

ЛАБОРАТОРНО УПРАЖНЕНИЕ №

(УТИ)

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕДНОФАЗЕН
УПРАВЛЯЕМ ТОКОИЗПРАВТЕЛ

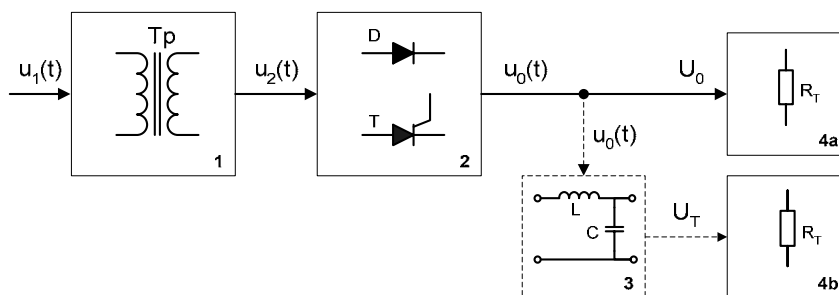
ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕДНОФАЗЕН УПРАВЛЯЕМ ТОКОИЗПРАВИТЕЛ

ЦЕЛ НА УПРАЖНЕНИЕТО

1. Запознаване с начините на преобразуване на променливотоковата електрическа енергия в постояннотокова с помощта на полупроводникови изправители.
2. Изясняване на ролята на тиристорите в процеса на изправяне.
3. Изучаване на двуполупериодната схема на еднофазен управляем токоизправител, изследване на неговата работа при активен товар и опитно определяне на основните му характеристики.

ТЕОРЕТИЧНА ПОСТАНОВКА

Функционирането на редица съоръженията в бита и промишлеността е свързано с потребление на постояннотокова електрическа енергия. Тя се получава с помощта на изправители, които използвайки полупроводникови елементи с едностранна проводимост, преобразуват променливотоковата електрическа енергия на захранващите мрежи в постояннотокова. В структурната схема на енергийното преобразуване участват: мрежов трансформатор, изправител, филтър и консуматорът на постояннотоковата енергия, фиг. 1.



Фиг. 1. Структурна схема на постояннотоково захранващо устройство

Мрежовият трансформатор Тр (блок 1) разделя галванично консуматора от променливотокова захранваща мрежа и от нейното напрежение $u_1(t)$ създава във вторичната си намотка напрежението $u_2(t)$. Напрежението $u_2(t)$, постъпва в изправителя (блок 2), който съдържа свързани по определен начин диоди D и/или тиристори Т. Благодарение на свойствата на полупроводниковите елементи и на използваната изправителна схема, променливотоковата електрическа енергия с напрежение $u_2(t)$ се преобразува в постояннотокова енергия с напрежение $u_0(t)$. Напрежението $u_0(t)$ се изменя във времето, но не променя знака си и има средна стойност U_0 . То може да се приложи директно на консуматора R_T , (блок 4а), който може да има активен, активно-индуктивен или активно-капацитивен характер.

