



Технически университет – София

Факултет по електронна техника и технологии

Катедра „Силова електроника”

Презентация № 2

Трифазни токоизправители

дисциплина „Токозахранващи устройства” – ВЕ37
ОКС „Бакалавър” от Учебен план за студентите на специалност
Електроника, Професионално направление
5.2. Електротехника, електроника и автоматика



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

**„Организационна и технологична инфраструктура за учене през
целия живот и развитие на компетенции”**

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Съдържание

- Трифазен еднополупериоден токоизправител с активен товар
 - Схеми и принцип на действие
 - Основни съотношения
- Трифазен еднополупериоден токоизправител с активно-индуктивен товар
 - Схеми и принцип на действие
 - Основни съотношения
- Трифазен двуполупериоден токоизправител с активен товар
 - Схеми и принцип на действие
 - Основни съотношения
- Трифазен двуполупериоден токоизправител с активно-индуктивен товар
 - Схеми и принцип на действие
 - Основни съотношения
- Литература



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Целта на лекцията е да се изучи на принципът на действие, да се изведат основните съотношения, зависимости и характеристики на едно и двуполупериодни трифазни неуправляеми токоизправителни схеми при активен и активно-индуктивен товар. Ще се изследват и сравнят токовете и напрежителните натоварвания на елементите от схемите и тяхната зависимост от параметрите на захранващата мрежа.

Трифазните токоизправители се захранват от трифазно напрежение. Използват се за захранване на консуматори за средни и големи мощности. Първичните намотки на трифазния трансформатор са три и могат да се свържат в звезда или триъгълник. Вторичните намотки са три или кратни на три. В схемно отношение трифазните токоизправители са: трифазна еднополупериодна, трифазна със средна точка и трифазна мостова схема. Има и други трифазни токоизправители, които се отнасят към сложните токоизправителни схеми. Трифазните токоизправители се използват за захранване на постояннотокови електрически двигатели, електролизни вани, заваръчни апарати, зарядни станции и др.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



1. Трифазен еднополупериоден токоизправител с активен товар

1.1.Схеми и принцип на действие

Необходимо условие за работата на трифазния еднополупериоден токоизправител е извеждането на нулевата точка от вторичните намотки на трифазния трансформатор. Затова тази схема е известна и като трифазна схема с «нулева точка». Първичната намотка на трансформатора може да бъде свързана в звезда (фиг.1а) или триъгълник (фиг.1б), а вторичната – само в звезда. Всеки от тези начини на свързване има своите предимства и недостатъци, които са свързани с формата на първични ток и показателите, спрямо захранващата мрежа, а също така и за условията на работа и проектирането на трансформатора.

Трифазната еднополупериодна схема в свързване звезда-звезда е показана на фиг.1а. При нея анодите на вентилите (диодите) D_1 , D_2 и D_3 са свързани към съответните краища на вторичните намотки на трите фази.



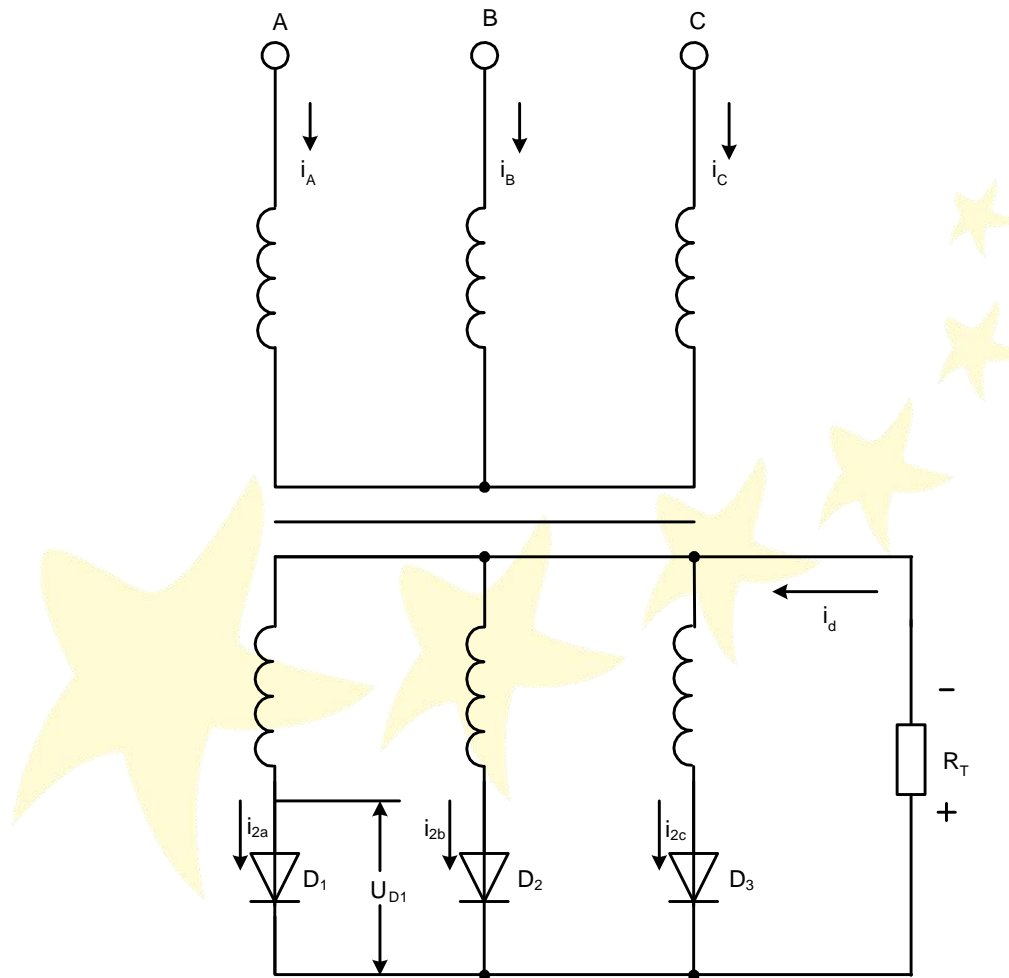
Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!





