шест фазни ТИ.

В настоящия доклад е направен анализ на енергетичните показатели на експлоатираните към момента ТИА в ТИС. Анализът е направен на базата на предварително проведени експериментални измервания в избрани за целта ТИС на НГЕТ. На базата на анализа са показани предимствата и недостатъците на различните типове ТИА експлоатирани в ТИС на НГЕТ.

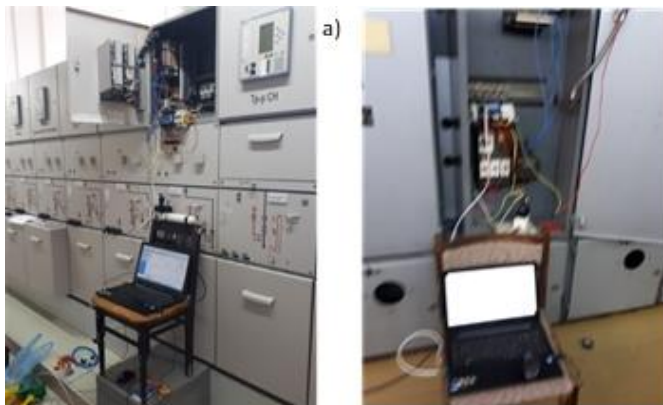
## 2. Енергетични изследвания на тягови изправителни агрегати експлоатирани в НГЕТ и метрополитен.

Експерименталните измервания са направени в предварително избрани за целта ТИС, които са оборудвани с различни типове ТИА. Експерименталното изследване е проведено през месец май 2018 г., като за периода от 01.05. до 31.05 са записвани и измервани различни електрически величини (ток, напрежение,  $\cos\phi$  и др.) определящи енергетичните показатели и качеството електрическа енергия на ТИС спрямо електроенергийната система (ЕЕС). За целите на изследването, измерванията на всички параметри, показани и анализирани по-нататък в доклада, са извършени при еднакви условия, като измервателната апаратура е присъединявана към измервателните трансформатори, инсталирани на първичната страна на Т-ТР. Измерването е извършено с мултифункционално измервателно устройство (анализатор на електрическа енергия) „Janitza“ тип UMG 604. Измервателният уред е с възможност да записва преходни процеси, измерва електрическата енергия (kWh, kvarh), ток, напрежение, хармоничен анализ и др.

### 2.1. Обекти на изследването

Първият обект е ТИА, инсталиран в ТИС „Веслец“. Този ТИА е от по-стар тип и е оборудван с двунамотъчен Т-ТР и диоден трифазен ТИ схема „Ларионов“, реализиращи трифазна шестимпулсна схема на изправяне. Общ вид на измервателната постановка е показан на фигура 1, а).

Вторият обект е ТИА инсталиран в ТИС „Димитровска“. Тук ТИА е от нов тип с



Фиг. 1. а, б. Общ вид на измервателната постановка в ТИС „Веслец“ и ТИС „Димитровска“

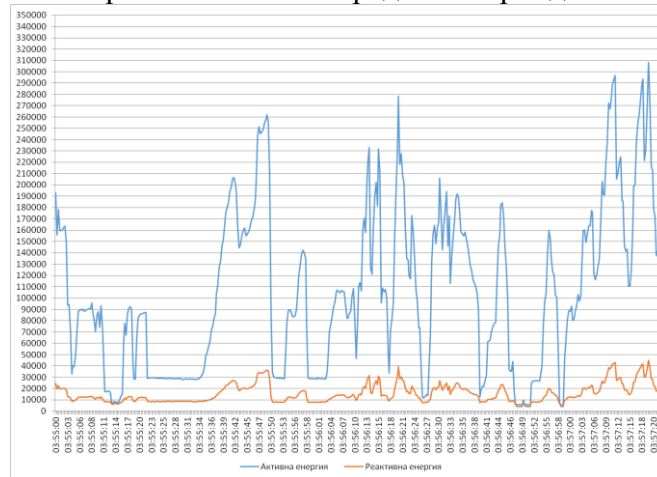
б) тринамотъчен трансформатор, като първичната намотка е свързана в „триъгълник“, а двете вторични намотки са свързани в „звезда“ и „триъгълник“ към отделни изправители, два на брой, по схема „Ларионов“. ТИА реализира шестфазна дванадесетимпулсна схема на изправяне. Общ вид на измервателната постановка е показан на фигура 1, б).

Избраните за изследване

типове ТИА намират широко приложение както в ТИС на НГЕТ така и в тяговопонижаващите станции на ТПС на Метрополитен. [2]

## 2.2. Анализ на резултатите получени при експериментално измерване в ТИС „Веслец“

На фиг. 2 е показано изменението на активната и реактивната мощност на една от фазите на първичната страна на ТПТ за определен период на измерване.

