

**ВИСШ МАШИННО-ЕЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИ ИНСТИТУТ
ВАРНА**

Димитър Д. Юдов

Георги Е. Тодоринов

**РЪКОВОДСТВО
ЗА ЛАБОРАТОРНИ УПРАВНЕНИЯ
ПО „ОСНОВИ НА
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛНАТА ТЕХНИКА“**

**ВАРНА
1990**

ВИСШ МАШИННО-ЕЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИ ИНСТИТУТ ВАРНА

Димитър Д. Юдов

Георги Е. Тодоринов

Р ъ к о в о д с т в о

**ЗА ЛАБОРАТОРНИ УПРАЖНЕНИЯ ПО "ОСНОВИ
НА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛНАТА ТЕХНИКА"**

**В А Р Н А
1 9 9 0**

С Ъ Д Ъ Р Ж А Н И Е

Предговор

1. Еднофазни токоизправители при R , RL и RC товар.....
2. Многофазни токоизправители
3. Параметрични и компенсационни стабилизатори
4. Импулсни стабилизатори на напрежение
5. Филтри за изглаждане на пулсациите на изправеното напрежение
6. Зависими инвертори
7. Реверсивни преобразуватели
8. Токоизправители с умножение на напрежението
9. Регулатори на променливо напрежение
10. Тиристорни регулатори на постоянно напрежение
11. Еднофазен паралелен инвертор на ток
12. Трифазен автономен инвертор на ток
13. Последователен-паралелен резонансен инвертор
14. Резонансни инвертори с обратни диоди
15. Автономен инвертор на напрежение
16. Транзисторен еднофазен мостов инвертор

ПРЕДГОВОР

Ръководството за лабораторни упражнения по "Основи на преобразователната техника" съдържа 16 упражнения, съответстващи на учебната програма по едноименната дисциплина за специалност "Електронна техника и микроелектроника"

Всяко лабораторно упражнение включва:

- цел на упражнението;
кратки теоретични сведения;
- описание на лабораторния макет;
задание за работа;
контролни въпроси.

Кратките теоретически обяснения подпомагат студентите при подготовката на съответното лабораторно упражнение, но не заменят напълно учебните пособия и специалната литература.

Тематиката на упражненията обхваща основните видове токоизправителни схеми, стабилизатори на напрежение, променливотокови и постояннотокови тиристорни регулатори, зависими и автономни инвертори.

Лабораторните упражнения № 1, 2, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 са написани от доц.к.тн. Д. Юдов, а лабораторни упражнения № 3, 4, и 5 са написани от ас.инж. Г. Тодоринов.

Ръководството за лабораторни упражнения е рецензирано от:

1. Доц.к.тн. Тодор Пазвантов катедра "Автоматизация на производството".

2. Доц.к.тн. Йордан Колев катедра "Електронна техника и микроелектроника".

ЛАБОРАТОРНО УПРАЖНЕНИЕ

№ 1

ЕДНОФАЗНИ ТОКОИЗПРАВИТЕЛИ ПРИ R, RL и RC

ТОВАР

1.1. Цел на упражнението

1. Да се затвърдят познанията на студентите по видовете еднофазни токоизправителни схеми, действието им, работата им при различен характер на товара за управляема $\alpha \neq 0$ / и неуправляема $\alpha = 0$ / токоизправителни схеми.

2. Да се изследват външните характеристики на неуправляемия токоизправител при R, RL и RC товар.

3. Да се снее регулировъчната характеристика при R, RL и RC товар.

1.2. Кратки теоретични сведения

Токоизправителите са устройства, които преобразуват променливо-токовата енергия в постояннотокова. Те биват еднофазни и многофазни.

Основните схеми на еднофазния токоизправител са:

а) еднофазен еднополупериоден токоизправител (фиг. 1.1.а);

б) еднофазен двуполупериоден токоизправител със средна точка (фиг. 1.1.б);

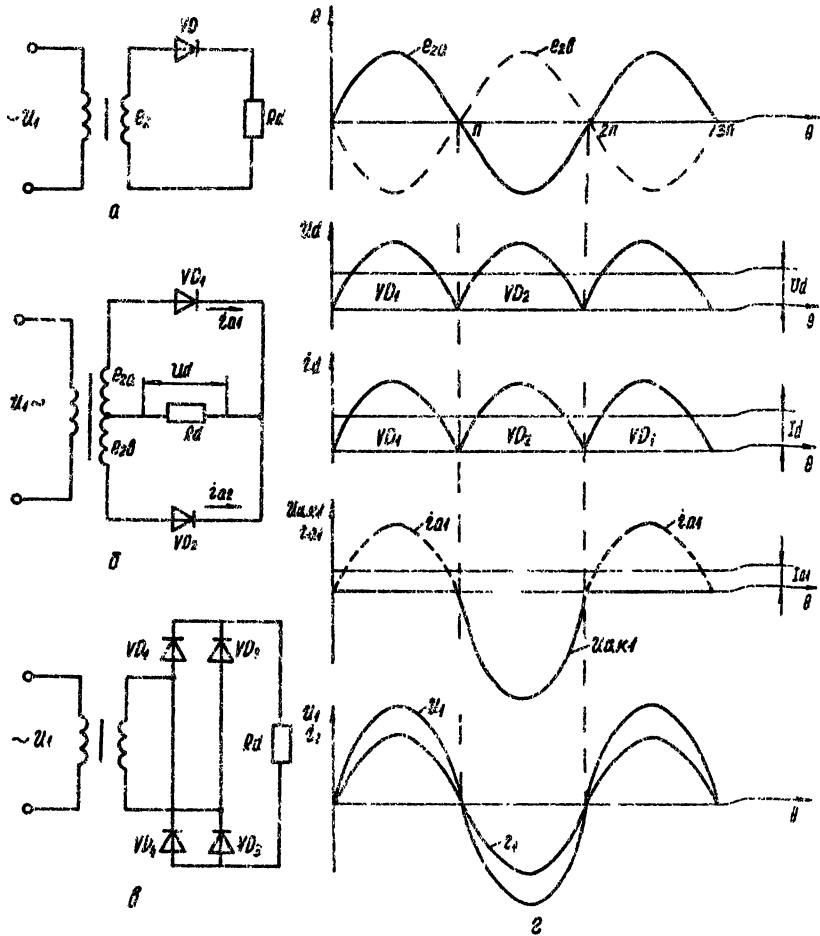
в) еднофазна мостова схема (фиг. 1.1.в).

На фиг. 1.1.а,б,в са показани неуправляеми схеми на еднофазни токоизправители, а на фиг. 1.1.г – временните диаграми, обясняващи принципа на действие на еднофазния двуполупериоден токоизправител със средна точка при активен товар.

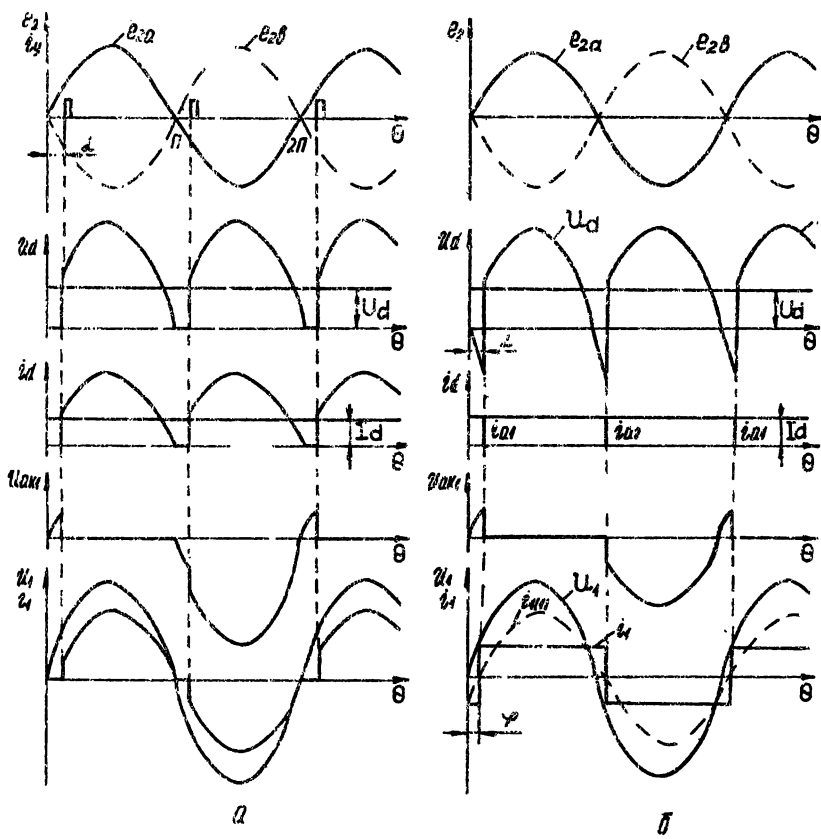
От времедиаграмите се вижда, че в интервала от $\theta = 0 \div \pi$ за фиг. 1.1.б е подадено положително напрежение на анода на вентила VD_1 и отрицателно на анода на вентил VD_2 . От това следва, че в интервала от $0 \div \pi$, $2\pi \div 3\pi$ и т.н. е отпушен вентил VD_1 , при което приемаме, че падението на напрежението върху него е нула и цялото напрежение E_{2a} се прилага върху товара. Аналогично вентил VD_2 работи в интервала $\pi \div 2\pi$, $3\pi \div 4\pi$ и т.н. На последната графика се вижда, че u , и i , са синусоидални и отсъства дефазирание между тях.

В случая, когато всички или част от вентилите са изпълнени като

управляеми ключове (тиристори), се получава възможност за управление на момента на отпусване. Управляемият ключ се отпусва, когато на анода му е приложено положително напрежение спрямо катода и има напрежение на управляващ импулс.



Сиг. 1.1



Фиг. 1.2

На фиг. 1.2 са показани временните диаграми на управляема еднофазна двуполупериодна схема с нулев извод (лабораторния макет) при активен товар (R) - фиг. 1.2.а и при активно-индуктивен (RL) товар - фиг. 1.2.б.

При изследване на упражнението е необходимо да се знае:

1. При изменението на α се изменя $U_{d\alpha}$ и $I_{d\alpha}$ по закона:

$$U_{d\alpha} = U_{d0} \cdot \frac{1 + \cos \alpha}{2} \quad \text{при R товар,}$$

$$U_{d\alpha} = U_{d\beta} \cdot \cos \alpha$$

при RL товар.

2. Формата на напрежението върху вентилите е част от синусоида и неговата максимална стойност е $U_{np\max} = E_{2m}; U_{\delta r\max} = 2 \cdot E_{2m}$

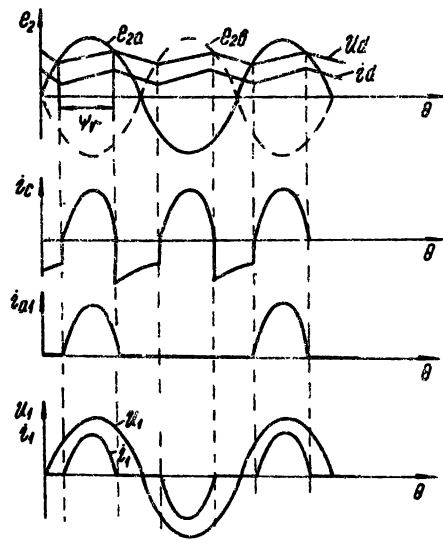
3. Формата на захранващото напрежение (U_1) е синусоидална, токът в първичната намотка (I_1) зависи от характера на товара и ъгъл α , а дефазиранието между тях (φ) е:

$$\varphi < \alpha \text{ при R товар,}$$

$$\varphi = \alpha \text{ при RL товар.}$$

ПРИМЕР: Дефазиранието при мостовата схема с непълно число управляеми вентили е $\varphi = \frac{\alpha}{2}$.

Принципът на действие на двуполупериоден токоизправител при активно-капацитивен товар (RC) се илюстрира чрез времедиаграмите на фиг. 1.3.

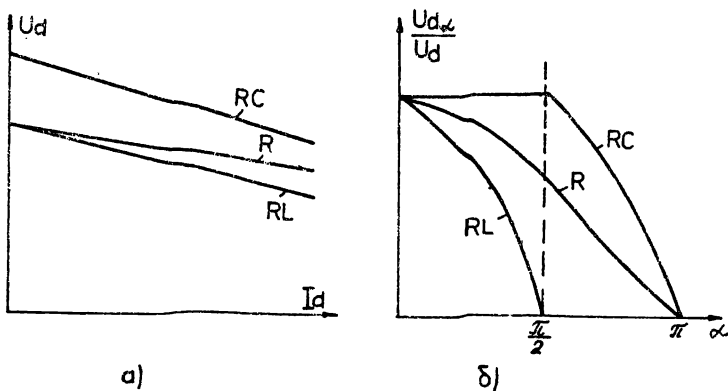


Фиг. 1.3

Тук се вижда, че времето на пропускане на вентила е по-малко от π и формата на изходния ток и токовете през вентилите зависи силно от товара или по-точно от времеконстантата RC. С увеличаване стойността на капацитета на кондензаторите формата на I_d се приближава

до идеалната (права линия).

Външната характеристика на токоизправителя има падащ характер (фиг. 1.4.а).



Фиг. 1.4

$$U_d = U_{d_{нх}} - \Delta U_d, \quad \alpha \quad \Delta U_d = I_d \cdot r_{\Sigma}$$

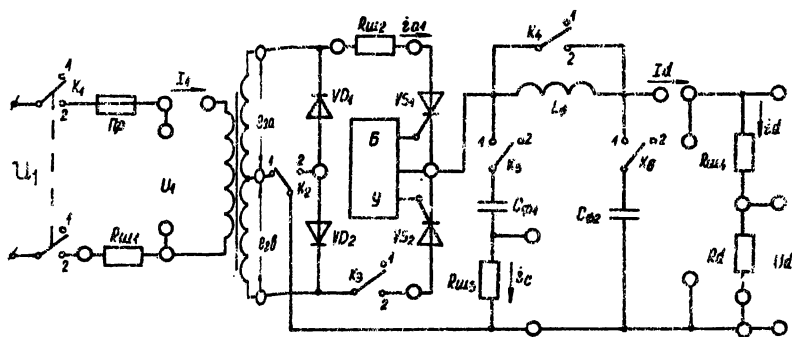
където r_{Σ} - сумата от активното съпротивление на елементите на токоизправителя.

Видът на регулировъчната характеристика (фиг. 1.4.б) зависи от характера на товара. Примерно, при RC товар изменението на управляващия ъгъл α от $0 \div \frac{\pi}{2}$ не води до изменение на U_d , защото $U_d = E_{2m}$ при $R_d = \infty$. След като захранващото напрежение премине през максималната си стойност ($\theta = \frac{\pi}{2}$) може да се регулира стойността на изходното напрежение.

1.3. описание на лабораторния макет

Лабораторният макет (фиг. 1.5) позволява да се изследват трите схеми на еднофазен токоизправител (съгл. табл. 1).

Всички схеми могат да бъдат изследвани като неуправляем токоизправител ($\alpha = 0$) или като управляем токоизправител ($\alpha \neq 0$). Товарът може да бъде чисто активен (K4 - вкл., K5, K6 - изкл.), активно-индуктивен (K4, K5 и K6 - изкл.), активно-капацитивен (K4, K5, K6 - вкл.) или смесен.



Фиг. 1.5

Таблица 1

№	Вид на схемата	K ₂	K ₃
1.	Еднофазна еднополупериодна	1	изкл.
2.	Еднофазна двуполупериодна със средна точка	1	вкл.
3.	Еднофазна мостова	2	вкл.

Лабораторният макет се включва към захранващата мрежа чрез ключа K₁, а се защитава при аварийни ситуации чрез стопяем предпазител Пр.

1.4. Задание

1. Еднофазна еднополупериодна схема (K₂ → 1, K₃ - изкл., работата при активен товар - (K₄ - вкл., K₅, K₆ - изкл.).

1.1. Да се снимат времедиаграмите на напреженията e_{2a} , e_{2b} , u_d , u_{ak1} и токовете $i_d(R_{ш4})$, $i_{L1}(R_{ш2})$, $i_{L1}(R_{ш4})$ при $\alpha_1 = 0$ и $\alpha_1 \neq 0$.

1.2. Да се изчисли коефициента на полезно действие $\eta = \frac{P_d - U_d I_d}{P} = \frac{U_d I_d}{U_1 I_1}$ на токоизправителя за две стойности на товара (R_{d1}, R_{d2}).

Еднофазна двуполупериодна схема със средна точка (K₂ → 1, K₃ - вкл.).

1.2 Да се изследва схемата при активен товар (K₄ - вкл., K₅, K₆ - изкл.).

2.1.а. Да се снимат времедиаграмите на напреженията e_{2a} , e_{2b} , u_d

U_{ak1} и токовете i_d , i_{a1} , i_1 при $\alpha \neq 0$.

2.1.б. Да се снемат външната характеристика $U_d = f(I_d)$ и регулировъчната характеристика $U_d = f(\alpha)$.

2.2. Да се изследва схемата при активно-индуктивен товар (K_4 , K_5 и K_6 изкл.). Да се изпълни заданието в т. 2.1.а и 2.1.б.

2. Да се изследва работата на еднофазния двуполупериоден токоизправител при активно капацитивен товар. Да се повтори заданието в точки 2.1.а и 2.1.б при включен един филтърен кондензатор (K_4 и K_5 - скл., K_6 - изкл.) и при включени два филтърни кондензатора (K_4 , K_5 и K_6 - вкл.).

1.5. Контролни въпроси

1. Какви схеми на еднофазни токоизправители знаете?
2. Какви са временните диаграми на напреженията върху елементите и токовете през тях при R, RL и RC товар?
3. Какъв е вида на външната характеристика на еднофазния токоизправител при R, RL и RC товар?
4. Какво представлява регулировъчната характеристика на еднофазния токоизправител?

* * *

ЛАБОРАТОРНО УПРАЖНЕНИЕ

№ 2

МНОГОФАЗНИ ТОКОИЗПРАВИТЕЛИ

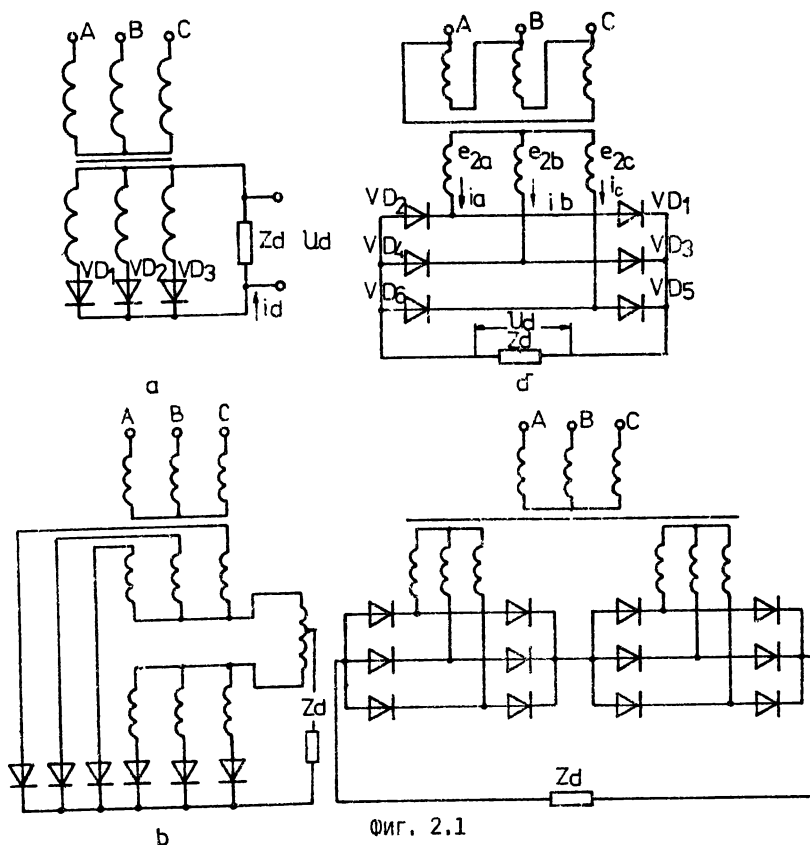
2.1. Цел на упражнението

1. Да се затвърдят познанията на студентите върху работата на трифазните еднополупериодни и двуполупериодни токоизправители.
2. Да се изследват външните характеристики на трифазния еднополупериоден токоизправител (Схема "Миткевич") и трифазния двуполупериоден токоизправител (Схема "Ларионов") при R и RL товар.
3. Да се снимат регулировъчните характеристики на изследваните схеми.

2.2. Кратки теоретични сведения

Многофазните токоизправители се използват обикновено за средни и големи мощности (повече от няколко kVA) и изисквания за подобрени енергетични показатели на токоизправителите. По отношение на първичната страна на трансформатора те са трифазно включени по схема звезда или триъгълник, а по отношение на вторичната страна са трифазни (едно- и двуполупериодни), шестфазни, дванадесетфазни и т.н.

На фиг. 2.1 са показани: трифазен еднополупериоден токоизправител (Схема "Миткевич" - фиг. 2.1.а), трифазен мостов токоизправител (схема "Ларионов" - фиг. 2.1.б), шестфазен токоизправител с изравнителен реактор (Схема "Кюблер" - фиг. 2.1.в), дванадесетфазен токоизправител (фиг. 2.1.г).



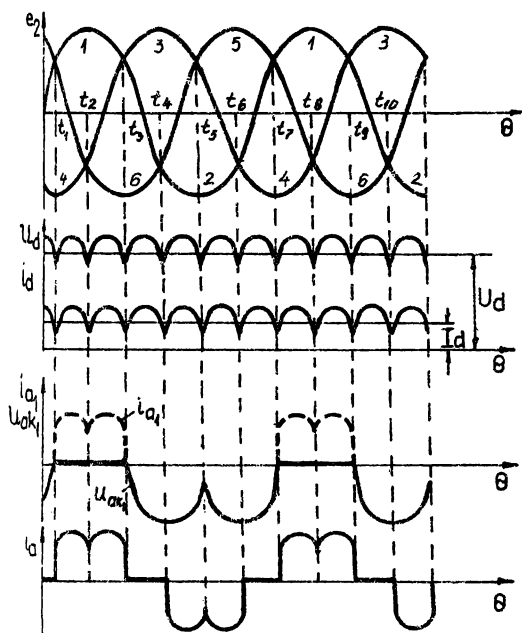
Фиг. 2.1

При всеки токоизправител вентилите могат да се групират към анодна или катодна група в зависимост от това кой от изводите им е общ.

З даден момент от време е отпушен онзи вентил от катодната група, чийто анод е най-положителен по отношение анодите на другите вентили от същата група и онзи вентил от анодната група, чийто катод е най-отрицателен.

За схема "Гиткевич" всеки вентил е отпушен за време $\theta = \frac{2\pi}{3}$ последователно след работата на другите вентили.

При схема "Ларионов" всеки вентил от едната група е отпушен за $\theta = 2\pi/3$ с два вентила от другата група, работещи последователно във времето за $\theta = \frac{\pi}{3}$.



Фиг 2.2

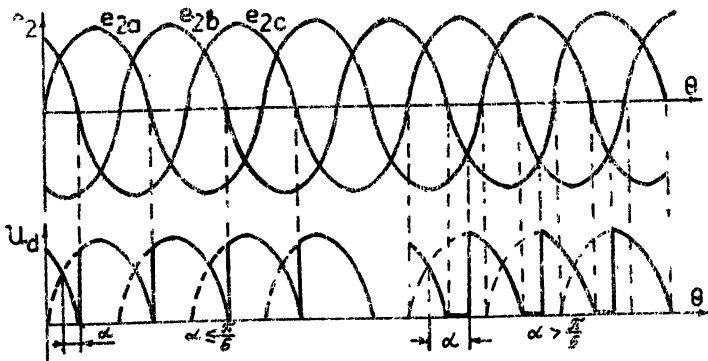
Например за схема "Ларионов" последователността на работата на вентилите е дадена в табл. 2.1, а формата на токовете и напреженията в отделните точки на фиг. 2.2.

Таблица 2.1.

$t_1 \div t_2$	$t_2 \div t_3$	$t_3 \div t_4$	$t_4 \div t_5$	$t_5 \div t_6$	$t_6 \div t_7$
VD1	VD1	VD3	VD3	VD5	VD5
VD4	VD6	VD6	VD2	VD2	VD4

Наличието на индуктивност в товара води до подобряване на формата на изправеното напрежение.

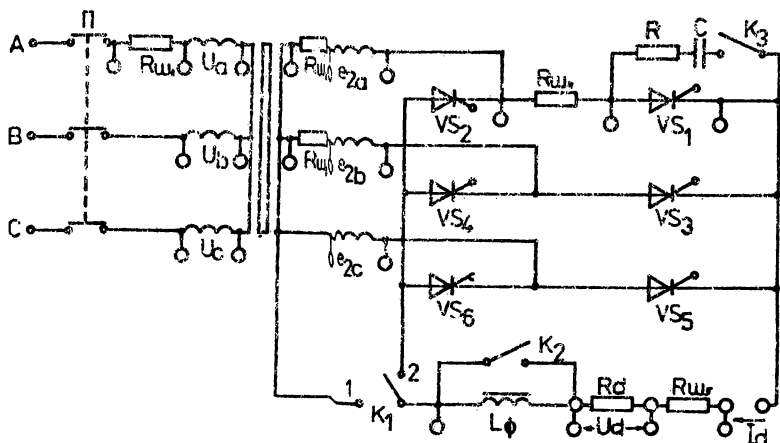
При управление токоизправител (когато вентилите са управляеми ключове-тиристри) се получават два характерни режима на работа: непрекъснат и прекъснат. На фиг. 2.3 са показани времедиаграмите при управление токоизправител - схема "Миткевич" за две стойности на ъгъла за управление на тиристорите $\alpha_1 \leq \frac{\pi}{6}$ и $\alpha_2 > \frac{\pi}{6}$.



Фиг. 2.3

2.3. Описание на лабораторния макет

Лабораторният макет е показан на фиг. 2.4



Фиг. 2.4

Лабораторният макет позволява да се изследват трифазна еднополу- периодна схема "Митчева" (K_2 в положение 1) трифазна мостова схема "Ларионов" (K_1 в положение 2).

Реализираните схеми могат да се изследват при активен (R то- вар - K_2 вкл. или при активно-индуктивен (RL) товар K_2 изкл.

При изключването на ключ K_3 наблюдава напрежението върху ти- ристора VS_1 без паралелна група, която служи за защита от пре- напрежение.

2.5. Задание за работа

1. Трифазна еднополупериодна схема "Миткевич" К1 - пол. 1.

1.1. Да се снимат времедиаграмите $U_A, U_B, U_C, I_A, I_{2a}, I_{2b}, I_{a1}, I_d, U_d, U_{ak1}$ при $\alpha_1 = 0$ и $\alpha_2 \neq 0$ по задание на ръководителя на упражнението при R и RL товар.

1.2. Да се снемат външната характеристика $U_d = f(I_d)$ за R и RL товар.

2. Трифазна двуполупериодна схема "Ларионов", К1 - пол. 2.

2.1. Да се снимат времедиаграмите $U_A, U_B, U_C, I_A, I_{2a}, I_{2b}, I_{a1}, I_d, U_d, U_{ak1}$, при $\alpha_1 = 0$ и $\alpha_2 \neq 0$ по задание на ръководителя на занятиято при R и RL товар.

2.2. Да се снемат външната характеристика за R и RL товар.

2.3. Да се отчете влиянието на защитните RC групи на тиристорите при R и RL товар.

3. Да се отчетат различията в работата на изследваните схеми "Миткевич" и "Ларионов".

2.6. Контролни въпроси

1. Какви схеми на многофазни токоизправители познавате?

2. Какви са времедиаграмите на напреженията върху елементите и токовете през тях при трифазните токоизправители?

3. Какво представлява външната и регулировъчната характеристика на трифазния токоизправител?