Фиг.1а Трифазен токоизправител звезда-звезда



Европейски съюз

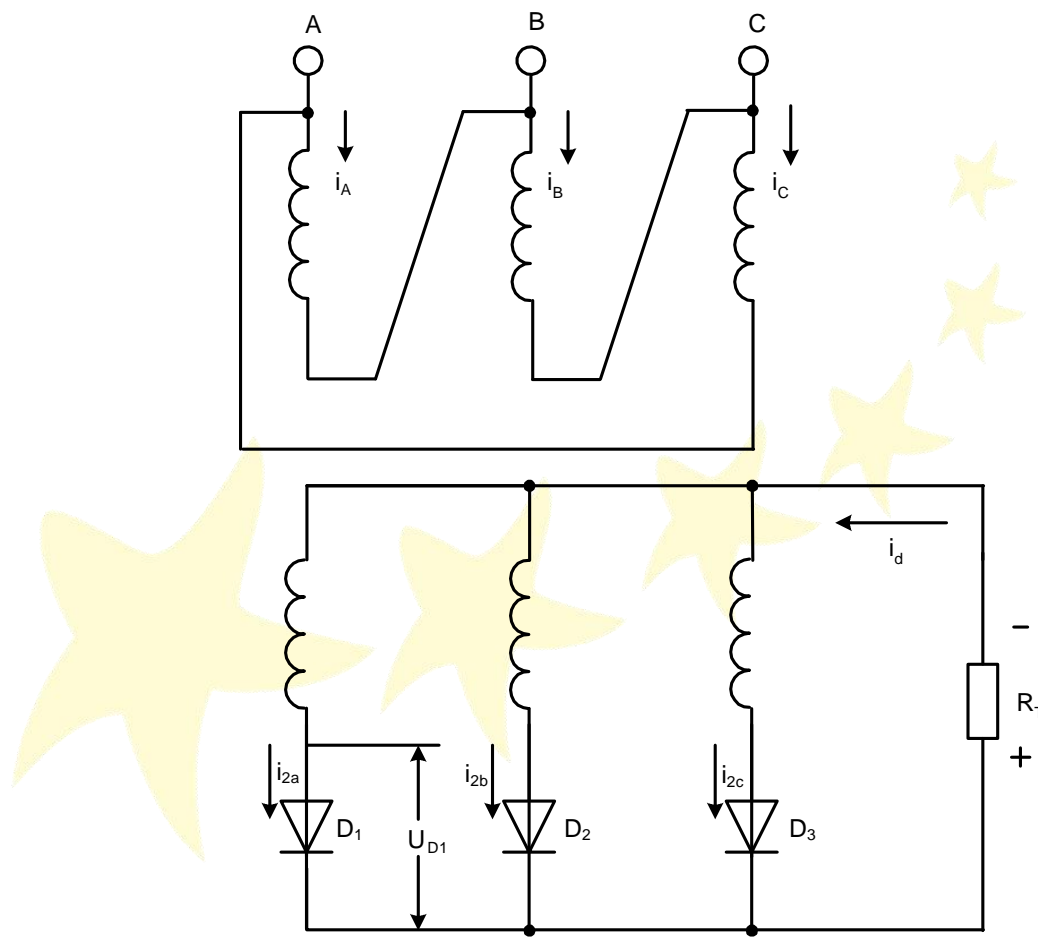
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд



Фиг.1б Трифазен токоизправител звезда-триъгълник



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
 Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
 съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

За разбиране на начина на действие на схемата е необходимо да се разгледа начина на формиране на системата трифазно напрежение, което се впоследствие се изправя от полупроводниковите диоди. Нека приемем, че напрежението вторичната намотка на фаза А – u_{2a} е с нулева начална фаза (както е показано на най-горната диаграма от фиг.2).

Началната фаза на напрежението на втората фаза u_{2b} закъснява със 120 електрически градуса ($2\pi/3$) спрямо фаза А (показано на втората диаграма от фиг.2).

Началната фаза на напрежението на третата фаза u_{2c} закъснява със 120 електрически градуса ($2\pi/3$) спрямо фаза Б и на 240 електрически градуса ($4\pi/3$) (показано на третата диаграма от фиг.2).

От наслагването на първите три диаграми се получава системата трифазни напрежения, която ще бъде изправена от полупроводниковите диоди (показано на четвъртата диаграма от фиг.2).

В даден момент от време пропуска онзи диод, за който е изпълнено условието потенциала на неговия анод да е положителен по отношение на катода му ($u_{ak} > 0$).



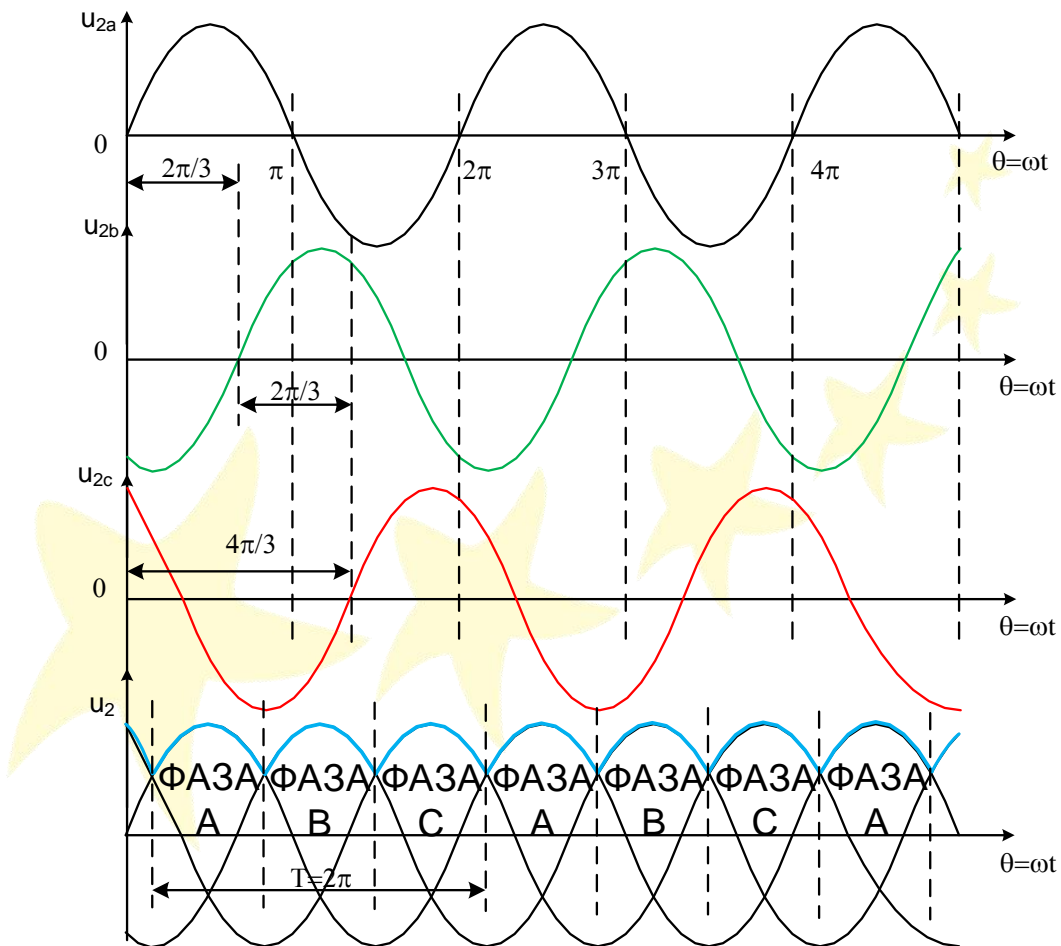
Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!





Фиг.2 Начин на формиране на трифазна система напрежения



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

За трифазната еднополупериодна схема това условие е изпълнено за диода, чието фазно напрежение е най-положително. На последната времедиаграма от фиг.2 тези интервали са отбелязани и са с продължителност 120 електрически градуса ($2\pi/3$).

Следователно, в интервала когато най-положително е напрежението на фаза А е отпушен диодът D_1 , а в интервала с най-положително напрежение на фаза В - D_2 , а през останалата част е най-положително напрежението на фаза С и е отпушен D_3 . При идеални схемни елементи изключването на работилите диоди става по естествен път, защото им се подава отрицателно напрежение анод-катод.

От описания процес на работа на вентилите, илюстриран с времедиаграмите на фиг.3, се вижда, че напрежението върху товара се създава от последователно сумиране на най-положителните части на съответните фазни напрежения, а диодите са отпушени по 120° . При идеализирано разглеждане на процеса (всички схемни елементи са идеални) комутацията (превключването) на вентилите става мигновено в точките на пресичане на фазните напрежения.