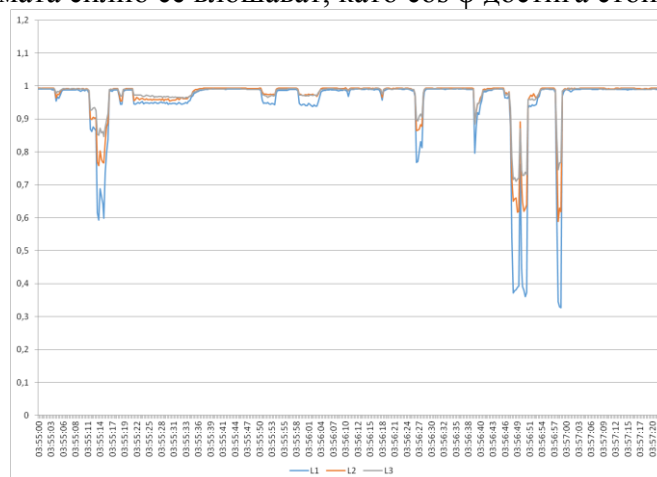


Фиг. 2 Активна и реактивна мощност на ТИС „Веслец“

Избрания период е такъв, през който има по-динамично натоварване от ЕТС в участъка, захранван от ТИА. На записа се виждат голям брой интервали на натоварване, в които ЕТС работят в различни режими – ускоряване, движение по инерция и спиране.

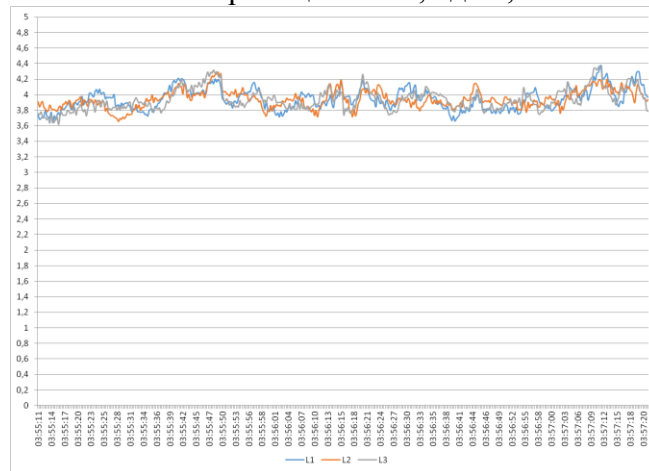
Анализът на осцилограмите показва, че реактивната мощност има индуктивен характер, приблизително повтаря измененията на активната мощност. През интервала на измерване максималната моментна стойност е около на реактивната мощност е 44 kVAr, при съответстваща моментна стойност на активната мощност близо 310 kW. Това съотношение се запазва и в останалите интервали на натоварване и разтоварване на ТИА и представлява приблизително 14,1% на реактивната мощност спрямо активната.

На фиг. 3 е показана осцилограма от изменението на фактора на мощност в зададения интервал от време. При натоварване на трансформатора  $\cos\phi$  достига стойности приблизително равни на 1. В режимите на приблизителен празен ход, т.е. липса на ЕТС в участъците, захранвани от фидерите на съответния ТИС, енергетичните параметри на системата силно се влошават, като  $\cos\phi$  достига стойности до 0,35.



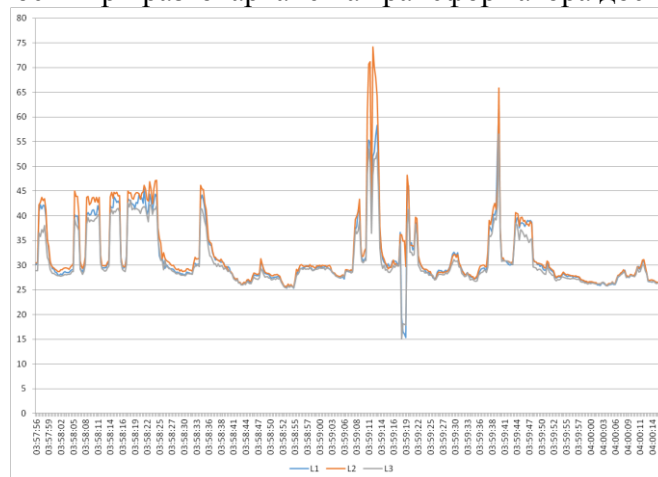
Фиг. 3. Изменение на фактора на мощност ( $\cos\phi$ ) на ТИС Веслец

Направено е измерване на показателя THD%, характеризиращ общите хармонични изкривявания на формите на напрежението и тока на първичната страна на Т-ТР. На фиг. 4 е показано изменението на THD<sub>U</sub>% на напрежението за трите фази. Вижда се, че средната стойност е 3,9%, сравнително ниска, като стойностите в измервания диапазон се колебаят в границите от 3,6 до 4,2%.



