

## **ИЗСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА ВИДОВЕТЕ ТОКОИЗПРАВИТЕЛНИ СХЕМИ, ЕКСПЛОАТИРАНИ В ТОКОИЗПРАВИТЕЛНИ СТАНЦИИ**

**Мартина Томчева**  
[mtomcheva@vtu.bg](mailto:mtomcheva@vtu.bg)

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

**Ключови думи:** *многоимпулсни схеми на изправяне, трансформаторни преобразуватели, енергийна ефективност.*

**Резюме:** *Известно е, че за работата на многоимпулсни схеми на изправяне е необходим източник с многофазна система от напрежения. В тези случаи е необходимо да се използват преобразуватели на броя на фазите от трифазна в многофазна система. Това се постига чрез специални многофазни трансформатори. Тези устройства са известни в практиката като трансформаторни преобразуватели на броя на фазите (ТПБФ). Познати са много схемни решения на ТПБФ, които предлагат различни възможности, затова основният въпрос е изборът на най-подходящата схема.*

*Най-съществените показатели, характеризиращи енергийната ефективност на ТПБФ са големината на постоянната мощност и загубите на електроенергия. Техническото развитие в тази област е доказало, че основните параметри на ТПБФ зависят, както от схемното решение, така и от броя на фазите на входа и изхода на трансформаторното устройство.*

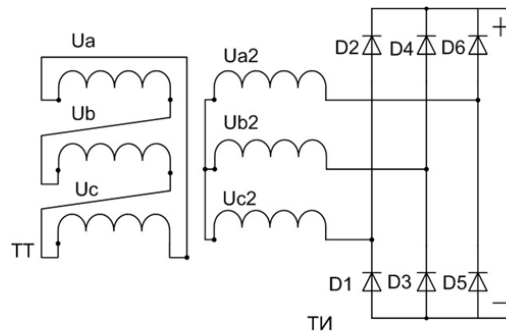
*Научните изследвания и практиката са показали, че използваните днес в съвременните тягови подстанции (ТПС) дванадесетимпулсни изправителни схеми от последователен и паралелен тип значително подобряват формите на мрежовия ток и изправеното напрежение, както и технико-икономическите показатели на тяговата енергозахранваща система (ТЕС).*

*В доклада са разгледани и анализирани различни схемни решения на токоизправителни агрегати, експлоатирани в токоизправителните станции (ТИС) за постоянен ток. На тази база са дадени конкретни предложения за подобряване на енергийната ефективност на основните режими на работа на токоизправителните станции.*

### **1. Въведение**

В днешно време в ТИС за наземния градски електрически транспорт (НГЕТ) и метрополитен се експлоатират шестимпулсни изправители, имащи ниски технико-икономически показатели: изкривена форма на изправеното напрежение и мрежов ток,

значителни загуби на мощността и нисък коефициент на мощност. Вследствие на това консумираната електроенергия има ниско качество и влияние негативно на тяговите токове върху другите потребители. Схемата на подобен тягов изправителен агрегат (ТИА), експлоатиран у нас в по-старите подстанции за постоянен ток е показана на фиг. 1.



Фиг. 1. Трифазна шестимпulsна схема на тягов изправителен агрегат

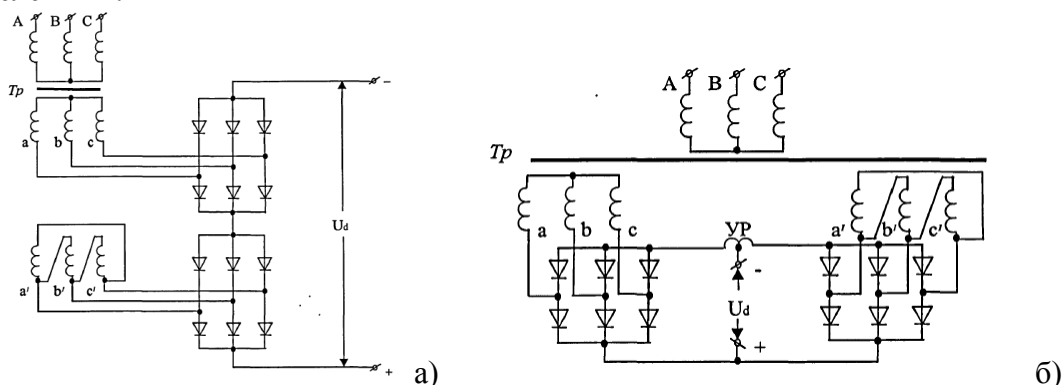
Трифазният ТИА включва трифазен захранващ трансформатор и изправител по схема „Ларионов“ с шест изправителни диода  $D_1 \div D_6$ .

