

## **ПОДОБРЯВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНИТЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРИ ЗАМЯНА НА РЕЖИМА НА РАБОТА НА ТПС НА СОФИЙСКИЯ МЕТРОПОЛИТЕН**

**Тодор Иванов Йонов**

[todyon@tu-sofia.bg](mailto:todyon@tu-sofia.bg)

*ТУ-София, ЕФ, кат. ЕСЕОЕТ,  
София 1000, бул. "Кл. Охридски" № 8  
БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** Тягови подстанции, к.п.д. загуби,*

***Резюме:** В статията са разгледани възможностите за отказ от двустранно  
захранване и въвеждане едностранно захранване на участъците при наличие на  
„автоматично включване на резервно захранване“. Разгледани са режимите на  
работата на изправителните агрегати и тяговите трансформатори при сегашното  
състояние на натоварването - съществено по-малко от номиналното.*

### **Въведение**

Софийският метрополитен е сериозен консуматор на електроенергия. Това прави въпросът за намаляване на загубите повишаване на к.п.д. много актуален.

Сравнително ниското захранващо напрежение на контактната релса – 800V и разстоянията между спирките, с малки изключения над 1000 м, обуславят големи загуби на както на напрежение така и мощностни. В метрополитена е възприето и наличие на тягова подстанция [ТПС] на почти всяка метростанция. Изключение от това правило се допуска при сравнително малки разстояния между спирките /например „Централна гара“ – „Лъвов мост“, „Опълченска“ - „Сердика“ и др./. Категорията на захранване на метрополитена е „I“ и това определя вида на шинната система и начина на захранването – обходна шинна система с допълнителен резервиращ прекъсвач и двустранно захранване на всеки участък. От тук следва, че възможностите за намаляване на загубите след токоизправителите, на страна постоянен ток са ограничени. Първичната шинна система е секционирана с ръчно включван разединител, като всяка секция се захранва един токоизправителен агрегат.

Широко известно, е че всички електрически машини работят с висок коефициент на полезно действие при номинално натоварване. В метрополитена на първо място се поставя въпросът за сигурността, или за резервиране на захранването така, че ако отпадне силов агрегат, останалият в работа да има възможност да поема целия товар, без да се претовари. При възприетата схема - захранване на участъка от двете страни - при отпадане на агрегат в едната ТПС, другата автоматично поема товара и захранването в участъците не се прекъсва. За подобряване на натоварването на

агрегатите, може да се въведе АВР на мястото на секционния разединител на високата страна и вместо него да се монтира прекъсвач. При това положение, без да се намалява сигурността на захранването може единия агрегат да се остави като резервен, а другия да поеме целия товар.

Целта на настоящата статия е да отговори на въпроса доколко ще се повиши коефициентът на полезно действие на агрегатите в ТПС при увеличаване на натоварването, без да се нарушава сигурността на захранването.

### **1. Анализ на натоварване на агрегатите на тягова подстанция**

Всяка тягова подстанция захранва четири участъка – по два в двете посоки на движение. Изискванията за „I“ категория на захранвана са да има минимум два независими източници и всеки от тях да може самостоятелно да осигури продължителното захранване на всички участъци. С цел осигуряване на сигурността на захранването и гарантиране на „I“ категория шинната система на страна 10 кV е секционирана. Сегашното секционирание е с разединители и при необходимост превключванията са правят ръчно. Към всяка крайна и всяка втора ТПС влизат захранващи кабели от различни градски подстанции. Допълнително всяка секция от едната ТПС е свързана чрез кабели със съответната секция на съседните ТПС от един и същи диаметър. Заради изискванията за два независими източника на захранване на участъците, във всяка ТПС има по два силови изправителни /силови, тягови/ агрегати. На страна 10 кV, двата агрегата в ТПС работят независимо един от друг, като при *нормален режим* на захранване секционния разединител е отворен. Тогава всеки агрегат поема по два участъка – „в ляво и дясно“ от ТПС. При необходимост - *авариен режим*, схемата е така оразмерена, че работещият агрегат може *напълно* да поеме товара на другия агрегат.

От страна ниско напрежение един силов агрегат захранва два – в „ляво“ или в „дясно“ участъци, в двете посоки на движение. Разстоянието между две съседни спирки на метрополитена се захранва от две съседни ТПС, като в нормален режим на работа на лице е двустранно захранване на всеки участък. При такова захранване дори при най-тежкия режим за една ТПС - изключване на агрегат, участъците остават захранени от другата страна и се осигурява непрекъснато захранване.