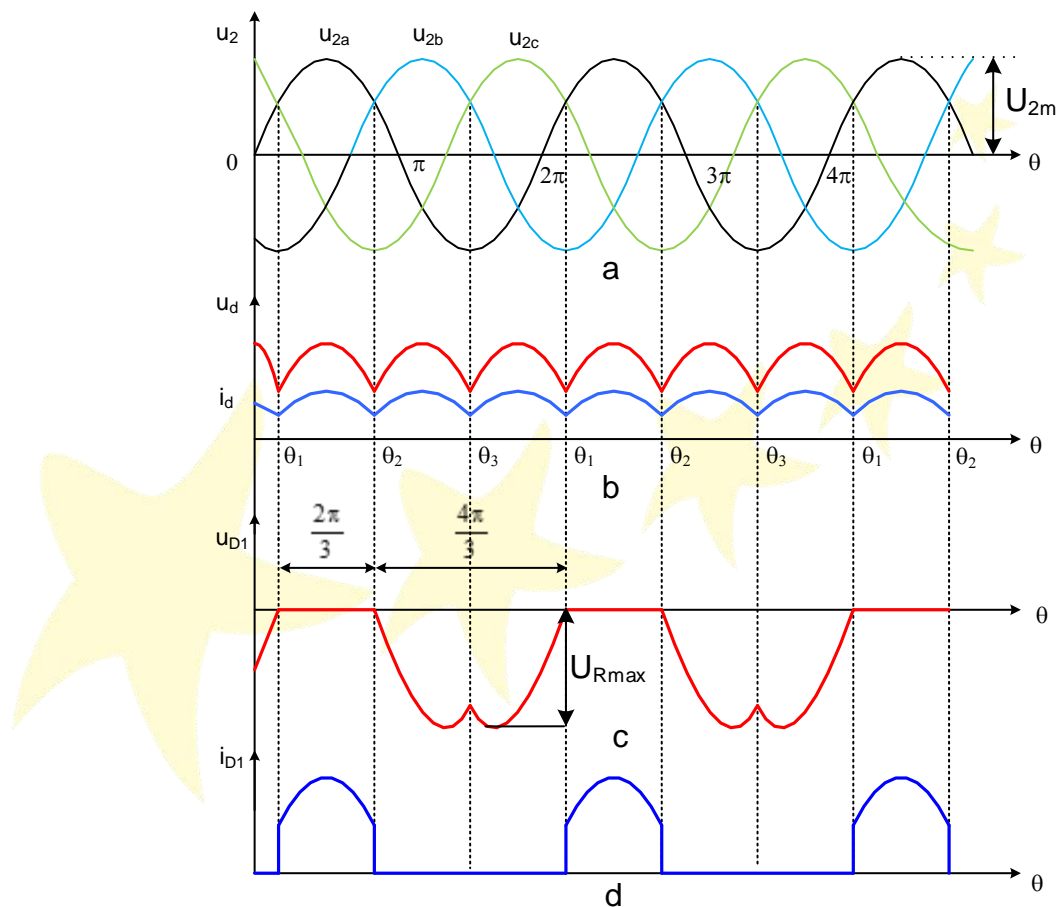
Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!





Фиг.3 Работа на трифазен еднополупериоден токоизправител с активен товар



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
 Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
 съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

При активен товар кривата на изправения ток повтаря кривата на изправеното напрежение. Токовете през вентилите (i_{2a} , i_{2b} и i_{2c}) са част от полусинусоида и също са дефазирани един от друг на 120° .

Токът през даден вентил е равен на тока в съответната вторична намотка на трансформатора. Напрежението върху вентила, както беше казано по-горе, е разликата от напрежението на собствената фаза (със съответния знак) и фазата на отпушения в момента вентил.

Тъй като за по-голяма част от продължителността на периода си, напрежението на всяка фаза на вторичната намотка е отрицателно - със знак (-), то максималната стойност на обратното напрежение, приложено върху диода се получава като сума от векторите на фазните напрежения. Следователно максималната стойност на обратното напрежение, приложено върху вентила е равно на линейното напрежение.

Трифазната еднополупериодна схема има по-добри показатели от еднофазните схеми, но се отличава и с някои недостатъци, основният от които е недоброто използване на вентилите и трансформатора по мощност (има постоянно токово подмагнитване на трансформатора).



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



1.2. Основни съотношения

Средната стойност на изправеното напрежение на трифазния еднополупериоден неуправляем токоизправител се определя с израза:

$$U_d = \frac{3}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{3}} U_{2m} \cos \vartheta d\vartheta = \frac{3}{\pi} U_{2m} \sin \frac{\pi}{3},$$

където U_{2m} е амплитудата на напрежението на всяка фаза на вторичната страна на мрежовия трансформатор, а $\vartheta = \omega t$ е текущия ъгъл.

Обикновено се задава стойността на напрежението U_d и от горния израз може да се определи максималната стойност на фазното напрежение на вторичната намотка на трансформатора:

$$U_{2m} = \frac{U_d}{\frac{3}{\pi} \sin \frac{\pi}{3}} = 1.21 U_d$$

При синусоидални величини, ефективната стойност на напрежението на вторичната намотка е:



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

$$U_2 = \frac{U_{2m}}{\sqrt{2}} = \frac{U_d}{\sqrt{2} \frac{3}{\pi} \sin \frac{\pi}{3}} = 0.855U_d$$

При работа с активен товар, формата на изходния ток съвпада с формата на товарното напрежение и за амплитудата на токовете импулси, протичащи през отделните фази на вторичната страна на трансформатора и диодите се получава:

$$I_{2m} = \frac{I_d}{\frac{3}{\pi} \sin \frac{\pi}{3}} = 1.21I_d$$

Така определената максимална стойност на тока през диода не бива да надвишава максимално допустимия аноден ток през вентила:

$$I_{2m} < I_{\text{адоп.}}$$

От описания вече принцип на действие на схемата, следва че средната стойност на тока преа всеки изправителен диод е три пъти по-малка от големината на товарния ток.

Ефективната стойност на тока през една фаза на вторичната намотка на трансформатора е:



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

$$I_2 = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} I_{2m}^2 \cos^2 \vartheta d\vartheta} = \frac{I_{2m}}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1}{3} + \frac{1}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{3}}$$

Формата и ефективната стойност на тока през първичните намотки на мрежовия трансформатор зависят от начина им на свързване (звезда или триъгълник) и създават постоянно-токово подмагнитване. Това може да доведе до насищане на магнитопровода и увеличаване на тока на празен ход. Отстраняването на този вреден ефект от работата на трифазния еднополупериоден токоизправител става с увеличаването на сечението на магнитопровода и съответно влошаване на масогабаритните и ценови показатели на устройствата.

При използване на свързване на трансформатора звезда-звезда в магнитопровода се създават допълнителни загуби, вследствие на токовете на Фуко (вихрови токове), тъй като пулсациите на тока са тройно по-висока честота от тази на напрежението на захранващата мрежа.

При оразмеряването на трансформатора този ефект се пренебрегва за да може да се опростят изчисленията.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



При така направените допускания за ефективната стойност на тока през една от фазите на първичната намотка на трансформатора се получава:

$$I_1 = n\sqrt{I_2^2 - I_{av}^2} = n0.47I_d,$$

където n е коефициента на трансформация на трансформатора, а I_{av} е средната стойност на тока през един вентил.

