

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ З ДИСЦИПЛІНИ  
«ЕЛЕКТРОННІ ПРИСТРОЇ АВТОМАТИКИ» (ЧАСТИНА 3)  
ЗА ОСВІТНІМ РІВНЕМ «БАКАЛАВР» ДЛЯ СТУДЕНТІВ  
СПЕЦІАЛЬНОСТІ 151 «АВТОМАТИКА ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ  
ТЕХНОЛОГІЇ»

Затверджено на засіданні кафедри  
комп'ютерно-інтегрованих технологій  
та автоматизації.  
Протокол № 2 від 22.11.18.

Методичні вказівки до лабораторних занять з дисципліни „Електронні пристрої автоматики” (Частина 3) за освітнім рівнем «Бакалавр» для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» / Укл.: О.П. Мисов, Л.Д. Чумаков – Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2019. – 20 с.

Укладачі: О.П. Мисов, канд. техн. наук  
Л.Д. Чумаков, доктор технічних наук

Відповідальний за випуск О.П. Мисов, канд. техн. наук

Навчальне видання  
Методичні вказівки  
до лабораторних занять з дисципліни „Електронні пристрої автоматики”  
(Частина 3) за освітнім рівнем «Бакалавр» для студентів спеціальності  
151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології»

Укладачі: МИСОВ Олег Петрович  
ЧУМАКОВ Лев Дмитрович

Технічний редактор Т.М. Кіжло  
Комп’ютерна верстка Т.М. Кіжло

Підписано до друку 27.02.19. Формат 60×84/16. Папір ксерокс. Друк різнограф.  
Умов. друк. арк. 0,91. Обл.-вид. арк. 0,97. Тираж 100 прим. Зам. № 170.  
Свідоцтво ДК № 5026 від 16.12.2015

---

ДВНЗ УДХТУ, просп. Гагаріна, 8, м. Дніпро, 49005

Редакційно-видавничий відділ

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №8. ДОСЛІДЖЕННЯ МАЛОПОТУЖНОГО БЛОКА ЖИВЛЕННЯ

Мета роботи – дослідити схеми однофазних випрямлячів разом зі згладжуючими пульсації випрямленої напруги фільтрами та вплив їх параметрів на властивості випрямлячів.

### Опис лабораторного стенда

Лабораторний стенд являє собою пристрій, на лицьовій панелі якого розташовані вимірювальні прилади, органи керування і регулювання, контрольні гнізда і роз'єднувачі для під'єднання змінних плат досліджуваних випрямлячів і згладжуючих фільтрів:

- 1) тумблер і контрольна лампа включення стенда з написом «СЕТЬ»;
- 2) тумблер SA2 для підключення діодів однопівперіодного випрямляча;
- 3) тумблер SA3 для підключення різних конденсаторів (C1 або C2) при роботі випрямлячів на активно-ємнісне навантаження;
- 4) тумблер SA4 для підключення активного навантаження;
- 5) тумблер SA5 для підключення різних дроселів (L1 або L2) при роботі випрямлячів на активно-індуктивне навантаження;
- 6) тумблер SA6 для підключення різних конденсаторів (C3 або C4) в досліджуваних фільтрах;
- 7) тумблер SA7 для підключення різних конденсаторів (C5 або C6) в транзисторному фільтрі;
- 8) ручка  $R_n$  регулювання активного опору навантаження;
- 9) ручка  $R_\phi$  регулювання активного опору у фільтрі;
- 10) ручка  $R_d$  регулювання опору базового діельника у транзисторному фільтрі;
- 11) контрольні гнізда “1-16” для вимірювання напруги і перегляду осцилограм в характерних точках досліджуваних схем;
- 12) вольтметр PV1 для вимірювання діючої напруги на вторинній обмотці трансформатора;
- 13) міліамперметр PA для вимірювання середнього випрямленого струму в навантаженні;
- 14) вольтметр PV2 для вимірювання середніх випрямлених напруг в характерних точках досліджуваних схем.

До комплекту лабораторного стенда також входять змінні плати досліджуваних випрямлячів і згладжуючих фільтрів:

- 1) плата 1 “ВЫПРЯМИТЕЛЬ ОДНОПОЛУПЕРИОДНЫЙ” (рис. 8.1);
- 2) плата 2 “ВЫПРЯМИТЕЛЬ ДВУХПОЛУПЕРИОДНЫЙ” (рис. 8.2);
- 3) плата 3 “ВЫПРЯМИТЕЛЬ МОСТОВОЙ” (рис. 8.3);
- 4) плата 4 “ВЫПРЯМИТЕЛЬ С УДВОЕНИЕМ НАПРЯЖЕНИЯ” (рис. 8.4);
- 5) плата 5 “RC- ФИЛЬТР” (рис. 8.5);

- 6) плата 6 “LC- ФИЛЬТР” (рис. 8.6);
- 7) плата 7 “LC- ФИЛЬТР С КОМПЕНСАЦИЕЙ”;
- 8) плата 8 “LC- ФИЛЬТР С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ РЕЗОНАНСОМ”;
- 9) плата 9 “LC- ФИЛЬТР С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ РЕЗОНАНСОМ”;
- 10) плата 10 “ТРАНЗИСТОРНЫЙ ФИЛЬТР” (рис. 8.7).