× × ×

ЛАБОРАТОРНО УПРАЖНЕНИЕ

№ 3

ПАРАМЕТРИЧНИ И КОМПЕНСАЦИОННИ СТАБИЛИЗАТОРИ

3.1. Цел на упражнението

1. Да се запознаят студентите с видовете параметрични и компенсационни стабилизатори.

2. Да се изследва параметричен стабилизатор.

3. Да се изследват компенсационни стабилизатори на напрежение

3.2. Кратки теоретични сведения

В редица случаи към изправеното напрежение се гредява изискване за неговата стабилност. Устройства поддържащи неизменно напрежението върху товара при изменение на захранващото напрежение или големината на товара з опосредени граници се наричат стабилизатори на напрежение. Съществуват два типа стабилизатори на напрежение: параметрични и компенсационни. При параметричните стабилизатори се използва постоянството на напрежението върху някои видове прибори при изменение на протичащият през тях ток. От полупроводниковите прибори такива свойства притежава силициевият стабилизатор. При компенсационните стабилизатори, стабилизацията се осъществява чрез автоматично регулиране напрежението върху товара.

За качеството на стабилизатора на напрежение се съди по следните коефициенти:

коефициент на стабилизация по входно напрежение

$$K_U = \frac{\Delta U_{\text{вх}}}{U_{\text{вх}}} / \frac{\Delta U_{\text{изх}}}{U_{\text{изх}}}$$

където: $\Delta U_{\text{вх}}$ и $\Delta U_{\text{изх}}$ са изменения на входното и изходното напрежение на стабилизатора при неизменен ток на товара, а $U_{\text{вх}}$ и $U_{\text{изх}}$ – номиналните стойности на същите напрежения;

коефициент на стабилизация по изменение на товара

$$K_I = \frac{\Delta I_{\text{изх}}}{I_{\text{изх}}} / \frac{\Delta U_{\text{изх}}}{U_{\text{изх}}}$$

където $\Delta I_{\text{изх}}$ и $I_{\text{изх}}$ са изменението на товарния ток и неговата номинална стойност;

коефициент на стабилизация по мрежова честота;

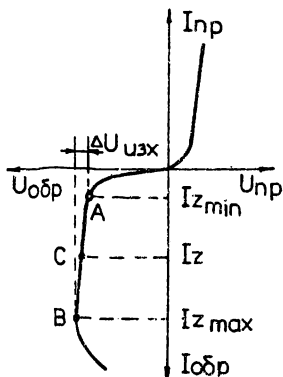
температурен коефициент на стабилизация.

Съществува характеристика на стабилизатора, представляваща неговото изходно (вътрешно) съпротивление R_i , което е отношението на изменението на изходното напрежение на стабилизатора към изменението на товарния ток при постоянно входно напрежение

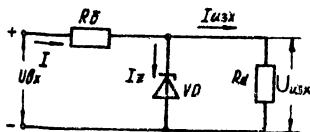
$$R_i = \frac{\Delta U_{\text{изх}}}{\Delta I_{\text{изх}}}$$

Силициевите стабилизатори са специални полупроводникови елементи, работещи в режим на лавинен пробив. Волт-амперната характеристика на силициев стабилизатор е показана на фиг. 3.1.

Работният участък се намира между точките А и В. Точка А се характеризира с най-малък ток през стабилизатора и с най-ниско работно напрежение, а точка В – с най-голям допустим ток и с най-високо работно напрежение. Извън тези граници работата на стабилизатора е невъзможна.



Фиг. 3.1



Фиг. 3.2

на. Желателно е работната точка да е т. С.

Схема на параметричен стабилизатор на напрежение е показана на фиг. 3.2. Той се състои от баластен резистор

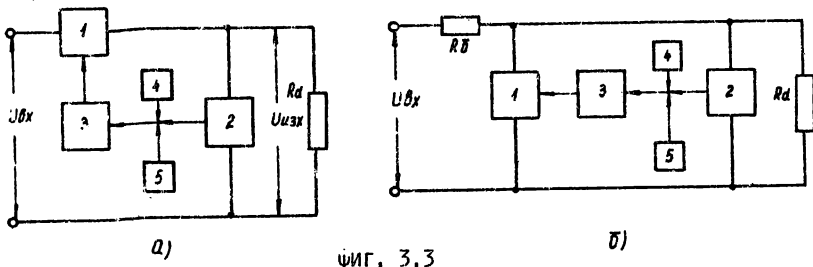
R_{δ} и стабилитрон VD . При изменение на входното напрежение на мрежата (при $R_d = \text{const}$) напрежението върху товара се изменя незначително. При увеличаване на $U_{вх}$ (при $R_d = \text{const}$), се увеличава тока през стабилитрона I_z . Работната точка на стабилитрона се премества към т. В (фиг. 3.1), това довежда до увеличаване на тока през R_{δ} и съответно увеличаване на пада върху него. Това увеличаване на пада на напрежение върху R_{δ} компенсира увеличаването на входното напрежение и в крайна сметка напрежението върху товара не се променя. При намаляване на входното напрежение $U_{вх}$,

процесите се развиват в обратна посока. При увеличаване на товарния ток ($U_{вх} = \text{const}$) се намалява тока през стабилитрона I_z . Работната му точка се премества към т. А (фиг. 3.1). Това довежда до преразпределяне на тока между стабилитрона и товара без изменение на тока I , през R_{δ} . Изходното напрежение остава практически постоянно. При намаляване на товарния ток процесите са аналогични в противоположна посока. Коефициентът на стабилизация се определя по формулата:

$$K_U = \frac{\Delta U_{вх} \cdot U_{изх}}{\Delta U_{изх} \cdot U_{вх}} = \frac{U_{изх}}{U_{вх}} \left(1 + \frac{R_{\delta}}{R_d} + \frac{R_{\delta}}{r_d} \right) \approx \frac{U_{изх}}{U_{вх}} \cdot \frac{R_{\delta}}{r_d}$$

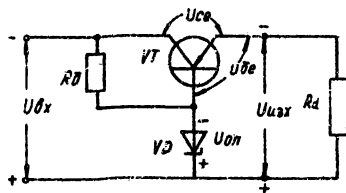
тъй като $r_d \ll R_d$ и $r_d \ll R_{\delta}$ където r_d е диференциалното съпротивление на стабилитрона. Коефициентът на стабилизация на параметричните стабилизатори е в границата $10 \div 40$ и е право пропорционален на отношението $\frac{R_{\delta}}{r_d}$

Компенсационните стабилизатори на напрежение представляват затворена система за автоматично регулиране, която поддържа на изхода си постоянно напрежение със зададена стойност. Блок-схема на компенсационен стабилизатор на напрежение е дадена на фиг. 3.3.



Фиг. 3.3

Регулиращият елемент (1) може да се свърже последователно (фиг. 3.3,а), или паралелно (фиг. 3.3,б) на консуматора. При паралелно свързване е необходим баластен резистор R_B . Принципът на работа на компенсационния стабилизатор следният. Нека входното напрежение се е повишило. Тогава на измервателният елемент (2) постъпва повишеното изходно напрежение U_{U3X} . Измервателният елемент автоматично сравнява изходното напрежение U_{U3X} с опорното напрежение (U_{ON}) на опорния източник (4) и изработва управляващо напрежение $U_y = k(U_{U3X} - U_{ON})$. След усилването му от усилвателния елемент (3), който не винаги е необходим, се променя режима на работа на регулиращия елемент (1), така, че напрежението U_{U3X} се стреми да достигне първоначалната си стойност. Регулиращият елемент работи като променливо съпротивление, така че изходното напрежение се запазва постоянно. Блок (5) е блок за защита от претоварване. Паралелните стабилизатори сравнени с последователните стабилизатори се използват за стабилизиране на по-големи токове, не е необходима защита от претоварване, но се използва за пониски напрежения и имат по-нисък к.п.д., поради което не са намерили широко приложение. Най-простата схема на последователен стабилизатор без усилващ елемент (3) – фиг. 3.3 е показан на фиг. 3.4. Този стабилизатор се състои от две части:



Фиг. 3.4

като източник на опорно напрежение и регулиращ елемент транзистора VT. В качеството на сравняващ усилвател се използва р-п прехода емитер-база. Обикновено работната точка на транзистора е избрана така, че той е напълно отпушен, което съответствува на $U_{еб}$;

$U_{\delta e} \approx (0,2 \div 0,3)U$. Ако по някаква причина се измени $U_{\delta z x}$ това предизвиква изменение на $U_{\delta e}$, което от своя страна изменя съпротивлението на транзистора, така че $U_{\delta z x}$ остава неизменно. Нека $U_{\delta z x}$ се е повишило вследствие на изменение стойността на товара R_d или на $U_{\delta x}$. Това е съпроводено с намаляване напрежението $U_{\delta e}$ и намаляване на базовия ток на (VT), тъй като $U_{on} = const$. При това се увеличава съпротивлението по постоянен ток на VT (повишава се U_{ce}), което води до намаляване на $U_{\delta z x}$ до номиналната му стойност. Диапазонът на изменение на тока в товара, при който съществува стабилизация се определя от допустимата област на изменение на тока в стабилизатора ($I_{zmin} \div I_{zmax}$), тъй като в R_{δ} трябва да тече винаги почти еднакъв ток, равен на сумата на базовия ток на транзистора (VT) и тока на стабилизатора (I_z).

$$I_{\delta max} + I_{zmin} = I_{\delta min} + I_{zmax}$$

или

$$\frac{I_{VTcp,max}}{\beta} + I_{zmin} = \frac{I_{VTcp,min}}{\beta} + I_{zmax}$$

където β коефициент на усилване на VT;

I_{VTcp} - среден колекторен ток на транзистора VT.

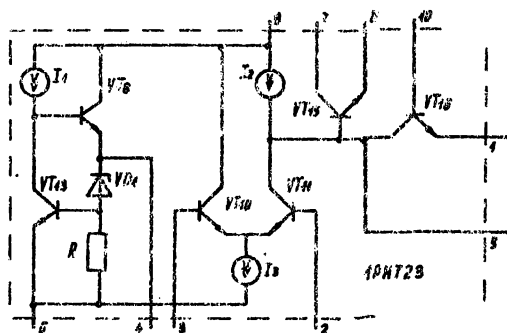
Ако приемем $I_{VTcp,min} = 0$ следва

$$I_{VTcp,max} = \beta(I_{zmax} - I_{zmin}) = \beta \cdot \Delta I_z \quad \text{т.е.}$$

максималният ток през товара зависи от коефициента на усилване на транзистора и диапазона на изменение на тока през стабилизатора. При тази схема коефициентът на стабилизация се получава от порядъка 20÷40.

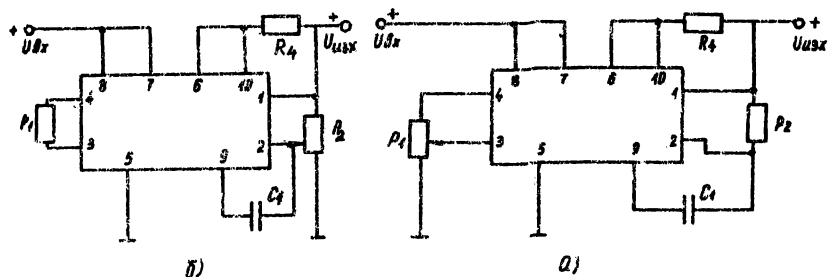
Интегрална схема 1PN723 представлява маломощен последователен стабилизатор на напрежение. Тя се произвежда в кръгъл метален корпус (TO5) с 10 извода и в пластмасов корпус (DIL) с 14 извода. Използва се за товарен ток до 150 mA и захранващо напрежение до 40 V, като допустимата разсейвана мощност от IC е 500 mW. В зависимост от схемата на включване на външните елементи могат да се получат изходни напрежения от 2 до 37V и различни външни характеристики. Опростена принципна схема на IC 1PN723 в метален корпус TO5 е дадена на фиг.3.5.

Елементите VT8, VT13, VD1, R и I1 представляват източник на опорно напрежение. Източниците I2, I3 и транзисторите VT10 и VT11 образуват диференциален усилвател на разликата между



Фиг. 3.5

опорното и изходното напрежение. Транзисторът VT15 е регулиращ, а VT16 се използва за защита на схемата от претоварване и къси съединения. В зависимост от схемата на свързване могат да се получат изходни напрежения от $2 \div 7$ V - фиг. 3.6.а и от $7 \div 37$ V - фиг. 3.6.б.



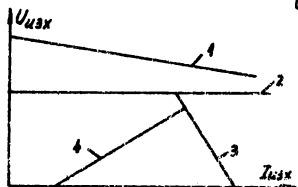
Фиг. 3.6

Резисторът R4 определя тока на задействване на защитата. Неговата стойност се определя по формулата

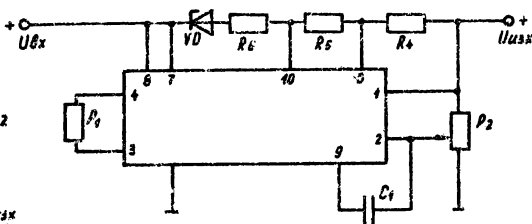
$$R_4 = \frac{0,65}{I_{\text{изх, max}}}$$

С помощта на C1 се постига компенсираща отрицателна обратна връзка против самовъзбуждане. Външната характеристика на стабилизатора е показана на фиг. 3.7, където: 1 - външна характеристика на изправител без стабилизатор; 2 - външна характеристика на стабилизатор 1PN723 без защита по ток; 3 - външна характеристика на стабилизатор със защита по ток; 4 - външна характеристика на стабилизатор със защита по ток и ограничаване тока на късо съединение.

На фиг. 3.8 е показана схема, която притежава външна характеристика (4) от фиг. 3.7. Тази схема е с по-малка разсейвана мощност в

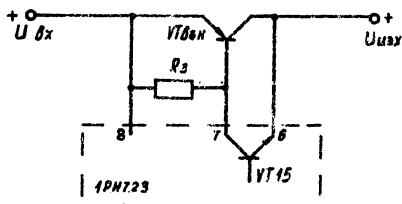


Фиг. 3.7



Фиг. 3.8

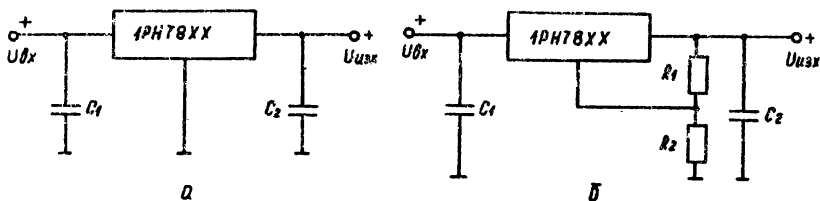
регулацията транзистор в режим на късо съединение. При навлизане на работната точка в падащия участък на външната характеристика (3) (Фиг. 3.7) се увеличава разликата между входното и изходното напрежение на стабилизатора. При превишаване на U_z , стабилизаторът VD пробива и се формира положителна обратна връзка по входно напрежение за VT16 (Фиг. 3.5), което довежда до получаване на характеристика (4) (Фиг. 3.7). За получаване на по-голям изходен ток се използва схемата на Фиг. 3.9. При малък ток, определен от пада върху R_3 ($U_{R3} = R_3 I_{U_{изх}}$), VT външ. се



Фиг. 3.9

отпуска и токът протича през него, като същевременно ИС осъществява и защита от претоварване на VT външ. Съществуват интегрални стабилизатори за фиксирано напрежение. Те са сериите 1PN78XX и 1PN79XX. Тези серии съдържат няколко стабилизатора за различно напрежение кодирани в последните две цифри на означението им. Сериата 1PN78XX е за положително напрежение, а 1PN79XX за отрицателно. Произвеждат се стабилизатори в пластмасов корпус TO-220 и в метален корпус TO-3. Стабилизаторите са с три извода. Те имат падаща характеристика при превишаване на максимално допустимият изходен ток, вътрешна защита за ограничаване на тока на късо съединение и топлинна защита от претоварване. Максималната разсейвана мощност зависи от охлаждащата площ на радиатора и достига 20W, номиналният изходен ток е 2A, а максималният изходен ток е 2,2A. На Фиг. 3.10.а е показана схема на свързване на 1PN78XX.

Кондензаторите C1 и C2 се поставят за корекция против самовъзбуждане и имат стойност 150 nF. За напрежение над номиналната стойност на стабилизация се използва схема на свързване от Фиг. 3.10.б. Стой-



Фиг. 3.10

ността на изходното напрежение в този случай се определя от формулата:

$$U_{изх} = U_{СТ} \frac{R_1 + R_2}{R_1} + I_R \cdot R_2$$

където: $U_{СТ}$ - напрежението на стабилизатора;

I_R консумираният ток от стабилизатора.

За по-добра температурна стабилизация вместо R_2 може да се постави ценеров диод. При по-голям ток от номиналния може да се използва схема с външен транзистор, подобна на тази на фиг. 3.9.

3.3. Описание на лабораторния макет

Лабораторният макет - фиг. 3.11 се състои от токоизправител и три отделни стабилизатора на напрежение, които се реализират с помощта на ключове, съгласно таблица 3.1.

С помощта на автотрансформатор променяме входното напрежение, а посредством реостат - товарният ток.

Таблица 3.1

№ по ред	Вид на схемата	Положение на превключвателя	K1	K2	K3
1.	Параметричен стабилизатор		1-2	2	2
2.	Компенсационен стабилизатор с 1PН723				
	а) за напрежения от 2 ÷ 7V		1	1	1-2
	б) за напрежения от 7÷37V		2	1	1-2
3.	Компенсационен стабилизатор: с 1PН7815		1-2	2	1

3.4. Задание за работа

1. Да се изследва параметричен стабилизатор (K2-2; K3-2).

1.1. Да се смене външната характеристика на стабилизатора

$U_{\text{изх}} = f(I_{\text{изх}})$ при $U_{\text{вх}} = \text{const}$ и да се отчетат: коефициентът на стабилизация по изменение на ток K_{UI} , вътрешното съпротивление на стабилизатора R_i и коефициента на пулсации.

1.2. Да се смене зависимостта на изходното напрежение от входното напрежение $U_{\text{изх}} = f(U_{\text{вх}})$ при $I_{\text{изх}} = \text{const}$ и се отчете коефициента на стабилизация по входното напрежение K_U

Да се изследва компенсационен стабилизатор с интегрална схема 1PN723.

A. Да се реализира схема на стабилизатор за напрежение от $2 \div 7\text{V}$ и изходен ток $> 150\text{mA}$ (фиг. 3.6.a) (K1-1; K2-1).

2.1. Да се смене външната характеристика на стабилизатора

$U_{\text{изх}} = f(I_{\text{изх}})$ при $U_{\text{вх}} = \text{const}$ и се отчете коефициента на пулсации изходното съпротивление и границите за регулиране на изходното напрежение.

2.2. Да се смене зависимостта на изходното напрежение от входното напрежение $U_{\text{изх}} = f(U_{\text{вх}})$ при $I_{\text{изх}} = \text{const}$ и се отчете коефициента на стабилизация по входно напрежение.

B. Да се реализира схема на стабилизатор за напрежение от $7 \div 37\text{V}$ и изходен ток $> 150\text{mA}$ (фиг. 3.6.b) (K1-2; K2-1). Повтарят се точки 2.1 и 2.2.

3. Да се изследва компенсационен стабилизатор с интегрална схема 1PN7815. (K2-2; K3-1).

3.1. Да се смене външната характеристика на стабилизатора

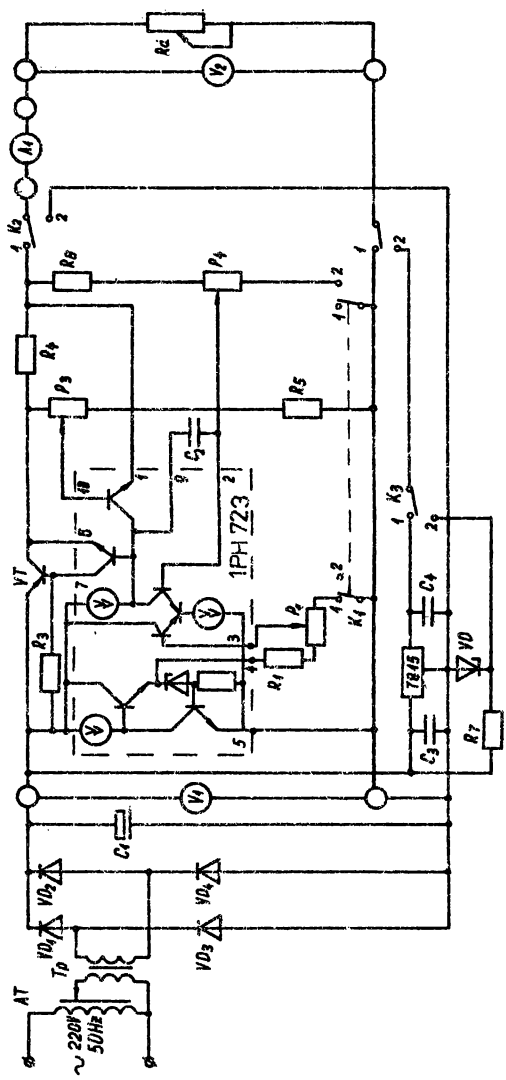
$U_{\text{изх}} = f(I_{\text{изх}})$ при $U_{\text{вх}} = \text{const}$ и се отчетат: коефициентът на стабилизация по изменение на изходния ток; изходното съпротивление; коефициентът на пулсации и токът на късо съединение.

3.2. Да се смене зависимостта на изходното напрежение от входното напрежение $U_{\text{изх}} = f(U_{\text{вх}})$ при $I_{\text{изх}} = \text{const}$ и се отчете коефициента на стабилизация по входно напрежение.

3.5. Контролни въпроси

1. Кои са дестабилизиращите фактори при работа на стабилизаторите?

2. Какви видове стабилизатори познавате?



Фиг. 3.11.

3. Какъв е принципът на работата на параметричния стабилизатор?
4. Какъв е принципа на работа на компенсационните стабилизатори и какви стабилизатори с интегрални схеми познавате?
5. Как се отпушва външния транзистор VT_{внш}, от фиг. 3.9?
6. Как работва защитата при превишаване на изходния ток на 1PH723?

* * *

ЛАБОРАТОРНО УПРАЖНЕНИЕ

№ 4

ИМПУЛСНИ СТАБИЛИЗАТОРИ НА НАПРЕЖЕНИЕ

4.1. Цел на упражнението

1. Да се затвърдят знанията на студентите за видовете импулсни стабилизатори на напрежение.
2. Да се изследват характеристиките на импулсен стабилизатор на напрежение.

4.2. Кратки теоретични сведения

Изменението на стойността на напрежението върху товара посредством широчинно импулсни преобразователи се нарича импулсно регулиране. Импулсните преобразователи са реверсивни и неререверсивни.

При неререверсивните преобразователи върху товара се получават еднополярни импулси, а при реверсивните може да се смени поляритета на напрежението върху товара. Импулсните преобразователи намират широко приложение в качеството на стабилизатори и регулатори на напрежение в приборни комплекси, захранване на възбудителни намотки, захранване на постояннотокови двигатели и др.

Импулсните преобразователи притежават следните преимущества: висок к.п.д., поради това, че загубите в регулиращия елемент са незначителни в сравнение с компенсационните стабилизатори;

малка чувствителност към изменение температурата на околната среда, тъй като регулиращ фактор се явява времето за проводимост на регулиращия вентил, а не вътрешното му съпротивление както е при компенсационните стабилизатори;

малки габарити и маса.

Недостатъци на импулсните преобразователи:

импулсният режим на регулиране води до необходимост от входни и изходни пасивни филтри, което нарушава динамиката на регулиране;

вносяне на радиосмущения.

импулсните стабилизатори на постоянно напрежение биват:

- с непосредствена връзка между захранващия източник и товара;

импулсни преобразователи с междинно преобразуване на постоянното в променливо напрежение с висока честота и следващо го изправяне на променливото в постоянно.

При импулсните стабилизатори с непосредствена връзка комутирационен елемент (най-често транзистор) преобразува постоянното напрежение в поредица от правоъгълни импулси. При промяна на коефициента на запълване ($K_3 = \frac{t_u}{T}$) чрез промяна продължителността на импулса при постоянен период $T = \text{const}$ (фиг. 4.1) се извършва широчинно-импулсно регулиране (моделиране) ШИР (ШИМ). При промяна на честотата $T = \text{var}$ и постоянна продължителност на импулсите $t_u = \text{const}$ (фиг. 4.1) се извършва честотно-импулсно регулиране ЧИР. Възможна е промяна продължителността на импулсите и честотата едновременно, т.е. $t_u = \text{var}$; $T = \text{var}$ това е време - честотно регулиране.



Фиг. 4.1

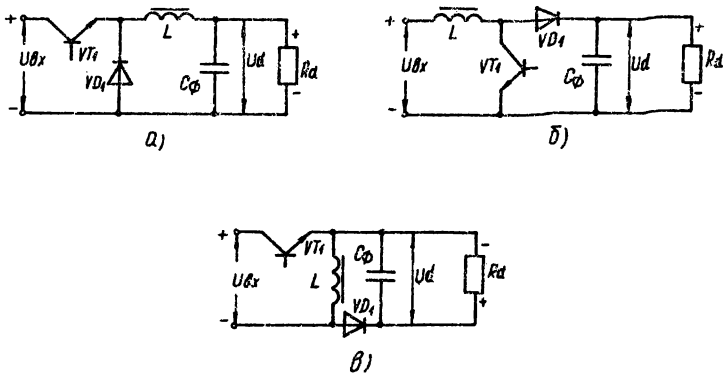
В зависимост от схемата на свързване на комутирационния елемент, изглаждащият филтър и товара се различават три основни схеми на импулсни стабилизатори с непосредствена връзка.

Фиг. 4.2.а. При отпушване на регулиращият транзистор VT1 се подава напрежение към товара и се натрупва енергия в дросела L и кондензатора Сф. При запушване на VT1, товарът се захранва от натрупаната в L и Сф енергия през VD1. Средната стойност на изходното напрежение

$$U_d = \frac{1}{T} \int_0^{t_u} U_{Bx} dt = U_{Bx} \cdot \frac{t_u}{T} = U_{Bx} \cdot K_3$$

винаги е по-ниско от входното.

Фиг. 4.2.б. При запушен VT1 товарът се захранва през VD1. При отпушен VT1 върху L се натрупва енергия, а токът през товара се образува



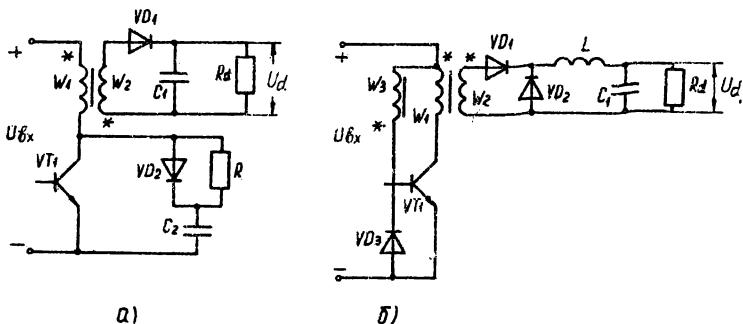
Фиг. 4.2

славя от разряда на кондензатора C_{Φ} . При тази схема е възможно изходно напрежение както по-ниско, така и по-високо от входното.

Фиг. 4.2,в. При тази схема при отпушен VT_1 върху L се натрупва енергия, а при запушен VT_1 , товарът се захранва от L през VD_1 , като напрежението на изхода има обратна полярност спрямо входното.

Импулсните стабилизатори с междинно преобразуване на постоянно в променливо напрежение съдържат в схемата си инвертори еднотактни и двутактни. Еднотактните се използват за по-малки мощности в сравнение с двутактните.

На фиг. 4.3 са показани два варианта на еднотактен инвертор.



Фиг. 4.3

При обратният инвертор (фиг. 4.3.а) диодът $VD1$ във вторичната намотка $W2$ пропуска ток и зарежда кондензатора $C1$ при запушен ключов транзистор $VT1$, т.е. когато се разсейва натрупаната в индуктивността на първичната намотка $W1$ на трансформатора енергия. Пренапрежението върху транзистора зависи от индуктивността на разсейване на трансформатора. Веригата осъществена от $VD2$, R и $C2$ осъществява защита на транзистора $VT1$ от пренапрежение в момента на комутация.