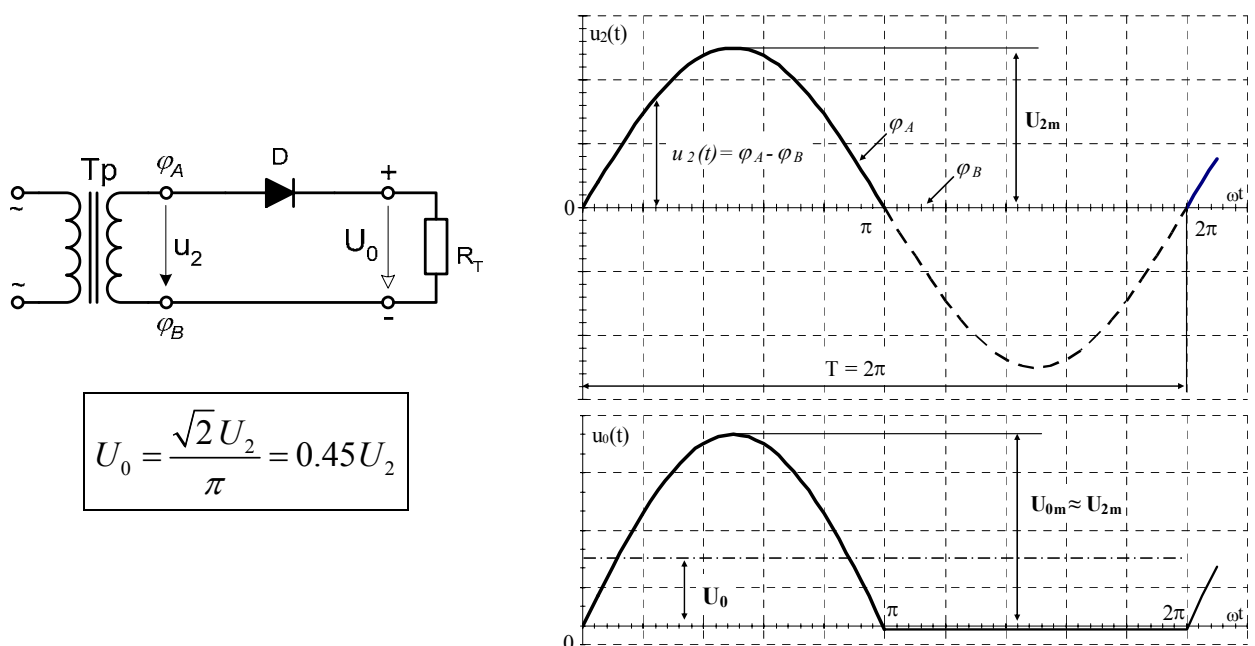
Съществуват консуматори (блок 4б), които предявяват по-строги изисквания към степента на изменение във времето на захранващото ги постоянно напрежение. За да се намалят пулсациите на напрежението $u_0(t)$, между изправителя и консуматора се включва филтрово устройство, (блок 3), което съдържа бобини L и кондензатори C. Това устройство променя формата на $u_0(t)$, и в създава в изхода си постоянно напрежение със средна стойност – U_T . Това напрежение съществено се различава от напрежението U_0 , измерено в изхода на изправителя, при липса на филтрово устройство.

Изправителите се изграждат по схеми, които позволяват еднополупериодно или двуполупериодно изправяне. Когато в изправителните схеми участват само диоди, изправителите са неуправляеми, а при едновременното използване на тиристори и диоди се създават управляеми изправители. Изборът на токоизправителна схема се диктува от вида на променливотоковата захранваща мрежа – еднофазна или трифазна и изискванията на консуматора – мощност, степен на изменение на изправеното напрежение, възможност за регулиране и др.

Постояннотоковите захранващи устройства, разглеждани в това лабораторно упражнение, са анализирани при условие, че в тяхната структурна схема липсва филтър, а използвания консуматор има активен характер.

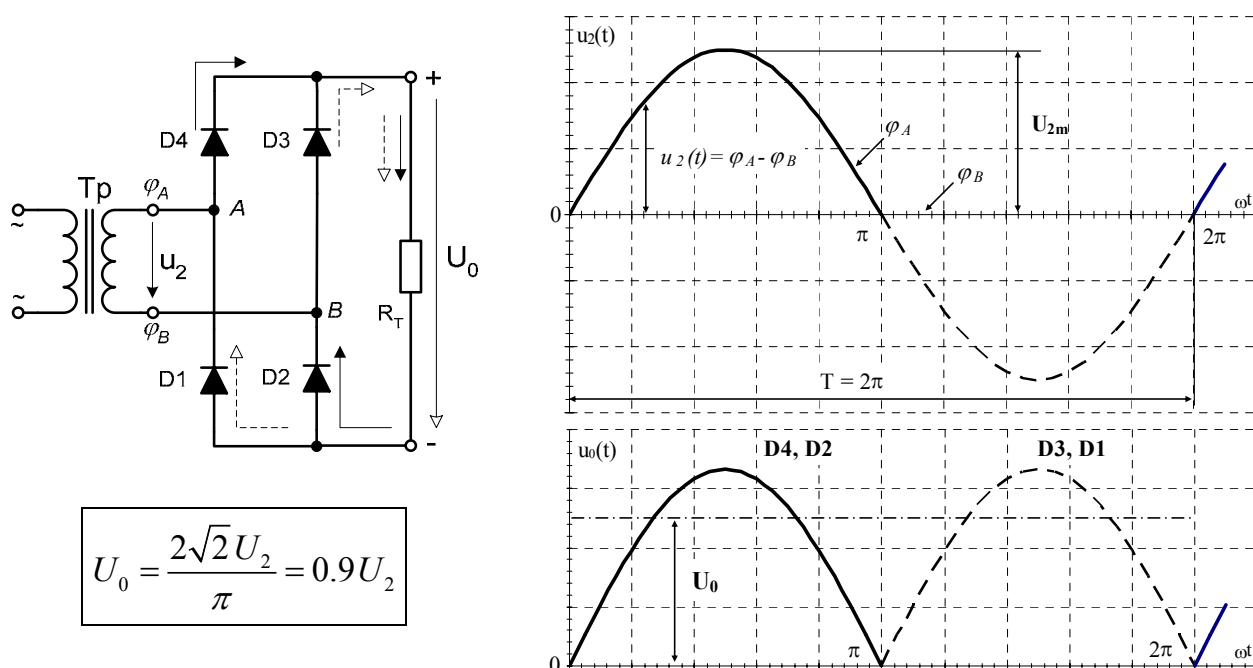
Еднофазния еднополупериоден неуправляем изправител се изгражда само с един диод D , който се включва между вторичната намотка на трансформатора Tr и консуматора R_T , фиг. 2. По време на положителната полувървна на напрежението $u_2(t)$, потенциалът φ_A в единия извод на трансформаторната намотка е по-висок от потенциала φ_B в другия и извод. В този временен интервал диодът получава на изводите си напрежение в права посока и преминава в проводимо състояние. В това състояние, съпротивлението между анода и катода му е много малко и не пречи на протичането на ток към R_T . Поради малкото съпротивление на диода в права посока, върху консуматора се наблюдава напрежение с приблизително същата максимална стойност като на $u_2(t)$.

