

НЯКОИ СЪОБРАЖЕНИЯ ОТНОСНО ПОДХОДА ПРИЛАГАН ПРИ МОДЕРНИЗАЦИЯТА НА ТЯГОВИ ПОДСТАНЦИИ ЗА ЖЕЛЕЗОПЪТНА ИНФРАСТРУКТУРА В РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ

Тодор Лалев, Георги Димитров

tlalev@vtu.bg gdimitrov@vtu.bg

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”
гр. София, ул. „Гео Милев” 158
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** Електрифициран железопътен транспорт, Тягови подстанции, Модернизация на тягови подстанции.*

***Резюме:** Електрификацията на железопътната инфраструктура в Република България започва преди повече от 59 години, като първата електрифицирана линия София-Пловдив е открита през 1963 г. За целите на електрификацията е избрана най-съвременната към онзи момент система – тази с променливо напрежение $U_N = 25$ kV, 50 Hz. Към момента е електрифицирана повече от 70% от общата дължина на железопътната мрежа у нас, която се захранва от 54 броя тягови подстанции. Тъй като значителна част от тяговите подстанции са надхвърлили показателя „експлоатационен срок”, същите се налага да бъдат модернизирани. В тази връзка от 1999 година БДЖ (по-късно ДП „НКЖИ”) стартира нов етап на електрификация, включително ново строителство и модернизация на тягови подстанции, като към настоящия момент са модернизирани 21 броя. В настоящата разработка е направен кратък анализ на новото строителство и извършваната модернизация на тяговите подстанции в България, и доколко тя следва съвременните тенденции. Разгледани са техническите решения и оборудване, използвани до момента от ДП „НКЖИ” при модернизация на тяговите подстанции у нас и е представен един съвременен подход при обявяване на тръжните процедури, даващ свобода на участниците за въвеждане на иновации и нови технологии.*

ВЪВЕДЕНИЕ – КРАТКА ИСТОРИЯ НА ЕЛЕКТРИФИКАЦИЯТА В БЪЛГАРИЯ

Идеята за електрификация на транспорта в България възниква още в началото на миналия век, когато през 1901 година в столицата е въведен в експлоатация първият трамвай. Исторически погледнато, процеса на електрификация на железопътната инфраструктура /ЖИ/ в страната е дълъг, като през него е натрупан богат опит. По една или друга причина едва през далечната 1963 г. Българските Държавни Железници /БДЖ/ въвеждат в експлоатация първия електрифициран участък София - Пловдив с дължина 156 km. В исторически план дискусиите за електрифицирането на ЖИ у нас срещат голяма съпротива. Това е така защото в началото на века инженерите са водели борба за това каква тяга да бъде използвана – електрическа или парна. От перспектива на времето сега този въпрос изглежда нелеп, но към онзи момент дискусиите за

електрифицирането на ЖИ са били бурни и революционни. Въпреки всичко това, през 1920 г. българското правителство възлага на чуждестранния експерт проф. Ласло Верибей да проучи и проектира електрификацията на железопътната линия София - Владая - Перник. Предвидено било да се изгради ТЕЦ за нискокалорични въглища, която да захранва участъка [1]. Проекта е отхвърлен от БДЖ, като основната причина за това е била, че енергията от ТЕЦ трябва да се използва и за други нужди. Има постъпили и други предложения за електрификация на същия участък, но и те не са срещнали одобрение, като същевременно през периода 1925-1931 година БДЖ закупува 12 парни локомотива, които да обслужват този и други жп участъци.