По схемата на правия инвертор (фиг. 4.3.б) диодът $VD1$ и ключовият транзистор $VT1$ са отпушени едновременно. За ограничаване на пренапрежението върху $VT1$ при запушването му се използва веригата $W3, VD3$. Регулирането на изходното напрежение на инверторите е широчинно-импулсно.

При по-големи мощности се използват двутактни инвертори, изпълнени по принципа на мостова, полумостова и други схеми.

Качествата на импулсните преобразователи се определят от комутираният ключ (инвертор) и схемата за управление. За подобряване качествата на комутацията ключ освен високо-честотни елементи се прилагат специални мерки за форсиране отпушването и запушването му. Съществува специализирана схема за управление на импулсни стабилизатори работещи чрез ШИМ – TDA 1060. Схемата съдържа: източници на опорно напрежение; генератор на линейно-изменящо се напрежение, чиито наклон може да се променя чрез външен сигнал; диференциален усилвател; широчинно-импулсен модулатор, коефициента на запълване на който може да се ограничава чрез външен сигнал; блок обработващ сигналите; краен усилвател; блок-защити.

Като схема за управление на импулсен стабилизатор може да се използва и компенсационния стабилизатор 1PN723. За получаване на ШИМ се използва източника на опорно напрежение, диференциалният усилвател, регулиращият и защитният транзистори на 1PN723.

Съществуват и множество схеми на импулсни стабилизатори, управлението на които се осъществява с мултивибратори с променяща се честота и коефициент на запълване в зависимост от обратната връзка от изходния сигнал.

В схемите на импулсните стабилизатори се въвеждат редица защити: от претоварване по ток, от превишаване или понижаване на изходното напрежение, самоотстраняващи се защити от къси съединения и др.

Импулсните стабилизатори имат средно голям коефициент на стабилизация 150-300.

4.3. Описание на лабораторния макет

Лабораторният макет - фиг. 4.4, позволява да се изследва импулсен стабилизатор с непосредствена връзка. Транзисторът VT1 е регулиращ В дросела L3 се натрупва енергия, която поддържа тока през времето когато VT1 е запушен през диода VD5. Управлението на стабилизатора се осъществява от несиметричният мултивибратор изграден VT4 и VT5 (C6 и C7 са различни). Мултивибраторът е с променяща се честота и коефициент на запълване, което се постига чрез диференциалния усилвател VT6 и VT7, транзисторите на които служат като съпротивление в базите на VT4 и VT5.

При включване на входното напрежение VT1 се насища, понеже базата на VT3 през R17 е свързана към отрицателния полюс на захранването. Кондензаторът C5 се зарежда през L3 и когато напрежението му достигне известна стойност мултивибраторът започва да генерира. Когато VT4 е наситен, VT1 се запушава. Токът през дросела L3 се комутира през VD5. При установяване на зададеното напрежение U_d мултивибраторът генерира с определена честота и коефициент на запълване. Ако изходното напрежение се увеличи, увеличава се и базовият ток на VT7. Това предизвиква преразпределение на колекторните токове на VT6 и VT7 - токът на VT6 се намалява, а на VT7 се увеличава. Мултивибраторът си изменя режима на работа. Транзисторът VT4 остава наситен по-дълго време, а транзисторът VT5 по-малко време, т.е. увеличава се времето, през което VT1 е запушен, а това води до намаляване на изходното напрежение. Транзисторът VT8 служи за защита от претоварване и к.с. Елементите VT9, VD7 и VS1 служат за защита от превишаване на изходното напрежение на стабилизатора. Елементите VD4, R10 и C4 предизват ключовият транзистор VT1 от пренапрежение в момента на комутация.

4.4. Задание за работа

1. Да се снее външната характеристика на стабилизатора $U_d = f(I_d)$ при $U_{Bx} = \text{const}$ и се отчете коефициента на пулсации и токът на късо съединение.
2. Да се снее зависимостта на коефициента на запълване на правоъгълните импулси изработвани от VT1, във функция от товарния ток $K_3 = f(I_d)$ при $U_{Bx} = \text{const}$.
3. Да се снее зависимостта на честотата на включване на ключовият транзистор VT1 във функция от товарния ток $f = f(I_d)$ при $U_{Bx} = \text{const}$.
4. Да се изследва предавателната характеристика $U_d = f(U_{Bx})$ при $I_d = \text{const}$ и се отчете напрежението на задействане на защитата

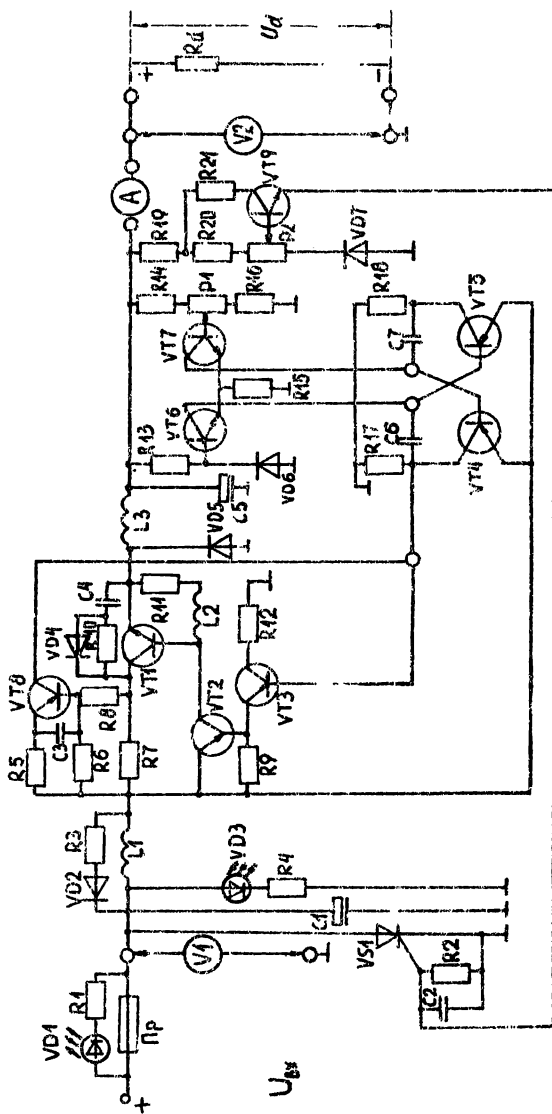


Рис. 4.4.

от превишаване на изходното напрежение.

4.5. Контролни въпроси

1. Какви видове импулсни стабилизатори познавате и пояснете принципа им на работа?
2. Какви са начините за регулиране на изходното напрежение на импулсните стабилизатори?
3. Какви са преимуществата и недостатъците на импулсните стабилизатори спрямо компенсационните?
4. Как работи защита от превишаване на изходния ток над номиналния?
5. Какви функции изпълнява индуктивността L2 от лабораторния макет (фиг. 4.4) и каква е формата на базовия ток на VT1?
6. Как се регулира изходното напрежение на схемата от фиг. 4.2?
7. Какви са функциите на VT9 и VS1 от фиг. 4.4?

ж ж ж

ЛАБОРАТОРНО УПРАЖНЕНИЕ № 5

ФИЛТРИ ЗА ИЗГЛАЖДАНЕ ПУЛСАЦИИТЕ НА ИЗПРАВЕНОТО НАПРЕЖЕНИЕ

5.1. Цел на упражнението

1. Да се запознаят студентите с различни схеми на изглаждащи филтри.
2. Да се изследваг пасивни RC и LC изглаждащи филтри.
3. Да се изследва активен изглаждащ филтър.

5.2. Кратки теоретични сведения

След токоизправителите се получава напрежение постоянно по знак но периодически променящо своята моментна стойност. Такива напрежения се наричат пулсиращи. Качествен показател на изправеното напрежение е коефициентът на пулсации (Кп), дефиниран като отношение на амплитудната стойност на първата хармонична на изправеното напрежение (U_{1m}) към средната стойност на изправеното напрежение (U_d).

$$K_n = \frac{U(1)m}{U_d}$$

Наличието на пулсации в изправеното напрежение влошава работата на голяма част от консуматорите. За намаляване коефициента на пулсации до ниво, което се изисква от условията за експлоатация на захранваните устройства, без да се изменя средната стойност на изправеното напрежение, между токоизправителя и товара се поставят изглаждащи филтри. Токоизправителите захранващи електронни устройства имат коефициент на пулсации (0,003 ÷ 0,1)%.

Оценка за качествата на изглаждащите филтри се извършва чрез следните коефициенти:

1. Коефициент на изглаждане - отношение между коефициента на пулсации на входа ($K_{n\beta x}$) към коефициента на пулсации - на изхода на филтъра ($K_{n\alpha z x}$),

$$K_u = \frac{K_{n\beta x}}{K_{n\alpha z x}} = \frac{U(1)m\beta x}{U(1)m\alpha z x} \cdot \frac{U_d\alpha z x}{U_d\beta x}$$

Обикновено коефициентът на пулсации се определя по основния хармоник, поради това и коефициентът на изглаждане се оценява по най-нисшия хармоник,

2. Коефициент на филтрация - отношение на първите хармонични на входното и изходното напрежение на филтъра.

$$K_{\varphi} = \frac{U(1)m\beta x}{U(1)m\alpha z x}$$

Коефициентът на филтрация показва колко пъти е намалена амплитудата на първата хармонична на изправеното напрежение от изглаждащия филтър.

3. Коефициент на предаване на постоянната съставна на напрежението от входа към изхода

$$\lambda = \frac{U_d\alpha z x}{U_d\beta x}$$

обикновено $\lambda \approx 1$ и характеризира загубите във филтъра

$$K_u = K_{\varphi} \cdot \lambda \quad \text{при } \lambda = 1, \text{ то } K_u = K_{\varphi}$$

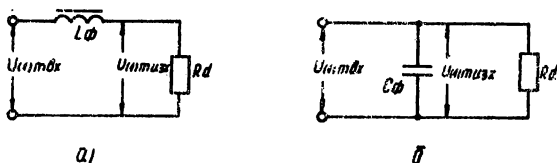
4. Коефициент на полезно действие - отношение между постоянно-гокова мощност от токоизправителя

$$\eta = \frac{P_{d\alpha z x}}{P_{d\beta x}} = \frac{U_d\alpha z x \cdot I_{d\alpha z x}}{U_d\beta x \cdot I_{d\beta x}}$$

Изглаждащите филтри в зависимост от какви елементи са изградени се разделят на два типа:

- пасивни филтри, изградени от RLC елементи
- активни филтри, изградени с помощта на полупроводникови елементи.

Пасивните филтри намират най-широко приложение и се състоят от индуктивности и капацитети (LC) или съпротивления и капацитети (RC). Тези филтри могат да бъдат еднозвенни и многозвенни. На фиг. 5.1 са показани най-простите филтри, изпълнени само от L или от C.



Фиг. 5.1

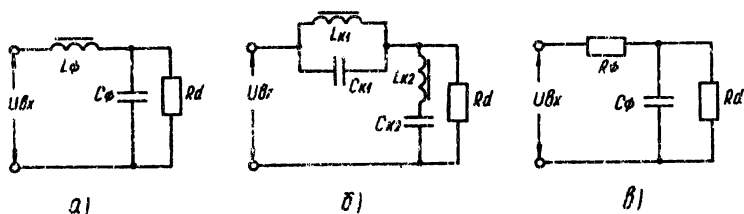
В мощните токоизправители не се използват филтри с капацитивен характер, защото те влошават формата на токовете през вентилите и намотките на трансформаторите, което води до увеличаване на загубите в тях и повишаване на установената мощност. В тези случаи се поставят филтри с индуктивен вход. Филтрите от фиг. 5.1,а се поставят, когато е необходимо да се обезпечи непрекъснат ток във веригата на товара и благоприятен режим на изправителя. Капацитивните филтри (фиг. 5.1,б) се използват при маломощни изправители, имащи голямо вътрешно съпротивление. Ако съпротивлението на товара е значително по-голямо от съпротивлението на капацитета за основния хармоник, то можем да считаме, че променливата съставна от тока на токоизправителя е равна на тока на капацитета, а постоянната съставна – тока на товара.

Параметрите на Г-образните филтри (фиг. 5.2) се подбират така, че последователно включените с източника елементи имат голямо съпротивление за променливата съставна на тока и малко съпротивление за постоянната, а паралелно включените елементи обратно.

В качеството на последователни елементи може да се използва: дросел (L_{ϕ}) (фиг. 5.2,а), резонансно звено от паралелно съединени дросел (L_{k1}) и кондензатор (C_{k1}) (фиг. 5.2,б), резистор (R_{ϕ}) (фиг. 5.2,в) при маломощни изправители.

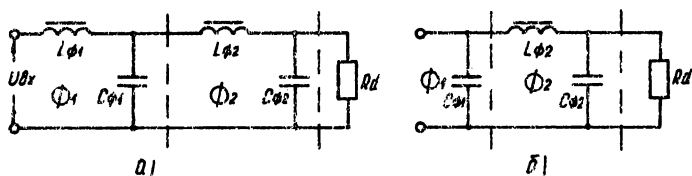
Елементите на филтъра, включени паралелно трябва да имат малко съпротивление за променливата съставна на тока и голямо съпротивление за постоянната съставна.

В качеството на паралелно включени елементи могат да се използват кондензатор (СФ) (фиг.5.2,а,в), резонансно звено от последователно съединени кондензатор (Ск₂) и дросел (Lк₂) (фиг. 5. .б).



Фиг. 5.2

Многозвенните филтри (фиг. 5.3) се реализират чрез последователно включване на няколко еднозвенни филтри, а коефициентът на филтрация се получава като произведение от коефициента на филтрация на еднозвенни филтри. П-образните филтри (фиг. 5.3,б) се отнасят към многозвенните филтри, представляващи няколко еднозвенни, включени последователно.



Фиг. 5.3

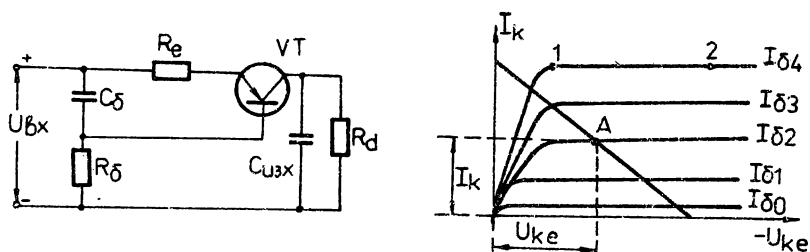
Резонансните филтри (фиг. 5.2,б) притежават висок коефициент на филтрация за определен хармоник. Резонансните филтри са по-компактни и евтини в сравнение с обичайните LC филтри. Недостатък на резонансните филтри е необходимостта от индивидуална настройка и силно снижаване коефициента на филтрация при изменение честотата на външния източник или параметрите на филтъра.

Пасивните филтри са с голяма маса и габарити в резултат на насиане на дросела от постоянната съставляща на изправения ток, индуктивността му се намалява и филтриращите му свойства се влошават. Индуктивността с въздушна междина внася радиосмущения.

Активните филтри не съдържат дросели и са лишени от посочените недостатъци.

На фиг. 5.4,а е показана схема на активен филтър, а на фиг.5.4,б

е показана изходната характеристика на транзистор.

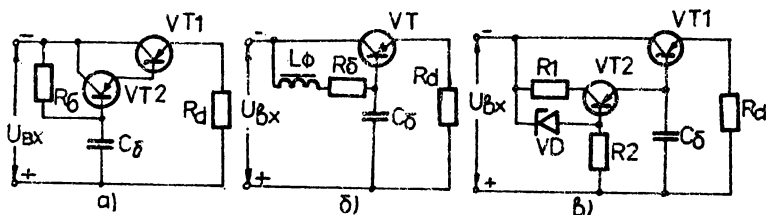


Фиг. 5.4

Транзисторът може да изпълнява ролята на дросел, защото колекторната му характеристика (фиг. 5.4.б) е подобна на подмагнитващата крива на сърдечника на дросела и има участък (1-2), където диференциалното съпротивление е много по-голямо от статичното съпротивление. От избора на работната точка А се вижда, че токът I_k слабо зависи от изменението на U_{ke} , когато $I_{\delta} = \text{const}$, следователно, пулсациите на входното напрежение слабо ще влияят на изменението на $I_k = I_{узх}$ което означава намаляване на пулсациите на изхода. Транзисторните филтри се различават по начина на свързване на товара: последователно в колекторната или емитерната верига или паралелно на транзистора. На фиг 5.4.а е показана схема с товар в колекторната верига. Схемата без елементите C_{δ} , R_{δ} и R_e би усилвала пулсациите. Резисторът R_e значително снижава пулсациите в колекторната верига и е отрицателна обратна връзка по ток. Елементите C_{δ} , R_{δ} филтрират променливото пулсиращо напрежение и на базата на транзистора VT се подава само постоянната съставна. Схемата е с фиксирано базово преднапрежение. Ако съпротивлението R_{δ} се включи между базата и колектора VT се получава автоматично преднапрежение и се получава отрицателна обратна връзка по напрежение, малка чувствителност към изменение на товара и температурата, но по-малък коефициент на изглаждане. Филтри с консуматор в колекторната верига намират приложение при малки товари.

При големи товари (R_d малко) изходното съпротивление на филтъра става съизмеримо със съпротивлението на товара и оказва влияние на режима на работа на консуматора. Наличието на R_e снижава к.п.д. на филтъра.

За намаляване на изходното съпротивление на транзисторния филтър, товарът се свързва в емитерната верига (емитерен повторител – фиг. 5.5.а). Схемата има добра температурна стабилизация и не е необходима индивидуална настройка при замяна на транзистора. Коефициентът на филтрация се повишава чрез използване на съставен транзистор (VT1 и VT2).



Фиг. 5.5

За увеличаване диференциалното съпротивление на входната верига последователно с $R_{\text{б}}$ може да се включи дросел L_{ϕ} , който има $Z_{\text{д}} \gg R_{\text{б}}$ (фиг. 5.5.б).

Подобряване коефициента на филтрация може да се получи, заменяйки $R_{\text{б}}$ с високоомен транзисторен двуполусник (фиг. 5.5.в). Веригата от стабилитрона VD и резистора R2 образуват стабилен източник на преднапрежение за транзистора VT2. През транзистора VT2 протича постоянен ток, тъй като всяко изменение на тока през транзистора VT2 води до изменение на падението върху R1, а следователно и на базата на транзистора VT2 и токът в емитерната верига се връща към първоначалната си стойност. Диодът VD е изправителен или ценов диод, включен в права посока. Ценно свойство на високоомния транзисторен двуполусник се явява това, че неговото статично съпротивление е значително по-малко от диференциалното съпротивление.

5.3. Описание на лабораторния макет

Лабораторният макет (фиг. 5.6) се състои от: токоизправител, пасивен филтър и активен филтър. С токоизправителя могат да се осъществят три схеми, съгласно таблица 5.1.

С пасивните елементи могат да се осъществят всички нерезонансни схеми, съгласно табл. 5.2 и положение 1 на ключа K4.

Активният филтър се включва при положение 2 на ключа. Състои се

Таблица 5.1

№	Положение на ключа		K1	K2	K3
	Вид на схемата				
1.	Еднофазен еднополупериоден токоизправител		1	1	1
2.	Еднофазен двуполупериоден токоизправител със средна точка		1	1	
3.	Трифазен еднополупериоден токоизправител		2	2	2

Таблица 5.2

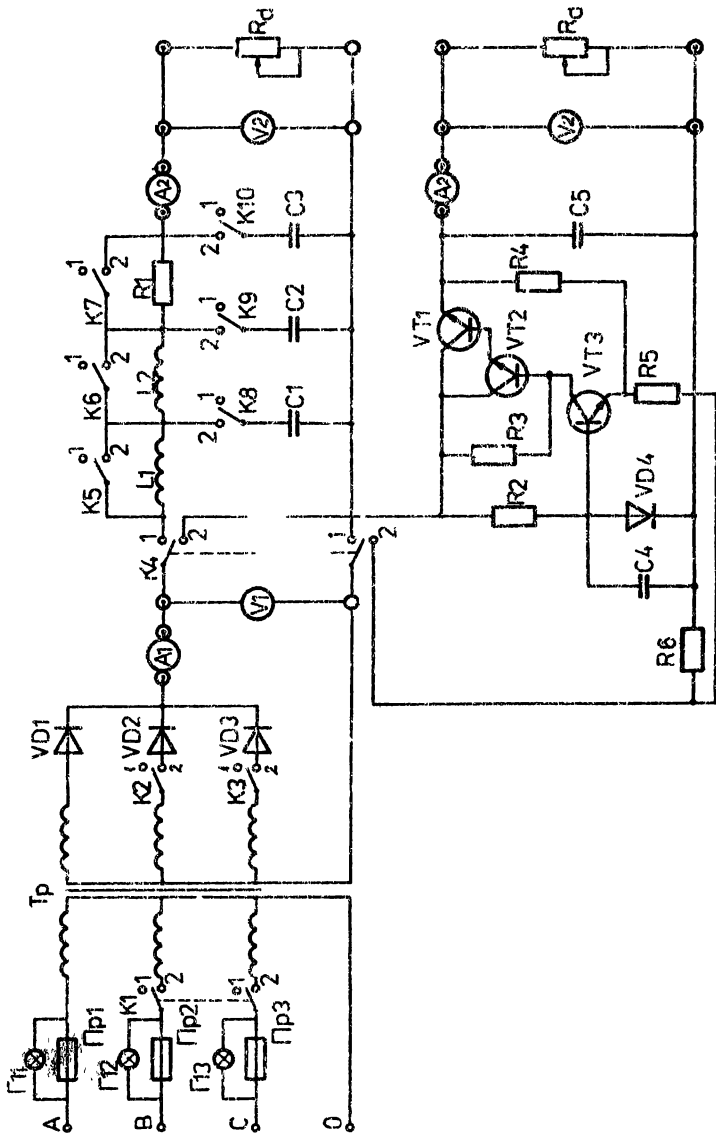
№	Положение на ключа		K5	K6	K7	K8	K9	K10
	Тип на филтрите							
1.	Индуктивен - L1		1	2	2	1	1	1
2.	Капацитивен C1		2	2	2	2	1	1
3.	Г-образен - L1, C1		1	2	2	2	1	1
4.	П-образен - C1, L2, C2		2	1	2	2	2	1
5.	Многозвенов - L1, C1, C2		1	1	2	2	2	1
6.	Активно-капацитивен - R1, C3		2	2	1	1	1	2

от съставния транзистор VT1 и VT2, резистора R3 и кондензаторите C4 и C5. Товарът е включен в емитерната верига на транзистора. Транзисторы VT3 заедно с резисторите R2, R3, R4, R5, R6 и диодът VD4 изпълняват защитна функция на филтъра от превишаване на изходния ток. При нарастване на товарния ток над допустимата стойност (определена от пада върху R6) транзисторът VT3 се отпуща и напрежението $U_{ce_{VT3}}$ намалява, а това води до намаляване на изходното напрежение, което води до ограничаване на изходния ток.

5.4. Задание за работа

1. Да се отчете коефициента на пулсации при активен товар за трите токоизправителни схеми (съгл. табл. 5.1).

2. Да се изследва коефициента на изглаждане (K_U) във функцията от товарния ток ($I_{U_{зх}}$) $K_U = \Delta I_{U_{зх}}$ за различни схеми на пасивни филтри (съгл. табл. 5.2), за трите токоизправителни схеми (съгл. табл. 5.1).



Фиг. 5.6.

3. Да се отчете коефициента на полезно действие η на C, L, LC, RC филтри при номинален товар за трите токоизправителни схеми (съгл. табл. 5.1 и 5.2).

4. Да се изследва коефициента на изглаждане (K_U) във функцията от товарния ток $K_U = f(I_{U3X})$ при активен филтър (К4-2) за трите токоизправителни схеми (съгл. табл. 5.1).

5. Да се изследва действието на токовата защита на активен филтър, като се снеме зависимостта $U_{U3X} = f(I_{U3X})$, при захранване от една от токоизправителните схеми.

6. Да се отчете коефициента на полезно действие η при активен филтър при трите токоизправителни схеми (съгл. табл. 5.1) за номинален товар.

7. Да се снимат времедиаграмите на U_{BX}, U_{U3X} за различните схеми на пасивен и активен филтър.

5.5. Контролни въпроси

1. Какво представлява коефициентът на пулсации?
2. Какво представляват коефициентът на изглаждане, коефициентът на филтрация и коефициентът на предаване?
3. Какви схеми на пасивни филтри познавате?
4. Какви са предимствата и недостатъците на отделните пасивни филтри, сравнени помежду си и сравнени с активните филтри?
5. Какви схеми на активни филтри познавате и какъв е принципът им на действие?
6. Кога се прилагат активните филтри?
7. Защо е необходима защита от претоварване по ток за активните филтри? Как се осъществява?

х х х

ЛАБОРАТОРНО УПРАЖНЕНИЕ

№ 6

ЗАВИСИМИ ИНВЕРТОРИ

6.1. Цел на упражнението

1. Запознаване с условията за преминаване на преобразувател от токоизправителен режим в инверторен режим на работа.
2. Изследване на условията за работа и статичните характеристики на зависим инвертор.

6.2. Кратки теоретични сведения

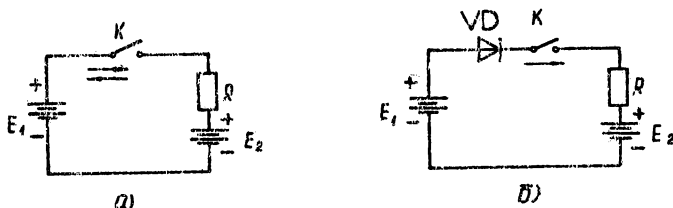
Инвертирането е процес на преобразуване на постоянния ток в променлив или с други думи това е процес обратен на токоизправянето.

Инверторите се делят на две основни групи - зависими (водени от мрежата) и независими (автономни). Инверторът е зависим, когато говорът му е променливотоковата мрежа. При това работната честота на инвертора и изходното му напрежение се определят (зависят) от параметрите на променливотоковата мрежа, т.е. това са инвертори, водени от мрежата.

Токът при автономните инвертори в тиристорите се комутира от специални комутиращи устройства, а честотата на инвертиране се определя от честотата на управляващото устройство.

За да обясним принципът на действие при зависимите инвертори, нека да разгледаме условията за предаване на енергия във верига, съдържаща два източника на постоянно напрежение (например акумулаторни батерии).

При затваряне на ключа К (фиг. 6.1.а) посоката на тока може да бъде от E_1 към E_2 или обратно, в зависимост от това кой от източниците има по-голямо напрежение.



Фиг. 6.1

Да приемем, че E_1 е токов източник, а E_2 консуматор и посоката на отдаваната енергия е от E_1 към E_2 . Ако в разглежданата верига включим диода VD (фиг. 6.1.б) ток ще тече от E_1 към E_2 и то само в случаите, когато $E_1 > E_2$. Ако по някакви причини $E_2 > E_1$ независимо, че ключът К е включен ток няма да тече, поради вентилните свойства на диода. Ако трябва да се върне енергия от E_2 в E_1 е необходимо или да се включи обратно диода, или да се смени полярността на двата токоизточника.

На практика вместо батерия E_1 използва променливотокова мрежа и токоизправител, които в нормален (изправителен) режим отдават

енергия от променливотоковата мрежа в консуматора (E_2), който обикновено е постоянен ток двигател или акумулатор. За да се премине в инверторен режим (консуматорът да отдава енергия в източника) е необходимо да се изпълнят две условия:

1. Напрежението на консуматора в дадения момент да бъде по-голямо от това на токоизточника.
2. Да се смени посоката на проводимост на вентилите или полярността на консуматора.

При изпълнение на тези условия токоизправителят работи като инвертор. Това означава, че всички управляеми токоизправители могат да бъдат зависими инвертори. Защо само управляемите токоизправители могат да бъдат зависими инвертори, ще се изясни, след като се обясни принципа на действие на зависимия инвертор.