В отрицателната полувървна на напрежението $u_2(t)$, потенциалът φ_A става по-нисък от потенциала φ_B , което променя поведението на диода D . Сега той е получил на изводите си напрежение в обратна посока и съпротивлението между изводите му е много голямо. Това възпрепятства протичането на ток към консуматора и напрежението върху него приема близки до нулата стойности. Описаният процес на изправяне е илюстриран чрез диаграмите на фиг. 2. На същата фигура е записана и връзката между средната стойност на изправеното напрежение U_0 и ефективната стойност на напрежението $u_2(t)$ – U_2 .



Фиг. 2. Еднофазен еднополупериоден неуправляем токоизправител

Обикновено еднофазните двуполупериодни неуправляеми изправители се изграждат с четири диода D1 ÷ D4, които са свързани в мостова схема (схема на Грец), фиг. 3. В процеса на изправяне диодите работят по двойки, като всяка двойка функционира само в една от полувърлите на променливото напрежение. Така, ако се приеме, че по време на положителната полувърла на $u_2(t)$ потенциалът φ_A е по-висок от φ_B , диодите D4 и D2 ще получат напрежение в права посока и ще преминат в проводимо състояние. Ниското съпротивление между изводите на диодите позволява, положителната полувърла на $u_2(t)$ да премине по веригата: извод на вторичната намотка на Тр, възел А, диод D4, R_T , диод D2, възел В, извод на намотката на трансформатора. Същата полувърла осигурява по-висок потенциал на катода на диода D3 спрямо анода му и нулева потенциална разлика между изводите на D1. При тези условия и двата диода се оказват в непроводимо състояние и не участват в процеса на прехвърляне на енергия към консуматора.



Фиг. 3. Двуполупериоден неуправляем еднофазен токоизправител

По време на отрицателната полувърла на $u_2(t)$ потенциалът φ_A става по-нисък от φ_B и функциите на двойките диоди се разменят – диодите D4 и D2 преминават в непроводимо състояние, а диодите D3 и D1 участват в прехвърлянето на енергия към консуматора. В този времеви интервал потенциалът φ_B е по-висок от φ_A , което осигурява напрежение в права посока на D3 и D1. Диодите преминават в проводимо състояние и отрицателната полувърла на $u_2(t)$ преминава по веригата: извод на вторичната намотка на Тр, възел В, диод D3, R_T , диод D1, възел А, извод на вторичната намотка на трансформатора. В същото време тази полувърла създава напрежение в обратна посока на изводите на D4 и нулева потенциална разлика между изводите на D2, и диодите преминават в непроводимо състояние.

Анализът на работата на изправителя, илюстрирана с диаграмите на фиг. 3, показва, че и двете полувърли на $u_2(t)$ преминават през консуматора R_T в една и съща посока, като му осигуряват постоянно захранващо напрежение $u_0(t)$. Това напрежение се изменя във времето по част от синусоидален закон и има средна стойност U_0 , която зависи само от ефективната стойност U_2 на напрежението $u_2(t)$. Нейната големина се определя с посочения на фиг. 3 израз.