От 1931 до 1942 година е имало редица опити за електрифициране и на други участъци от ЖИ у нас, но и те са били без успех. Едва през периода 1945-1948 г. започва проектиране за електрифициране на участъка София - Мездра. Проекта е предвиждал електрифициране на линията с постоянно напрежение **3 kV**. През 1949 г. дори е започнало изграждането на контактната мрежа и тяговата подстанция /ТПс/ в района на Илиянци но строителството е било спряно. От 1951 г. до 1954 г. са правени опити проекта да бъде възобновен но отново без успех. През 1955 година започва отново проучване за електрифициране на ЖИ като този път са разгледани два варианта – **електрификация с постоянно напрежение 3 kV** или **електрификация с еднофазно променливо напрежение 25 kV, 50 Hz**. Така след десетилетия дискусии, изследвания и проучвания, окончателно към края на 50-те години е избрана най-съвременната система за електрификация, а именно еднофазната променливотокова **25 kV, 50 Hz**.

От направената кратка историческа справка се вижда, че за да се внедри новата към онова време технология, а именно електрификация на ЖИ, е отнело над 40 години. Основната причина за представената по-горе фактология е да покаже как новите и иновативни технологии са се внедрявали трудно в железопътния транспорт у нас.

Целта на настоящия доклад е да се направи кратък анализ на внедряваните към момента технически решения за модернизация на тяговото електроснабдяване /ТЕС/ на железопътния транспорт и да насочи вниманието към отговор на въпроса: ***Създава ли операторът на ЖИ у нас условия на изпълнителите на проекти за въвеждане на иновации и нови технологии?***

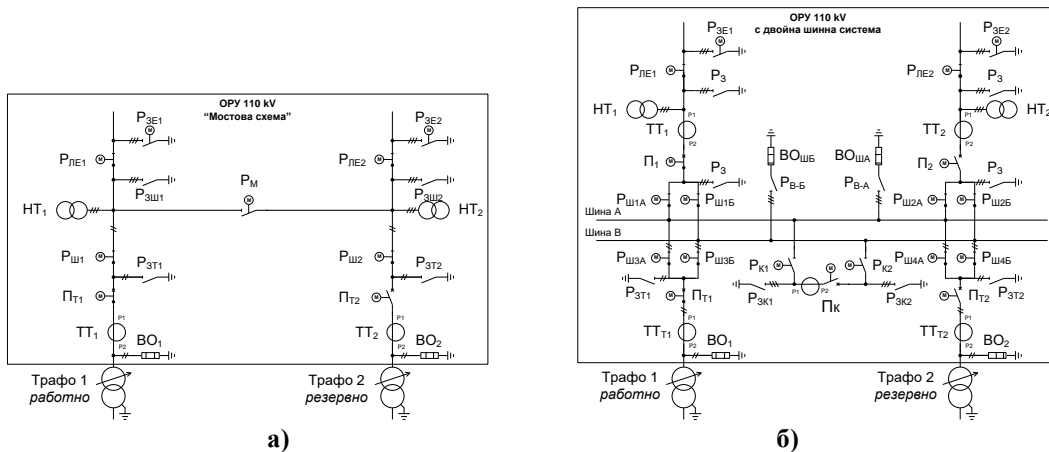
ИЗПОЛЗВАНИ ПОДХОДИ ЗА МОДЕРНИЗАЦИЯ НА ТЯГОВИТЕ ПОДСТАНЦИИ У НАС

От 1999 г. БДЖ (по-късно операторът на ЖИ в България – Държавно предприятие „Национална компания „Железопътна инфраструктура” /ДП „НКЖИ”/) стартира нов етап на електрификация на железопътните линии и изграждане на нови ТПС, а от 2008 г. и поетапна модернизация на съществуващите ТПС. Началото е положено с изграждането на тягови подстанции Симитли и Генерал Тодоров, като от тогава до сега са изградени нови и модернизирани с ново оборудване общо 21 ТПС.

Принципни схеми използвани при модернизация на тяговите подстанции

Тяговите подстанции на електрифицираната ЖИ на република България се захранват с високо напрежение 110 kV, 50 Hz от две фази на електроенергийната система /ЕЕС/ на страната. Тяхната функция е да понижат високото напрежение до стандартизирано такова с номинална стойност $U_N = 25 \text{ kV}$, предназначено за захранване на електрическия железопътен подвижен състав.