Работата на еднофазен двуполупериоден зависим инвертор (фиг. 6.2.а) е илюстрирана чрез времедиаграмите на фиг. 6.2.б. При определени допускания (идеални вентили, $L_S = 0$ и $L_D = \infty$) се получава безинерционна комутация на вентилите и правоъгълна форма на тока през товара.

Съгласно времедиаграмите в интервала от време $\theta = 0 \div \theta_1$ е отпушен тиристорът VS_2 .

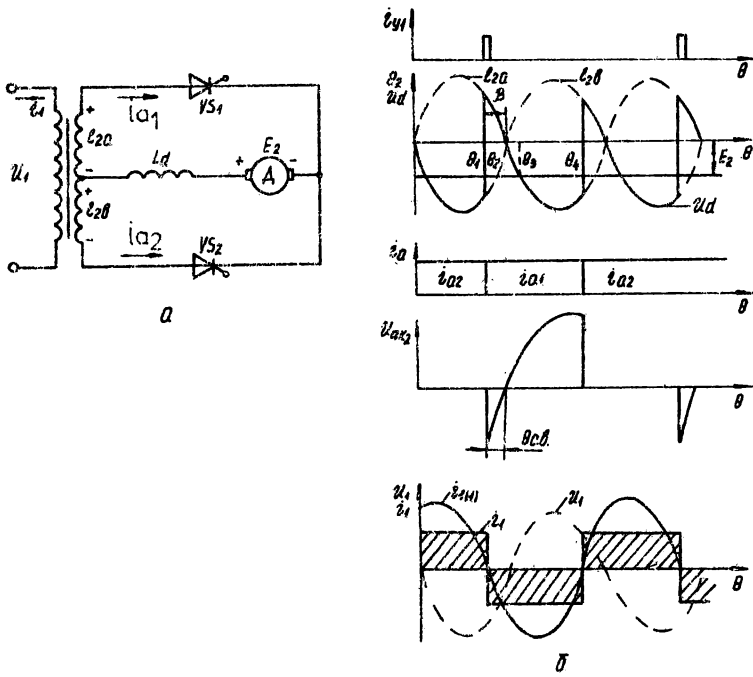
Полярността на напрежението $e_{2\beta}$ е отрицателно при $\theta = 0, e_{2\beta} < E_g$ и вентилът е включен в права посока за протичане на ток от двигателя към захранващата мрежа.

В момента $\theta = \theta_1$ се отпушва тиристорът VS_1 , защото $u_{VS_1} > 0$ и му се подава управляващ импулс (i_{y_1}), а VS_2 се запущва, защото $u_{ak_2} = -e_{2\alpha} + e_{2\beta} < 0$. Времето, през което $u_{ak_2} < 0$ ($\theta_{c.\beta} = \beta = \theta_1 + \theta_2$) е времето за възстановяване на тиристора и за да работи инверторът е необходимо $t_{c.\beta} = \frac{\theta_{c.\beta}}{\omega} \geq t_{\beta}$ където t_{β} е паспортното време

за възстановяване на тиристорите. За тиристорите, които се използват в инверторни схеми паспортното време за възстановяване t_{β} е $(5 \div 50) \cdot 10^{-6} \text{ s}$. След $\theta = \theta_2$ напрежението върху тиристора VS_2 става положително, а в това време е проводим VS_1 . Това обяснява защо при зависимите инвертори не могат да се използват неуправляеми вентили (диоди).

Кривата u_d определя изменението на мигновеното значение на противо-е.д.н. на инвертора. При отсъствие на загуби средната стойност на противо-е.д.н. на инвертора е:

$$U_{d\beta} = \frac{1}{\pi} \int_{-\beta}^{\pi-\beta} -U_2 m \sin \theta d\theta = -\frac{2}{\pi} U_2 m \cos \beta,$$

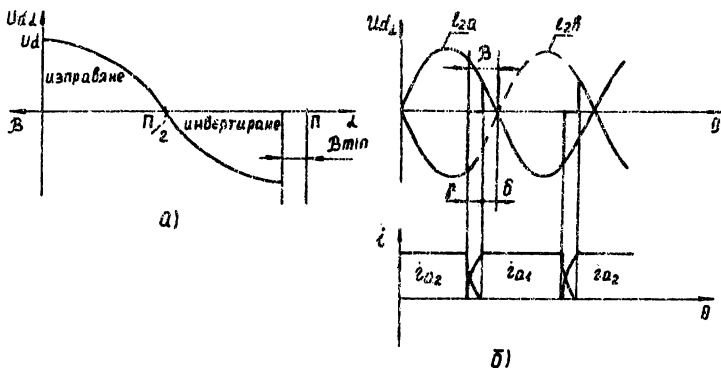


Фиг. 6.2

но средната стойност на напрежението на неуправлемия токоизправител е $U_d = \frac{2}{\pi} U_2 m$ а $\beta = \pi - \alpha$ като го сравним с ъгъла на управление на токоизправителите α Като заместим получаваме:

$$U_{d\beta} = -U_d \cdot \cos \beta = U_d \cdot \cos \alpha = U_d \alpha$$

По такъв начин получаваме обобщена регулировъчна характеристика на регулируемия токоизправител при RL товар и зависимия инвертор (фиг. 6.3,а) при изменение на $\alpha = 0 \div \frac{\pi}{2}$ преобразувателят работи като токоизправител, а при $\alpha = \frac{\pi}{2} \div 2(\pi - \beta_{min})$ преобразувателят работи като инвертор, при което колкото β е по-малко, толкова $U_{d\beta}$ ще бъде по-голямо. Минималният ъгъл β се определя от паспортното време за възстановяване на тиристорите $\beta_{min} = \omega t_f$.



Фиг. 6.3

В реалните преобразуватели $L_S \neq 0$ и комутацията на вентилите не се извършва мигновено, а за известен ъгъл δ . В интервала на ъгъл δ тиристорите VS_1 и VS_2 са отпушени и токът от единия тиристор постепенно се прехвърля на другия, при което

$$\frac{di_{a2}}{d\theta} = \frac{di_{a1}}{d\theta},$$

а

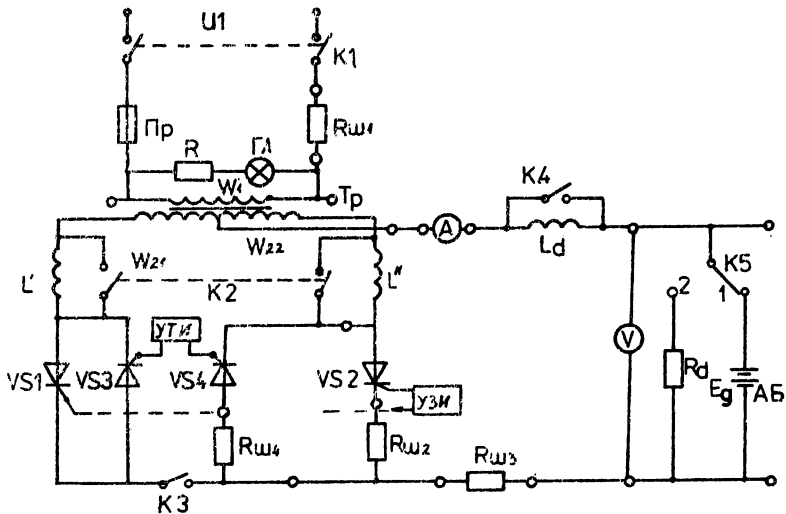
$$u_d = \frac{u_{2a} + u_{2b}}{2} = 0$$

Времето, през което са отпушени двата тиристора, намалява схемното време за възстановяване $\omega t_{c.в.} = \delta < \beta$.

От времедиagramите на фиг. 6.2.б се вижда, че първата хармони на на мрежовия ток $i_{1(\omega)}$ изостава от напрежението на мрежата u_1 на ъгъл $\varphi \approx \pi - \beta$ което означава, че инверторът едновременно с изпущането на активна мощност в мрежата, черпи от нея реактивна мощност която се генерира от променливотоковите генератори, включени в нея. Това означава, че факторът на мощност на тези инвертори е много нисък. По-добър фактор на мощност имат многозвенните зависими инвертори.

6.3. Описание на лабораторния макет

Лабораторният макет (фиг. 6.4) позволява да се изследва тиристорния преобразувател като токоизправител (работят тиристорите VS_3 и VS_4) и зависим инвертор (работят тиристорите VS_1 и VS_2). Лабораторният макет се включва към променливотоковата мрежа чрез ключа K_1 , а индикаторната лампа ($\Gamma\Lambda$) показва наличие на напрежение на първичната намотка. Последством ключа K_2 се увеличава влиянието на индуктивността на разсейване L_S на трансформатора, като се добавят индуктивностите L' и L'' . При превключване на ключа K_3 се осъществява еднополупериоден и двуполупериоден режим на работа на схемата. Характерът на товара се определя чрез ключовете K_4 и K_5 .



Фиг. 6.4

6.4. Задание за работа

1. Да се изследва еднофазен двуполупериоден токоизправител в режим на зареждане на акумулаторна батерия (АБ)

K_2, K_3 - вкл., K_4 - изкл., K_5 - пол. 1.

1.1. Да се снимат времедиаграмите на напреженията върху АБ, изхода на токоизправителя, върху тиристорите и токовете през първичната намотка i_1 , товара i_d , тиристорите $i_{Rш4}$ за две стойности на α

1.2. Да се снесе регулировъчната характеристика $I_d = f(\alpha)$

2. Да се изследва еднофазен еднополупериоден зависим инвертор

$K2$ - *вкл.*, $K3$, $K4$ - *изкл.*, $K5$ - *пол.1.*

2.1. Да се снемат времедиаграмите на напреженията u_{2a} , u_{2b} , $u_{d\beta}$, E_g , u_{ak2} , u_{Ld} и токовете i_d , i_{a2} , i_1 за две стойности на ъгъл β

2.2. Да се снесе зависимостта $u_{d\beta} = f(\beta)$

2.3. Да се отчете влиянието на L_s при изпълнение на т. 2.1.

3. Да се изследва еднофазен двуполупериоден зависим инвертор $K2, K3$ - *вкл.*, $K4$ - *изкл.*, $K5$ - *пол. 1.*

3.1. Да се изпълнят т. 2.1 и 2.2.

3.2. Да се отчете влиянието на L_d при изпълнение на т. 2.1

$K2$ - *изкл.*, $K3$ - *вкл.* $K4$ - *изкл.*

6.5. Контролни въпроси

1. Какво представляват зависимите инвертори?
2. Какви схеми на зависимите инвертори има?
3. Как се дефинира ъгъл на изпреварването β ?
4. Какво представлява ъгъл на комутацията β' ?
5. Какъв е вида на времедиаграмите на токовете и напреженията в зависимия инвертор?

х х х

ЛАБОРАТОРНО УПРАЖНЕНИЕ

№ 7

РЕВЕРСИВНИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

7.1. Цел на упражнението

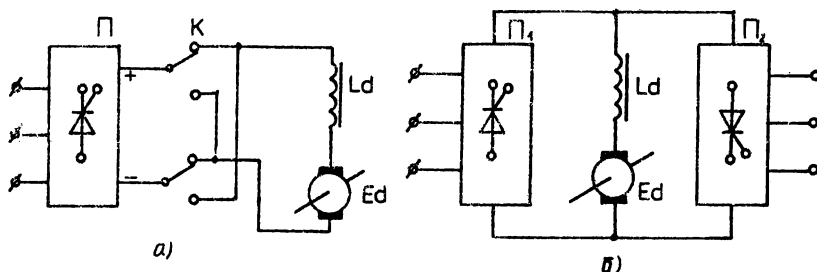
1. Запознаване с условията и принципа на работа на реверсивния преобразувател на променливо напрежение в постоянно.
2. Изследване на статичните характеристики на реверсивния преобразувател при активно-индуктивен товар и противоелектродвижещо напрежение.
3. Изследване на динамичните характеристики на реверсивния преобразувател.

7.2. Кратки теоретични сведения

Реверсивни преобразуватели са тези, при които е възможна промяна на полярността на постоянното захранващо напрежение на товара. Те се използват основно в автоматизираното постояннотоково електрозадвижване, при което е необходимо регулиране, спиране и реверсиране (промяна) на посоката на въртене на двигателя.

Процесът принудително спиране на двигателя се осъществява чрез преминаване на единия от токоизправителите в инверторен режим на работа.

Промяната на полярността на изправеното от реверсивния преобразувател напрежение върху товара може да стане при: 1/ изменение на полярността на включване на товара към токоизправителя (фиг. 7.1,а); 2/ използването на два токоизправителя, включени паралелно на товара и пропускащи ток един спрямо друг в обратни направления (фиг.7.1.б) и 3/ насрещно паралелно включване на вентила към един захранващ източник (7.2,а).

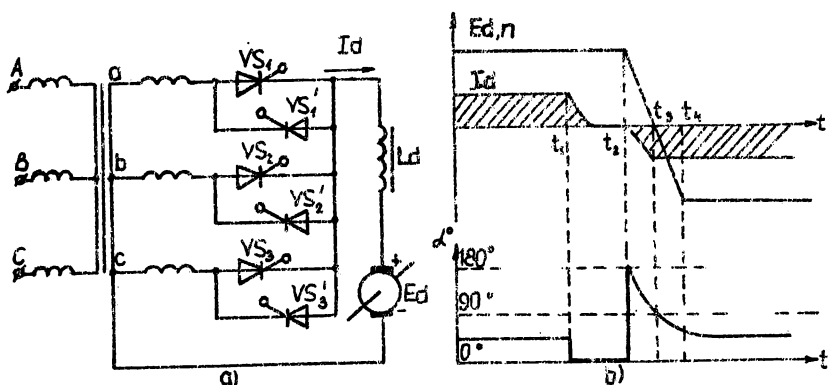


Фиг. 7.1

Преобразувателите от първия вид (фиг. 7.1,а) не намират широко приложение, поради наличието на механична, движеща се контактна система, което намалява надеждността и бързодействието на системата. Тези недостатъци отсъстват при вторите две схеми (фиг. 7.1.б и 7.2.а), което ги прави по-приложими.

В зависимост от начина на управление, реверсивните преобразуватели биват:

1. Реверсивни преобразуватели с независимо (разделно) управление при тези преобразуватели, управляващите импулси се подават само на единия токоизправител, съответстващ на посоката на въртене на двигателя.



Фиг. 7.2

2. Реверсивни преобразуватели със съгласувано управление
 при тези преобразуватели, управляващите импулси постъпват едновременно на вентилите на двата токоизправителя с определено съгласуване на ъгъла между тях, примерно $\alpha_1 + \alpha_2 = 180^\circ$

Работата на реверсивния преобразувател при независимо управление е илюстрирана на фиг. 7.2.б. При $t = 0$ са подадени управляващи импулси (при ъгъл на управление $\alpha_1 < 90^\circ$) на тиристорите VS_1, VS_2, VS_3 , те са отпущени през положителния период на захранващото трифазно напрежение и през товара протича ток I_d с указаната посока, а напрежението върху товара е с указаната полярност. Този режим на работа съответствува на интервала (фиг. 7.2.б) от $t = 0$ до $t = t_1$. При $t = t_1$ се спира подаването на управляващи импулси на $VS_1 + VS_3$, те се запущат и токът I_d спада до нула (скоростта на спадане на тока зависи от големината на индуктивността L_d). След пауза $\Delta t = t_2 - t_1$, достатъчна за нулиране на тока I_d се подават управляващи импулси на вентилите VS_1 и VS_3 при ъгъл на управление $\alpha_2 > 90^\circ$. За сметка на инерцията на двигателя, в момента $t = t_2$ напрежението върху него е все още E_d , а скоростта на въртене n , което позволява на втория токоизправител П2 да заработи като зависим инвертор и да връща енергия в захранващата променливотокова мрежа. При $t = t_3$ двигателят спира ($E = 0, n = 0$), при което е необходимо α_2 да стане равно на 90° . Продължавайки да намаляваме ъгъл $\alpha_2 < 90^\circ$, започваме да развъртаме двигателя в обратна посока.

От направеното разглеждане се вижда, че при независимо управление е необходима пауза на тока в товара при обръщане на посоката на

въртене. Ако това условие не се спази, ще се получи междуфазно късо съединение. Например, ако тиристор VS_1 е все още отпушен и се подаде управляващ импулс на тиристор VS_3 ще се получи късо съединение по кон- гурна фаза А, VS_1 , VS_3 фаза С. За да се повиши надеждността на ра- бота на преобразувателя е необходимо при работа на едната група да се забранява подаването на управляващи импулси на тиристорите от друга- та група.

Недостатък на разглеждания реверсивен преобразувател с незави- симо управление по отношение на реверсивните преобразуватели със съг- ласувано управление е наличието на "мъртво" време ($\Delta t = t_2 - t_1$) при смяна на работата на групите вентили. Това довежда до намаляване на динамичните качества на системата и влошава качествата на преходния процес.

Реверсивният преобразувател с независимо управление има и някои предимства пред преобразувателя със съгласувано управление, състоящи се в: работа без уравнителни токове, поради което отпада необходимост- та от тежки и скъпо струващи дросели; максимално използване на зах- ранващия трансформатор; хармоничните в състава на тока през двигателя са с по-малка амплитуда.

7.3. Описание на лабораторния макет

Лабораторният макет е реализиран на базата на два трифазни едно- полупериодни токоизправители (Π_1 и Π_2) с насрещно-паралелно включени вентили.

Включването на макета към хранящото напрежение се реализира чрез ключа K_1 . Посредством ключовете K_2 и K_3 се осъществява разли- чен характер на товара.

Лабораторният макет е защитен чрез стопяеми предпазители, като при прегаряне на предпазителя светва паралелно включената към него сигнална лампа.

7.4. Задание за работа

Отделно за преобразувателите Π_1 и Π_2 при активен товар:

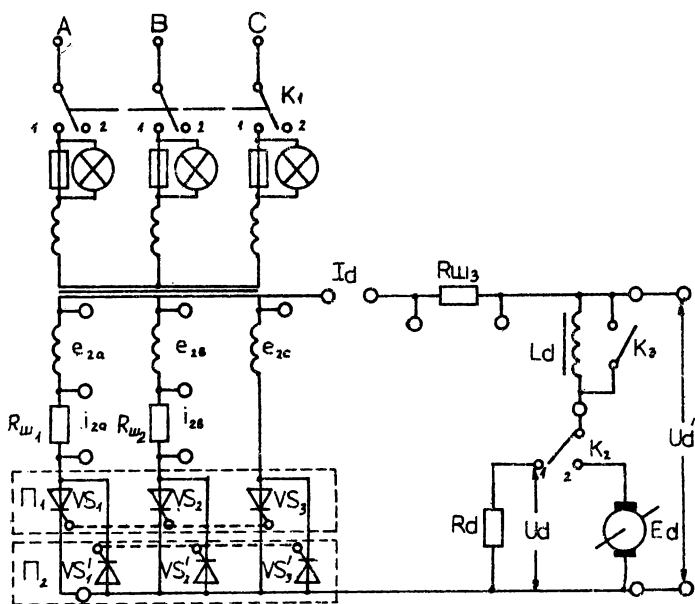
а) за две стойности на ъгъл α да се снемат времедиagramите:

$$e_{2a} \quad e_{2b}; \quad i_{2a}; \quad i_{2b}; \quad u_{a1}; \quad i_d; \quad u_d.$$

б) да се снемат и построи регулировъчната характеристика

$$u_{d12} = f(\alpha)$$

в) да се снемат и построи външната характеристика $u_{d12} = f(I_d)$ за две стойности на ъгъла α .



Фиг. 7.3

2. За реверсивен преобразувател с независимо (разделно) управление при активно-индуктивен товар:

а) да се снемат и построи регулировъчната характеристика

$$U_d = f(\alpha)$$

б) да се снемат функцията на необходимото време за прекъсване на тока при реверсиране $t_n = f(I_d)$ от товарния ток за две стойности на ъгъла α .

3. Да се изследва реверсивен преобразувател натоварен с двигател:

а) за две стойности на ъгъл α да се снемат временните диаграми на e_{2a} e_{2b} $u_{ак1}$ u'_d u_d i_d .

б) регулировъчната характеристика $U_d = f(\alpha)$

$$n = f(\alpha).$$

7.5. Контролни въпроси

1. Какво е реверсивен преобразувател?
2. Какви видове реверсивни преобразуватели познавате?
3. Какъв е вида на регулировъчната характеристика на преобразувателя?
4. Какъв е вида на времедиаграмите на токовете и напреженията в преобразувателя?
5. Какъв е вида на товарната характеристика?

* * *

ЛАБОРАТОРНО УПРАЖНЕНИЕ № 8

ТОКОИЗПРАВИТЕЛИ С УМНОЖЕНИЕ НА НАПРЕЖЕНИЕТО

8.1. Цел на упражнението

1. Запознаване с принципа на действие и схемни варианти на токоизправители с умножение на напрежението.
2. Изследване на условията на работа на елементите и характеристиките на токоизправителя с умножение на напрежението.

8.2. Кратки теоретични сведения

Токоизправители с умножение на напрежението са тези, при които изходното напрежение е няколко пъти по-голямо от амплитудната стойност на входното напрежение. Те се реализират с помощта на няколко токоизправителя с кондензаторен изход. Съобразно броя на съставните токоизправители и начина им на включване може да се получи удвояване, утрояване или 72 пъти умножаване. Както при токоизправителите с RC -товар, умножителите на напрежение имат силно падаща външна характеристика и затова намират приложение при консуматори с незначителен (няколко милиампера) ток: рентгенови тръби, електронно-лъчеви тръби и др.

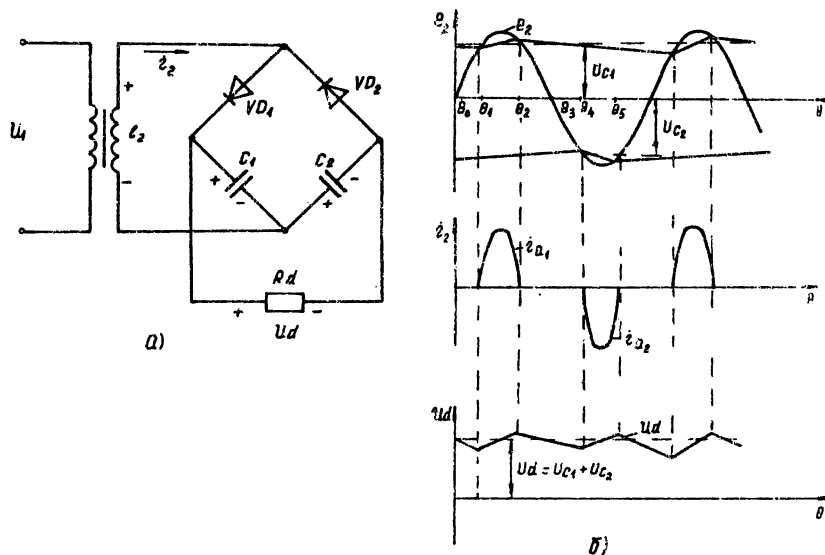
Схемите за умножение могат да се включват и без трансформаторно към захранващата променливотокова мрежа.

Умножителите на напрежение в схемно отношение се делят на симетрични и несиметрични.

Симетричният умножител на напрежение (фиг. 8.1.а) се състои от два еднопслупериодни токоизправителя (това е схема Грец два от венти-

лите на която са заменени с кондензатори).

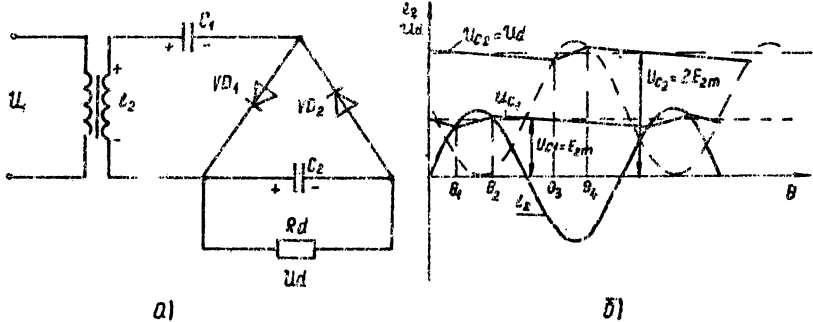
В интервала $\theta_0 \div \theta_3$ захранващото напрежение е право по отношение на VD_1 , като в момента $\theta = \theta_1$ e_2 става по-голямо от U_{C1} . В момента $\theta = \theta_1$, се отпущва диодът VD_1 и започва зареждане на C_1 до момент $\theta = \theta_2$ когато e_2 става по-малко от U_{C1} . През следващия полупериод аналогично в интервала $\theta_4 \div \theta_5$ е отпущен VD_2 и се дозарежда C_2 . При равенство на кондензаторите C_1 и C_2 напрежението при празен ход върху товара е равно на удвоената стойност на амплитудното значение на e_2 . ($U_d = 2 \cdot E_2 m$)



Фиг. 8.1

В реални условия при $R_d \neq \infty$, в момента, когато единият кондензатор се зарежда, то другият вече се разрежда през товара, при което $U_d < 2 E_2 m$. За да се получи по-малка разлика между максималната и минималната стойност на напрежението върху кондензатора (необходим избор на C и R_d така, че да удовлетворяват условията: $R_d C_1 \gg T$ $R_d C_2 \gg T$ където T е периода на захранващото напрежение.

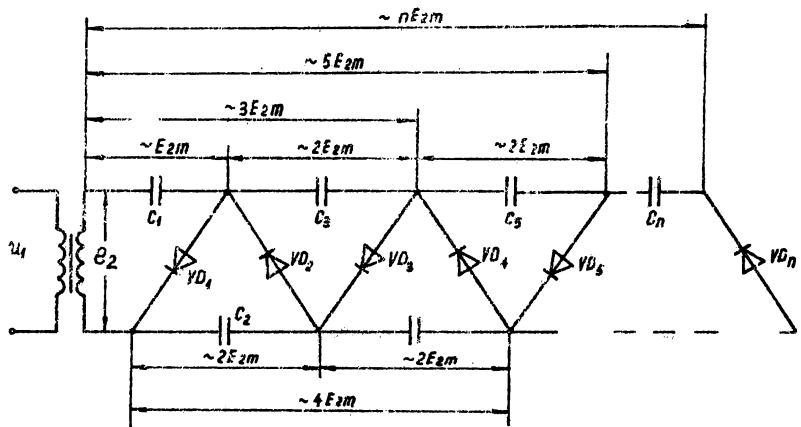
При несиметричните умножители на напрежение, двата токоизправителя, работят при различни захранващи напрежения (фиг. 8.2.а).



Фиг. 8.2

През първия полупериод $\theta_1 + \theta_2$ C_1 се зарежда по веригата e_2, C_1 , VD_1 приблизително до максималната стойност на e_2 . През следващия полупериод ($\theta_3 + \theta_4$) се създават условия за отпушване на VD_2 , при което C_2 се зарежда във веригата e_2, C_2, VD_2, C_1 , като върху кондензатора C_2 се прилага напрежението $U_{C2} = e_2 + U_{C1} \approx \theta_2 + E_{2m}$.

Често в практиката се изисква повече от два пъти умножение на захранващото напрежение. За целта се използват умножители по 3, по 4 или по n пъти (Фиг. 8.3).



Фиг. 8.3

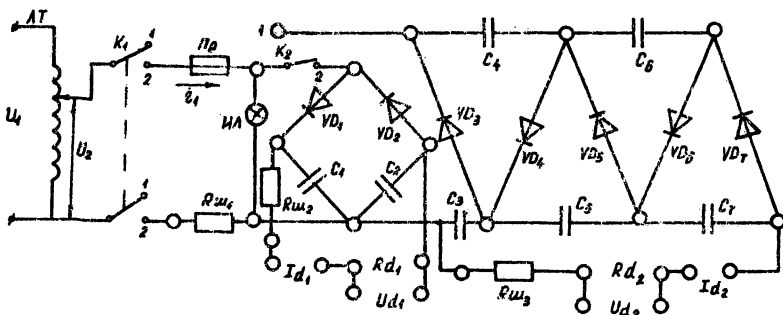
Товарът R_d може да се включи така, че да се приложи върху него желаното умножено напрежение.