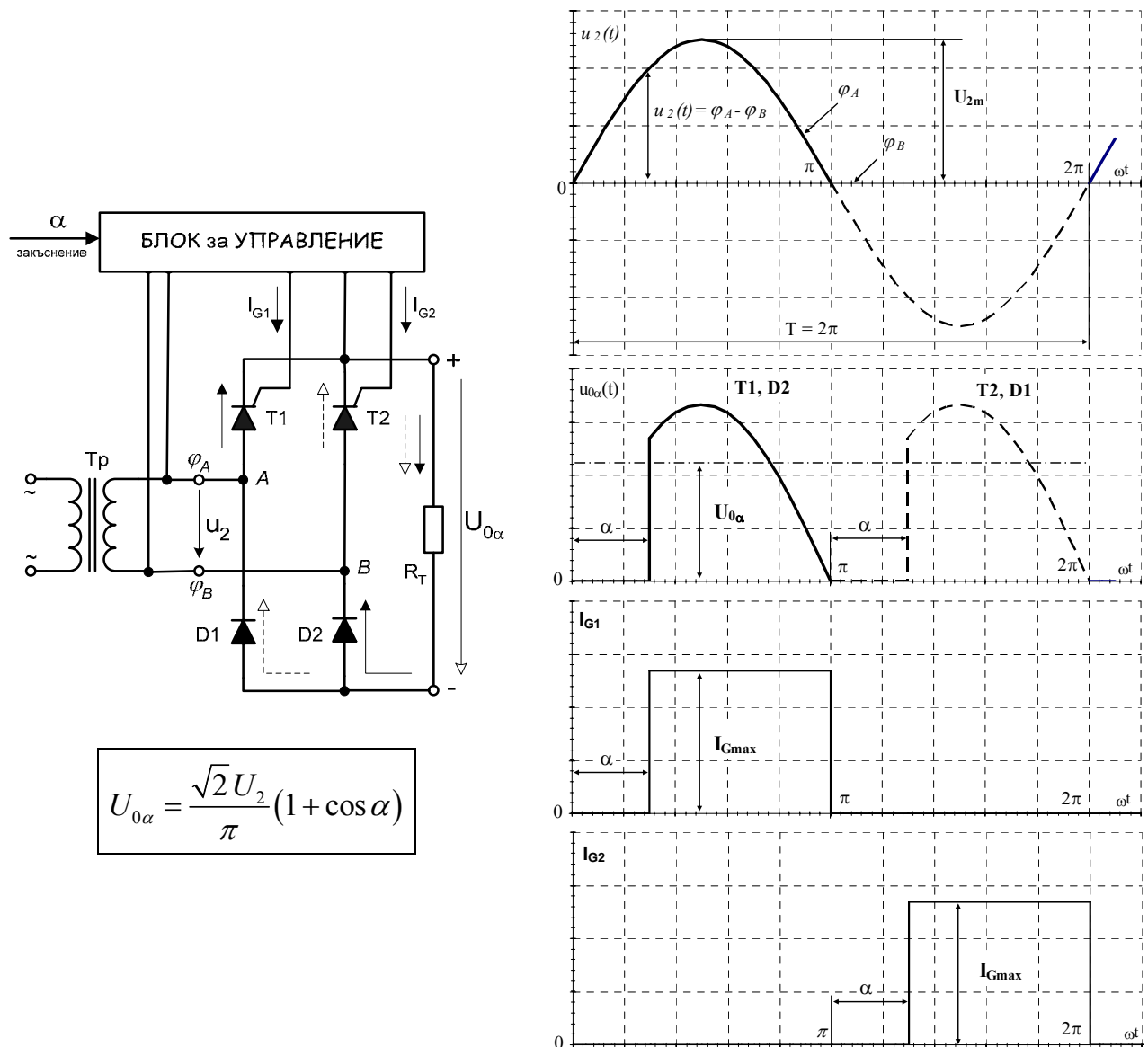
В сравнение с еднополупериодното изправяне, двуполупериодните изправителни схеми прехвърлят двойно повече енергия към консуматорите, осигурявайки им постоянно напрежение с два пъти по-висока средна стойност. Същевременно следва да се отбележи, че и двата вида изправители не позволяват регулиране на средната стойност U_0 на изходното си постоянно напрежение. Неговата големина остава зависима от ефективната стойност U_2 на захранващото ги променливо напрежение $u_2(t)$.

В промишлеността, редица консуматори изискват захранване с постоянно напрежение, което може да се регулира в определени граници. Изпълнението на това изискване се постига или чрез регулиране на амплитудата на напрежението $u_2(t)$, или чрез управление на процеса на изправяне. Вторият подход съчетава в себе си висок к.п.д. на токозахранващото устройство, оптимален обем и конструкция на трансформатора, но изисква използването на изправител, който може да управлява преобразуването на променливотоковата електрическа енергия в постояннотокова. Този тип изправители се наричат управляеми. Те се изграждат с полупроводникови диоди и тиристоры и използват същите схеми на свързване между елементите, както и неуправляемите изправители.