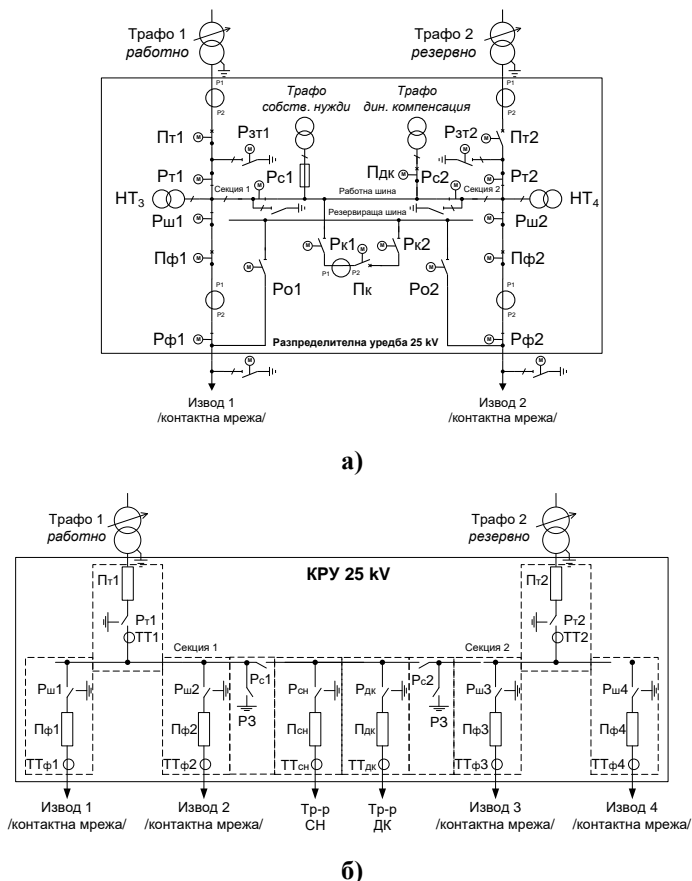
Според начина на присъединяване към ЕЕС, ТПС се изграждат като опорни или междини подстанции. Уредбите 110 kV се изпълняват като открити /ОРУ/, а тези 25 kV – като открити или закрити с конвенционално електрическо оборудване или като комплектни разпределителни уредби /КРУ/, монтирани на закрито.



Фиг. 1. Принципи еднолинейни схеми на ОРУ 110 kV на ТПС

а) схема на ОРУ 110 kV на междинна ТПС, б) схема на ОРУ 110 kV на опорна ТПС

При опорната ТПС, ОРУ 110 kV се изпълнява с двойна шинна система, а при междинната ТПС – ОРУ 110 kV се изгражда по така наречената опростена Н-схема (мостова схема). На фиг. 1, а е показана принципна Н-схема на стандартна ТПС, а на фиг. 1, б – на опорна ТПС с двойна шинна система.



Фиг. 2 Принципи еднолинейни схеми на РУ 25 kV на ТПС

а) схема на РУ 25 kV с работна и резервираща шина, б) схема на КРУ 25 kV на ТПС

Захранването на контактната мрежа /КМ/ се извършва от еднофазна разпределителната уредба /РУ/ 25 kV. Тя се изпълнява по класическа схема с работна и резервираща шини или като КРУ с единична секционирана шина (фиг. 2, б).

Работната шина е двойно секционирена с разединители със заземителни ножове (Рс). Към секция 1 и секция 2 се присъединяват тяговите трансформатори (Трафо 1 и Трафо 2) и изводите за КМ. Към средната секция са присъединени трансформатора за захранване на компенсиращото устройство за реактивна мощност (Тр-р ДК) и трансформатора за собствени нужди (Тр-р СН).