Умножителите на напрежение могат да бъдат: еднофазни или многофазни; трансформаторни и безтрансформаторни.

8.3. Описание на лабораторния макет

Лабораторният макет позволява да се изследват симетрична (VD_1, VD_2, C_1 и C_2) и несиметрична ($VD_3+VD_7, C_3 + C_7$) схема.

Чрез автотрансформатора се подбират подходящи стойности на захранващото напрежение. Двете умножителни схеми се включват към захранващата мрежа, посредством ключа K_1 , а ключа K_2 определя коя от схемите ще бъде изследвана. Лабораторният макет се защитава при аварийни ситуации от стопяемия предпазител Пр. Индикаторната лампа (ИЛ) показва наличие на захранващо напрежение.



Фиг. 8.4

8.4. Задание за работа

1. Да се изследва еднофазен симетричен умножител на напрежение (K_1 - вкл., K_2 - пол. 2).

1.1. Да се снимат времедиаграмите на напреженията $U_2, U_{AK}, U_{C1}, U_{C2}, U_{d1}$ и токовете i_1, i_{d1} при $U_2 = const$; $R_d = const$.

1.2. Да се снеме външната характеристика на умножителя $U_{d1} = f(I_{d1})$ при две стойности на U_2

1.3. Да се определи коефициента на умножение $K_1 = \frac{U_{d1}}{U_2}$ и се обясни защо е такъв.

2. Да се изследва несиметрична умножителна схема (K_1 - вкл., K_2 - пол. 1).

2.1. Да се снимат времедиаграмите на напреженията $u_2, u_{a_1}, u_{a_2}, u_{a_3}, u_{c_1}, u_{c_2}, u_{c_3}$ и токовете i_1, i_{d_2} при U_2 и $R_d = const$

2.2. Да се снесе външната характеристика на умножителя $U_{d_2} = f(I_{d_2})$ при две стойности на U_2 .

2.3. Да се определи коефициента на умножение $K_2 = \frac{U_{d_2}}{U_2}$ и се обясни защо е такъв.

2.4. да се измери коефициента на пулсации на изходното напрежение $K_{\Pi} = \frac{U_{d(im)}}{U_d}$ за две стойности на R_d .

8.5. Контролни въпроси

Какво представлява умножителят на напрежение и къде се прилага?

2. Какви схемни варианти познавате?

3. Какъв е видът на външната характеристика на умножителя на напрежение и защо?

4. От какво зависи коефициентът на умножение K и коефициентът на пулсации K_{Π} на умножителя на напрежение?

5. Защо умножителите на напрежение могат да се ползват без мрежов трансформатор?

* * *

ЛАБОРАТОРНО УПРАЖНЕНИЕ

№ 9

РЕГУЛАТОРИ НА ПРОМЕНЛИВО НАПРЕЖЕНИЕ

9.1. Цел на упражнението

1. Запознаване с принципа на работа и схемните варианти на тиристорните променливотокови регулатори (ТПр,ТР) при активен и активно-индуктивен товар.

2. Изследване на регулиро̀в̀чните характеристики на Тпр,ТР при различен характер на товара.

9.2. Кратки теоретични сведения

Променливотоковите регулатори са устройства с помощта на които могат да се регулират или комутират променливотокови вериги, в които товарът обикновено е: нагревателно устройство, променливотокови двигатели, осветителни уредби, заваръчни агрегати и др.

Наредно-паралелно свързани тиристори, включени последователно с товара (фиг. 9.1.а) позволяват да се регулира ефективната стойност на захранващото променливо напрежение. Възможни са много начини на регулиране, които основно могат да се сведат до два начина:

1. Режим на широкоимпулсно регулиране (фиг. 9.1.б). Свързан е с отпущване и запущване на тиристорите по време по-голямо от периода на честота на захранващото напрежение ($T \ll T_n$).

Ако времето на включване ($t_{вкл.}$) и на изключване на товара се регулира, се получава регулиране на средната мощност в товара.

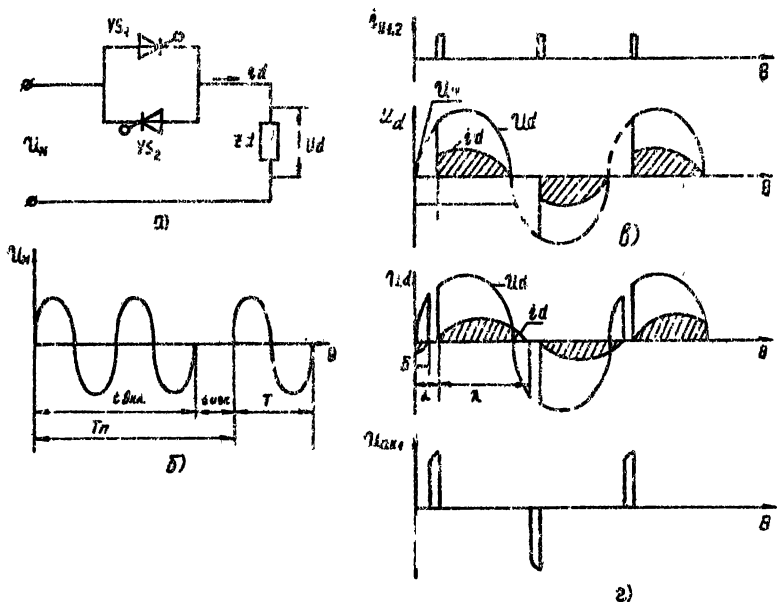
$$P = P_{max} \cdot \nu \quad \text{където}$$

$$\nu = \frac{t_{\delta_{кл.}}}{t_{\delta_{кл.}} + t_{изкл.}} = \frac{t_{\delta_{кл.}}}{T_n}$$

P_{max} - мощността на товара, когато

$t_{изкл.} = 0$.

2. Режим на фазоимпулсно регулиране (фиг. 9.1.в).



Фиг. 9.1

В този случай тиристорите се отпушват и запушват в рамките на n период на честотата на захранващото напрежение. Всеки от тиристорите се отпушва, когато $U_{ак.} > 0$ и се подаде управляващ импулс.

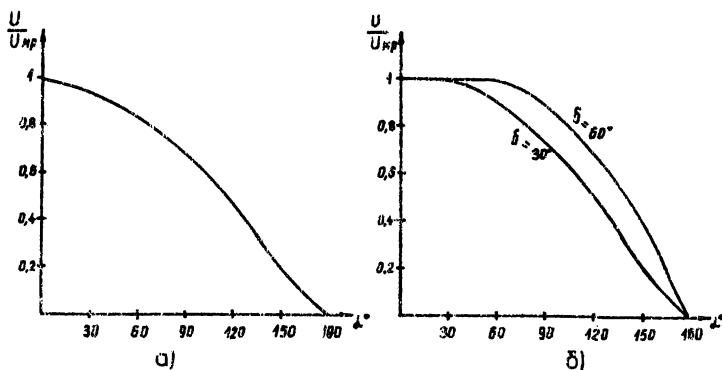
При активен товар (фиг. 9.1.в) тиристорите се запушват, когато напрежението премине през нулата ($U_{ак.} < 0$).

Ефективната стойност на напрежението върху товара може да се определи по формулата:

$$U = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} u_{mp}^2 d\theta} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (U_{mp} \cdot \sin \theta)^2 d\theta}$$

$$U = \frac{U_{mp}}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2}}$$

Зависимостта на $U = f(\alpha)$ се нарича регулировъчна характеристика (фиг. 9.2, а).



Фиг. 9.2

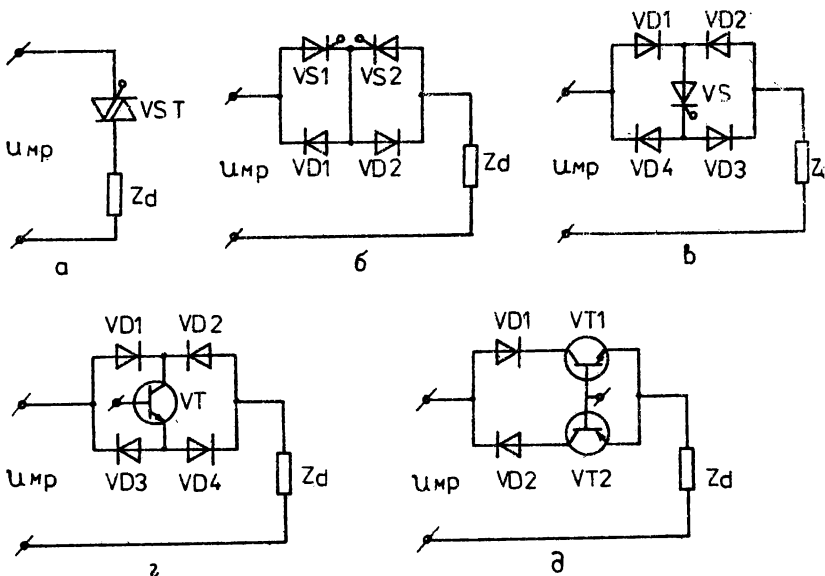
В практиката най-често товарът на ТПр.ТР има активно-индуктивен характер (фиг. 9.1.г). Наличието на индуктивност в товара не позволява токът да нараства със скок в момента на отпушване на тиристора и неговото нулиране при преминаване на захранващото напрежение през нулата, т.е. тиристорът остава отпушен още известен интервал δ , когато мрежовото напрежение и напрежението върху товара си сменя знака.

Регулирането на изходното напрежение се получава, ако токът i_d има прекъснат характер, т.е. $\alpha > \delta$. От фиг. 9.1.г се вижда, че при такъв режим на работа тиристорите работят с големи стойности на нарастване на напрежението $\frac{dU_{ak}}{dt}$ и има опасност от превишаване на каталожния параметър за избрания тиристор $\frac{dU}{dt}$. За да се намали $\frac{dU}{dt}$ върху тиристорите паралелно на тях се свързват RC вериги. Ефективната стойност на напрежението върху товара при RL товар е:

$$U = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\delta} U_{mp}^2 dt} = \frac{U_{mp}}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\pi - (\alpha - \delta) + \frac{\sin 2\alpha - \sin 2\delta}{2}}$$

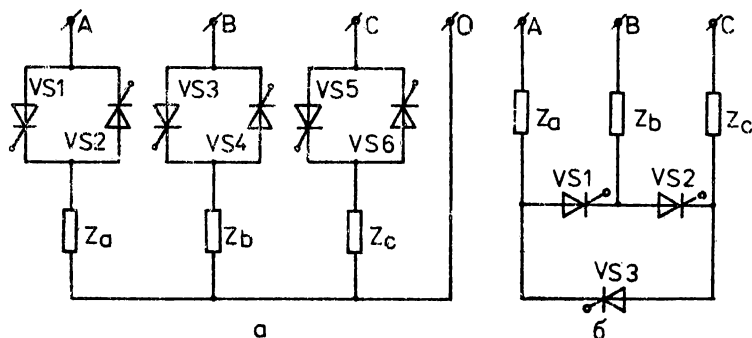
На фиг. 9.2.б са показани регулировъчните характеристики при активно-индуктивен товар за два случая: $\delta = 30^\circ$ и $\delta = 60^\circ$. За да запази работоспособността си схемата е необходимо ъгъла на управление $\alpha > \delta$. Ако управляващия импулс на следващия тиристор се подаде и завърши при ъгъл по-малък от δ , то последният няма да се отпусне и то ва ще наруши работата на регулатора.

На базата на описания принцип на работа на променливотоковите регулатори съществува голямо разнообразие на схемни варианти на еднофазни (фиг. 9.3) и многофазни регулатори (фиг. 9.4) с естествена и принудителна комутация.



Фиг. 9.3

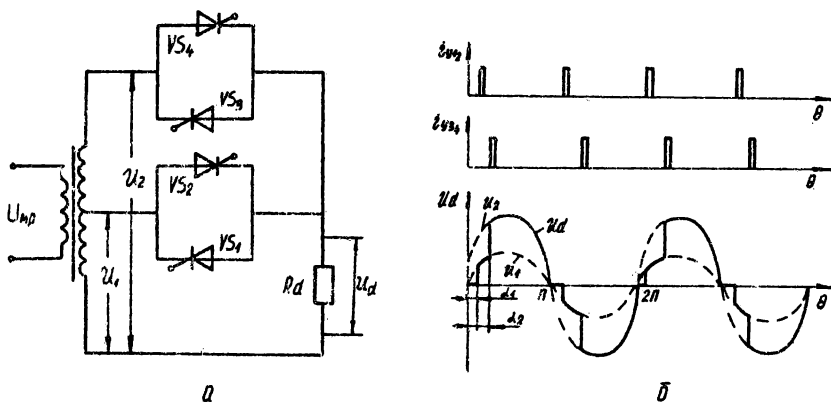
Всяка от показаните схеми изпълнени на тиристори, симистори, диодно-тиристорни и диодно-транзисторни и други имат свои особености, което ги прави най-приложими в определени случаи.



Фиг. 9.4

При многофазните регулатори са дадени само две схеми, при които товарът е включен след регулатора (фиг. 9.4.а) и между захранващата мрежа и регулатора (фиг. 9.4.б).

На фиг. 9.5 е показана една схема на променливотоков регулатор с фазово-импулсен метод на регулиране, която намира широко приложение в регулатори и стабилизатори на променливо напрежение.



Фиг. 9.5

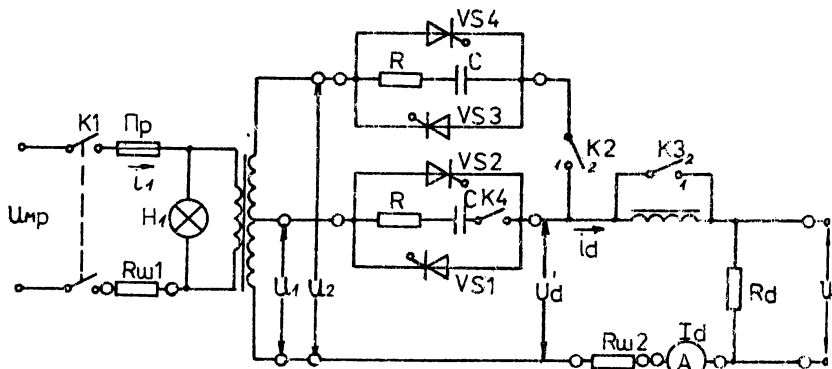
В повечето случаи ъгъл $\alpha_1 = 0$ и тогава ефективната стойност на напрежението на двустъпалната крива на U_d е:

$$U_d = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\alpha_2} (\sqrt{2} U_1)^2 \sin^2 \theta d\theta + \frac{1}{\pi} \int_{\alpha_2}^{\frac{\pi}{2}} (\sqrt{2} U_2)^2 \sin^2 \theta d\theta}$$

При стъпално и стъпално-фазово регулиране се постига по-добър хармоничен състав на захранващото напрежение.

9.3. Описание на лабораторния макет

Лабораторният макет позволява да се изследва насрещно-паралелния тиристорен едностъпален променливотоков регулатор при активен и активно-индуктивен товар и двустъпален променливотоков регулатор.



Фиг. 9.6

Нормално ключа К4 е винаги включен и се изключва само когато се отчита влиянието на RC групата върху стойността на dU/dt . Ключът К3 определя характера на товара.

9.4. Задание за работа

1. Да се изследва едностъпален променливотоков регулатор при активен товар (К2-изк., К3-вкл.).

1.1. Да се снимат времедиаграмите на напреженията U_1 , U_{ak1} , U_d и токовете i_1 , i_d при $R_d = \text{const}$

1.2. Да се вземе регулировъчната характеристика $U_d = f(\alpha_1)$

2. Да се изследва едностъпален променливотоков регулатор при активно индуктивен товар (К2-изк., К3-изк.).

2.1. Да се снимат времедиаграмите на напреженията U_1 , U_{ak2} ,

U_D, U_D и токовете i_1, i_D при $R_D = \text{const.}$

2.2. Да се снемат регулировъчната характеристика $U_D = f(\alpha_1)$

2.3. Да се измери dU_{AK1}/dt при включен и изключен ключ К4.

3. Да се изследва двустъпален променливотоков регулатор при активен товар (К2-вкл., К3-вкл.).

3.1. Да се снимат времедиаграмите на напреженията U_2, U_{AK1}, U_D и токовете i_1, i_D при $R_D = \text{const.}$

3.2. Да се снемат регулировъчната характеристика $U_D = f(\alpha_2)$ при $\alpha_1 = \text{const.}$

9.5. Контролни въпроси

1. Какъв е принципа на времедиаграмите на променливотоковия ключ при R и RL товар?

2. Какви схемни варианти на ПР, ТР познавате?

3. Какво е dU/dt и как се измерва?

4. Как работи многостъпалния ПТР?

5. Необходимо ли е схемно време за възстановяване на ТпР?

х х х

ЛАБОРАТОРНО УПРАЖНЕНИЕ

№ 10

ТИРИСТОРНИ РЕГУЛАТОРИ НА ПОСТОЯННО НАПРЕЖЕНИЕ

10.1. Цел на упражнението

1. Запознаване с принципа на принудителната комутация на тиристорите.

2. Изследване характеристиките на тиристорни постояннотокови регулатори с резонансна и капацитивна комутация.

10.2. Кратки теоретични сведения

Тиристорните регулатори на постоянно напрежение (ТРПН) регулират енергията на консуматори, захранвани от постоянно напрежение. Регулирането на постоянно напрежение се осъществява по начините на широкоимпулсна ($t_U = \text{var}, T = \text{const}$) и време-импулсна ($t_U = \text{const}, T = \text{var}$) модулация, където t_U - продължителността на изходния импулс, а T - период на повторяемост на изходните импулси.

Отсъствието на променливо захранващо напрежение води до отсъст-

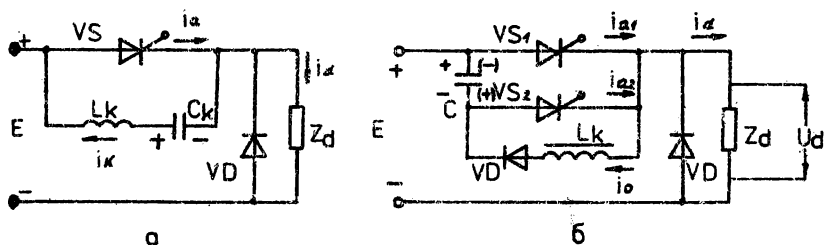
вие на отрицателно напрежение между анода и катода на тиристорите, т.е. отсъства естествена комутация (запушване) на тиристорите. Следователно, използването на тиристори в регулаторите на постоянно напрежение, поставя въпроса за принудителната им комутация (запушване). Решаването на този проблем определя голямото разнообразие на схемни варианти на ТРПН. Според начина на свързване на допълнителния (комутиращ) източник или схема за принудителна комутация ТРПН се делят на:

1. Схеми с паралелна комутация.
2. Схеми с последователна комутация.

По-широко приложение са намерили схемите с паралелна комутация, при които допълнителен източник или предварително зареден кондензатор се включват паралелно на самия силов тиристор, за да го запушат.

Според това дали се използва спомагателен тиристор за комутация или не, всички схеми на ТРПН се делят на:

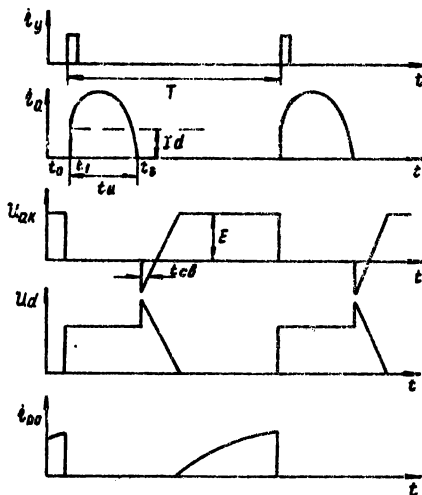
1. Схеми с едностепенна комутация.
2. Схеми с двустепенна комутация.



Фиг. 10.1

При схемите с едностепенна комутация (фиг. 10.1,а) за запушване на работния тиристор VS се използва колебателен $L_k C_k$ кръг (фиг. 10.2.а). Нека приемем, че при $t = t_0$ е включено захранващото напрежение и кондензатора C_k е зареден с означения поляритет. В момента $t = t_1$ подаваме управляващ импулс, VS се отпушва и през него протича товарният ток плюс колебателният ток на $L_k C_k$ контура, затворен от отпушения тиристор. След разреждане и презареждане на кондензатора C_k колебателният процес сменя посоката на тока i_k , който през тиристора се явява обратен на работния ток и когато i_k стане по-голям от $i_d(t = t_3)$ тиристорът VS се запушва, а кондензаторът продължава да се разрежда и презарежда през товара и захранващия източник. Времето, през което напрежението върху тиристора е по-малко от нула ($U_{a1k} < 0$) е време за възстановяване на управляващите свойства на тиристора (t_c, b),

и за да работи нормално схемата е необходимо това време да бъде по-голямо от паспортното време на самия тиристор ($t_{c.b.} > t_B$).



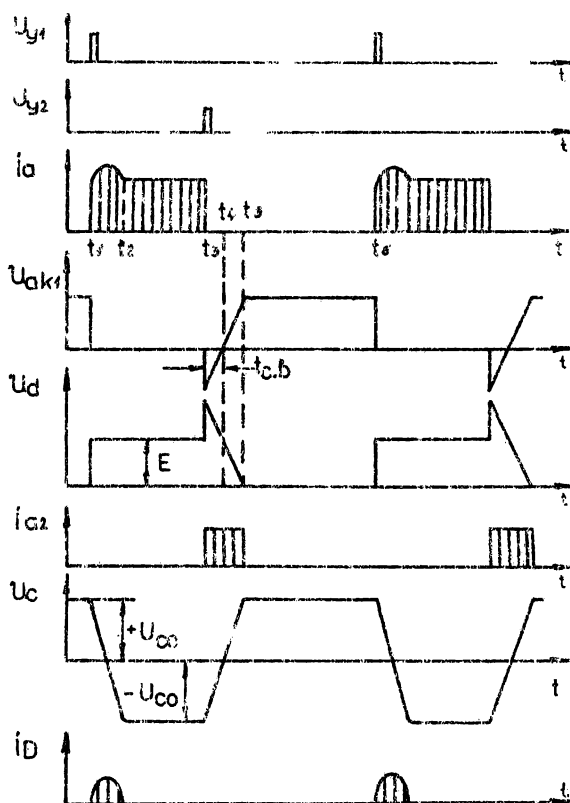
Фиг. 10.2

От показания принцип на работа се вижда, че при схемите с едностепенна комутация се използва временно-импулсния метод на регулиране.

На фиг. 10.3 са дадени времедиаграмите, илюстриращи принципа на работа на РПН с двустепенна комутация (фиг. 10.1.б).

Да предположим, че в резултат от предишната работа кондензаторът С е зареден до напрежение $+U_{CO}$. В момента $t=t_1$ се подава управляващ импулс на тиристора VS1 и той се отпушва. Протича работен ток I_d през товара Z_d и през отпушения тиристор VS1 се създават условия за разреждане и презареждане на кондензатора С във веригата +С, VS1, L, VD, -С по колебателен закон.

В момента $t=t_2$ кондензаторът С е презареден до $-U_{CO}$. По нататъшното протичане на колебателния процес се преустановява от наличието на диода VD. След момента $t=t_2$ схемата е готова да принудително запущване на VS1. След време $t=t_3$ се подава управляващ импулс ($t=t_3$) на тиристора VS2, при което обратно заредения кондензатор (поляритета в скобите) се прилага директно към тиристор VS1 и го запущва. Конденза-

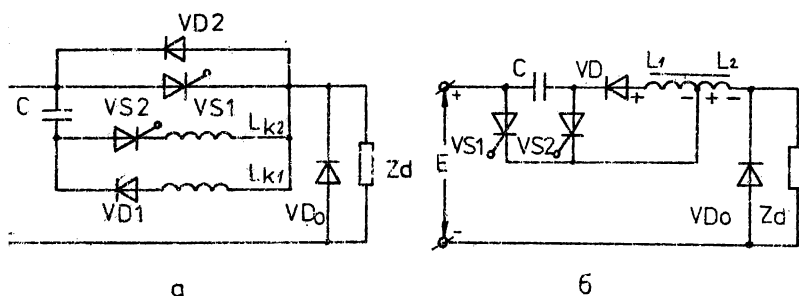


Фиг. 10.3

горът продължава да се разрежда и презарежда през товара и захранващия източник. Времето, през което разреждащия се кондензатор поддържа обратно напрежение върху $VS1$ е схемното време за възстановяване на работния тиристор ($t_{c,b}$). По-нататък процесът се повтаря. Недостатък на разглежданата схема е нарастването на напрежението върху товара

U_d над стойността на захранващото напрежение E в момента на комутацията. Този недостатък отсъства при схемите с резонансна комутация (фиг. 10.4, а). Разликата в сравнение с разглеждания случай е, че разрядът на кондензатора C след залушване на тиристора $VS1$ се осъществява през диода $VD2$ по колебателен закон, а падението на напрежението върху отлупения диод $VD2$ е залушващото напрежение на работния тиристор $VS1$.

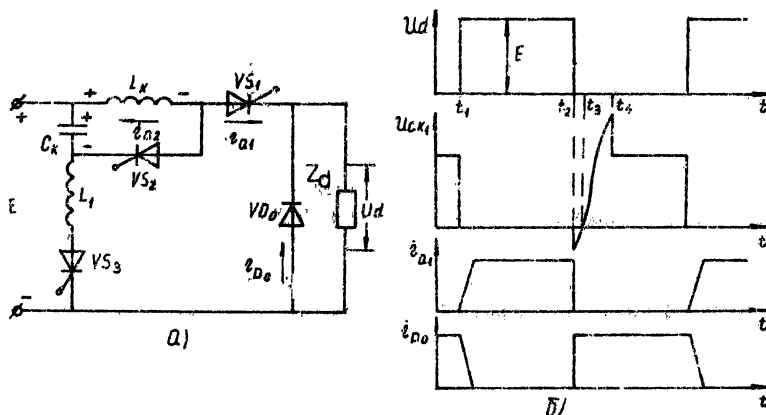
Недостатък на разглежданите две схеми е първият управляващ им-



Фиг. 10,4

пулс да се подаде на VS_2 , за да се зареди кондензатора и еднаквата запасена енергия в кондензатора при малки и по-големи товари, което води до влошени енергетични показатели (намалява к.п.д.). Тези недостатъци са отстранени при схемата на фиг. 10.4.б. Тук при нарастване на товарния ток се получава допълнително напрежение на дозарядване на кондензатора от автотрансформаторно свързаните бобини L_1 и L_2 . Това допринася за по-добра комутационна устойчивост на схемата при изменение на товара.

Подобри резултати по отношение на комутационната устойчивост на ТРПН притежават схемите с последователна комутация (фиг.10.5.а).



Фиг. 10,5

В тиристорните регулатори на постоянно напрежение с последователна комутация, комутиращото (запушващо) напрежение се прилага пос-

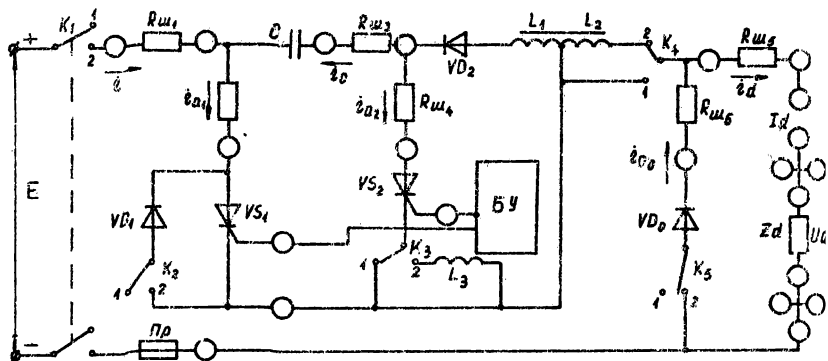
ледователно във веригата на силовия тиристор. В разглеждания случай това е напрежението на комутиращата индуктивност Θ_{L_k} , което се получава при разреждане на кондензатора C_k през отпушения тиристор VS_2 (в момента $t = t_2$ от времедиаграмите 10.5.6). Преди това кондензаторът C_k се е заредил при отпушване на тиристор VS_3 . В интервала на комутацията $t = t_2 \div t_4$ напрежението върху работния тиристор VS_1 е:

$$U_{ak1} = E - \Theta_{L_k}$$

Съществуват още много схемни варианти на ТРПН, които в една или друга степен съдържат белезите и качествата на разглежданите схеми.