Първичната намотка на ТТ е свързана в „триъгълник“, а вторичната намотка в „звезда“. Към всеки от изводите на вторичната намотка са свързани по един диод от анодната и катодната група. Диодите в тяговите изправители са групирани в анодна и катодна групи. Катодната група представлява плюсовия извод на изправителя, а анодната – минусовият.

Един от най-ефективният начин за подобряване на технико-икономическите показатели на ТЕС за постоянен ток е използването в ТИС на по-сложни схеми на изправяне, с по-голям брой пулсации в кривите на изправеното напрежение, по-голям от шест.

## 2. Анализ на токоизправителни агрегати експлоатиран в ТЕС за постоянен ток

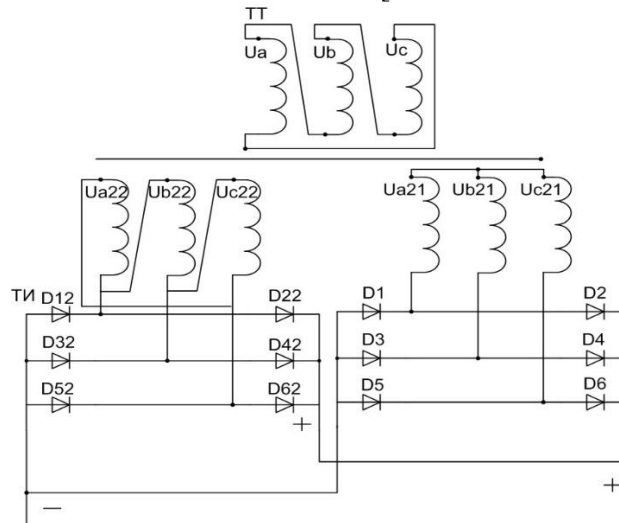
Както беше споменато, дванадесетимпulsните изправителни схеми подобряват формите на тока и напрежението и технико-икономическите показатели на ТЕС. На фиг. 2, а и б са показани дванадесетимпulsни схеми на изправяне от последователен и паралелен тип.



Фиг. 2, а, б. Дванадесетимпulsни схеми на изправяне от последователен и паралелен тип

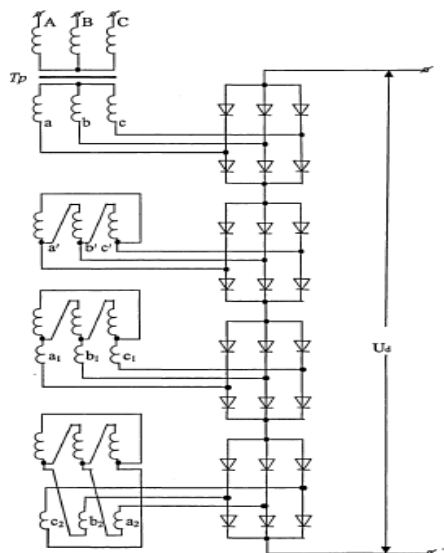
В НГЕТ и метрополитен у нас в голяма част от по-новите ТИС намират приложение ТИА от типа, показан на фиг. 3. Първичната намотка е свързана в „триъгълник“, а вторичните намотки по аналогичен начин са свързани в „звезда“ и

„триъгълник“. Схемата на свързване на вторичната страна на ТТ е от паралелен тип. При такова свързване се получава дефазироване на напрежените вектори и минимални пулсации. Напрежението подавано към изправителите и в двата случая е 650 V. При тези стойности на вторичното напрежение на трансформатора, изправеното напрежение на празен ход на шините на ТПС е около 990 V. [1]



Фиг. 3. Дванадесетимпулсна схема на изправяне от паралелен тип, прилагана в НГЕТ и метрополитен у нас

Изследванията и опита в експлоатацията са показали, че и тези изправители не удовлетворяват съвременните изисквания за електромагнитна съвместимост (ЕМС), както и с големината на загубите на електрическа енергия. Това изисква усъвършенстване на схемите на изправяне в ТЕС. Разработени са двадесет и четири импулсни изправителни схеми (фиг. 4) от последователен тип, при които резултантната и момента стойност на напрежението на изхода се определя като сума от изправеното напрежение на четири секции: звезда, триъгълник и две комбинирани секции, представляващи сложно свързване на намотки във вариант променящ се триъгълник.