Трябва да се отбележи, че показаните схеми на фигури 1 и 2 са принципни и те могат да бъдат реализирани с различни типове оборудване. Схемните решения за ОРУ 110 kV и РУ 25 kV може да се каже, че са типови и не се различават особено от тези, използвани при стартиране на електрификацията на железопътния транспорт у нас.

Технически и решения, използвани за модернизация на ТПС

Към настоящия момент изграждането на нови и рехабилитация и модернизация на старите ТПС, се реализира с използване на разгледаните по-горе принципни схеми на ДП „НКЖИ“, като от техническа гледна точка са прилагани следните два подхода:

Подход 1 – ОРУ 110 kV се изпълнява като въздушно изолирано, изградено с конвенционално електрическо оборудване. РУ 25 kV е реализирана с КРУ с елегазова изолация (SF₆) с разединители и стационарно монтирани вакуумни прекъсвачи (напр. ТПС Симеоновград – фиг. 3, а).

Подход 2 – ОРУ 110 kV се изгражда с така наречените „компактни високо интегрирани модули за ВН с елегазова изолация (SF₆)“. РУ 25 kV е реализирана с КРУ с въздушна изолация и изваждаеми вакуумни прекъсвачи вместо разединители (напр. ТПС Нова Загора – фиг. 3, б).



а)



б)

Фиг. 3. Изгледи на ТПС изградени по различните подходи
а) Подход 1 - ТПС Симеоновград, б) Подход 2 – ТПС Нова Загора

Тук няма подробно да се разглеждат конструктивните особености, както и техническите характеристики на използваното оборудване при модернизация на ТПС. По подробен анализ на различните конструкции и характеристики е направен в [2].

Трябва да се спомене обаче, че основната разлика в сравнение с прилаганите подходи от 60^{-те} години на миналия век и сега се състои в това, че в днешно време при модернизация на ТПС, използваните технически решения са усъвършенствани и са внедрени някои нови технологии, като например динамична компенсация на реактивната мощност, система за телеуправление и телесигнализация на ТПС (SCADA) и други. Основната причина модернизацията на ТПС да се извършва съгласно описаните по-горе подходи, е конкретно и детайлно посочените принципни схеми и изисквания към електрооборудването в техническите спецификации [3] към тръжните процедури. По този начин се дефинира конкретна технология и съответно технически характеристики на съоръженията, които трябва да бъдат използвани. Това на практика

ограничава проектантите и изпълнителите да проявят иновативност и съответно да потърсят нови, различни от гореописаните, технически решения. Конкретен пример за това са последните търгове в които освен принципната схема за електрозахранване детайлно са описани и техническите характеристики и параметри на съоръженията [3].

СЪВРЕМЕННИ ПОДХОДИ ПРИ ИЗГРАЖДАНЕ НА ТПС

Както у нас, така и в другите европейски държави, заради високите изисквания за безопасност, които трябва да покрива ЖИ, новите технологии се внедряват само тогава, когато са изпитани и покриват необходимите норми. Така например в сферата на телекомуникациите се използва 5G технологията докато в ЖИ, не само у нас но и в цяла Европа, все още се използва GSM-R, която е базирана на 3G комуникация. Същото се случва и при модернизация на тяговата електрозахранваща система. Това, както е посочено по-горе, се дължи на високите изисквания за безопасност и на поставяните конкретни изисквания в техническите спецификации към търговете.