За да може да бъде проектиран трансформатора е необходимо да се определи неговата изчислителна мощност, което става по следния начин:

1. Изчислителната мощност на цялата вторична намотка е:

$$P_2 = 3U_2I_2 = \frac{\pi^2}{2 \times 3 \times \sin \frac{\pi}{3}} \sqrt{\frac{1}{3 \sin^2 \frac{\pi}{3}} + \frac{1}{\operatorname{tg} \frac{\pi}{3}}} I_d U_d = 1.47 P_d$$

2. Изчислителната мощност на цялата първична намотка е:

$$P_1 = 3U_1I_1 = 3\frac{U_2}{n}0.47I_d = 1.27 P_d$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



От сравнението на горните два израза се установява, че изчислителната мощност на вторичната страна на трансформатора е по-голяма от тази на първичната. Това се дължи на обстоятелството, че през вторичната намотка на трансформатора протича и посточната съставка на анодните токове на вентилите.

3. Определяне на типова мощност на трансформатора. Това става от:

$$P_{TP} = \frac{P_1 + P_2}{2}$$

От действието на схемата е ясно, че когато един от вентилите провежда ток, към другите два чрез него се подава в обратна посока съответното междуфазно напрежение. Следователно максималната стойност на обратното напрежение върху вентилите е равно на амплитудата на междуфазното (линейното) напрежение:

$$U_{Rmax} = \sqrt{3}U_{2m} = 2.1U_d$$



Европейски съюз

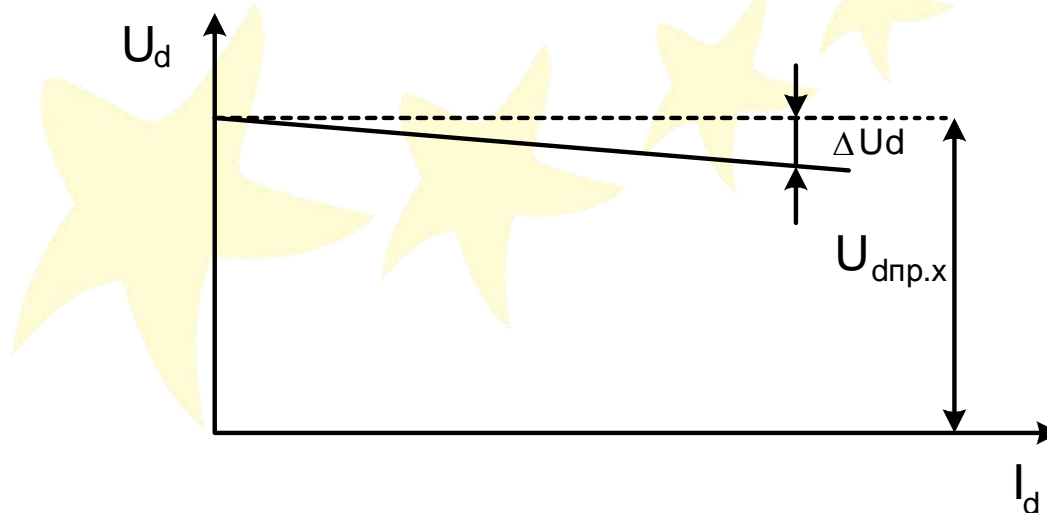
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



За прецизното оразмеряване на схемата в приведените по-горе изрази, следва да бъдат отчетени съпротивлението във проводящо състояние на вентилите, загубите в трансформатора и неидеалността на захранващата променливотокова мрежа. Всичките тези фактори, определят и външната характеристика на токоизправителя, която е падаща (фиг.4).



фиг.4 Външна характеристика на трифазен токоизправител



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Действието на трифазната еднополупериодна токоизправителна схема при свързване на трансформатора триъгълник-звезда (фиг.1б) и съотношенията между основните величини са същите както и при разгледаната вече схема звезда-звезда. Разлика има само във големината и формата на токовете във отделните фази на първичната намотка на трансформатора.

При свързване в триъгълник на първичните намотки, тока през всяка една от тях протича независимо от токовете на другите две фази. Ето защо формата на първичния ток в разглеждания вариант на свързване се определя само от променливата съставка на тока на вторичната намотка. При стойност на коефициента на трансформация $n=1$ за моментната стойност на тока в една от фазите на първичната страна е в сила израза:

$$i_1 = i_2 - I_d$$

Важно е да се подчертае, че и в случай на свързване триъгълник-звезда има постояннотоково подмагнитване на трансформатора, но поради липса на пулсации в магнитния не се индукират токове на Фуко.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Отстраняването на постояннотоковото подмагнитване на трансформатора се постига, чрез използване на свързване на вторичните намотки зиг-заг (фиг.5). В този случай понеже отделните секции на вторичните намотки са разположени върху различни магнитопроводи, магнитопроводът не се подмагнитва.

2. Трифазен еднополупериоден токоизправител с активно-индуктивен товар

2.1.Схеми и принцип на действие

Схемата на трифазен еднополупериоден токоизправител с активно-индуктивен товар е показана на фиг.6. Индуктивният елемент е включен последователно с товара и неговата функция е да изглади пулсациите на товарния ток. Диаграмите, описващи работата на схемата са показани на фиг.7. Разликата с работата при активен товар е, че при безкрайна стойност на филтровата индуктивност през товара тече постоянен ток, а при крайна – пулсиращ ток. Що се отнася до вида и формата на изправеното напрежение тя е същата като при активен товар.



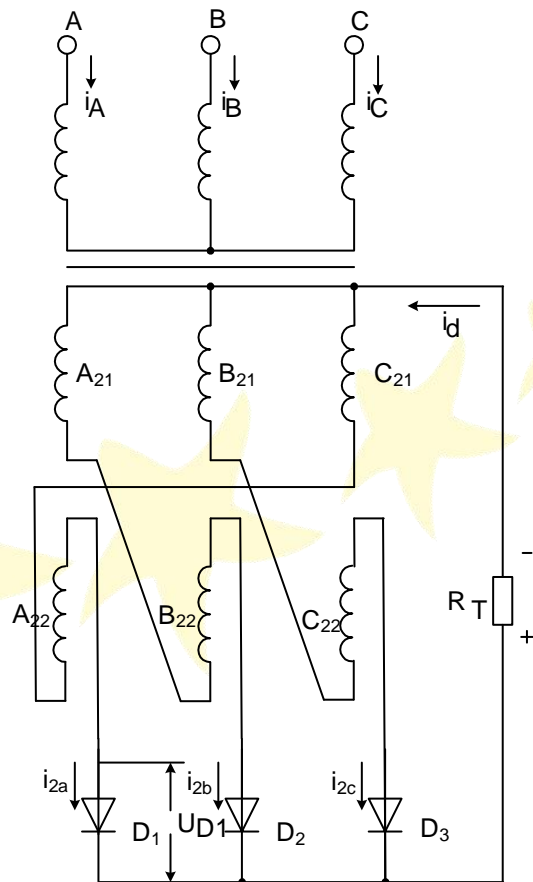
Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!