Фиг. 4. Изменение на THDU%

На фиг. 5. по аналогичен начин е представено изменението на параметъра THDI%. Съвсем логично тук средната стойност е значително по-висока около 35%, като максималните стойности при разтоварване на трансформатора достигат до 70%.

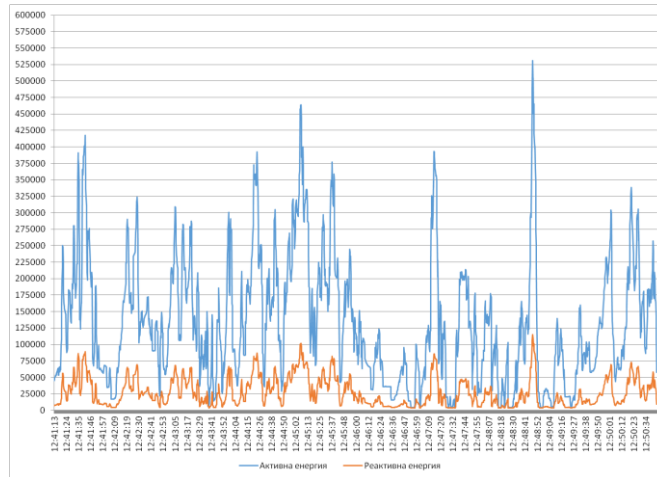


Фиг. 5. Изменение на THDI%

### 2.3. Анализ на резултатите получени при експериментално измерване в ТИС „Димитровска“

На фиг. 6 е показано изменението на активната и реактивната мощност на една от фазите на първичната страна на ТИА за избран времеви период, който е съобразен с изискването за по-динамично натоварване от ЕТС в подстанционната зона, захранвана от изследваната ТИС.

От осцилограмата се вижда, че ТИС „Димитровска“ е значително по-натоварена от ТИС „Веслец“, като максималната пикова стойност на активната мощност в изследвания период достига над 525 kW. Стойността на реактивната мощност в същия момент е 115 kVar. Това съотношение се запазва и в останалите интервали на натоварване и разтоварване на трансформатора и представлява приблизително 21,9 % на реактивната мощност спрямо активната.



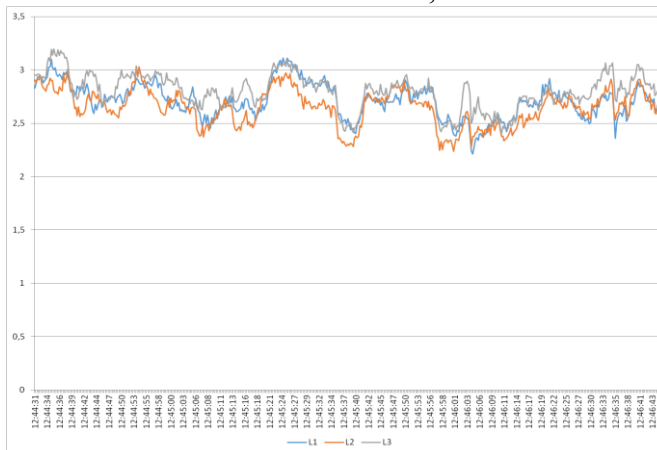
**Фиг. 6. Активна и реактивна мощност на ТИС Димитровска**

На фиг. 7 е показано изменението на фактора на мощност в зададения интервал на измерване, като в режимите на натоварване той е приблизително равен на 1, средната му стойност се колебае около 0,985. В режимите на приблизителен празен ход  $\cos \phi$  на ТИА, за разлика от този на ТИС „Веслец“, се понижава, но много слабо, като достига минимални стойности, приблизително 0,95, което показва по-доброто енергетично поведение на тази схема на ТИА.