За да се променят нещата, операторите на ЖИ в Европа са установили, че трябва да променят и правилата, по които трябва да се провеждат тръжните процедури [4]. Така например, за да се улесни внедряването на новите технологии, вместо търгове с конкретни технически изисквания към електрообзавеждането на ТПС, те провеждат търгове с функционални изисквания [5]. Най-общо целта за един търг с функционални изисквания би могла да бъде формулирана така: „*Необходимо е електрозахранване на контактната мрежа на оператора с номинална мощност $S_N = 20 \text{ MVA}$ в точка X от географската координатната система със следните параметри: Номинално напрежение на контактната мрежа $U_{N1} = 110 \text{ kV}$, $f_{N1} = 50 \text{ Hz}$; Номинално напрежение на контактната мрежа $U_{N2} = 25 \text{ kV}$, $f_{N2} = 50 \text{ Hz}$; Брой захранващи фидери 5 бр.*”. По отношение на това как да се гарантира качество могат се използват изискванията на RAMS (БДС EN 50126 [6] и БДС EN 50562 [7]), световни и европейски стандарти, ТСОС - подсистема „Енергия” и т.н. Посоченият по-горе подход е илюстриран с пример от практиката на Deutsche Bahn /DB/.

В обявена тръжна процедура от DB за изграждане на конверторна станция (50 Hz/16,67 Hz), към участниците в търга – доставчици на електрическа енергия, са поставени само функционални изисквания, а именно: *Необходима номинална мощност в точка X от географската координатната система - $S_N = 70 \text{ MVA}$; Номинално захранващо напрежение на електрическата мрежа на DB - $U_{N2} = 110 \text{ kV}$, $f_{N2} = 16,67 \text{ Hz}$; Фазност на мрежата - еднофазна*, както и други общи изисквания.

Съгласно условията на тръжната процедура, собствеността върху енергийните съоръжения до точката на присъединяване на електрическата мрежа на DB е на доставчика на електроенергия, а контролът и управлението – в прерогативите на DB.

Оценката за това кой ще спечели търга е била цената на електроенергията, която DB ще заплаща.

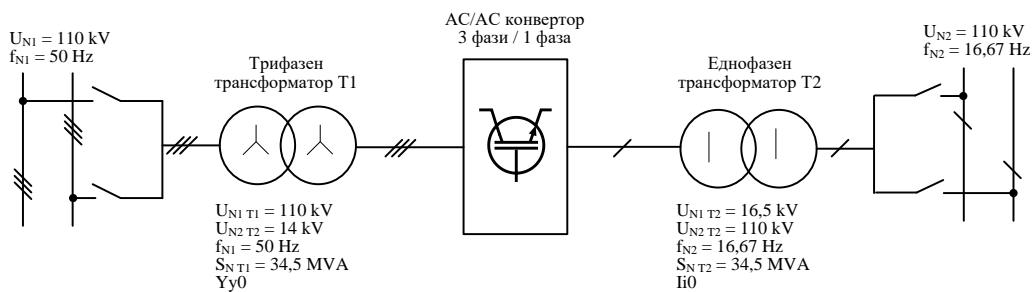
От явилите се на търга доставчици на електроенергия, същия е спечелен с техническо решение за конверторна станция (фиг. 4), базирана на най-съвременната към онзи момент технология – полупроводникови статични преобразуватели (АС/АС конвертори) изградени с IGBT модули, позволяващи конвертиране на напрежението от трифазно $U_{N1} = 110 \text{ kV}$, $f_{N1} = 50 \text{ Hz}$ към еднофазно $U_{N2} = 110 \text{ kV}$, $f_{N2} = 16,67 \text{ Hz}$. Разпределителните електрически уредби на КС са изградени с използване на стандартна електрическа апаратура (прекъсвачи, разединители, трансформатори и т.н.).

Принципна схема на едно поле на КС е показана на фиг. 5. АС/АС конвертора се захранва посредством понижаващ трифазен трансформатор Т1. Функцията на АС/АС конвертора е да преобразува трифазното напрежение в еднофазно с изискуемата честота 16,67 Hz, което се подава към повишаващ еднофазен трансформатор Т2,

захранващ пръстен високо напрежение 110 kV на DB, и от който се захранват отделните ТПС на DB.