Фиг.5 Трифазен еднополупериоден токоизправител зиг-заг

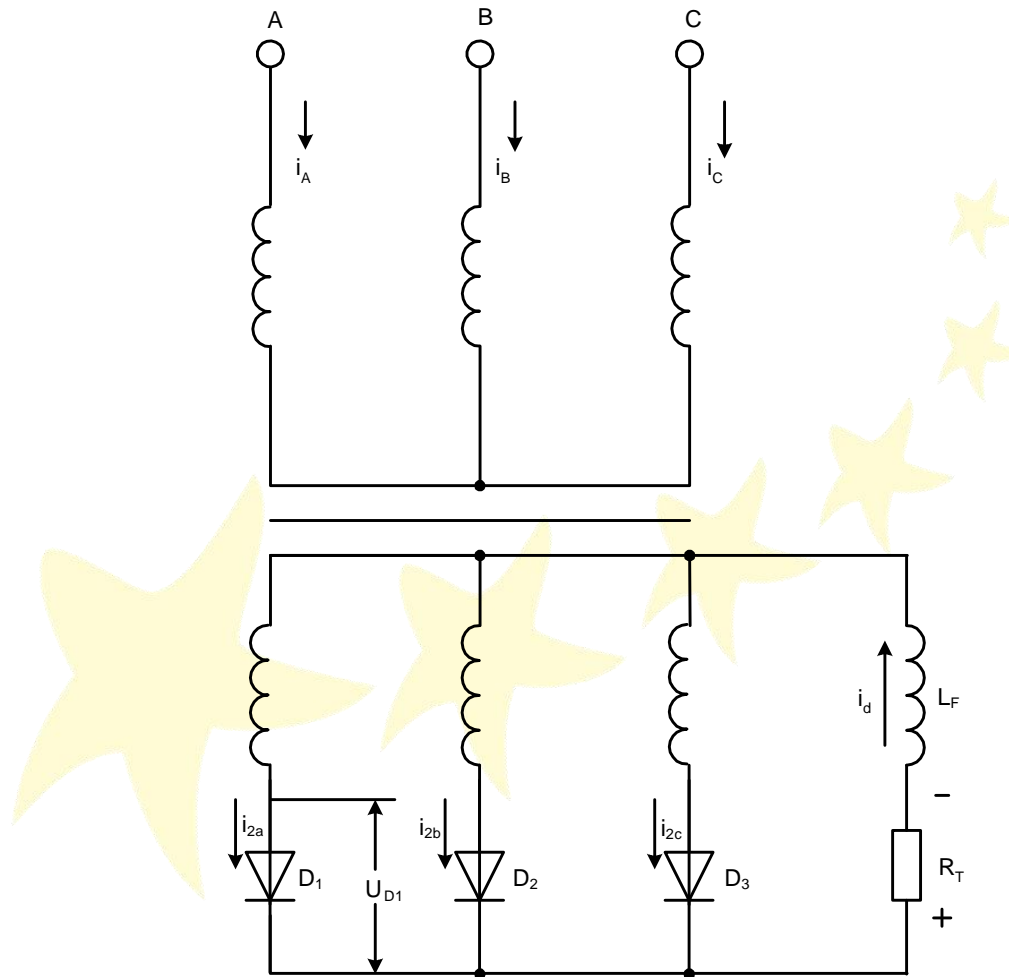


ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”d

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!





Фиг.6 Трифазен еднополупериоден токоизправител с активно-индуктивен товар



Европейски съюз

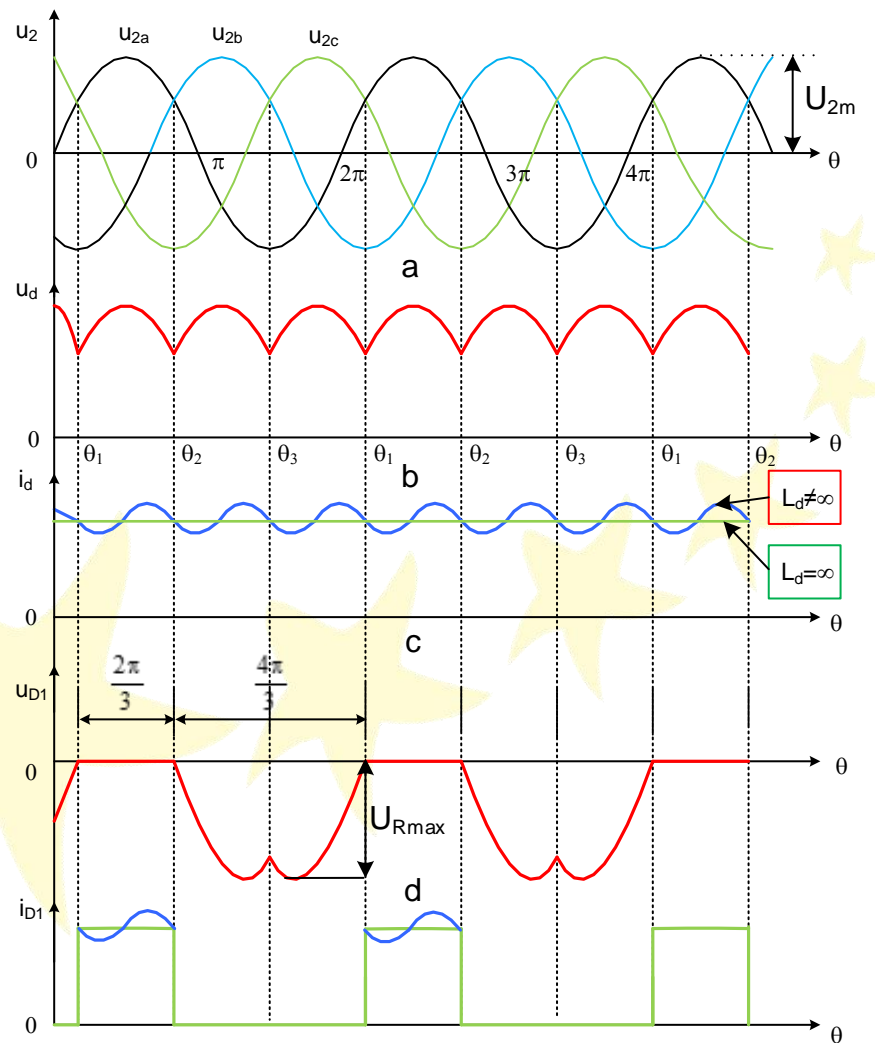
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”d

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд



Фиг.7 Работа на трифазен еднополупериоден токоизправител с активно-индуктивен товар

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”d

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски съюз



Европейски социален фонд

2.2. Основни съотношения

От принципа на действие на схемата, се изясни че при активно-индуктивен характер на товара, изправеният ток се изглажда, а при достатъчно голяма стойност на филтровата индуктивност ($L_d = \infty$) токовете импулси, които протичат през отделните фази на вторичната страна на трансформатора, могат да се приемат за правоъгълни с продължителност $2\pi/3$.

Пълната еквивалентна схема на трифазен еднополупериоден токоизправител с RL товар е показана на фиг.8. Използвани са следните означения: r_{tr} – активно съпротивление на първичната и вторичната страна на трансформатора; L_s – индуктивност на разсейване на трансформатора; R_i – вътрешно съпротивление на изправителния вентил и r_f – активно съпротивление на изглаждащия дросел.

Индуктивността на разсейване L_s , която е включена в анодната верига на вентила, е прието да се нарича анодна индуктивност. Нейното влияние върху процесите в силовата схема е коренно различно от влиянието на катодната (филтровата) индуктивност.