Сумарната консумация /товарният ток/ на метромотрисите е силно променлива величина и зависи от редица обективни и субективни фактори.

Обективните фактори, влияещи на товара /тока/ са:

*Наклоните по трасето.* При захранване на участък с голям наклон от един и същ агрегат и голям интервал на следване на мотрисите, изкачващият състав тегли много ток, а при спускане, движението е по инерция /без ток/, през времето за движение по инерция, консумацията на ток за тягови нужди е минимална.

*Собствените нужди на мотрисите.* Главен консуматор на енергия за собствени нужди е отоплението /климатизацията/ на мотрисите. В общият случай натоварването зависи от сезона и независимо, че под земята температурата е почти постоянна, все пак температурата в мотрисите трябва да се поддържа в необходимите граници. Допълнителните собствени нужди с почти постоянно натоварване са вентилацията, осветлението, сигнализацията и оперативните вериги, и др.

*Местоположението на мотрисите в участъка.* Мотрисата се движи по трасето и когато потегля, тя се намира в непосредствена близост до точката на захранване от едната и е в крайната точка на захранване от другата ТПС. Тогава между агрегатите става преразпределение на натоварването, като близкия агрегат поема почти целия товар, а далечния остава ненатоварен.

*Наличието или отсъствието на рекуперативно спиране.* Рекуперативно спиране имат по-новите мотриси. То може да се приложи при наличие на друга мотриси, която да поема генерирания ток на спиращата /или спускаща се по наклон/ мотриси. При това положение товара на ускоряващата се мотриси се преразпределя между двата захранващи участъка агрегати и генерирания ток на спиращата мотриси. Отсъствието на ускоряваща се мотриси означава липса на консуматор на върнатата в мрежата енергия и респективно натоварването на агрегатите спада.

*Неравномерният график на движение на мотрисите през различните часове на денонощието.* Графикът на движение до голяма степен определя наличието или отсъствието на ускоряващи се мотриси. В моментът графика на движение на мотрисите в натоварен час е 3-7 минути за двата метродиаметъра. В ненатоварен час и през нощта, мотрисите се движат в интервал 7 - 30 минути. Средно разстояние между ТПС е 1000 м. На практика само в интензивен час – 3 - 4 минути се осигуряват мотриси и в двата участъка – рекуперираща и ускоряваща. При над 6 - 7 минути график дори и в най-дългия участък – под бул. „Драган Цанков“, около 2,1 км – осигуряването на рекуперираща и ускоряваща се мотриси е съмнително.

Субективните фактори се свързват главно с *интензивността на пусковите процеси*, зависещи от водача, като разликите в максималните стойности на пусковите токове на две еднакви мотриси при движение по един и същ участък могат да достигнат 500 и повече ампера.

От казаното до тук следва, че заради сигурността на захранването, всеки един силов агрегат работи с два участъка, а той е оразмерен за захранването на четири. Нещо повече. Заради паралелната работа и придвижването на мотрисата по участъка, средното натоварване на агрегата фактически е не повече от 10-12% , през по-голямата част от денонощието. По високо натоварване се получава в интензивните часове на денонощието – сутрешният и вечерен „връх“ на натоварването. Но дори тогава не се очакват стойности на товара повече от 40 - 50 % от възможностите на агрегатите.

## **2. Изменение на коефициентът на полезно действие при промяна на натоварването**

Коефициентът на полезно действие на тяговият агрегат фактически е този на тяговият трансформатор и на изправителя. Тук те ще бъдат разгледани поотделно [1,3].

*Изменение на к.п.д. на тяговият трансформатор във функция на товара*

Номиналните данни на тяговият трансформатор са следните:

- Номинална пълна мощност  $S_n = 3000 \text{ kVA}$ ;
- Номинален  $\cos\varphi_n = 0,86$
- Загуби на празен ход  $\Delta P_0 = 5,219 \text{ kW}$
- Загуби на к. с.  $\Delta P_m = 17,59 \text{ kW}$
- Ток на празен ход  $\Delta I_0 = 6,98\%$