Еднофазният двуполупериоден управляем изправител използва два диода и два тиристора, свързани в мостова схема, фиг. 4. Схемата наподобява тази на двуполупериодния неуправляем изправител, в която диодите D4 и D3 са заменени с тиристорите T1 и T2. Тиристорите са полупроводникови елементи, които преминават в проводимо състояние само при едновременното изпълнение на две условия: подаване на напрежение в права посока между анода и катода им и захранване на управляващия им електрод с достатъчен по големина ток I_G . За изпълнение на тези изисквания, всеки управляем изправител използва “БЛОК ЗА УПРАВЛЕНИЕ”, който създава необходимия ток I_G и го подава само към тиристора, който е получил на изводите си напрежение в права посока. Токовете импулси I_{G1} и I_{G2} , с които се управляват тиристорите в двуполупериодната изправителна схема, са с правоъгълна форма, имат амплитуда I_{Gmax} , и продължителност до края на съответния полупериод на $u_2(t)$. Амплитудата I_{Gmax} е избрана така, че да гарантира надеждно преминаване на тиристорите в проводимо състояние.

Принципът на действие на изправителя е аналогичен на този на неуправляемия изправител. Така по време на положителната полуwave на $u_2(t)$ потенциалът във възел А – φ_A е по-висок от този във възел В – φ_B , и след като тиристорът T1 и диодът D2 преминават в проводимо състояние енергията от източника се прехвърля към консуматора по веригата: извод на вторичната намотка на Тр, възел А, тиристор T1, R_T , диод D2, възел В, извод на намотката на Тр. Едновременно с това, положителната полуwave осигурява по-висок потенциал на катода на тиристора T2 спрямо анода му и нулева потенциална разлика между изводите на D1. Така тези два елемента се оказват в непроводимо състояние и не участват в енергийния обмен между източника и консуматора.

Отрицателната полуwave на $u_2(t)$ се обработва от тиристора T2 и диода D1, а останалите елементи в изправителя (T1 и D2) са преминали в непроводимо състояние. Тази полуwave прехвърля енергия към товара по веригата: извод на вторичната намотка на Тр, възел В, тиристор T2, R_T , диод D1, възел А, извод на вторичната намотка на трансформатора.



Фиг. 4. Двуполупериоден управляем еднофазен токоизправител

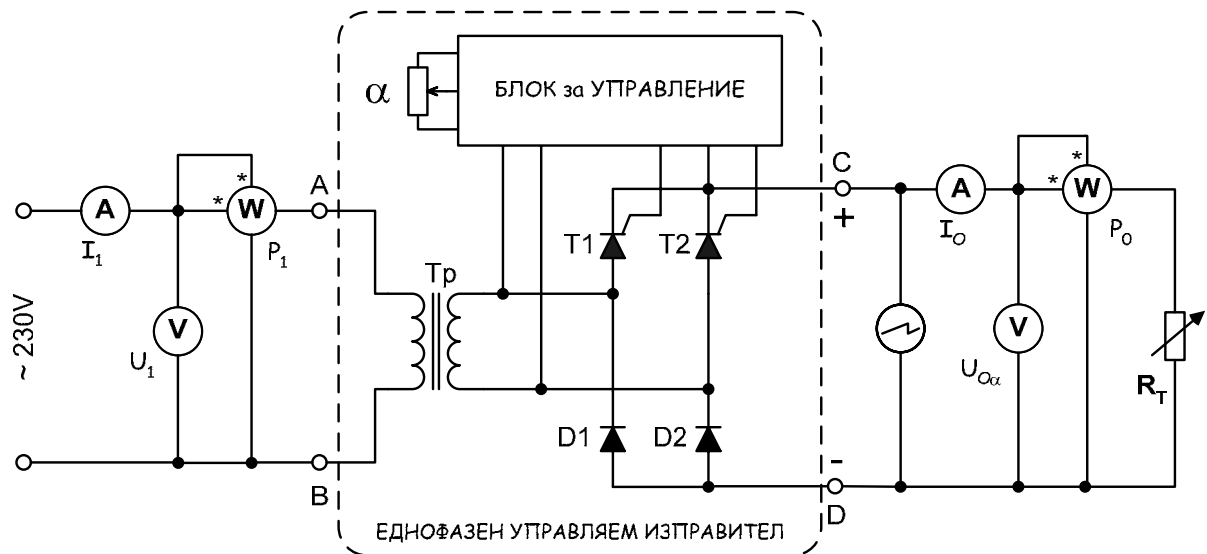
Управлението на процеса на изправяне в тези устройства се командва от “БЛОК за УПРАВЛЕНИЕ”. Той създава токовите импулси за управляващите електроди на тиристорите I_{G1} и I_{G2} и ги синхронизира със съответните полувърелните на мрежовото напрежение. Същевременно, ако външно се въведе *закъснение* в подаването на токовите импулси, процесът на изправяне ще започне по-късно, което ще ограничи възможността на източника да прехвърля енергия към консуматора. Това *закъснение* се отъждествява с дефазирание на токовите импулси I_{G1} и I_{G2} спрямо напрежението $u_2(t)$, отбелязва се с “ α ” и се нарича *ъгъл на регулиране*. Когато $\alpha=0$ напрежението в изхода на изправителя $u_{0\alpha}(t)$ има съща форма и стойност като изходното напрежение на неуправляем двуполупериоден изправител, а тиристорите T1 и T2 функционират като диоди. При стойности на ъгъла на регулиране $\alpha=\pi$ процесът на изправяне се блокира и изходното напрежение на изправителя се нулира, т.е. $u_{0\alpha}(t)=0$.