10.3. Описание на лабораторния макет

Лабораторният макет (фиг. 10.6) позволява да се изследват вариантите на тиристорен регулатор на постоянно напрежение.



Фиг 10.6

Лабораторният макет е защитен със стопяем предпазител. Макетът се включва и изключва от захранващата мрежа посредством ключ K_1 . В таблица 10.1 са дадени състоянието на ключовете $K_2 \div K_4$.

Ключът K_5 дава възможност да се оцени влиянието на нулевия диод VD_0 при различен характер на товара.

Таблица 10.

№	Вид на ТРПН	K2	K3	K4
1	С капацитивна комутация (фиг. 10.1.б)	1	1	1
2	С автотрансформаторна комутация (фиг. 10.4.б)	1	1	2
3	С резонансна комутация	2	2	1/2

10.4. Задание за работа

1. Да се реализира ТРПН с капацитивна двустепенна комутация (вариант 1).

1.1. Да се снимат времедиаграмите на величините $U_{y1}, U_{y2}, I_{ak1}, I_{ak2}, U_d, U_c, I_d, I_{d1}, I_c, I, I_{VD0}$ при зададен товар.

1.2. Да се снемат регулировъчната характеристика $U_d = f(t_u)$ при $T = \text{const}$.

1.3. Да се снемат зависимостта $U_d = f(I_d)$ и $t_{c.б.} = f(I_d)$

2. Да се изпълни заданието в точки 1.1, 1.2 и 1.3 за ТРПН изпълнен по схема с автотрансформаторна връзка (вариант 2) и резонансна комутация (вариант 3).

10.5. Контролни въпроси

1. Какво е изкуствена и естествена комутация на тиристорите?

2. Какви устройства са ТРПН и каква класификация за тях знаете?

3. Какви схеми с едностепенна комутация има?

4. Какви схеми с двустепенна комутация знаете?

5. Какво е характерно за схемите с последователна комутация?

6. Какъв е видът на времедиаграмите на напреженията и токовете в отделните възли на тиристорните регулатори на постоянно напрежение?

х х х

ЛАБОРАТОРНО УПРАЖНЕНИЕ
№ 11

ЕДНОФАЗЕН ПАРАЛЕЛЕН ИНВЕРТОР НА ТОК

11.1. Цел на упражнението

1. Запознаване с принципа на работа на автономните инвертори.
2. Изследване на характеристиките на автономния еднофазен инвертор на ток.

11.2. Кратки теоретични сведения

Автономните инвертори са устройства, които преобразуват постоянното напрежение E в променливо (U_d, f), независимо от друг променливотоков източник. В зависимост от характера на електромагнитните процеси, автономните инвертори се делят:

- а) инвертори на ток-формата на изходния ток е правоъгълна;
- б) инвертори на напрежение - формата на изходното напрежение е правоъгълна;
- в) резонансни инвертори формата на изходното напрежение и изходния ток са близки до синусоида.

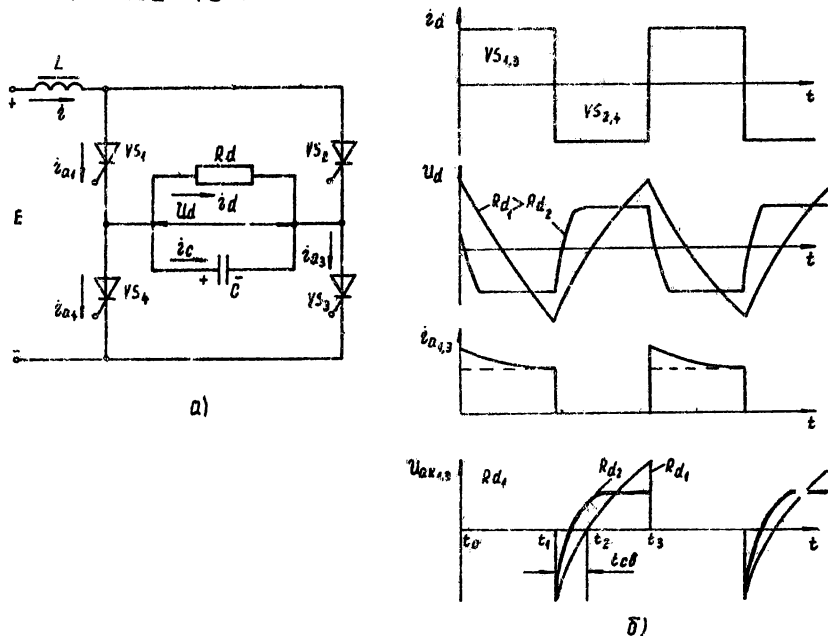
Инверторите на ток се захванват от източник на ток, който най-често се получава чрез включване на много голяма индуктивност между ذخарнаващия източник и инвертора.

На фиг. 11.1.а е показана принципната схема на мостов паралелен инвертор на ток.

Четири тиристора $VS1 + VS4$ образуват мост, в единия диагонал на който е включен товарът R_d и комутиращият кондензатор C , а в другия диагонал захарнаващия източник E през дросела L . Дроселът L има по-голяма индуктивност ($\omega L \gg R_d$), поради което токът i е идеално изгладен, а товарният ток i_d има правоъгълна форма (фиг.11.1.б).

Да приемем, че при $t = t_0$ се подават управляващи импулси на тиристорите $VS1$ и $VS3$ и те се отпушват. Протича товарният ток i_d и зарядният ток на кондензатора i_c , като $i_d + i_c = i$. Кондензаторът C се зарежда с означения поляритет до стойността на U_d , която зависи от стойността на товара R_d (фиг. 11.1.б). При $t = t_1$ се подават управляващи импулси и се отпушват тиристорите $VS2$ и $VS4$. Кондензаторът C дава на късо от тиристорите $VS1$ и $VS2$ и във втора верига от $VS3$ и $VS4$ но токът на к.с. се явява обратен за тиристорите $VS1$ и $VS3$ и ги запушва. В интервала от време $t_1 + t_2$ кондензаторът се разрежда през товара и подава обратно напрежение на тиристорите $VS1$ и $VS3$, възстановява

вайки управляващите им свойства ($i_{a_{ik}} = E - U_c$). След $t = t_2$ кондензаторът се презарежда с обратна на показаната полярност, подготвяйки се за запушване на тиристорите VS_2, VS_4 . При $t = t_3$ отново се подават управляващи импулси и отпушват тиристорите VS_1 и VS_3 и се запушват тиристорите VS_2 и VS_4 .



Фиг. 11.1

От последната времедиаграма на фиг. 11.1б се вижда, че времето за възстановяване на тиристорите $t_{c.\beta}$, което се осигурява от схемата, зависи обратно пропорционално на стойността на товарния ток.

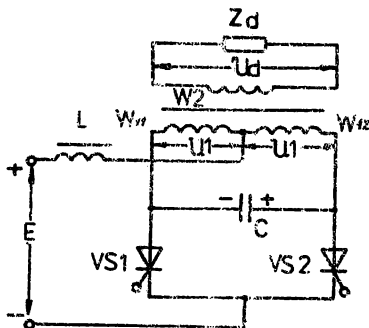
Тъй като в практиката обикновено се налага използването на съгласуващ трансформатор между стойностите на захранващия източник E и необходимата стойност на изходното напрежение U_d , по-голямо приложение е намерила схемата на автономен паралелен инвертор на ток със средна точка на изходния трансформатор (фиг.11.2)

Действието на схемата е аналогично на мостовата схема. При отпушване на тиристора VS_1 , протича работният ток през W_{11} , а C се зарежда по веригата $+E, L, W_{12}, C, VS_1, -E$ до напрежение равно на $2U_1$ ($U_c = 2U_1$) с означения поляритег. С отпушването на VS_2 кондензаторът се дава на късо от двата тиристора, протича обратен ток през VS_1 той се запушва, след което следва разряд на C през приведе-

ната към първичната намотка на трансформатора стойност на товара. По време на разряда на върху $VS1$ се прилага обратно напрежение докато кондензаторът се презареди с обратен поляритет, с което е подготвен за принудителна комутация на $VS2$, когато отново се отплуши $VS1$.

И двете разгледани схеми са неработоспособни при празен ход или късо съединение на товара, защото при празен ход напреженията върху тиристорите многократно нарастват, а при к.с. $t_{c.в.}$ става по-малко от паспортното време на избраните тиристори, (t_{β}).

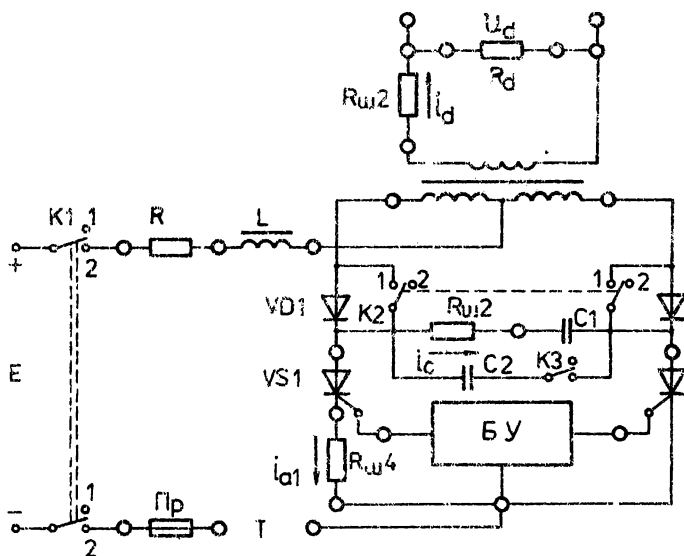
И двете схеми имат още един недостатък - паралелното свързване на кондензатора с товара, което в много случаи е нежелателно за товара. Този недостатък се отстранява при използването на отсичащи диоди (Фиг. 11,3), които не позволяват разреждането на кондензатора през товара. Това допринася до увеличаване на схемното време за възстановяване ($t_{c.в.}$), респективно до намаляване стойността на C за необходима стойност на $t_{c.в.}$



Фиг. 11.2

11.3. Описание на лабораторния макет

Лабораторният макет позволява да се изследват два варианта на еднофазен паралелен инвертор на ток: полумостова схема на паралелен инвертор на ток без отсичащи диоди ($K2$ - вкл.) и паралелен инвертор на ток с отсичащи диоди ($K2$ - изкл.).



Фиг. 11.3

11.4. Задание за работа

1. Да се реализира схема на паралелен инвертор на ток без отсичащи диоди (K2 -вкл., K3 - изкл.).

1.1. Да се снимат времедиаграмите на токовете i_d , i_{a1} , i_c , i и напреженията U_d , U_{ak} , U_c , U_l , U_{y1} при зададени стойности на R_d и C .

1.2. Да се снимат изходната $U_d = f(I_d)$, входната $I = f(I_d)$ характеристики и схемното време за възстановяване $t_{c.b} = f(I_d)$ за две стойности на C .

2. Да се повторят точките 1.1 и 1.2 за паралелен инвертор на ток с отсичащи диоди (K2 -изкл.).

11.5. Контролни въпроси

1. Какви устройства са автономните инвертори ?
2. Каква класификация на автономните инвертори познавате?
3. Какви са особеностите на паралелния инвертор на ток?
4. Какъв е видът на времедиаграмите на токовете и напреженията върху елементите на АИТ?
5. какъв е диапазонът на работоспособност на АИТ и защо?

ЛАБОРАТОРНО УПРАЖНЕНИЕ

№ 12

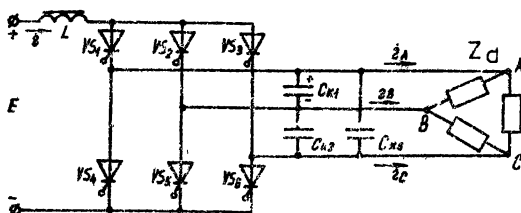
ТРИФАЗЕН АВТОНОМЕН ИНВЕРТОР НА ТОК

12.1. Цел на упражнението

1. Запознаване с метода за получаване на трифазно напрежение при автономните инвертори.
2. Изследване на характеристиките на трифазния инвертор и методите за регулиране и стабилизация на изходното напрежение.

12.2. Кратки теоретични сведения

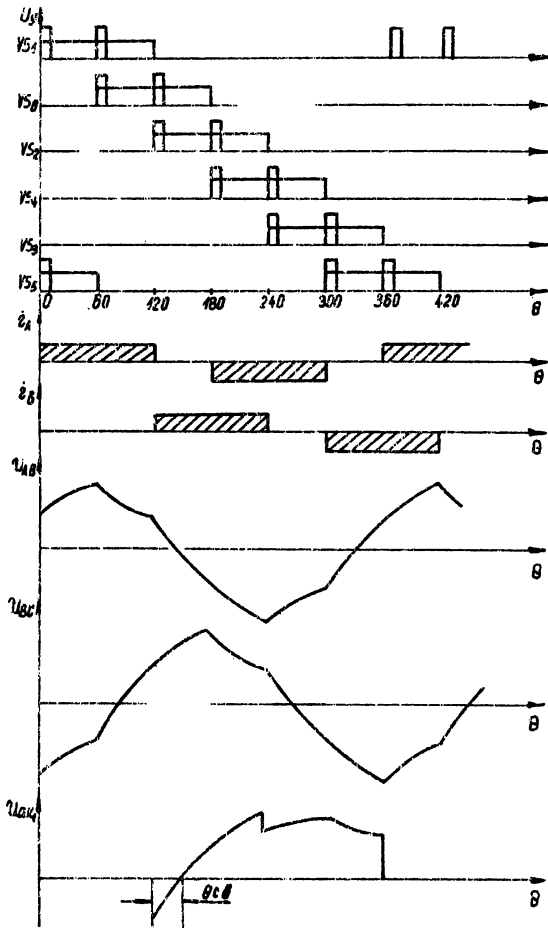
Трифазно напрежение от автономен инвертор може да се получи или чрез сумиране на напреженията на три еднофазни автономни инвертора по подходящ начин или от схема на трифазен автономен инвертор. Основната схема на трифазен автономен инвертор на ток (фиг. 12.1) представлява трифазен мост, на входа на който е включен захранващият източник E , посредством дросел L а паралелно на товара са включени комутирани кондензатори.



Фиг. 12.1

Товарът и комутиращите кондензатори могат да бъдат включени, както в звезда, така и в триъгълник. Работата на тиристорите по последователност и времетраене е същата, както при мостовата токоизправителна схема "Ларионов". Редът за подаване на управляващите импулси, преработящото състояние на тиристорите и изходното напрежение са дадени на фиг. 12.2.

Както при токоизправителна схема Ларионов всеки тиристор от едната фаза работи последователно във времето на по 60° с два тиристора от другата фаза. Това налага на всеки тиристор да се подават два тесни



Фиг. 12 2

импулса на δU^0 разстояние един от друг или един широк импулс с продължителност повече от 60^0 . Всеки тиристор работи по 120^0 , като например от $0^0 + 120^0$ е отпушен тиристор VS1, както от $0^0 + 60^0$ са отпушени VS1, VS5, а от $60^0 + 120^0$ - VS1 и VS6. По-нататък на интервал от 60^0 тиристорите са отпушени съгласно табл. 12.1.

Таблица 12.1

θ	$0^0 + 60^0$	$60^0 + 120^0$	$120^0 + 180^0$	$180^0 + 240^0$	$240^0 + 300^0$	$300^0 + 360^0$
VS	1;5	1;6	2;6	2;4	3;4	3;5

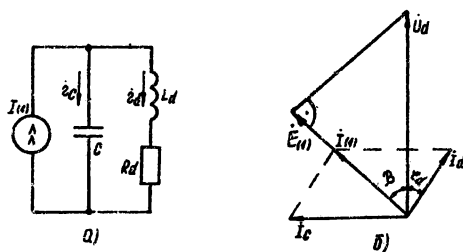
Комутацията на всеки тиристор се осъществява с помощта на кондензатора, включен между неговата фаза и фазата на отпушващия се в момента тиристор, захранван със същата полярност. Пример: при $\theta = 120^0$ се запуща тиристор VS1, вследствие на паралелното включване на тиристора VS2, кондензаторът CK се е заредил с показания поляритет през VS1, когато е бил отпушен VS5. Аналогично се извършва комутацията на другите тиристори. От времедиаграмите се вижда, че при $L = \infty$ токовете в отделните фази имат правоъгълна форма и непрекъснат характер, напрежениата се доближават до \sin и се дефазират на 120^0 . Важен параметър за всяка схема на автономен инвертор е схемното време за възстановяване $\theta_{c.b.} = \omega \cdot t_{c.b.}$. Ако за една от фазите съставим еквивалентна заместваща схема (фиг. 12.3), при предположение, че захранващият източник е със \sin напрежение, съответстващо на първата хармонична в работната честота (т.е.) еквивалентираме E със $E_{(1)}$.

От векторната диаграма (фиг. 12.3б) се вижда изпревагващия характер на инвертирания ток ($\dot{I}_{(1)}$) по отношение на изходното напрежение (\dot{U}_d) и това условие е задължително, за да се осигури необходимото време за възстановяване на тиристорите ($t_{c.b.} > t_b$). Това изпреварване се измерва с ъгъл $\beta = \theta_{c.b.}$ и от времедиаграмите може да се види каква е зависимостта на β от натоварването на инвертора или от стойността на комутиращите кондензатори. Също от векторната диаграма се вижда силно зависимата функция на изходното напрежение от $E_{(1)}$, I_d , I_c .

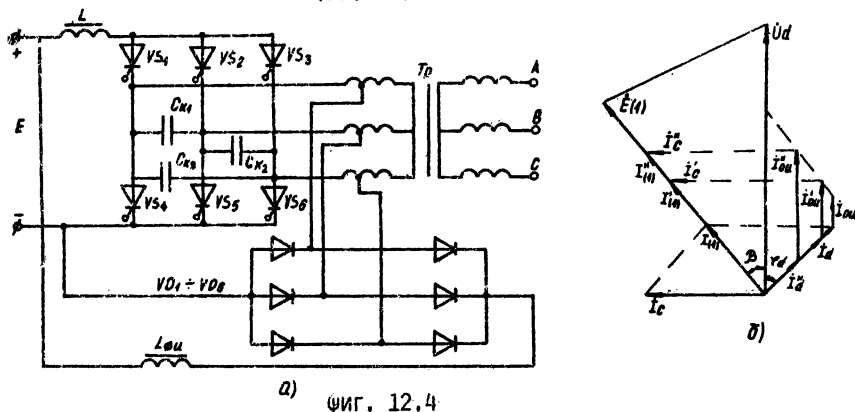
От тук може да се направи извода, че стабилизирането на изходното напрежение може да се получи, чрез:

- 1) регулиране на захранващото напрежение E
- 2) чрез поддържане на постоянна стойност на ъгъла β ($\beta = \text{const}$) при $U_d = \text{const}$.

Регулирането на правотоково захранващо напрежение не е лесен проблем и затова по-широко приложение намира втория метод за стабили-



Фиг. 12.3



Фиг. 12.4

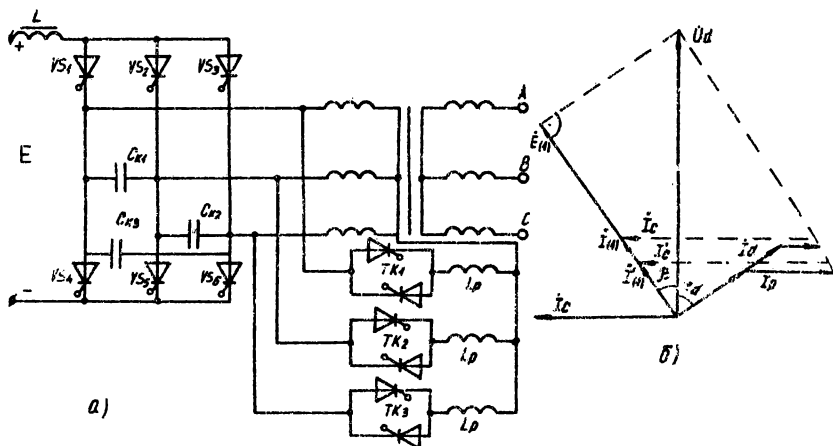
ране на U_d

Както вече бе отбелязано, съгласно фиг. 12.3,б това може да стане като се изменя активната или реактивната съставна на инвертирания ток $I_{(1)}$. На фиг. 12.4 е показана схема и метод за стабилизиране на изходното напрежение, чрез използването на обратен токоизправител (ОИ).

Векторната диаграма (фиг. 12.4,б) е построена на базата на еквивалентната заместваща схема на фиг. 12.3,а. Принципът на действие на обратния токоизправител ($VD1 \div VD6$) е следният: токът в ОИ се определя от захранващия източник E , свързан обратно на вентилите в ОИ, част от изходното напрежение ($U_{d_{OI}}$), включено право на вентилите и вътрешното съпротивление R_i на ОИ, което е много малко. При намаляване на товара, U_d се стреми да нарастне, Това води до нарастване на $U_{d_{OI}}$ и следователно до нарастване на тока I_{OI} до такава стойност, щото при изменение на $I_d \rightarrow I_d''$, $\rho_p = \text{const}$ ъгълът β остава неизменен и следователно, U_d практически не се е изменило, защото

$$E = \text{const} (U_d = E_{(1)} / \cos \beta = \text{const}) .$$

Обратният изправител при разглеждания принцип на работа връща енергия в захранващия токоизточник E . Недостатък на разглежданата схема е необходимостта на допълнителни изводи в изходния трансформатор и точно определяне на тяхното място, за да не текат излишни токове в ОИ ($U_{d0M} = E$ при $Z_d = Z_{dH}$). Поддържане на ъгъла $\beta = \text{const}$ при изменение на Z_d може да се получи и чрез изменение на реактивната съставка на $I_{(1)}$. На фиг. 12.5 е дадена схемата и принципа на стабилизация чрез индуктивно-тиристорен регулатор.



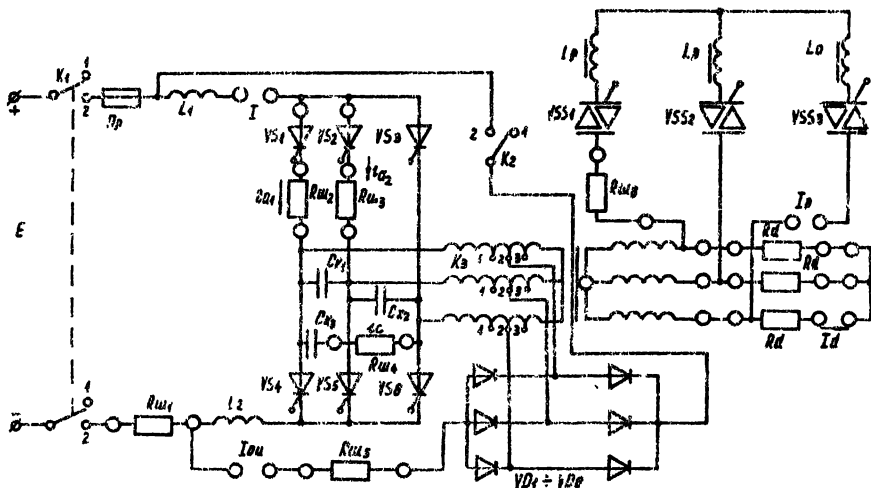
Фиг. 12.5

Тук изменението на тока през регулатора по подходящ закон води до поддържането на ъгъл $\beta = \text{const}$ при изменение на товара (I_d), (което U_d остава неизменно. Подходящият закон за изменение на I_p се осъществява с изменение на ъгъла на управление на тиристорните променливотокови регулатори $VSS1+VS3$ по отношение на съответното фазно изходно напрежение.

Показаните начини на регулиране и стабилизация на изходното напрежение на трифазния автономен инвертор на ток са приложими за всички видове АИТ. Трифазният автономен инвертор на ток може да бъде изпълнен с отсичащи диоди (както фиг. 11.3), което увеличава два пъти броя на комутиращите кондензатори.

12.3. Описание на лабораторния макет

Лабораторният макет позволява изследването на трифазен инвертор на ток с два вида регулиране на изходното напрежение.



Фиг. 12.6

12.4. Задание за работа

1. Да се реализира схемата на трифазен автономен инвертор на ток (K1-вкл., K2-изкл., VSS 1÷3 изкл.).

1.1. Да се снимат времедиаграмите на токовете i_1, i_2, i_3

$i_c, U_{a1}, U_{b1}, U_{c1}, U_{a1k1}, U_{c1k1} \rightarrow R_d = \text{const.}$

1.2. Да се изследва $\eta = \frac{3I_d U_d}{E \cdot I}$ във функция на R_d при $E = \text{const.}$

2. Да се реализира схемата на трифазен инвертор на ток с обратен токоизправител (K1-вкл., K2-вкл., VSS 1÷3 изкл.).

2.1. Да се сниме външната характеристика на инвертора $U_d = f(I_d)$ и $I_{Oи} = f(I_d)$ при различни положения на ключа K3.

2.2. Да се изчисли коефициента на стабилизация на Oи $K_{CT} = \frac{\Delta U_d}{\Delta U_{dOи}}$ при $I_d = \text{const}$ и различни положения на ключа K3 ($\Delta U_{dOи}$ е изменението на изходното напрежение при наличието на включен Oи).

3. Да се реализира схемата на трифазен инвертор на ток с променливотоков регулатор (K1-вкл., K2-изкл., VSS 1÷3 -включени).

3.1. Да се снемат външната характеристика на инвертора $U_d = f(I_d)$ и $I_p = f(I_d)$ при $E = \text{const.}$

3.2. Да се изследва коефициента на стабилизация на индуктивния регулатор $K_{\text{ст}} = \frac{\Delta U_d}{\Delta U_{\text{др}}}$ при различни стойности на ъгъла на отпусване на симисторите $VSS1 \div VSS3$.

12.5. Контролни въпроси

1. Какви схемни варианти на трифазни автономни инвертори познавате?

2. Какви начини за регулиране и стабилизация на изходното напрежение на АИТ знаете?

3. Какъв е видът на времедиаграмите на напрежението и тока в отделните части на инвертора?

4. Как векторните диаграми обясняват принципа на действие на различните начини за стабилизация на U_d ?

* * *

ЛАБОРАТОРНО УПРАЖНЕНИЕ

№ 13

ПОСЛЕДОВАТЕЛНО-ПАРАЛЕЛЕН РЕЗОНАНСЕН ИНВЕРТОР

13.1. Цел на упражнението

1. Запознаване с работата на резонансните инвертори.

2. Изследване на характеристиките и стабилизация на изходното напрежение на резонансния инвертор.

13.2. Кратки теоретични сведения

Резонансните инвертори са тези, при които токът в основните тиристорите през по-голяма част от полупериода има синусоидален характер. Това се получава, когато товарът е включен в резонансен кръг.

Синусоидалното изменение на тока в тиристорите неколкостранно намалява комутационните загуби в тях, което позволява използването на резонансните инвертори при по-високи работни честоти в сравнение с другите инвертори ($f > 1000$).

Комутиращият кондензатор може да бъде включен последователно, паралелно или последователно-паралелно на товара, което определя и

типа на резонансия инвертор последователен, паралелен или последователно-паралелен.

Последователните резонансни инвертори се делят на еднотактни и двутактни, в зависимост от броя на полупериодите, през които консумира енергия от захранващия токоизточник, а в зависимост от типа на схемата-моста (фиг. 13.1,а) и полумостова (фиг. 13.1,б).