Фиг. 4. Двадесет и четири импулсен изправител от последователен тип

Практически всички схеми на многоимпулсни изправители са предназначени за ТЕС, изпълнени с трибедрени трансформатори, като те имат известни преимущества и недостатъци. Наличието на трибедрен трансформатор предопределя вида на схемните

решения на свързване на изправителните намотки на многоимпулсните изправители. Изправителните намотки на трансформатора за осъществяване на ъглова разлика  $2\pi$  между векторите на линейните напрежения може да бъдат комбинирани в следните традиционни схеми: звезда, триъгълник, променящ се триъгълник, зигзаг, многолъчева звезда и затворен многоъгълник. Изборът на схема на свързване на намотките се прави на базата на разход на материали и технология за изработване на трифазен трансформатор. Обикновено се избират схеми, които дават най-малка типова мощност на трансформатора и форма на първичният ток, близка до синусоидалната.

Практиката е доказала, че най-добрата изправителна схема е мостовата. От направените изследвания е доказано, че най-перспективните от сложните изправителни схеми са схемите с последователно свързани мостове, тъй като при паралелните са необходими уравнителни реактори с голяма мощност. Както беше казано по горе в най-новите ТПС у нас се прилагат схеми от паралелен тип. Тези схеми имат и други недостатъци, свързани с по-големи загуби на мощност.

От всичко казано до тук може да бъде направен следният анализ на недостатъците на многоимпулсните изправителни схеми:

- Последователното свързване на изправителните мостове и свързаните последователно диоди, предизвикват значителни загуби на енергия;
- В многоимпулсните изправителни схеми е проблемно получаването на пулсации с  $m = 4, 8, 10, 6, 20$  и т.н., т.е. некратни на 3 и 6;
- При реализация на многоимпулсни изправители се налага изпълнението на голямо количество непосредствени галванични съединения, което усложнява конструкцията на ТПБФ и намалява неговата надеждност.

### **3. Анализ на токоизправителни агрегати реализирани на базата на схеми на СКОТ**

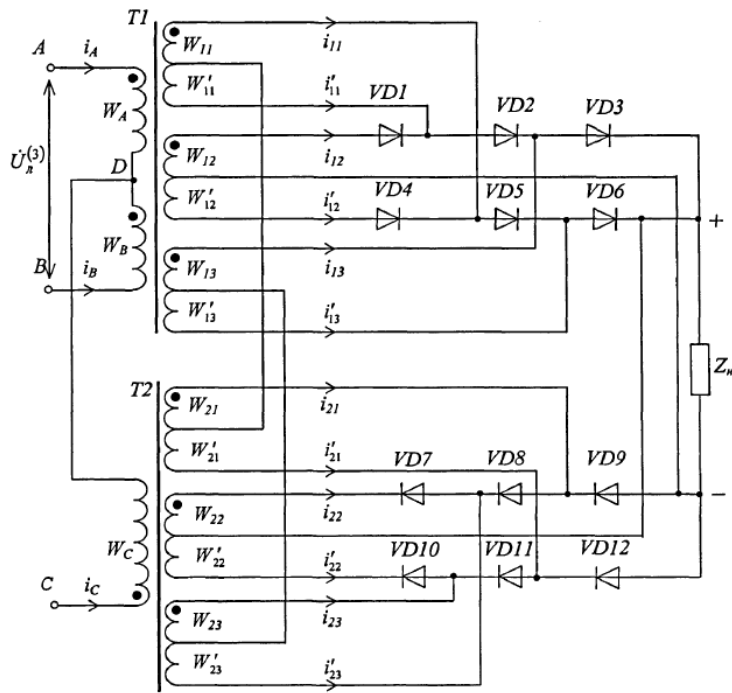
С цел да се компенсират недостатъците на многоимпулсните изправителни агрегати, да се повиши качеството, ефективността и надеждността на ТПБФ се предлагат решения на ТПБФ, изпълнени на основата на модифицираните схеми на СКОТ. Направените изследвания на трансформаторните преобразуватели от симетрична трифазна система напрежения в многофазна система на основа на схемите на СКОТ показват, че могат да бъдат прилагани за захранване на мощни тягови потребители в електрическият транспорт. [2]

Широко известната и използвана в ГЕТ е трифазната мостова схема на изправяне, показана на фиг. 1, която на изхода дава шест пулсации за един период, при което коефициента на пулсациите е 0,057. Знаем, че днес изглаждащи филтри в ТИС не се използват, което означава, че висшите хармоници на изправеното напрежение пулсират в тяговата мрежа (ТМ) и създават допълнителни загуби на електроенергия, както и вредно въздействие върху други потребители, свързани към контактната мрежа (КМ).