Описаните процеси, илюстрирани с диаграмите на, фиг. 4 показват, че и при този изправител двете полувърелни на $u_2(t)$ преминават през консуматора R_T в една и съща посока, като му осигуряват постоянно *захранващо* напрежение $u_{0\alpha}(t)$. Това напрежение се изменя във времето и има средна стойност $U_{0\alpha}$, която зависи от ефективната стойност U_2 на напрежението $u_2(t)$ и от ъгъла на регулиране α . При

промяна на α в интервала от 0 до π , $U_{0\alpha}$ се изменя от максимална стойност до нула, т.е. осъществява се регулиране. Връзката между средната стойност на изправеното напрежение $U_{0\alpha}$, U_2 и ъгъла на регулиране α се дава със записания на фиг. 4 израз. Изменението на $U_{0\alpha}$ с промяната на ъгъла α се нарича *характеристика на управление* – $U_{0\alpha}(\alpha)$ на управляемия изправител и е нелинейна зависимост, близка до косинусоидалната функция.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ

Изследването на еднофазния управляем изправител се извършва върху лабораторна постанова, принципната схема на която е показана на фиг. 5. Постановката съдържа измервателни средства за определяне на ефективните стойности на входните за изправителя променливи напрежение U_1 , ток I_1 и активна мощност P_1 , както и средства за измерване на средните стойности на изходните постоянноточови величини: напрежението $U_{0\alpha}$, токът I_0 и активната мощност P_0 . Натоварването на изправителя се осъществява с помощта на товарно устройство, което може да променя активното си съпротивление R_T в много широки граници. По време на изследването, моментната стойност на изправеното напрежение $u_{0\alpha}(t)$ се изобразява на екрана на осцилоскоп.



Фиг. 5 Схема на опитната постанова

Експерименталното изследване се провежда на два етапа. Първоначално се изследва зависимостта на изходното напрежение на изправителя $U_{0\alpha}$ от изменението на ъгъла на регулиране α . Изследването се извършва на празен ход, т.е. $I_0=0$. В следващият етап се изследва поведението на изправителя при различно натоварване и фиксирана стойност на ъгъла на регулиране α . Изследва се изменението на $U_{0\alpha}$ при промяна на големината на товарния ток I_0 . Експерименталната работа се осъществява в следната последователност:

1. Изследване на празен ход (*провежда се при $I_0=0$*)
 - ✓ Преди включване на захранващото напрежение органите за управление на товарния резистор R_T и на ъгъла на регулиране α се установяват в положение отговарящо на техните максимални стойности.

- ✓ Включва се захранващото напрежение и при липса на ток в товарния резистор се задават различни стойности на ъгъла на регулиране α . За всяко α се измерва средната стойност на изправеното напрежение $U_{0\alpha}$, а резултатите се записват в Таблица 1. Моментната стойност на $U_{0\alpha}$ се наблюдава на екрана на включения в изхода на изправителя осцилоскоп.