Най-широко приложение намират двутактните резонансни инвертори, при които в рамките на един период на изходното напрежение (ток) се консумира два пъти ток (i) от захранващия токоизточник E .

Принципната схема на фиг. 13.1,а представлява мост, в раменете на който са включени тиристорите $VS1 \div VS4$; в единия диагонал е включен захранващия токоизточник E , а в другия диагонал - товарът R_d и комутиращите реактивни елементи C_k и L_k ($L_k = L_{k1} + L_{k2}$).

При отпушване на тиристорите $VS1$ и $VS3$, веригата L_k C_k R_d се включва към захранващия токоизточник E , при което протича ток i_d с показаната посока (фиг. 13.1,а). При изпълнено условие за резонанс в посочената верига ($R_d < 2\sqrt{\frac{L_k}{C_k}}$), формата на тока през товара, респективно през тиристорите (i_a) и консумирания ток (i) е синусоидална. Токът $i_d = i_k$ се нулира, когато кондензаторът C_k се зареди до \max стойност ($t = t_2$). Тиристорите $VS1$ и $VS3$ се запушват, поради отсъствие на ток ($i_a < I_{ygr}$) през тях. В интервала от време ($\Delta t = t_2 \div t_3$), когато и двата тиристора са запушени, напрежението върху тиристорите 1 и 3 имат теоретически постоянна стойност и е равно на

$$U_{ak1,3} = \frac{1}{2}(E - U_{ck})$$

където $U_{ck} = E + U_x$, а $U_x = \frac{E e^{-\frac{x}{2Q}}}{1 - e^{-\frac{x}{2Q}}}$

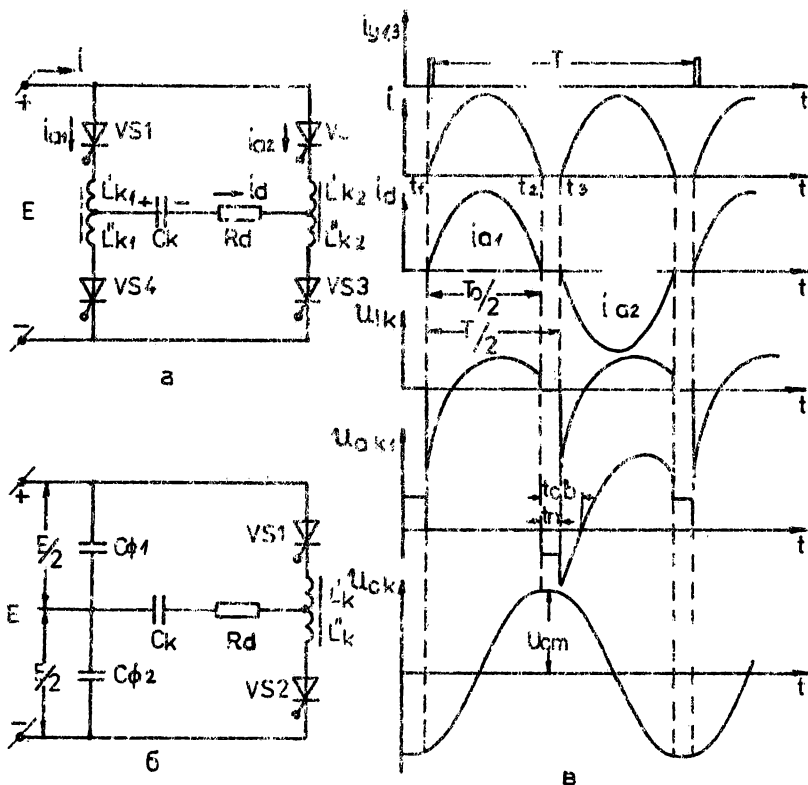
при $Q = \frac{\omega L_k}{R_d}$ качествено фактор на колебателния кръг.

При $t = t_3$ се подават управляващи импулси на тиристорите $VS2$, $VS4$ и те се отпушват. Тогава напрежението на запушените тиристори е:

$$U_{ak1} = E - 2e_{Lk} = E - 2L_{k1} \frac{di_d}{dt}$$

Времето, през което U_{ak} е отрицателно е времето за възстановяване на управляващите свойства на тиристорите. Това време се състои от две съставни време на паузата (t_n) и схемно време за възстановяване ($t_{с.в.}$). Времето на паузата (t_n) зависи от ω_o/ω където ω_o - собствена честота на инвертора:

$$\omega_o = \sqrt{\frac{1}{L_k C_k} - \frac{R_T}{4L_k^2}} = \frac{1}{T_o}$$



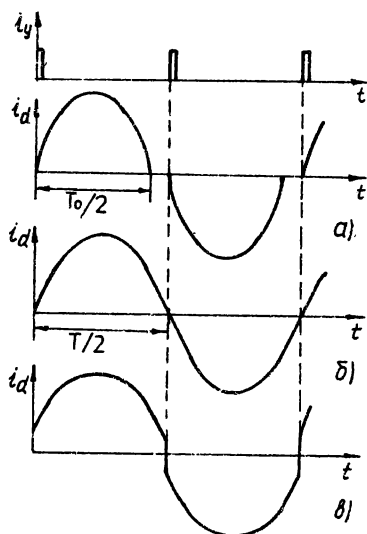
Фиг. 13.1

В зависимост от отношението, ω_0/ω различаваме три режима на работа:

а) прекъснат режим $\omega_0 > \omega$ (фиг. 13.2.а). Отпушването на следващия тиристор става след известно време от запушването на предходния работещ тиристор;

б) граничен режим на работа $\omega_0 = \omega$ (фиг.13.2.б) Токът на работещия тиристор спада до нула в момента, когато се отпушва следващия тиристор;

в) режим на принудителна комутация $\omega_0 < \omega$ (фиг. 13.2.в): токът в работещия тиристор не е спаднал до нула в момента на отпушване



Фиг. 13.2

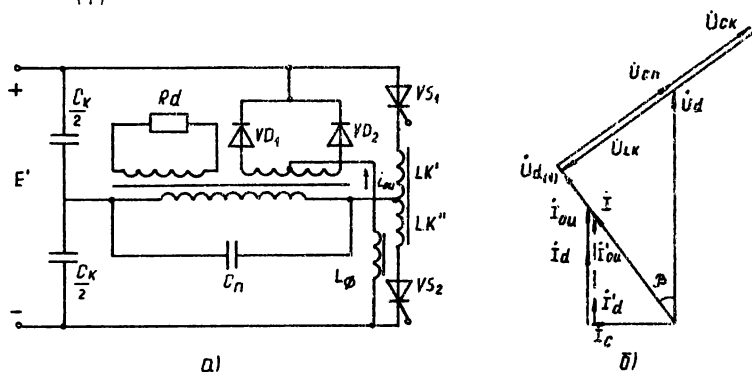
на следващия тиристор.

Най-близка форма до синусоидалната има изходния ток, при граничен режим на работа, но по-често се работи в прекъснат режим на работа, поради облекчен режим на комутация.

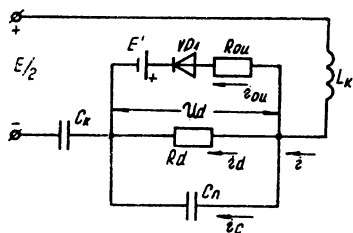
От принципната схема на последователния инвертор се вижда, че при $R_d = \infty$ (празен ход) инверторът е неработоспособен. Същият резултат се получава и при големи стойности на R_d когато $\frac{di_a}{dt}$ се получава малко и се нарушава комутационната стабилност на схемата, изразена в едновременно отпушване на два тиристора, свързани паралелно на захранващия токоизточник ($VS1, VS4$ или $VS2, VS3$). Точно по обратния начин реагира паралелния инвертор — устойчиво работи при празен ход и нестабилно при претоварване. За да се разшири диапазонът се използва последователно-паралелен инвертор (Фиг. 13.3.а), при това паралелния кондензатор (C_n) подобрява формата на изходното напрежение.

Както при паралелния инвертор на ток (Лабораторно упражнение № 12), тук също се използва обратен токоизправител за стабилизация на изходното напрежение ($VD1, VD2, L, \Phi$). Векторната диаграма (Фиг. 13.3.б) пояснява принципа на стабилизация на обратния токоизправител.

тел. Векторната диаграма е начертана на базата на еквивалентна заместваща схема (фиг. 13.4), отнасяща се за единия полупериод на действие на инвертора, приемайки захранващия източник със синусоидална форма ($U_{d(1)}$) и идеални елементи.



Фиг. 13.3



Фиг. 13.4

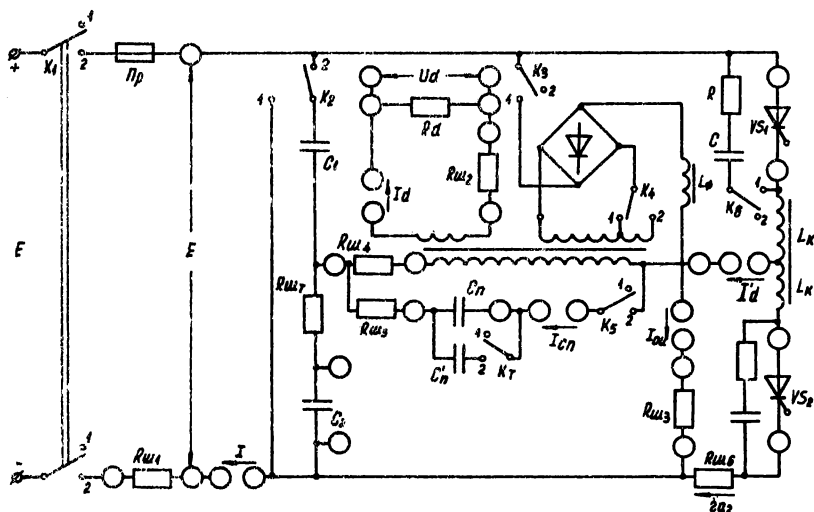
Когато изходното напрежение U_d е по-малко от E' (приведената стойност на захранващото напрежение към първичната намотка на трансформатора) вентилът VD_1 е запушен и ток в обратния токоизправител отсъства. При нарастване на R_d , нараства U_d и VD_1 се отпуща, при което протича ток i_{ou} , пропорционален на разликата между U_d и E' . Ако обратният токоизправител е идеален ($R_{0И} = 0$) стойността на изходното напрежение няма да надвишава стойността на E' . В действителност $R_{0И} \neq 0$ и изходната характеристика има леко падащ характер.

13.3. Описание на лабораторния макет

Лабораторният макет позволява да се изследва резонансен инвертор от последователен и паралелно-последователен тип на еднотактен и двутактен режим на работа.

За ограничение на dU/dt върху тиристорите и намаляване на пренапреженията по време на комутация, паралелно на тиристорите са включени RC групи. Тяхното влияние се отчита чрез ключа КБ.

Получаването на различни схеми на резонансен инвертор се извърш-



Фиг. 13.5

ва чрез ключовете K2 ÷ K5, съгласно таблица 13.1.

Таблица 13.1

№	Положение на ключа					
	K2	K3	K4	K5	K6	
1	Еднотакт, послед. инвертор					
2	Двутаkten последов. инвертор					
3	Последователен-паралелен инвертор					
4	Последователно-паралелен инвертор с обр. изправител					

Макетът е защитен със стопяем предпазител и се включва към постояннотоковата мрежа, чрез превключвателя K1.

13.4. Задание за работа

1. Да се реализира еднотактен последователен резонансен инвертор (съгл. табл. 13.1).

1.1. Да се снимат времедиаграмите на напреженията $U_{ak1}, U_D, U_{c2}, U_{Lk}$ и токовете i_2, i_d, i_d', i_{a1} при зададен режим на работа

1.2. Да се отчете влиянието на паралелно включените към тиристорите RC групи във функция на товара $dU/dt = f(I_D)$ при прекъснат режим на работа $\omega_0/\omega = (1,1 \div 1,3)$.

2. Да се реализира двутактен последователен инвертор (съгл. табл. 13.1).

2.1. Да се снимат времедиаграмите на напреженията $U_{ak1}, U_{ak2}, U_D, U_{c2}, U_{Lk}$ и токовете i, i_d, i_{a2}, i_{c2} за прекъснат $\omega_0/\omega = 1,2$ и граничен режим на работа $\omega_0/\omega = 1$.

2.2. Да се снесе външната характеристика $U_D = f(I_D)$ и времето за възстановяване $t_{c.b} = f(I_D)$ за прекъснат режим на работа.

3. Да се реализира схемата на последователно-паралелен инвертор.

3.1. Да се снимат времедиаграмите на напреженията $U_{ak1}, U_D, U_{c2}, U_{Lk}$ токовете $i_d, i_{c1}, i_{c2}, i_{a2}, i$ за прекъснат режим на работа.

3.2. Да се снесе външната характеристика $U_D = f(I_D)$ за прекъснат режимна работа и двете стойности на Sp.

3.3. Да се снесе външната характеристика $U_D = f(I_D)$ на последователно-паралелен инвертор при включен обратен токоизправител.

3.4. Да се снесе зависимостта $t_{c.b} = f(I_D)$ при включен обратен токоизправител.

13.5. Контролни въпроси

1. Кои инвертори са резонансни и какви видове познавате?
2. Какъв е видът на времедиаграмите на напреженията върху елементите на инвертора и токовете през тях?
3. Какви са режимите на работа на резонансните инвертори?
4. Какви са преимуществата на последователно-паралелния инвертор в сравнение с последователния и паралелния инвертор?
5. Какъв е видът на векторната диаграма, обясняваща действието на обратния токоизправител?

ЛАБОРАТОРНО УПРАЖНЕНИЕ

№ 14

РЕЗОНАНСНИ ИНВЕРТОРИ С ОБРАТНИ ДИОДИ

14.1. Цел на упражнението

1. Запознаване с особеностите на работа на резонансните инвертори с обратни диоди.
2. Изследване на характеристиките на резонансни инвертори с обратни диоди.

14.2. Кратки теоретични сведения

От предните две упражнения се вижда, че напрежението върху тиристорите в автономните инвертори силно зависи от натоварването и е по-голямо от захранващото напрежение. Друга обща характеристика е силно "падащия" характер на външната характеристика, ако не се вземат специални мерки. Тези два недостатъка се дължат на натрупаната излишна енергия в реактивните елементи.

Използването на обратни диоди е един от пътищата за връщане на излишната реактивна енергия в захранващия източник, с което се постига намаляване на напрежението върху елементите на инвертора и получаването на "твърда" изходна характеристика. Резонансните инвертори с обратни диоди (РИОД) могат да бъдат последователни, паралелни или последователно-паралелни.

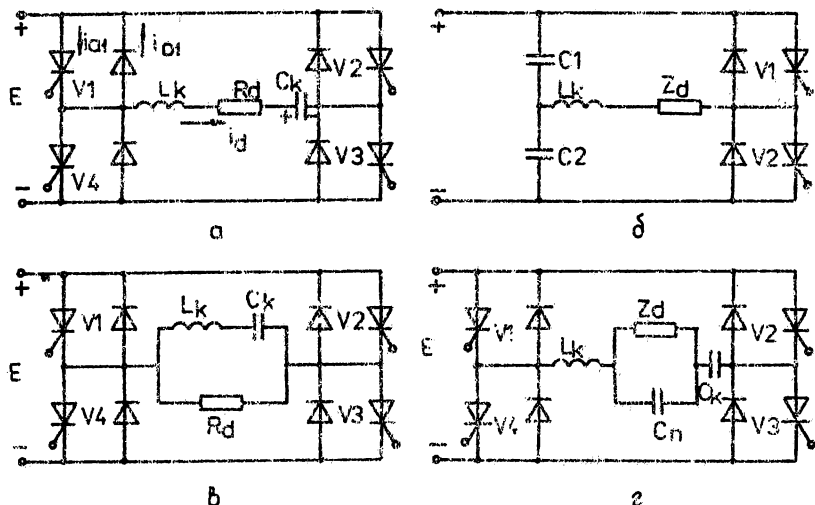
Всички видове РИОД, могат да бъдат с отворен вход (захранвани от източник на напрежение) и със затворен вход (захранвани от източник на ток).

А. Резонансни инвертори с отворен вход и обратни диоди

На фиг. 14.1 са показани принципни схеми на последователни резонансни инвертори с обратни диоди и отворен вход, както следва:

- а) Фиг. 14.1.а последователна мостова схема на резонансен инвертор с обратни диоди.
- б) Фиг. 14.1.б- последователна полумостова схема на резонансен инвертор с обратни диоди и разделен комутиращ кондензатор.
- в) Фиг. 14.1.в - паралелен резонансен инвертор с обратни диоди.
- г) Фиг. 14.1.г последователно-паралелен резонансен инвертор с обратни диоди.

В зависимост от съотношението на собствената честота на резонансния кръг ω_0 и работната честота на инвертора ω (честота на управляващите импулси) съществуват два режима на работа: режим на прекъснат ток $\omega_0 > 2\omega$ (фиг. 14.2,а) и режим на непрекъснат ток $\omega < \omega_0 \leq 2\omega$ (фиг. 14.2,б).

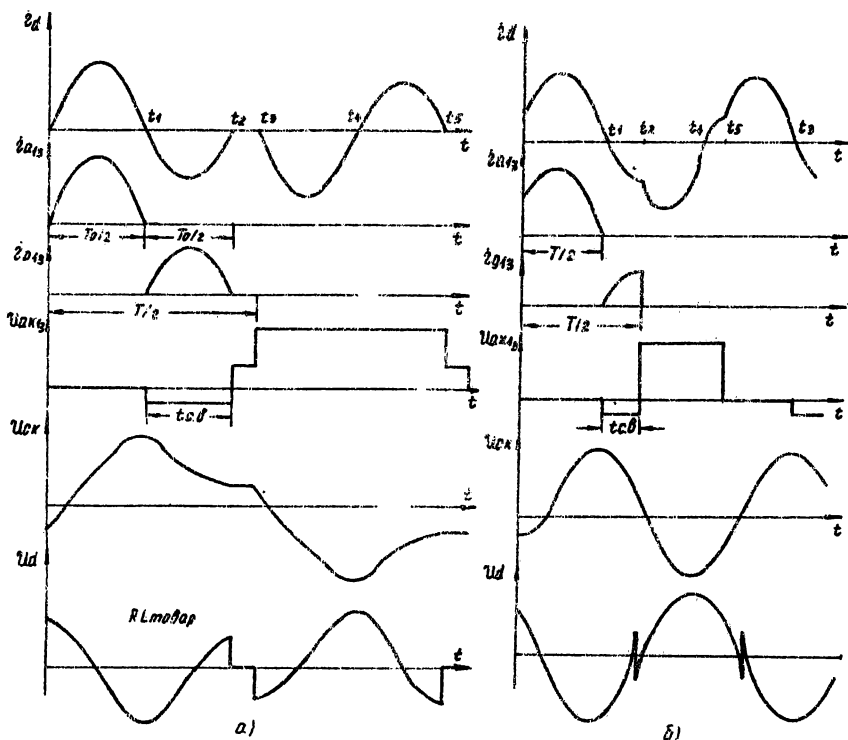


Фиг. 14.1

Показаните на фиг. 14.2 времедиаграми се отнасят за последователната мостова схема на резонансен инвертор с обратни диоди (фиг. 14.1,а). Същите времедиаграми са валидни и за полумостова схема (фиг. 14.1,б), с разлика само за U_{Ck} . Напрежението U_{C1} е равно по амплитуда и противоположно по фаза на U_{C2} (при $C1 = C2 = Ck/2$) и двете са повдигнати по отношение на абсцисната ос на разстояние $E/2$.

От времедиаграмите (фиг. 14.2,а) се вижда, че в момент $t = t_0$ се подава управляващ импулс на първия и третия тиристор ($VS1, VS3$). Протича колебателен ток по веригата $+E, VS1, Lk, Rd, Ck, VS3, -E$. В момента $t = t_1$ кондензаторът Ck се е заредил до максимална стойност и токът се е нулирал, при което U_{Ck} е по-голямо от E .

Това е условие за разряд на Ck по веригата $+Ck, Rd, Lk, VD1, +E, -E, VD3, -Ck$. В момента t_2 напрежението на кондензатора се изравнява с напрежението на захранващия източник и тока в посочената верига се е нулирал. В интервала $t_2 - t_3$ всички вентили са запущени и в момента $t = t_3$ се подава управляващ импулс на тиристорите $VS2, 4$ и процесите през товара се повтарят с обратен знак за посоката на тока.

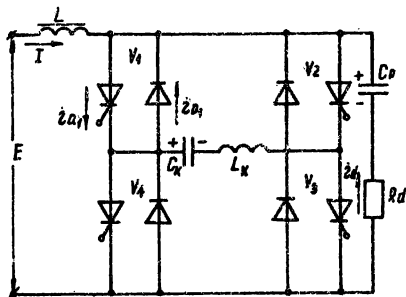


Фиг.14.2

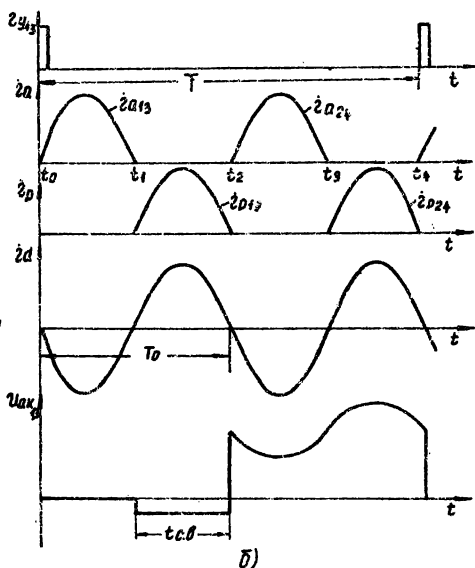
При непрекъснат режим на работа (фиг, 14,2,б) означението на моментите на комутация са същите както при фиг, 14,2,а, но отсъства паузата на тока, затова отсъства момента $t = t_3$. Това води до изменение във формата на времедиаграмите. От времедиаграмата на напрежението върху тиристорите ($U_{a1,3}$) се вижда, че времето за възстановяване ($t_{c.b.} = t_2 - t_1$) е равно на времето, през което протича ток през обратния диод и при прекъснат режим на работа $t_{c.b.} = T_0/2$, а при непрекъснат $t_{c.b.} < T_0/2$

Посочените времедиаграми на напрежението върху товара са за комплексен (RL тозар, което съответствува най-пълно на реалните случаи.

Б. Резонансни инвертори със затворен вход и обратни диоди се захранват от източник на ток, който се получава като между захранващия източник и инвертора се включи дросел с голяма стойност ($L \rightarrow \infty$



a)



б)

Фиг. 14.3

На фиг. 14.3.а е показана схема на резонансен инвертор със затворен вход и удвояване на работната честота.

При отсъствие на управляващи импулси на тиристорите $VS1 \div VS4$ ($t = t_{(0)}$) и включен захранващ източник разделителният кондензатор (C_D) се зарежда до стойността на захранващото напрежение.

При подаване на управляващите импулси на тиристорите $VS1$ и $VS3$ последните се отпушват, при което протича ток за зареждане на комутационния кондензатор C_k по веригите:

$$1) +C_D, VS1, C_k, L_k, VS3, R_d, -C_D$$

2) $+E, L, VS1, C_k, L_k, VS3, -E$, при което през товара протича ток със синусоидална форма. При зареждане на кондензатора C_k над стойността на захранващото напрежение токът през тиристорите се нулира, последните се запушват и се създава условие за разряд и презаряд на C_k по веригата $+C_k, VD1, C_D, R_d, VD3, L_k, -C_k$, при което в товара протича отново колебателен ток, но с обратна посока. След завършване на колебателния процес може да се подаде управляващ импулс на тиристорите $VS2$ и $VS4$ (фиг. 14.3.б), при което протича ток през веригите:

1) $+C_p, VS_2, C_k, L_k, VS_4, R_d, -C_p$

2) $+E, L, VS_2, C_k, L_k, VS_4, -E$

при което протича през гавара колебателен ток в права посока. Аналогично на разгледания вече случай след зареждането на C_k следва разряд и презаряд през диодите VD_2 и VD_4 . След работа на диодите VD_2 и VD_4 отново се отпускат тиристорите VS_1 и VS_3 , с което един пълен цикъл за работа на комутиращите елементи ($V_1 \div V_4$) е завършил ($t = t_0 + t_4$).

От времедиаграмите се вижда, че за един период от работа (T) на комутиращите елементи ($V_1 \div V_4$) следват два периода (T_0) на изходния ток (напрежение), т.е. схемата удвоява честотата на изходния сигнал по отношение на управляващата честота. Зремето за възстановяване на тиристора е равно на времето, през което работи съответния обратен вентил ($t_{c.б} = T_0/2$). Ако периодът на повторение на управлящите импулси е по-голям от два периода на собственото колебание ($T > 2T_0$) се получава прекъснат режим на работа.

14.3. Описание на лабораторния макет

Лабораторният макет позволява да се изследват схемни варианти (съгласно таблица 14.1) на последователен резонансен инвертор с обратни диоди.

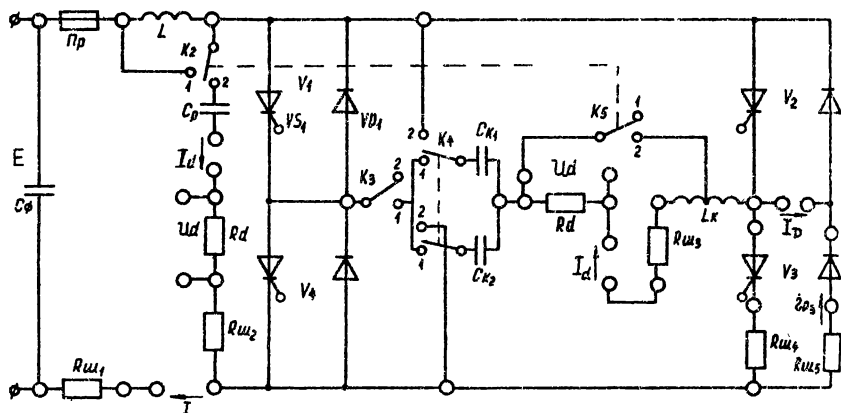
Таблица 14.1

№	Положение на ключа	K2	K3	K4
	Вид на схемата			
1	Мостова схема с отворен вход и СД	1	1	1
2	Полумостова схема с отворен вход и СД	1	2	
3	Мостова схема със затворен вход и СД		1	1

В схемата на лабораторния макет са включени допълнителни малки индуктивности за ограничаване на di/dt и RC групи за намаляване на dU/dt .

При изключен амперметър за измерване на тока в диодите VD_2 и VD_3 полумостовата схема (вариант 2) може да се изследва резонансен инвертор без обратни диоди.

Включените шунтове $R_{ш1}$ $R_{ш5}$ позволяват да се наблюдават съответно токовете i_d , i_3 i_3



Фиг.14.4

14.4. Задание за работа

1. Да се изследва мостова схема на резонансен инвертор с отворен вход и обратни диоди (вариант N 1).

1.1. Да се снимат времедиаграмите на токовете $i_d(R_{W1}), i_d(R_{W3})$ и $i_{a3}(R_{W4}), i_{b3}(R_{W5})$ и напреженията $U_d, U_{aK3}, U_{cK1}, U_{Lk}$ за прекъснат и непрекъснат режим на работа.

1.2. Да се снеме външната характеристика $U_d = f(I_d)$ при зададен режим на работа.

1.3. Да се изследва зависимостта на схемното време за възстановяване от работната честота $t_{cB} = F(f)$. Да се изчисли ω_0/ω при $t_{cB} = 2t_B$ (t_B паспортно време за възстановяване управляващите свойства на тиристора).

2. Да се изследва полумостова схема на резонансен инвертор с отворен вход и обратни диоди (вариант N 2).

2.1. Да се снимат времедиаграмите на токовете $i_d(R_{W3}), i_d(R_{W4}), i_d(R_{W5})$ и напреженията $U_d, U_{aK3}, U_{cK1}, U_{cK2}$.