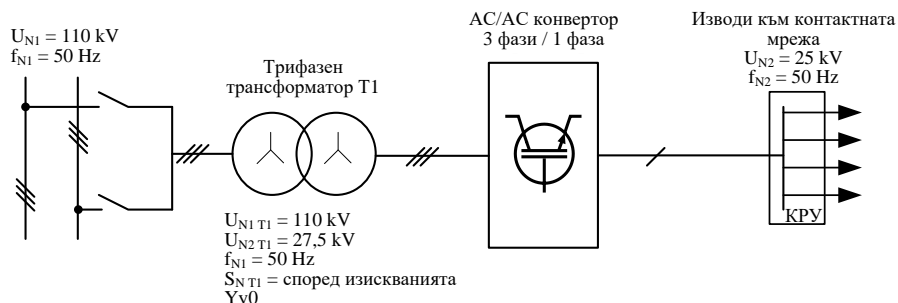
Фиг. 4. Изглед на конверторната станция



Фиг. 5. Принципна схема на едно поле от конверторна станция

Разликите с изградените и експлоатирани до момента конверторни станции се състоят в това, че вместо двигател-генераторна група за преобразуване на фазността и честотата, се използва полупроводников AC/AC конвертор.

На пръв поглед разгледаният пример изглежда неподходящ за изграждане на тягови подстанции на железопътния транспорт у нас, но на практика аналогично техническо решение съществува и за ТПС за еднофазно променливо напрежение 110/25 kV, 50 Hz [4]. Разликата идва от там, че вместо повишаващ трансформатор T2 (виж фиг. 5), AC/AC конвертора се свързва директно към КРУ 25 kV с изводи за захранване на контактната мрежа. Принципна схема на едно поле от ТПС, изградено с използване на AC/AC конвертор, е показана на фиг. 6.



Фиг. 6. Принципна схема на едно поле от ТПС 110/25 kV, изградено с AC/AC конвертор

Разгледаната на фиг. 6 схема на ТПС е захранена трифазно от ЕЕС чрез двойна шинна система, но същата може да бъде захранена и с използване на непълна Н-схема.

Някои от по-важните предимства на ТПС, изпълнени с AC/AC конвертор са:

- Чрез използване на АС/АС конвертор, ТПС се захранва трифазно от енергийната система и се явява симетричен товар за нея;
- АС/АС конвертора, изграден на базата на IGBT модули, подобрява качеството на електропотребление от ЕЕС (поддържа висока стойност на фактора на мощност, не предизвиква несиметрия на напрежението; минимизира хармоничните изкривявания);
- Позволява да се осъществи двустранно електрозахранване на железопътните участъци от две съседни ТПС, без протичане на уравнителен ток, което води до намаляване пада на напрежението и позволява да се увеличат разстоянията между тях;
- Несфазираните неутрални вставки в контактната мрежа могат да бъдат премахнати. Надеждността и сигурността на електроснабдяване се осигурява чрез секционирание на мрежата с товари разединители, вкл. секционирание на гарите;
- Енергията получена от регенеративно спиране може да се предава в по-дълги участъци от КМ, както и да бъде преработвана от АС/АС конвертора и връщана в ЕЕС.

ОСНОВНИ ИЗВОДИ

От направения кратък анализ и вземайки предвид какви схемни решения за ТПС са използвани при стартирането на електрификацията, могат да бъдат формулирани следните изводи:

1. Към момента при изграждане на нови и модернизация на стари ТПС се използват сродни схемни решения, с тези от началните години на електрификацията.
2. Новото електрооборудване на ТПС не подобрява функционалните им възможности, а само тяхната надеждност и осигурява възможност за включването им към система за диспечерско управление (SCADA).
3. Модернизацията на ТПС и електрифицираните участъци не допринася за по-ефективно оползотворяване на енергията от регенеративно спиране.