Таблица 1. Изследване на празен ход (провежда се при $I_0=0$)

α	deg	180	150	120	90	60	30	0
$U_{0\alpha}$	V							

2. Изследване при натоварване (провежда се при $\alpha = const$)

- Изследването започва с установяване на $\alpha_1 \approx 0$. Посредством регулатора на товарното устройство R_T се задава стойности на тока I_0 и се измерват големините на входните и изходни напрежения, токове и мощности. Резултатите от измерванията се записват в Таблица 2.
- Измерванията се повтарят за пет различни стойности на I_0 , равномерно разпределени в диапазона между 0 и номиналната стойност на изходния ток на изправителя I_{0H} .
- След приключване на изследването при $\alpha = \alpha_1$, посредством регулатора R_T се нулира големината на I_0 . Задава се нова стойност на ъгъла на регулиране $\alpha = \alpha_2$, като $\alpha_2 > \alpha_1$.
- Следва повторно задаване на същите стойности на изправения ток I_0 посредством регулатора R_T . Провеждат се аналогични измервания, а получените резултати се записват в съответните редове на Таблица 2.
- След приключване на изследването, регулаторите на R_T и на α се установяват в положение отговарящо на техните максимални стойности. Изчаква се докато вграденият в товарното устройство вентилатор охлади използваните товарни елементи и се изключва захранващото напрежение.

Таблица 2. Изследване при натоварване (провежда се при $\alpha = \alpha_1$ и $\alpha = \alpha_2$)

α	U_1	I_1	P_1	$U_{0\alpha}$	I_0	P_0	α	η	$\Delta U_{0\alpha}$
deg	V	A	W	V	A	W	-	-	%
$\alpha_1 \approx 0$				$U_{0\alpha}^* =$	0			0	0
					...				
					I_{0H}				
$\alpha_2 =$				$U_{0\alpha}^* =$	0			0	0
					...				
					I_{0H}				

ОБРАБОТКА НА ОПИТНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

В лабораторната работа се изследва токозахранващо устройство съставено от еднофазен трансформатор и включен във вторичната му намотка управляем изправител. Събраните резултати за характеристиките на променливотоковата електрическа енергия постъпила на входа на устройството и характеристиките на постояннотоковата електрическа енергия в изхода му, позволяват да се анализира изменението на изходното напрежение $U_{0\alpha}$, на коефициента на мощността æ , на коефициента на полезно действие η и на относителното изменение на изправено напрежение $\Delta U_{0\alpha}$ при натоварване.

а) *Определяне на коефициента на мощността – æ*

Коефициентът на мощността в електрическите вериги - æ отразява делът на активната мощност в пълната електрическа мощност консумирана от едно съоръжение. В най общия случай, при произволни по форма периодични напрежения и токове във веригите, той се определя от зависимостта: $\text{æ} = v_{(1)} \cos \varphi_{(1)}$, където $v_{(1)}$ - отразява делът на първия хармоник на тока в големината на общия ток, а $\cos \varphi_{(1)}$ зависи от фазовата разлика $\varphi_{(1)}$ между първите хармоници на напрежението и тока. Когато изследваните процеси се развиват по синусоидален закон – $v_{(1)} = 1$ и за коефициента на мощността æ се записва: $\text{æ} = \cos \varphi$.

Обикновено управляемите изправители работят с ъгли на регулиране $\alpha > 0$, което е свързано с консумация на електрическа енергия само в част от всеки полупериод на мрежовото напрежение. Това деформира синусоидалната форма на тока I_1 и коефициента на мощността на изправителя следва да се определя чрез:

$$\text{æ} = \frac{P_1}{U_1 I_1}$$

б) *Определяне на коефициента на полезно действие – η*

Интегрираните в лабораторната постановка измервателни средства регистрират постъпилата в постановката активна мощност P_1 и мощността P_0 , отдадена от изправителя на товарното устройство. Тяхното отношение определя коефициента на полезно действие на последователно свързаните трансформатор и управляем изправител.

$$\eta = \frac{P_0}{P_1}$$

в) *Определяне на относителното изменение на изправено напрежение – $\Delta U_{0\alpha}$*

Увеличаването на натоварването на управляемия изправител е съпроводено с нарастване на изходния му ток. Това предизвиква нарастване на падовете на напрежение във вторичната намотка на захранващия трансформатор и в елементите на изправителя. Промяната на изправеното напрежение $U_{0\alpha}$ при различни натоварвания се оценява след сравняването му с неговата стойност на празен ход $U_{0\alpha}^*$. Относителното изменение на изправеното напрежение $U_{0\alpha}$ се определя чрез зависимостта:

$$\Delta U_{0\alpha} = \frac{U_{0\alpha}^* - U_{0\alpha}}{U_{0\alpha}^*} \cdot 100, \%$$

Резултатите от измерванията събрани в таблица 1 се използват за да се построи характеристиката на управление на изправителя $U_{0\alpha}=f(\alpha)$.

Товарните характеристики: $U_{0\alpha}=f(I_0)$, $\varphi=f(I_0)$ и $\eta=f(I_0)$ се построяват използвайки резултатите събрани в Таблица 2. Характеристиките се построяват в обща координатна система за всеки ъгъл на регулиране.