От направените изследвания на шестфазни ТПБФ на основата на схемите на Скот, резултатите показват много добри параметри на устройството. ТПБФ обезпечават електромагнитната съвместимост на шестфазния товар и захранващата трифазна мрежа. Ако шестфазния товар е симетричен, токовете в трифазната мрежа образуват симетрична система.

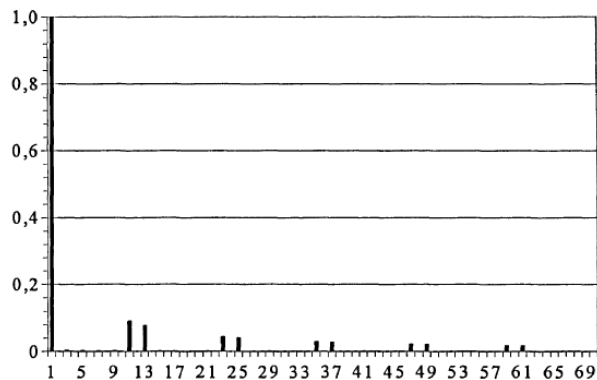
На базата на резултатите от тези теоретични изследвания би могъл да се разработи модел на шестфазен (дванадесетимпулсен) ТП за захранване на тяговите електрически товари в ТЕС за постоянен ток.

На фиг. 5. е показана електрическа схема на шестфазен дванадесетимпулсен изправител.



Фиг. 5. Принципна електрическа схема на шестфазен дванадесетимпулсен изправител

От направения хармоничен анализ на дванадесетимпулсна изправителна схема се получават резултатите, показани на фиг. 6.



Фиг. 6. Хармоничен анализ на тока

В друга публикация всички коментирани до тук схемни варианти на ТИА са изследвани енергетично, като са оценени вида и процентното съотношение на хармониците в кривите на първичния ток и напрежение на ТПТ. От показаното на фиг. 6 се вижда значителното предимство на тази схема по отношение на хармоничното замърсяване на първичния ток.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вижда се, че при шестфазния дванадесетимпулсен изправител процентно хармониците намаляват, като също така изчезват тези с малки номера. Като цяло енергетичното поведение на този тип изправителен агрегат е значително по-добро. В този аспект би могло да се каже, че многоимпулсните изправителни агрегати на базата на схемите на Скот дават реална възможност за повишаване на енергийната ефективност като цяло на ТЕС за постоянен ток.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Щуров Н. И. Методы и средства экономии и повышения эффективности использования энергии в системе городского электрического транспорта. Дисертация, Новосибирский государственный технический университет. 2003 г.

[2] Ворфоломеев Г.Н. Трансформаторный преобразователь числа фаз для питания двухфазных потребителей энергии. Промышленная энергетика. 1994. № 6.- С.22-23.

[3] Щуров Н.И., Храмченко В.А., Никулин М.Ю. Устройство непрерывного контроля токов утечки троллейбуса. Совершенствование технических средств электрического транспорта. - Новосибирск: Изд-во НГТУ. 1999. - С.14-24.

## STUDY AND ANALYSIS OF THE PARAMETERS OF THE TYPES OF RECTIFYING SCHEMES EXPLOITED IN RECTIFYING STATION

**Martina Tomcheva**

[mtomcheva@vtu.bg](mailto:mtomcheva@vtu.bg)

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

**Key words:** *multi-pulse straightening schemes, transformer converters, energy efficiency.*

**Abstract:** *It is well known that a multiphase voltage system is required for the operation of multi-pulse straightening circuits. In these cases it is necessary to use transducers of the number of phases from a three phase in a multiphase system. This is achieved by special multiphase transformers. These devices are known as Phase Number Transformers. Many circuit solutions of Phase Number Transformers, which offer different possibilities, so the main question is the choice of the most appropriate scheme.*

*The most significant indicators characterizing the energy efficiency of Phase Number Transformers are the magnitude of constant power and the loss of electricity. Technical developments in this area have shown that the basic parameters depend both on the circuit solution and on the number of input and output phases of the transformer unit.*

*Research and practice have shown that twelve-piece twin-track rectifying and parallel-type rectifiers significantly improve current and strain currents, as well as the technical and economic performance of traction power systems, currently used in today's traction substations.*

*The report examines and analyzes various circuit solutions of rectifying aggregates operated at DC power stations. On this basis, concrete proposals have been made to improve the energy efficiency of the main operating modes of the rectifying stations.*