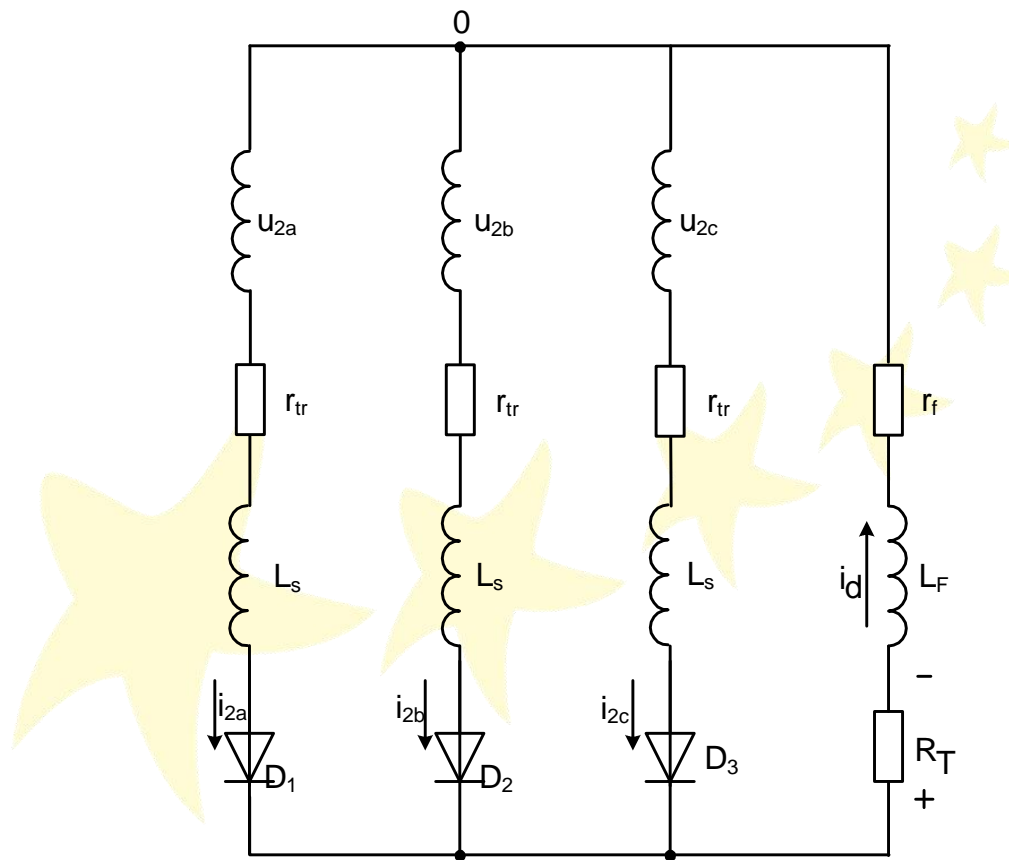
Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!





Фиг.8 Заместваща схема на трифазен еднополупериоден токоизправител с активно-индуктивен товар



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

При маломощните токоизправители активната съставка на съпротивлението на трансформатора е по-голяма от импеданса, дължащ се на индуктивността на разсейване. Затова в този случай се индуктивността се пренебрегва и обратното – при мощните токоизправители преобладава импеданса, причинен от индуктивността на разсейване и се пренебрегва активната съставка.

Ефекта от влиянието на анодната индуктивност върху процесите в силовата схема е илюстриран с диаграмите от фиг.9. Нека приемем, че товарния ток е идеално изгладен, в момента ϑ_1 , когато напрежението на фаза а стане по-малко от това на фаза b осигуряването на товарния ток трябва се прехвърли (комутира) от диода D_1 на D_2 . При липса на анодна индуктивност процеса на комутация на товарния ток би протекъл мигновено, а при наличие - се появяват интервали на комутация с продължителност γ , показани на фиг.9



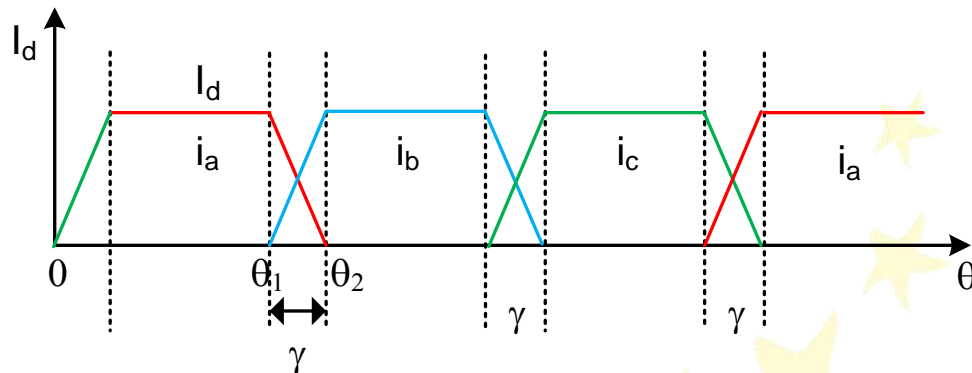
Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!





Фиг.9 Процес на комутация на тока в трифазен еднополупериоден токоизправител с активно-индуктивен товар

Анализа на комутационния процес ще бъде направен при допускането за линейно нарастване и спадане на анодния ток на вентилите, както е показано на фиг.9. При това условие за ъгъла на комутация се получава:

$$\gamma = \arccos \left(1 - \frac{\omega L_s I_d}{U_{2m} \sin \frac{\pi}{3}} \right)$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Наличието на анодна индуктивност, оказва влияние и върху кривата на изправеното напрежение, като по време на комутацията напрежението в товара не следва съответното фазово напрежение, а половината сумата от напреженията на фазите, които се комутират.

За средната стойност на изправеното напрежение, с отчитане на ъгъла на комутация се получава:

$$U'_d = \frac{3}{2\pi} \left(\int_0^\gamma U_{2m} \cos \frac{\pi}{3} \cos \vartheta d\vartheta + \int_\gamma^{\frac{2\pi}{3}} U_{2m} \cos \left(\vartheta + \frac{\pi}{3} \right) d\vartheta \right)$$

След решаване и заместване с вече определени величини за средната стойност на изправеното напрежение, при отчитане на ъгъла на комутация се намира израза:

$$U'_d = U_{2m} \frac{3}{\pi} \sin \frac{\pi}{3} - \frac{3\omega L_s I_d}{2\pi}$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Първата съставка на горния израз съвпада със средната стойност на изправеното напрежение при активен товар, а втората отчита намаляването на изправеното напрежение, дължащо се на индуктивността на разсейване на трансформатора.

3. Трифазен двуполупериоден токоизправител с активен товар

3.1 Схеми и принцип на действие

Трифазната мостова схема с активен товар е показана на фиг.10. В тази схема три от вентилите са обединени в катодна група, а другите три - в анодна. При работа на схемата ток провеждат винаги два вентила - един от катодната група и един от анодната. Във всеки момент в катодната група ще бъде отпушен този вентил, чийто анод има най-голям потенциал, а в анодната група - този, чийто потенциал на катода е най-нисък по отношение на звездния център. Токът от единия вентил към следващия пореден в дадената група се комутира в моментите на пресичане на фазовите напрежения на вторичната намотка на трансформатора.