От [1] за номиналната активна мощност на първичната страна

$$(1) \quad P_{n1} = S_n \cdot \cos\varphi_n = 2580 \text{ kW}$$

За вторичната страна

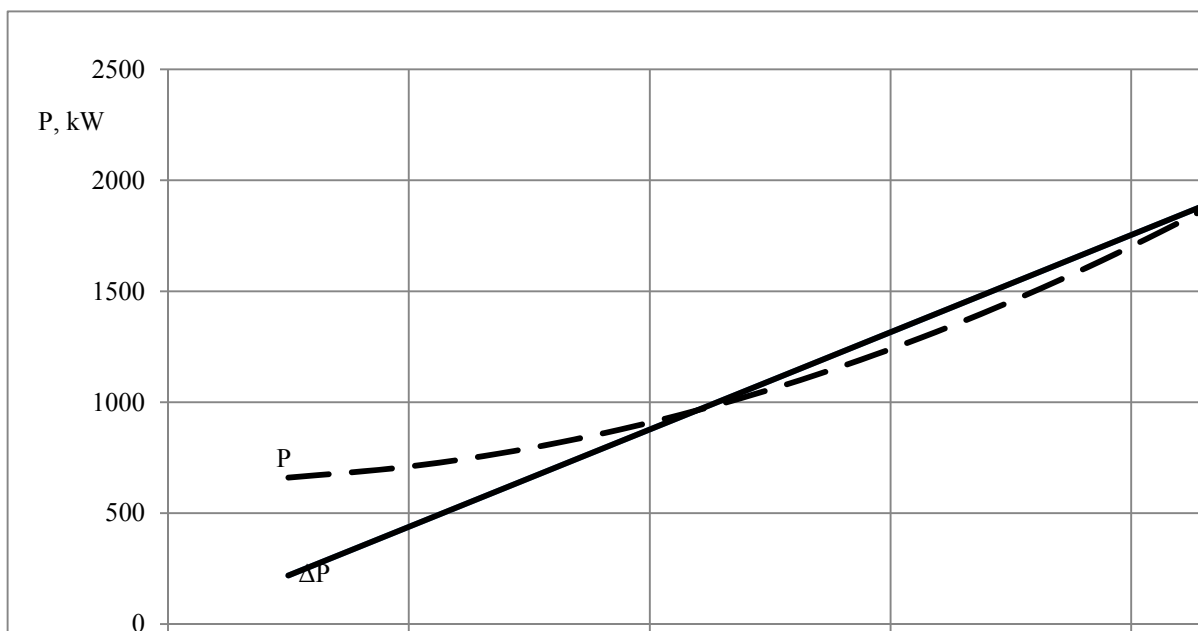
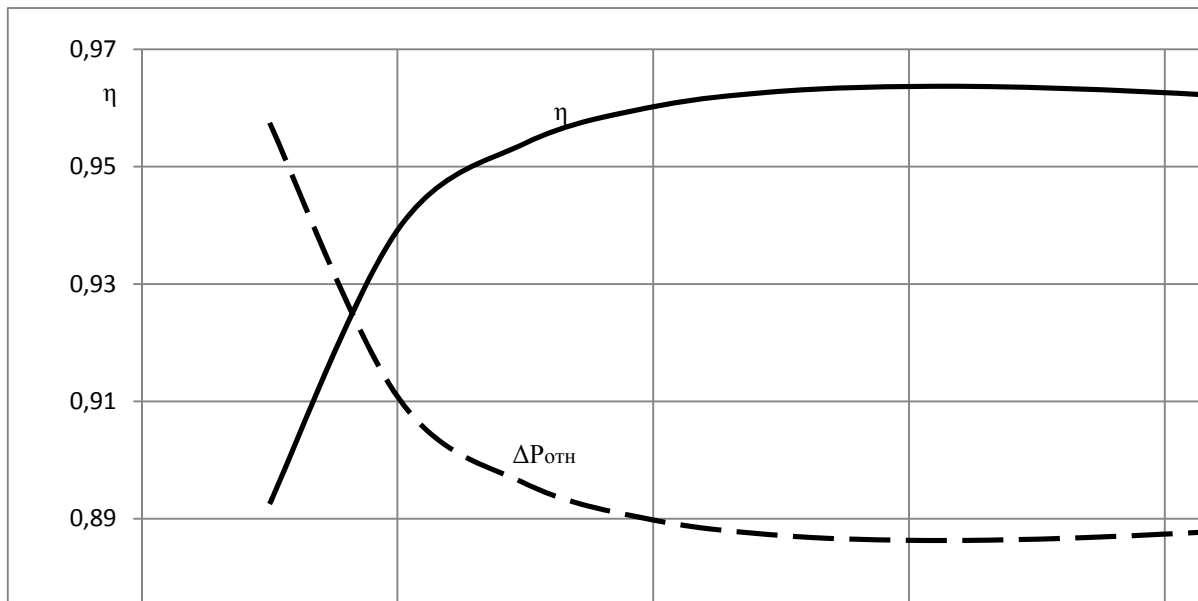
$$(2) \quad P_{n2} = P_{n1} - \Delta P_\Sigma = 2554 \text{ kW}$$

Коефициентът на натоварване определя стойността на тока спрямо номиналния или

$$(3) \quad k_n = I/I_n$$

Активните загуби  $\Delta P_m$  зависят от втората степен на тока и следователно от втората степен на коефициентът на натоварването. Загубите в стоманата  $\Delta P_0$  не зависят от тока и остават сравнително постоянни.