Крайният извод, който може да бъде направен е, че докато ние модернизираме електрифицираните участъци по класически схеми и методи, през последните години в много страни по света се наблюдава тенденция за навлизане на нови технологии в електрозахранващите системи на електрическия транспорт. В тяговите подстанции на жп транспорта се внедряват иновативни технически решения с използване на полупроводникови конвертори с цифрово управление, които подобряват качествените параметри на ТЕС и осигуряват надеждно и енергийно ефективно електрозахранване.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

През последните 20 години, по различни европейски програми, в Република България бе извършена и продължава да се извършва модернизация на железопътната инфраструктура, свързана с подмяна на железния път, системите за сигнализация, тяговата електроснабдителна система, системите за телекомуникации и т.н. Целта на тези модернизации е да се изгради една модерна, сигурна и безопасна железопътна мрежа, която да осигури висока скорост и комфорт при превоза на товари и пътници, като едновременно с това се повиши пропускателната способност на жп участъците.

Разгледаното техническо решение (изглеждащо на пръв поглед абстрактно) е подходящо за жп магистрали със скорост на движение 160-200 km/h и интензивност на влаковото движение по-голяма от 50 чифта влакове за денонощие с брутна маса ≥ 400 t.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Димитър Рулев, Минчо Марков, Електрифицираните железници на България, Том 1 1903-1995, София.

[2] Лалев Т. , Технически и схемни решения за изграждане на тягови подстанции в железопътната инфраструктура на Република България. Конструктивни и функционални особености, ТУ София, Научна конференция с международно участие по авиационна, автомобилна и железопътна техника и технологии БулТранс-2018, Созопол 15 - 17 септември 2018 г., Сборник доклади, 2019 г.

[3] Технически спецификации към обществени поръчки за модернизация на тягови подстанции, ДП „НКЖИ”, 2018-2020 г.

[4] Rainer Gruber, Carsten Burlein, Dezentrale Umrichter mit neuer Umrichtertechnologie, eb-Elektrische Bahnen, Ausgabe 6-7/2013, pp. 412-416, ISSN: 0013-5437

[5] André Dölling, Axel Schmieder, Innovative Bahnenergieversorgungsanlagen – Förderung durch funktionale Ausschreibungen, eb-Elektrische Bahnen B2580, Ausgabe 8-9/2016, ISSN: 0013-5437

[6] БДС EN 50126:2018 Железопътна техника. Определяне и доказване на надеждност, работоспособност, ремонтпригодност и безопасност (RAMS). Част 1: Общи процеси на RAMS.

[7] БДС EN 50562:2018 Железопътна техника. Стационарни инсталации. Процес, защитни мерки и демонстриране на безопасност на електрически тягови системи.

SOME CONSIDERATIONS ON THE APPROACH APPLIED TO THE MODERNIZATION OF TRACTION SUBSTATIONS FOR RAILWAY INFRASTRUCTURE IN THE REPUBLIC OF BULGARIA

Todor Lalev, Georgi Dimitrov

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

Key words: *Electrified railway transport, Traction substations, Modernization of traction substations.*

Abstract: *The electrification of the railway infrastructure in the Republic of Bulgaria began more than 59 years ago, with the first electrified line Sofia-Plovdiv being opened in 1963. For the purposes of electrification, the most modern system at the time was chosen - the one with variable voltage $U_N = 25$ kV, 50 Hz.*

At the moment, more than 70% of the total length of the railway network in Bulgaria is electrified, which is fed by 54 traction substations /TSS/. Since a significant part of the traction substations have exceeded the indicator "operational life", they have to be modernized. In this regard, since 1999 Bulgarian State Railways - BDZ (later National Railway Infrastructure Company - NRIC) started a new stage of electrification, including new construction and modernization of traction substations, with 21 TSS have been modernized to date.

In the present paper, a brief analysis of the new construction and modernization of the traction substations in Bulgaria is made, and how far it follows modern trends. The technical solutions and equipment used until now by the NRIC in the modernization of the traction substations in our country were examined and a modern approach to the announcement of the tender procedures are presented, giving freedom to the participants to introduce innovations and new technologies.