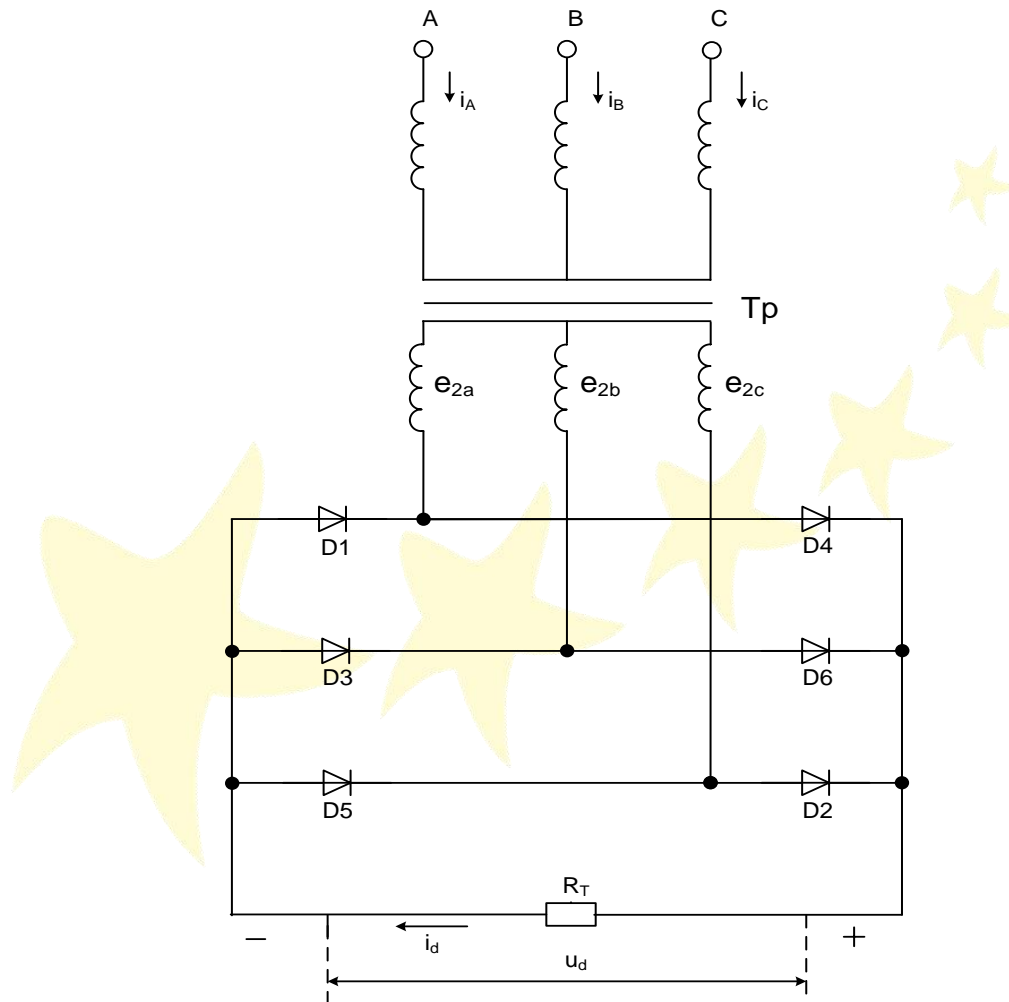
Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!





Фиг.10 Трифазен двуполупериоден (мостов) токоизправител с активен товар



Европейски съюз

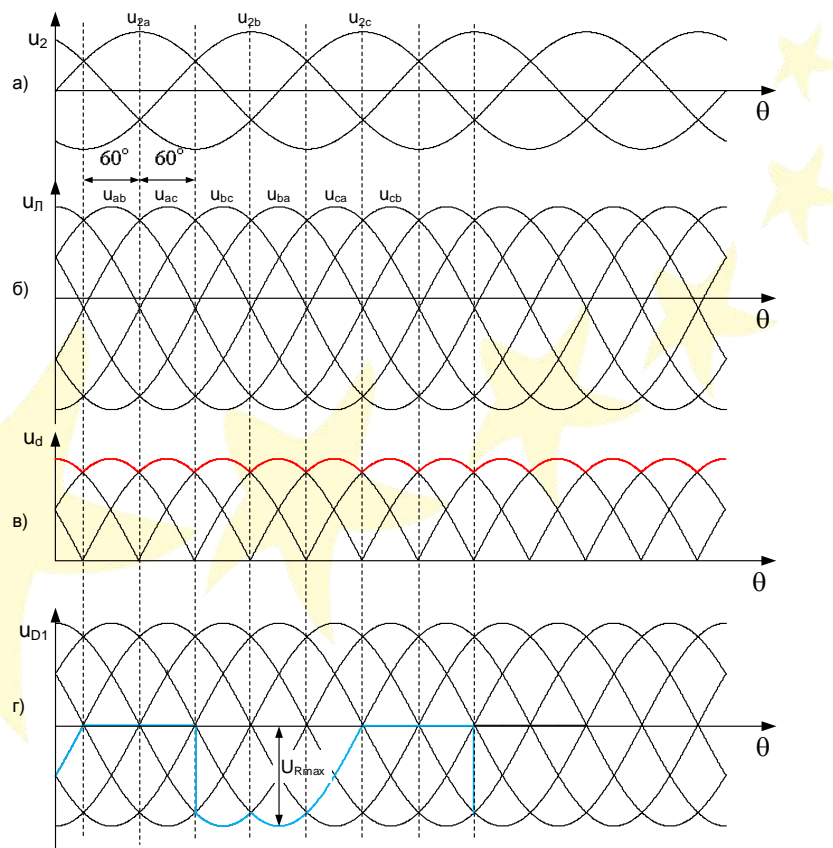
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд



Фиг.11 Работа на трифазен двуполупериоден токоизправител с активен товар



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
 Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
 съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Времедиаграмите на фиг.11 описват работата на трифазната двуполупериодна изправителна схема при активен товар. Последователно отгоре-надоу са показани фазните напрежение на вторичната намотка (фиг.11а), линейните (междуфазните) напрежения (фиг.11б), кривата на изправеното (товарното) напрежение (фиг.11в) и напрежебието върху дода D1. При активен товар формата на товарния ток е същата като на товарното напрежение и затова не е показана на фигурата.

От диаграмите на фазовите напрежения се вижда, че вентилите провеждат ток в продължение на $1/3$ от периода. Поредността на встъпване в работа на вентилите съответства на техните номера (фиг.10). В резултат на последователната работа на вентилите потенциалът на общите катоди на схемата (положителният полюс на изправителя) се изменя по горната обвиваща на фазовите напрежения (фиг.11.б), а потенциалът на общите аноди (отрицателният полюс на изправителя) - по долната обвиваща.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Изправеното напрежение което е равно на разликата от потенциалите на положителния и отрицателния полюс на изправителя, се изобразява с ординатите, затворени между горната и долната обвиваща на фазовите напрежения. Очевидно е, че тези ординати са разлика на моментните фазови напрежения, т.е. това са моментните стойности на съответните линейни напрежения. От диаграмата се вижда, че честотата на пулсациите на изправеното напрежение е шест пъти по-голяма от честотата на мрежовите напрежения.