На фиг. 1 са представени к.п.д и относителният дял на загубитена трансформатора в зависимост от натоварването, а на фиг. 2 - консумираната мощност и сумарните загуби в зависимост от натоварването на трансформатора.



*Изменение на к. п. д на токоизправителните агрегати във функция на товара.*

В ТПС се използват два вида трифазни неуправляеми мостови изправители. Първия от тях е известната схема на „Ларионов“. Такива са изправителите в участъка „бул. К. Величков – „Сливница“ на Първи метродиаметър. Във втория тип тяговия трансформатор е с две вторични намотки, свързани съответно в звезда и триъгълник, и всяка намотка работи с един изправител свързан по схема „Ларионов“. По този начин се постига дефазирание на 60 градуса и съответно по-малки пулсации на изправения ток [2]. Загубите на токоизправителите фактически са загубите в самите диоди, [3].

За определяне на загубите в диода се използва зависимостта:

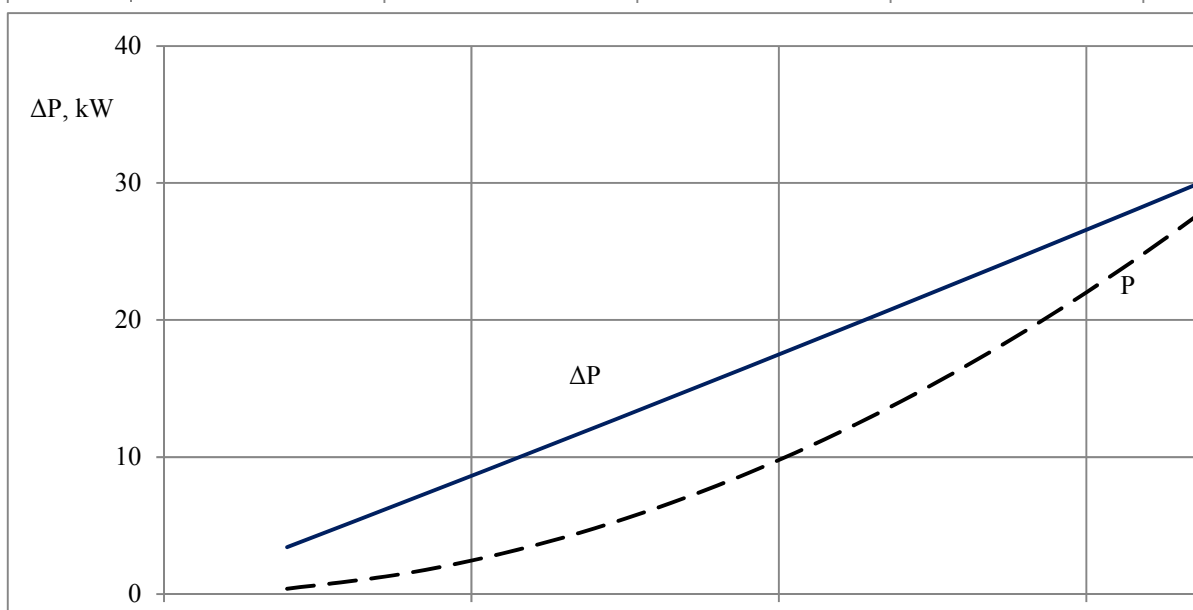
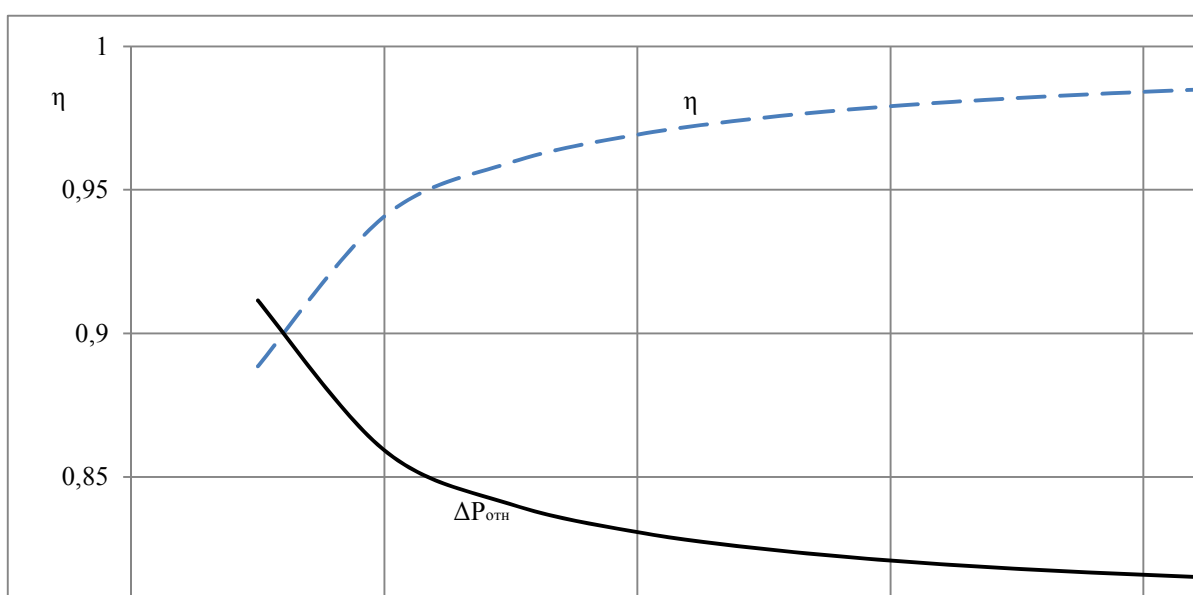
$$(4) \quad \Delta P = \Delta P_o + \Delta P_d,$$