2.2. Да се снеме външната характеристика $U_d = f(I_d)$ при зададени в т. 1.2 режим на работа.

3. Да се изследва мостова схема на резонансен инвертор със затворен вход и удвояване на честотата на изходното напрежение.

3.1. Да се снимат времедиаграмите на токовете $(i_{R_{ш1}}, i_{d_1}, i_{R_{ш2}}, i_{d_2}, i_{R_{ш3}}, i_{d_3})$ и напреженията $U_L, U_d, U_{ak3}, U_{Lk}, U_{Ck}$.

3.2. Да се изследва външната характеристика $U_d = f(I_d)$ при $T = 2T_0$.

3.3. Да се изследва схемното време за възстановяване във функция на работната честота

14.5. Контролни въпроси

1. Какво е предназначението на обратните диоди в резонансните инвертори и какви схемни варианти има?

2. Каква е формата на времедиаграмите на токовете и напреженията в резонансния инвертор с отворен вход и обратни диоди?

3. Каква е формата на времедиаграмите на токовете и напреженията при резонансния инвертор със затворен вход и обратни диоди?

4. Каква е външната характеристика на резонансните инвертори с обратни диоди?

5. Какво представлява схемното време за възстановяване (t_{CB}) и как се измерва?

* * *

ЛАБОРАТОРНО УПРАЖНЕНИЕ

№ 15

АВТОНОМЕН ИНВЕРТОР НА НАПРЕЖЕНИЕ

15.1. Цел на упражнението

1.1. Запознаване с принципа на действие и основните характеристики на автономни инвертори на напрежение.

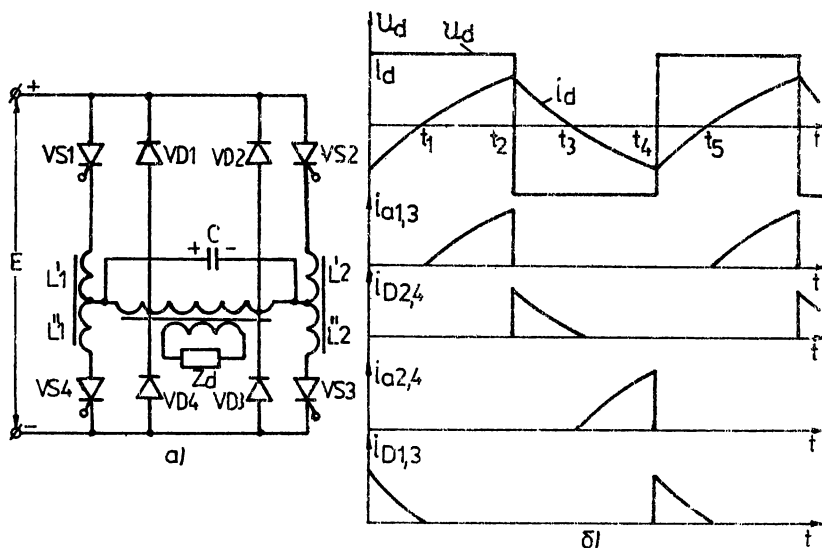
1.2. Изследване на характеристиките на мостова схема на инвертор на напрежение.

15.2. Кратки теоретични сведения

Инвертори на напрежение са инвертори, при които захранващият източник е източник на напрежение, а товарът не участва в резонансен кръг със собствена честота, близка до работната.

Автономните инвертори на напрежение (АИН) се делят на инвертори с едностепенна и двустепенна комутация в зависимост от начина на кому-

тацията. Когато няма допълнителни (спомогателни) тиристори, (през които не тече работният ток) АИИ е с едностепенна комутация (фиг. 15.1.а).



Фиг.15.1

Обикновено товарът на АИИ има активно-индуктивен характер и тогава се налага използването на обратни диоди (VD1÷VD4) за разсейване на запасената енергия в индуктивността, връщайки я в захранващия източник. Изходното напрежение има правоъгълна форма, тъй като индуктивностите L1 и L2 са с много малка стойност и комутационният период е по-малък от една десета на работния полупериод. Следователно, като подадем управляващи импулси на тиристорите VS1, VS3, последните се отпушват и цялото захранващо напрежение E се прилага върху товара. Формата на товарния ток зависи от характера на товара. Кондензаторът C се зарежда с означения поляритет със стойността на захранващия източник.

При отпушване на тиристорите VS2, VS4 кондензаторът C се явява накъсо свързан през всички тиристори, което води до запущване на VS1 и VS3. Кондензаторът се разрежда по веригата +C, Z¹ -C, при което запасената енергия в L_d се връща в захранващия източник по веригата VD2 +E, -E VD4 Z_T, запазвайки посоката на тока

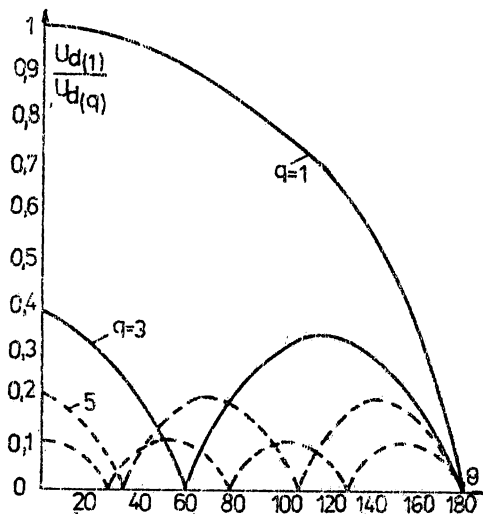
до момента на комутицията. В момент $t = t_3$ токът в Z_d се нулира и си сменя посоката, протичайки по веригата $+E$, VS_2 , L_2 , W_1 , L_1 , VS_4 , $-E$. Паралелно на товарния ток протича и ток на презаряд на кондензатора. Сумата от тези два тока, протичайки през индуктивностите L_2 и L_1 индуктират е.д.с. в другата половина запушващо напрежение за тиристорите VS_1 и VS_3 .

В интервала $t = t_3 \div t_4$ кондензаторът C си сменя знака и при $t = t_4$ се подават отново управляващи импулси на VS_1 , VS_3 , което води до аналогично описания процес, запушване на VS_2 , VS_4 , отпушване на диодите VD_1 , VD_3 прехвърляне след това на тока към VS_1 , VS_3 . От показаните времедиаграми се вижда, че формата на изходното напрежение е правоъгълна, чиито хармоничен състав, според реда на Фурие, е:

$$U_{d(t)} = \frac{4E}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \frac{1}{7} \sin 7\omega t \right)$$

За ефективната стойност на първата хармонична се получава:

$$U_{d(1)} = \frac{U_{dm}}{\sqrt{2}} = \frac{4E}{\pi\sqrt{2}} = 0,9 \cdot E$$



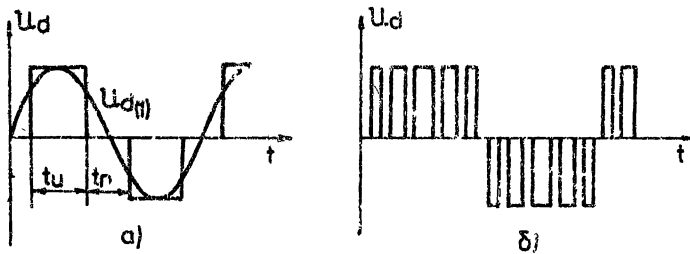
Фиг. 15.2

(Фиг. 15.3.а), че при $t_n/t_u = \frac{1}{3}$ в изходния сигнал отсъства 3 хармонична, на $t_n/t_u = \frac{1}{5}$ - пета хармонична и т.н.

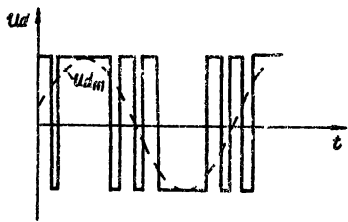
От реда на Фурие се вижда, че третата хармонична представлява 33%, петата 20%, седмата 14,3% от основната хармонична и т.н. (Фиг. 15.2). Този състав на висши хармонични не винаги удовлетворява изискванията на товара и при повишени изисквания за синусоидалност се налага използването на мощни филтърни групи.

За намаляване състава на висшите хармонични в изходното напрежение се използва широко-импулсно ретулиране (Фиг. 15.3.а) и двуполярна модулация (15.4). При широко-

импулсно регулиране се вижда,



Фиг. 15.3



Фиг. 15.4

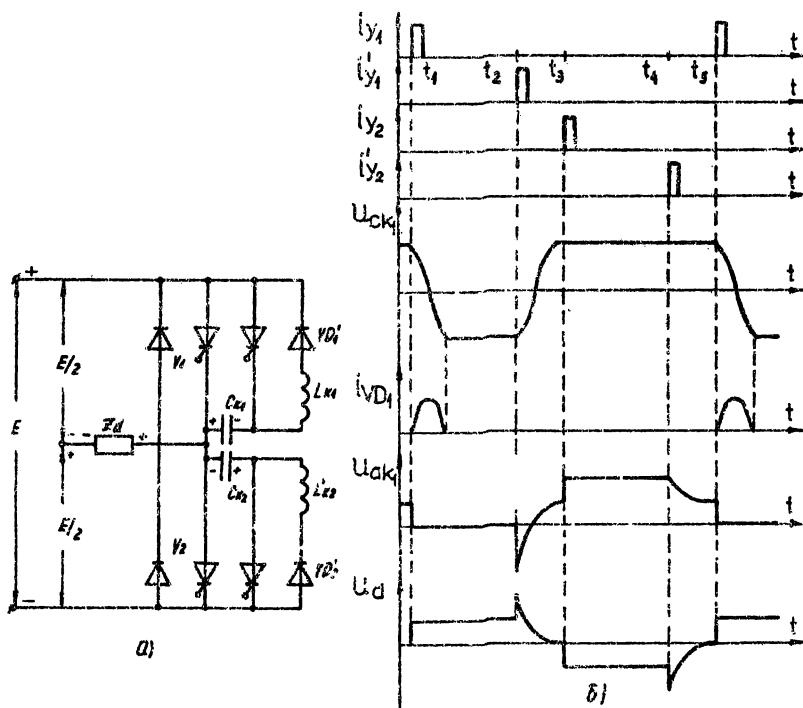
Използването на един или друг тип на регулиране или модулация зависи най-вече от изискванията на товара и масогабаритните показатели на филтъра, отделящ висшите хармоници на изходното напрежение от първата хармонична.

Използването на широко-импулсно регулиране или широко-импулсна модулация позволява още да се регулира или стабилизира изходното напрежение при наличие на дестабилизиращи фактори (изменение на E , I_d , f и др).

Получаването на посочените модуляции може да се постигне чрез АИН с двустепенна комутация (фиг. 15.5.а) или АИН с взаимно-импулсна комутация (фиг. 15.б).

Така показаната схема на вентили от групи 1 и 2 може да разглежда тиристорите $VS1$ и $VS2$, като напълно управляеми и независими един от друг ключове. Схемната реализация и принцип на действие на тези ключове са разгледани подробно в лабораторно упражнение № 10.

На фиг. 15.5.б са дадени времедиаграмите на АИН с двустепенна (индивидуална) комутация при чисто активен товар ($Z_d = R_d$). От времедиаграмите се вижда, че с подаването на управляващите импулси на основните (работни) тиристори $VS1$ или $VS2$ се подава захранващо напрежение върху товара и заедно с това се презарежда C_k през диодите $VD1$ и $VD2$ и комутиращите индуктивности L_k с означения поляритет. При отпушване на спомагателния тиристор $VS1$ или $VS2$ се запуща съответния работен тиристор и C_k се презарежда през товара, захранващия токоиз-



Фиг. 15.5

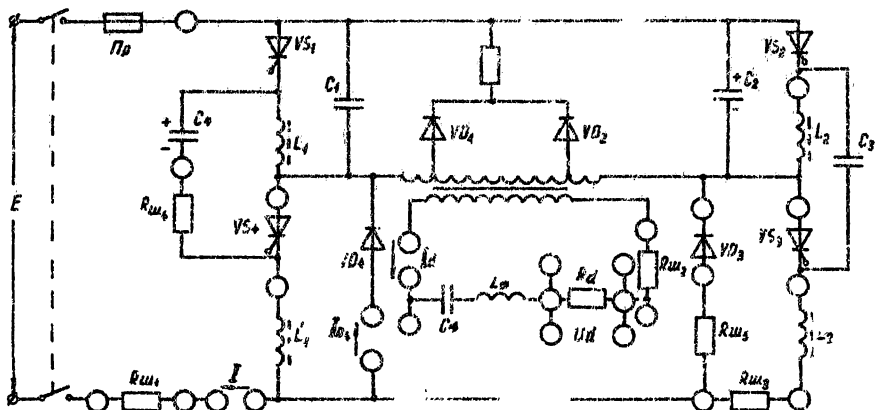
точник ($E/2$) и спомагателния тиристор с обратен поляритет.

Характерно е, че напрежението върху товара U_d е широкоимпулсно регулирано, което може да стане и автоматично, изменяйки разстоянието между управляващите импулси на основните и спомагателните тиристори, с което се изменя ефективната стойност на изходното напрежение и хармоничния му състав.

На базата на разгледания принцип, съществува голямо схемно разнообразие на АИН с двустепенна комутация, при което резонансният кръг може да участва както при отпушването на основния тиристор, така и при запушването, може да бъде общ за двата основни тиристора и т.н.

По показания принцип на индивидуално комутиране на основните тиристори без проблеми се реализира и трифазен АИН.

15.3. Описание на лабораторния макет

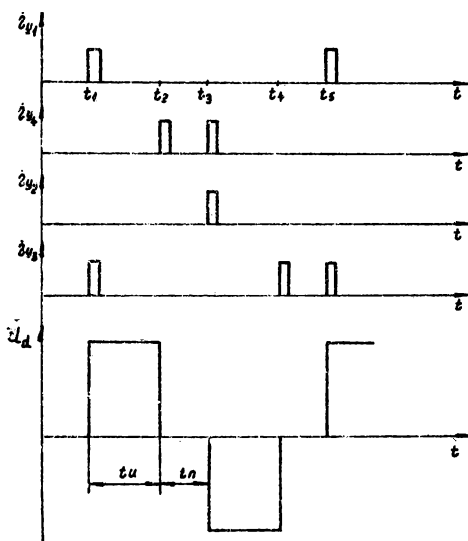


Фиг. 15.6

Последователността на комутация на вентилите в АИИ са показани на фиг. 15.7.

При подаване на управляващи импулси на $VS1$ и $VS3$ ($t = t_1$) последните се отпушват и върху товара се припага цялото захранващо напрежение ($\omega L_{1+4} \ll R_d$), като кондензаторите $C4$ (респективно $C2$) се зареждат с означения поляритет.

В момента t_2 се подава управляващ импулс на тиристора $VS4$, който дава на късо кондензатор $C4$ през $VS1$ и $C1$. Това води до протичането на обратен ток в $VS1$ и до неговото запушване. По нататък кондензаторът $C4$ се зарежда по колебателен закон във веригата $+C4L1$. $VS4$, $-C4$ при което поддържа известно време t_2 напрежение U_{C4k1} статично ($U_{C4k1} = E - e_{C1} - e_{L1}$ бобините $L1$ и $L1$ са взаимно свързани). След като се разсеи енергията на кондензатора $C4$, по-нататъшното протичане на протеса се прекратява, поради запушването на $VS4$. Отново тиристорът $VS4$ се отпушва, когато му се подаде управляващ импулс ($t = t_3$) заедно $VS2$ при което се започва формирането на другия полуцикл изходното напрежение. По-нататък процесът се повтаря, като комутиреща функция изпълнява тиристорът $VS3$.



Фиг. 15.

Лабораторният макет позволява изследването на инвертора с и без изглаждащ филтър.

15.4. Задание за работа

1. Да се изследва АИН с взаимно-импулсна комутация при активен товар (C_{ϕ}, L_{ϕ} - дадени на късо).

1.1. Да се снимат временните диаграми на напреженията $U_d, U_{ak3}, U_{c3}, U_{L2}$ и токовете $i_1(R_{w1}), i_2(R_{w2}), i_3(R_{w3}), i_4(R_{w4})$

1.2. Да се снесе външната характеристика на инвертора $U_d = f(I_d)$ при $t_u/t_n = \text{const}$ и входната характеристика $I_d = f(I)$.

1.3. Да се снесе регулировъчната характеристика на инвертор $U_d = f(t_u/t_n)$ при $E = \text{const}$.

1.4. Да се включи филтъра C_{ϕ}, L_{ϕ} и се повторят т. 1.1 и т. 1.2

1.5. Да се изчисли к.п.д. на инвертора с и без филтър.

2. Да се изследва АИН с взаимно-импулсна комутация при RL товар.

2.1. Да се снимат времедиаграмите на напреженията U_d, U_{ak3}, U_{D3} и токовете $i_2(R_{w2}), i_3(R_{w3}), i_{D3}(R_{w5})$

2.2. Да се изчисли к.п.д. на инвертора и схемното време на възстановяване ($t_{c,d}$) с и без филтър.

15.5. Контролни въпроси

1. Какви схеми на АИИ познавате?
2. Какви са времедиаграмите върху елементите на инвертора за показаните в лабораторното упражнение схеми?
3. Какви видове модуляции на изходното напрежение на АИИ познавате и с какви схеми се реализират?

х х х

ЛАБОРАТОРНО УПРАЖНЕНИЕ

№ 16

ТРАНЗИСТОРЕН ЕДНОФАЗЕН МОСТОВ ИНВЕРТОР

16.1. Цел на упражнението

1. Да се затвърдят познанията на студентите за транзисторните еднофазни инвертори.
2. Да се изследва работата на еднофазен мостов инвертор при широко импулсно регулиране (ШИР) на изходното напрежение.

16.2. Кратки теоретични сведения

Инверторите са устройства, които преобразуват постояннотоковата енергия в променливотокова. Транзисторните инвертори се използват най-често при разработване на съвременни вторични източници за захранване на електронна апаратура, с което се постига:

получаване на едно или няколко променливотокови изходни напрежения със зададени параметри (ниво, форма и честота);

- електрическа изолация между захранващия първичен токоизточник и отделните изходи;

високочестотно преобразуване на енергията, с което се постига значително намаляване на масогабаритните му размери и повишаване динамиката на управление;

Транзисторните инвертори могат да бъдат класифицирани по много

признаци, като някои от тях са:

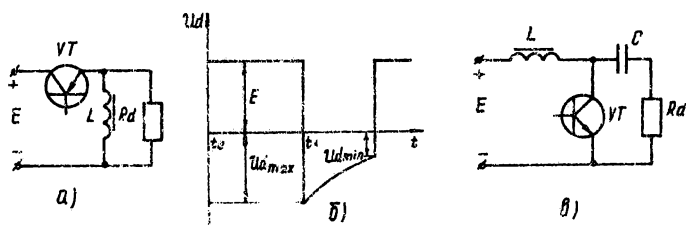
едноканални и многоканални - според броя на изходите. Едноканалните имат само един изход, а многоканалните няколко;

еднофазни, двуфазни и трифазни - според броя на фазите на изходните напрежения. Преимуществено се използват еднофазните транзисторни инвертори. Двуфазните и трифазните транзисторни инвертори се използват за захранване на електродвигатели, датчици на взаимно ъглово преместване, синус-косинусоидални преобразуватели и др.

инвертори със самовъзбуждане и с външно възбуждане - първият тип се използва при по-неотговорни консумации, където стабилната работа зависи най-вече от стабилността на захранващия токоизточник;

еднотактни и двутактни - при еднотактните инвертори от захранващия токоизточник се консумира енергия само през единия полупериод от изходното напрежение.

При реализацията на транзисторните инвертори широко приложение намират мощните биполарни дрейфови транзистори и мощните импулсни диоди, като в много случаи те успешно се изместват от МДП (полеви) транзистори и мощни Шотки диоди, заради по-малката им инерционност, по-добри комутационни качества, по-голямо входно съпротивление, по-малка мощност на управляващата верига на полевите транзистори и малкото падение на напрежението в права посока на Шотки диоди. Съществува голямо разнообразие на еднотактни (фиг. 16.1) и двутактни инверторни схеми на транзистори (фиг. 16.2).



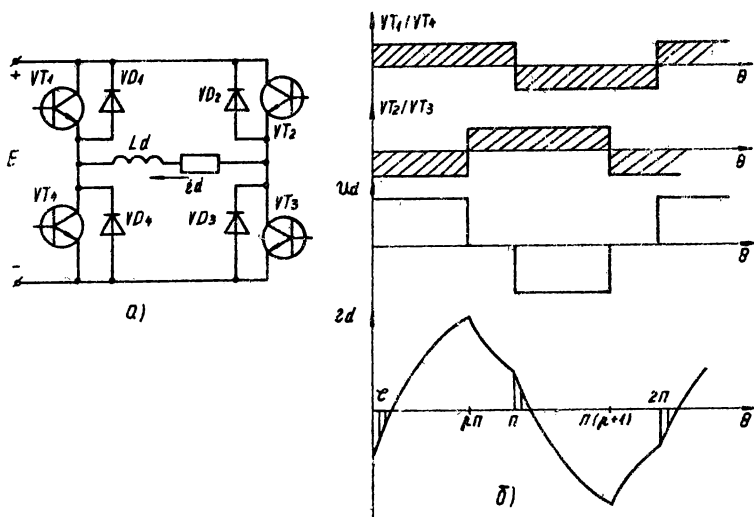
Фиг. 16.

При еднотактния инвертор (фиг. 16.1.а) комутацият транзистор е включен последователно на захранващия източник (E) и товара (Rd). При отпушване на транзистора към товара и дросела (L) се прилага захранващото напрежение E и дросела (L) се зарежда с реактивна енергия ($t = t_0 + t_1$). При запущване на транзистора натрупаната енергия в дросела се предава в товара ($t = t_1 + t_2$) с обратна полярност.

По такъв начин върху товара се получава променливо напрежение. При еднотактния инвертор на фиг. 16.1 в последователно между захранващия токоизточник E с товара е включен дросел L и кондензатор C , а комутирацията транзистор е включен паралелно на захранващия токоизточник и товара. При отпушване на транзистора VT става натрупване на реактивна енергия в дросела L и разреждане на кондензатора през VT и товара R_d . При запушване на транзистора енергията на дросела се разходва през товара и за зареждане на кондензатора. При достатъчно голям капацитет на кондензатора напрежението му е равно на напрежението на товара, а амплитудната стойност на напрежението на товара е равно на напрежението на захранващия токоизточник E .

На фиг. 16.2 е показана схемата и принципа на работа на двутактен мостов инвертор, работещ на активно-индуктивен товар.

На първите две времедиаграми са показани времената, през които са отпушени транзисторите $VT_1 \div VT_4$. Заширикованата част над абсцисната ос, показва кога са отпушени транзисторите VT_1 и VT_2 , а под абсцисната ос на транзисторите VT_4 и VT_3 .

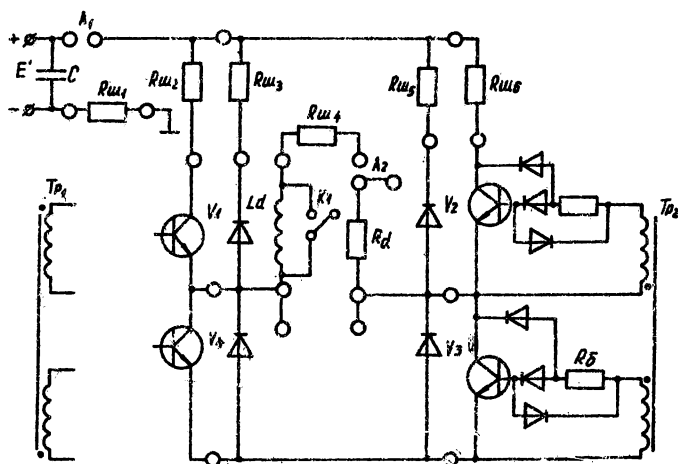


Фиг. 16.2

Тогаво когато работата на едната двойка транзистори (VT_1, VT_4) е дефазирана по фаза на ъгъл φ_n по отношение на работата на другата двойка транзистори (VT_2, VT_3) изходното напрежение е правоъгълно по форма, с пауза равна на $(1 - \rho)T$. Както сме приели при $t = 0$ е по-

дадено управляващо напрежение на транзисторите VT1, VT3, като поради индуктивния характер на товара, токът не може със скорост да си измени посоката и протича през обратните диоди VD1, VD3, връщайки запасената в индуктивността енергия в захранващия токоизточник (от $0 < \varphi < \pi$) при това транзисторите VT1, VT3 работят в инверсен режим. Във втората част от интервала ($\varphi > \pi$) токът I_d си сменя направлението и постъпва от източника в товара. При $\theta = \pi$ става превключване на транзисторите VT3, VT2 и се образува верига даваща на късо изхода по веригата VT1, Z_d VD2. Паралелно с диода VD2 работи инверсно транзистора VT2. Токът в товара намалява, тъй като енергията запасена в L_d се отдава в товара R_d. При $\theta = \pi$ се превключват транзисторите VT1, VT4 и продължават да работят VT2, VT4, като до смяната на посоката на тока VT2, VT4 работят в инверсен режим заедно с диодите VD2, VD4, а след това всичко се повтаря в рамките на един работен полупериод. Токът в товара има форма по-близка до синусоидата, отколкото напрежението, благодарение на филтриращите качества на L_d

16.3. Описание на лабораторния макет



Фиг. 16.3

Лабораторният макет представлява мостов транзисторен еднофазен инвертор. Ключът K1 позволява работа на инвертора при активен

K1 - вкл.) и активно-индуктивен (K1 - изкл.) товар. Лабораторният макет се управлява от управляващ блок позволяващ ШИР на изходното напрежение.

16.4. Задание за работа

1. Да се изследва инвертора при активен товар (K1 - вкл.).

1.1. Да се снимат времедиаграмите на токовете и напреженията върху елементите на инвертора при $\varphi = \text{const}$ и $I_D = \text{const}$ по задание от ръководителя на упражнението.

1.2. Да се снемат и построи регулировъчната характеристика $U_D = f(\varphi)$ и $I_D = f(\varphi)$ при $R_D = \text{const}$; $E = \text{const}$.

1.3. Да се снемат и построи външната характеристика $U_D = f(I_D)$ при $\varphi = \text{const}$ и $E = \text{const}$.

1.4. Да се снемат и построи зависимостта на амплитудите на първи и трети хармоник в изходното напрежение в зависимост от ъгъла на регулиране φ при $R_D = \text{const}$.

2. Да се изследва инвертора при активно индуктивен товар (K1 - изкл.) като се повтарят точките 1.1, 1.2, 1.3, 1.4.

16.5. Контролни въпроси

1. Какви видове транзисторни инвертори познавате?
2. Как работи еднофазен едноктактен транзисторен инвертор?
3. Как работи еднофазен двуктактен инвертор при R и RL товар?
4. Какви са особеностите на работа на транзисторните инвертори в сравнение с тиристорните?

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Руденко В.С. и др.
"Основы преобразовательной техники"
"Высшая школа", 1980.
2. Н. Бобчева, С. Табаков;
"Основы на преобразователната техника",
"Техника", 1988.
3. Д. Юдов.
"Промислени електронни преобразуватели".
ВГЕИ - Варна, 1983.
Табаков С.
"Тиристорна техника". Изд. "Техника", 1980.
Начев, Н.
"Силова електроника", "Техника", 1976.
6. Веклер Г. С.
"Электропитание спецпаратуры" Киев.
"Высшая школа", 1973

РЪКОВОДСТВО ЗА ЛАБОРАТОРНИ УПРАВНЕНИЯ
ПО
"ОСНОВИ НА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛНАТА ТЕХНИКА"

ПОР. № 60/90
ТИРАЖ 1000
ЦЕНА - 0,37 лв.

ФОРМАТ 60x84/16
ПЕЧ. КОЛИ - 6,5
ИЗД. КОЛИ 6,06

ПЕЧАТАНО В ОФСЕТНО ПЕЧАТНА БАЗА ПРИ ТУ ВАРНА

Цена 0.37 лв.