**Фиг. 7. Изменение на фактора на мощност ( $\cos \phi$ ) на ТИС Димитровска**

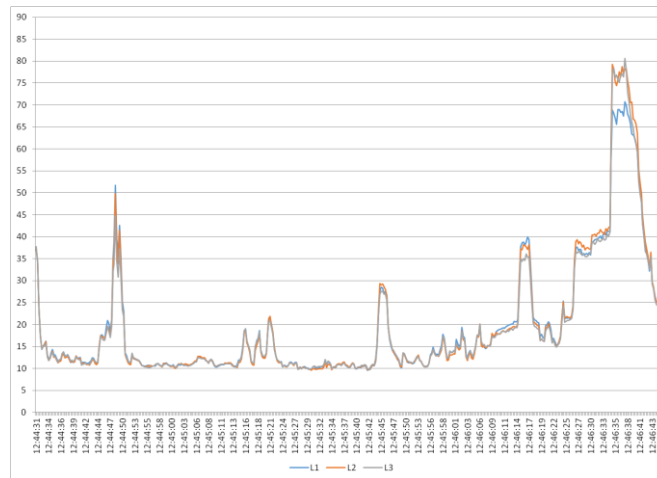
На фиг. 8 е показано изменението на  $THDU\%$  на напрежението за трите фази. Вижда се, че средната стойност се колебае около 2,7%.



**Фиг. 8. Изменение на показателя  $THDU\%$**

Тези резултати показват, че при тази схема показателя  $THD_U\%$  се повишава, в сравнение с ТИА на ТИС „Веслец“, около 4%, т.е. формата на напрежението е по-качествена и с по-малък хармоничен състав.

На фиг. 9 по аналогичен начин е представено изменението на параметъра  $THD_I\%$ .



Фиг. 9. Изменение на показателя  $THDI\%$

В по-голямата част от избрания интервал на измерване стойността му се колебае около 10-12%, като в края за кратко време достига пикова стойност 80%. Това показва, че хармоничния състав на първичния ток на ТПТ при тази схема е значително по-малък от шестимпулсната на ТИС „Веслец“.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направените експериментални изследвания и последващия анализ се вижда, че трифазната шест импулсна схема има по-ниски енергетични показатели сравнено с дванадесетимпулсни изправителни схеми. Също така трифазната шест импулсна схема формата на изправеното напрежение и мрежов ток със значително по-голям хармоничен състав, значителни загуби на мощността и по-нисък коефициент на мощност ( $0,92 \div 0,94$ ). В следствие на това консумираната от ТИС електроенергия има ниско качество и влияние негативно на тяговите токове върху другите потребители.

Анализа показва, че използваните днес в съвременните ТИС дванадесетимпулсни изправителни схеми от последователен и паралелен тип значително подобряват формите на мрежовият ток и изправеното напрежение, както и технико-икономическите показатели на ТЕС.

### ЛИТЕРАТУРА

[1] Щуров Н. И. Методи и средства економии и повишения ефективности использования энергии в системе городского электрического транспорта. Дисертация, Новосибирский государственный технический университет. 2003 г.

[2] Техническа документация, схеми, параметри и характеристики на токоизправителни станции.

# STUDY OF THE ENERGY PARAMETERS OF RECTIFYING STATIONS FOR URBAN ELECTRICAL TRANSPORT

Martina Tomcheva<sup>1</sup>, Georgi Pavlov<sup>1</sup>, Todor Lalev<sup>1</sup>,  
Lubomir Sekulov<sup>1</sup>, Momchil Nedelchev<sup>2</sup>, Yulian Kiosev<sup>2</sup>, Lazar Mihailov<sup>2</sup>  
[mtomcheva@vtu.bg](mailto:mtomcheva@vtu.bg), [lalev85@gmail.com](mailto:lalev85@gmail.com)

<sup>1</sup>*Todor Kableshkov University of Transport, Sofia*  
<sup>2</sup>*Sofia Public Electrical Transport Company JSC, Sofia*  
**BULGARIA**

**Key words:** traction power system, DC traction power stations, traction rectifier, traction transformer.

**Abstract:** The traction power supply of the urban electric transport (UBE) is provided by DC traction power stations (DCTPS). Main element of the (DCTPS) is the traction power supply unit (TPSU), which is built up by traction rectifier (TR) and traction transformer (T-TR). According to the type of T-TP and TR, two types of TPSU that are mainly operated at the DCTPS of UBE in Bulgaria.

The first type of TPSU is built from a standard three-phase T-TR and three-phase TR, which are connected in "Laryonov" bridge circuit.

The second type of TPSU is made of a special T-TP with one primary and two secondary windings. The secondary windings of T-TP are connected respectively in a star and delta scheme thus creates six phases which are shifted to each other at 60 electrical degrees. To the secondary windings of T-TP is connected six phase TR which is also "Laryonov" circuit.

On the basis of data obtained from the experimental measurements in the paper, an analysis and comparison of the technical characteristics of both types of TPSU was made. It has been made an evaluation to which point the kind of TPSU determines the quality of the strained voltage, the parameters of the electrical energy including the losses and how these quantities depend on the number of pulsations of the rectifier.