3.2 Основни съотношения

Средната стойност на изправеното напрежение се определя с израза:

$$U_d = \frac{3}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{6}} \sqrt{6} U_{2m} \cos \vartheta d\vartheta = U_{2m} \frac{6}{\pi} \cos \frac{\pi}{6} = 2.34 U_{2m}$$

Максималната стойност на обратното напрежение е равна на амплитудата на линейното напрежение:



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



$$U_{\text{обр.max}} = \sqrt{6}U_{2\text{еф}} = 2.45U_{2\text{еф}} = 1.05U_d$$

Максималната стойност на тока, който протича през вентилите и съответно те трябва да издържат е:

$$I_d = I_{2m} \frac{6}{\pi} \cos \frac{\pi}{6} = 2.34I_{2m}$$

Средната стойност на анодния ток на всеки вентил е:

$$I_{\text{аср.}} = \frac{I_d}{3}$$

Ефективната стойност на тока през една от фазите на вторичната намотка е:

$$I_2 = \sqrt{\frac{2}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{6}} I_{2m}^2 \cos^2 \theta d\theta} = 0.781I_{2m} = 0.817I_d$$

Изчислителната мощност на вторичните намотки на трансформатора е:

$$P_2 = 3U_2I_2 = 1.05P_d$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Изчислителната мощност на първичните намотки на трансформатора е:

$$P_1 = 3U_1I_1 = 1.05P_d$$

Следователно в разглежданата схема изчислителната мощности на двете намотки на трансформатора са равни и типовата мощност на трансформатора е почти равна на полезната на токоизправителя (разлика 5%), което е основно преимущество на трифазната двуполупериодна токоизправителна схема.

4. Трифазен двуполупериоден токоизправител с активно-индуктивен товар

4.1 Схеми и принцип на действие

Трифазната мостова схема с активно-индуктивен товар е показана на фиг.12. Последователно с товарното съпротивление е включен филтър L_f , който изглажда пулсациите на товарния ток. При формата на изправеното напрежение не се наблюдава разлика в сравнение с активен товар.



Европейски съюз

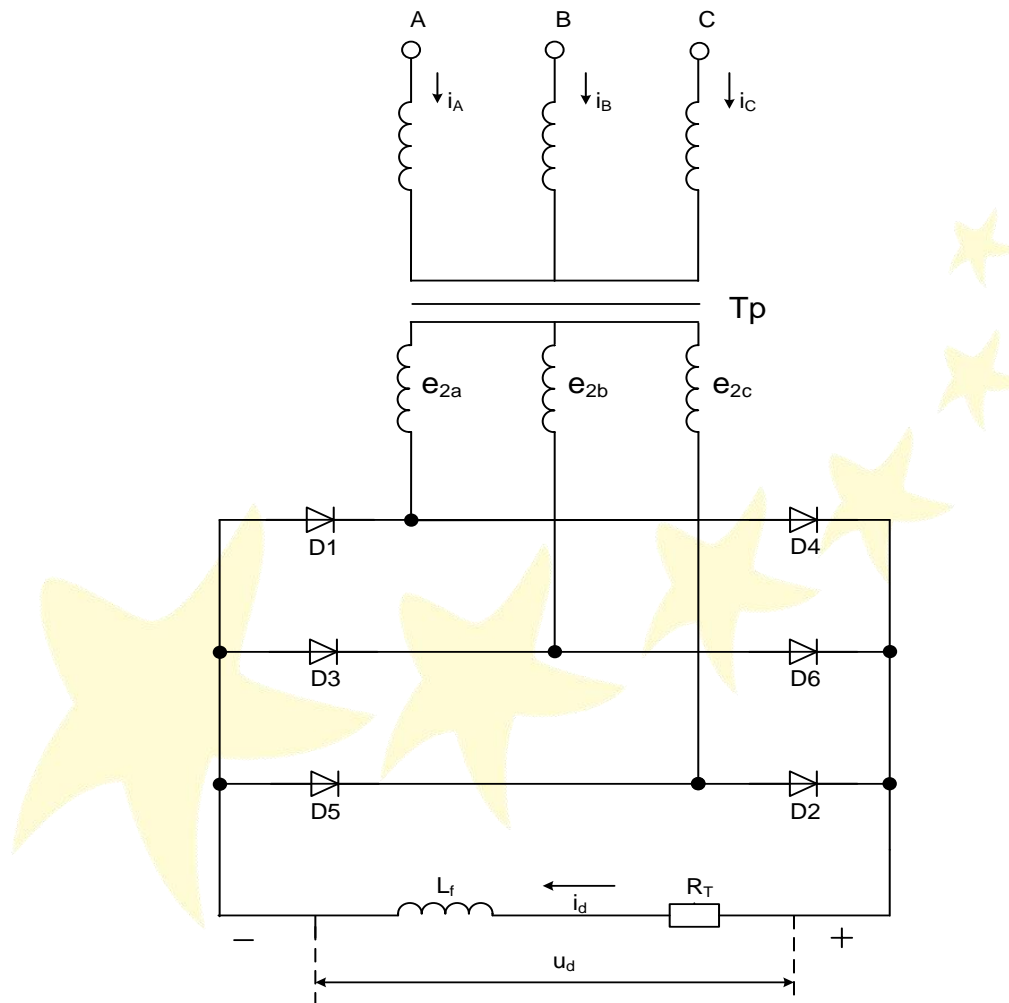
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд



Фиг.12 Трифазен двуполупериоден (мостов) токоизправител с активно-индуктивен товар



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Разликата е, че пулсациите на товарния ток се изглаждат, а при много големи стойности на L_f може да се счита, че товарния ток е идеално изгладен.

4.2 Основни съотношения

Понеже процесите, свързани с работата при активно-индуктивен товар, бяха подробно разгледани при описането на трифазната еднополупериодна токоизправителна схема, то в този раздел ще се дадът само основните изрази, характерни за двуполупериодната схема.

За ъгъла на комутация се получава:

$$\gamma = \arccos \left(1 - \frac{\omega L_s I_d}{U_{2m} \sin \frac{\pi}{6}} \right)$$

За средната стойност на изправеното напрежение, с отчитане на ъгъла на комутация се получава:



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

$$U'_d = \frac{3}{\pi} \left(\int_0^{\gamma} U_{2m} \cos \frac{\pi}{6} \cos \vartheta d\vartheta + \int_{\gamma}^{\frac{\pi}{3}} U_{2m} \cos \left(\vartheta + \frac{\pi}{6} \right) d\vartheta \right)$$

След решаване и заместване с вече определени величини за средната стойност на изправеното напрежение, при отчитане на ъгъла на комутация се намира изразът:

$$U'_d = U_{2m} \frac{6}{\pi} \sin \frac{\pi}{6} - \frac{3\omega L_s I_d}{\pi}$$

Първата съставка на горния израз съвпада със средната стойност на изправеното напрежение при активен товар, а втората отчита намаляването на изправеното напрежение, дължащо се на индуктивността на разсейване на трансформатора.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

ЛИТЕРАТУРА

1. Стефанов Н., “Токозахранващи устройства”, Техника, С., 2005.
2. Стефанов Н., Д. Дечев, “Ръководство за лабораторни упражнения по ТЗУ”, Печатна база ТУ-София, 1994.
3. Табаков С., “Импулсни и цифрови устройства – Част I”, издателство на ТУ-София, С., 2002.
4. Стефанов Н., “Ръководство за проектиране на ТЗУ”, Печатна база ТУ-София, 1994.
5. Попов Е., Н. Хинов, “Полупроводникова електроника”, издателство на ТУ-София, С., 2009.
6. Хинов Н., “Ръководство за лабораторни упражнения по импулсни и цифрови устройства – част I”, издателство на ТУ-София, С., 2004.
7. <http://www.cadence.com/products/orcad/pages/default.aspx>



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

**„Организационна и технологична инфраструктура за учене през
целия живот и развитие на компетенции”**

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!