Контролни въпроси

1. Кои са основните блокове в структурата на едно токоизправително устройство?
2. Каква е функционалната разлика между управляемия и неуправляемия изправители ?
3. Какво е предназначението на тиристора в управляемите изправители ?
4. Кои са необходимите условия, изпълнението на които гарантират сигурното преминаване на един тиристор в проводимо състояние?
5. Как може да се променя напрежението на включване на тиристора ?
6. В каква зависимост се намират напрежението на входа и на изхода на двуполупериоден управляем изправител ?
7. В какви граници се изменя изходното напрежение на управляемите изправители?
8. Възможно ли е изправителните схеми на управляемите изправители да се реализират само с тиристори ?
9. Възможна ли е работата на управляемия изправител с консуматор който има активно-индуктивен или активно-капацитивен характер ?
10. Управляем двуполупериоден изправител се захранва с променливо напрежение с ефективна стойност $U_2=100V$. Ако в изхода му е измерено напрежение $U_{0\alpha}=79.5V$, определете големината на използвания ъгъл на регулиране – $\alpha=?$

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕДНОФАЗЕН УПРАВЛЯЕМ ТОКОИЗПРАВИТЕЛ

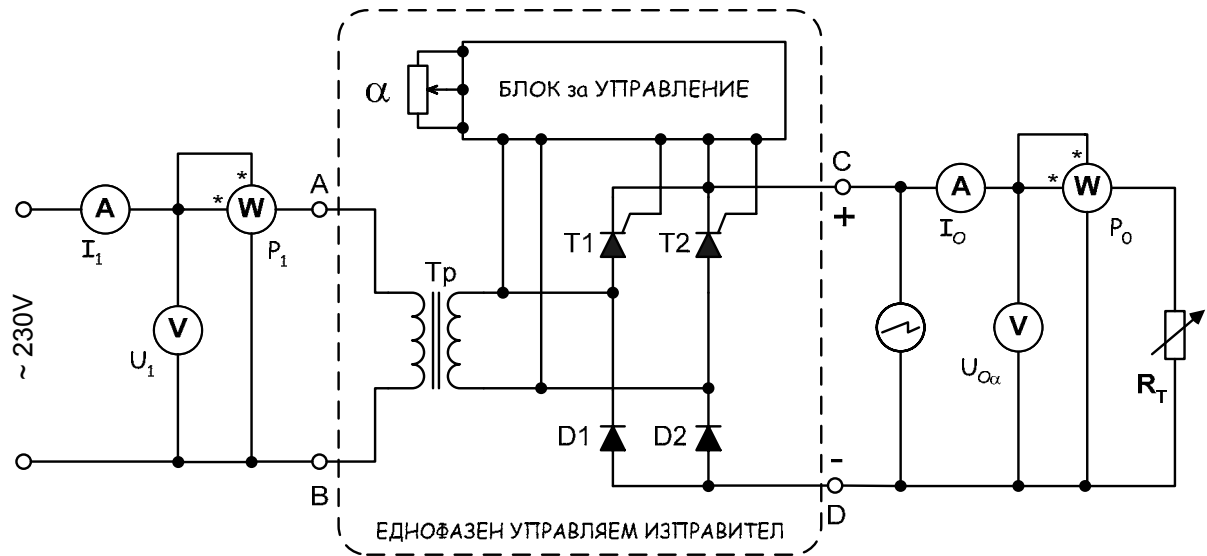


Схема на опитната постановка

Таблица 1. Изследване на празен ход (провежда се при $I_0=0$)

α	deg	180	150	120	90	60	30	0
$U_{0\alpha}$	V							

Таблица 2. Изследване при натоварване (провежда се при $\alpha = \alpha_1$ и $\alpha = \alpha_2$)

α	U_1	I_1	P_1	$U_{0\alpha}$	I_0	P_0	φ	η	$\Delta U_{0\alpha}$
deg	V	A	W	V	A	W	-	-	%
$\alpha_1 = 0$				$U_{0\alpha}^* =$	0			0	0
					0.2				
					0.4				
					0.6				
					0.8				
$\alpha_2 =$				$U_{0\alpha}^* =$	0			0	0
					0.2				
					0.4				
					0.6				
					0.8				

$$\varphi = \frac{P_1}{U_1 I_1}$$

$$\eta = \frac{P_0}{P_1}$$

$$\Delta U_{0\alpha} = \frac{U_{0\alpha}^* - U_{0\alpha}}{U_{0\alpha}^*} \cdot 100, \%$$