където индексите "о" и "д" означават основни /в права посока/ и допълнителни /з обратна посока/ загуби. Загубите в права посока (основните) се определят от израза

$$(5) \quad \Delta P_0 = \bar{I} \cdot U_0 + R \cdot k_{fi}^2 \cdot I^2,$$

- където
- $\bar{I}$  - средният ток през диода, А;
  - $R$  - динамичното съпротивление на диода,  $\Omega$ ;
  - $I$  - ефективният ток през диода, А;
  - $k_{fi}$  - коефициентът на формата на тока;  $k_{fi} \approx 1,04$
  - $U_0$  - праговото напрежение на диода, V.

Обикновено допълнителните загуби поради малката стойност на  $I_g$  са около 5% от основните и могат да се пренебрегнат. На фиг. 3 са представени к.п.д и относителният дял на загубите на мощност в тяговият изправител в зависимост от коефициентът на натоварването, а на фиг. 4 - консумираната мощност и сумарните загуби в зависимост от натоварването.



### 3. Анализ на резултатите и изводи

От анализа на натоварването и направените изчисления на к.п.д вижда средното:

- При натоварване на агрегатите от порядъка на 20-25% е възможна работата на един агрегат и едностранно захранване на участъците, като при въвеждане на АВР, другия агрегат ще поеме напълно натоварването;
- При увеличаване на относителното на натоварване от 0,2 до 0,4 к.п.д. на трансформатора и на изправителя ще се повишат от 0,94 до 0,96. Сами по себе си тези стойности не са високи, като повишението е само с 0,02. При инсталираните мощности - 3000 кVA на агрегат това означава значителна икономия, като годишната икономия е 7000-8000 лв, за една ТПС.

#### ЛИТЕРАТУРА:

- [1]. Васютински С. Б., Въпроси от теорията и изчислението на трансформаторите, Държавно издателство „Техника“,София 1976.
- [2]. Лалев Т.К. Изследване на входни преобразуватели и цифрови релейни защиты в тягови мрежи за постоянен ток, дисертация за придобиване на образователна и научна степен „доктор“, София 2014 год.
- [3]. Йонов Т. И. Подобряване на енергийните показатели на електрически локомотиви, чрез намаляване на разхода на енергия за собствени нужди, дисертационна работа за присъждане на образователна и научна степен "доктор", София 2010 год.

## IMPROVING ENERGY PERFORMANCE IN REPLACING MODE OF THE TPC THE SOFIA SUBWAY

**Todor Ivanov Ionov**  
[todyon@tu-sofia.bg](mailto:todyon@tu-sofia.bg)

*TU, EF, cat. ESEOET,*  
*1000 Sofia. "Kl. Ohridski "№ 8*  
*BULGARIA*

**Key words:** *Traction substations, efficiency loss*

**Abstract:** *The article examined the possibilities for refusing bilateral power and introducing unilateral power of the sections in the presence of "Automatic rezevni power." Discussed are the modes of operation of correctional units and traction transformers in the current state of natovarvanto - significantly less than nominal.*