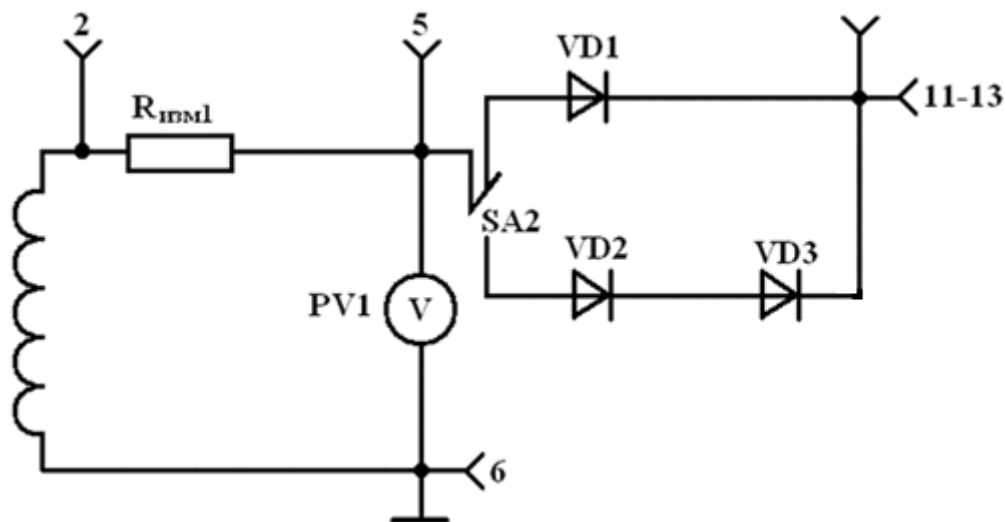


Рис. 8.1 – Выпрямляч однопівперіодний

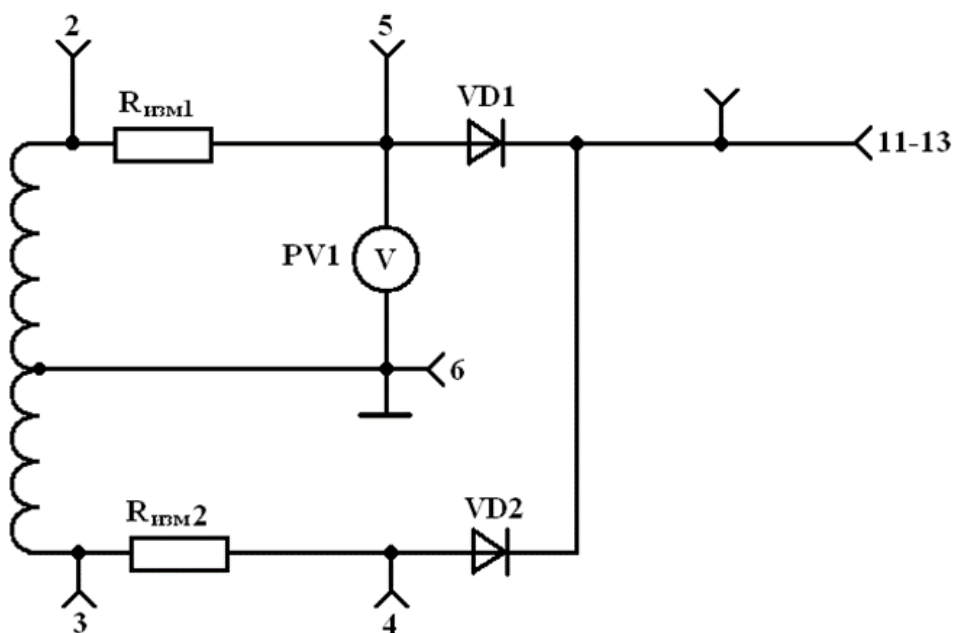


Рис. 8.2 – Выпрямляч двопівперіодний

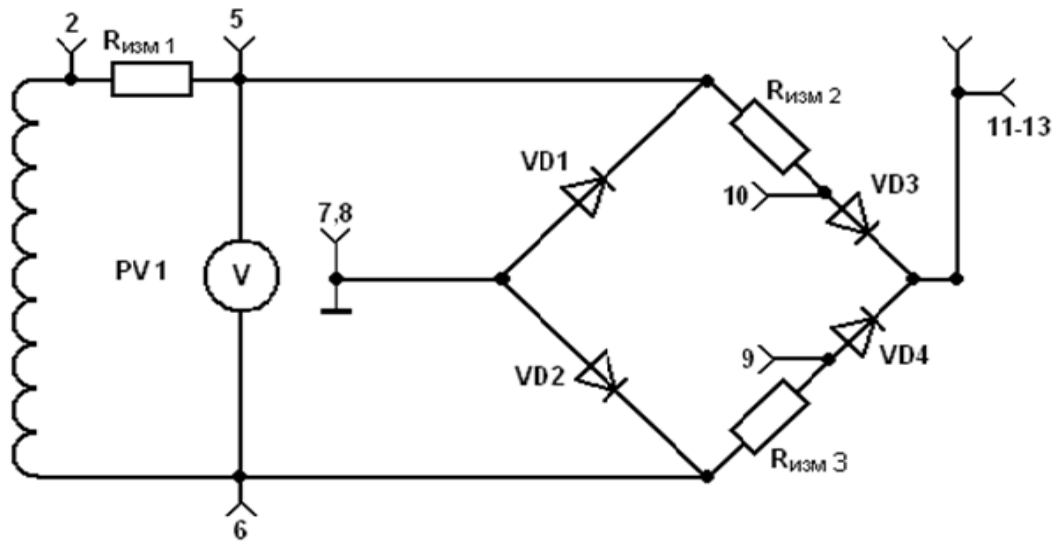


Рис. 8.3 – Випрямляч мостовий

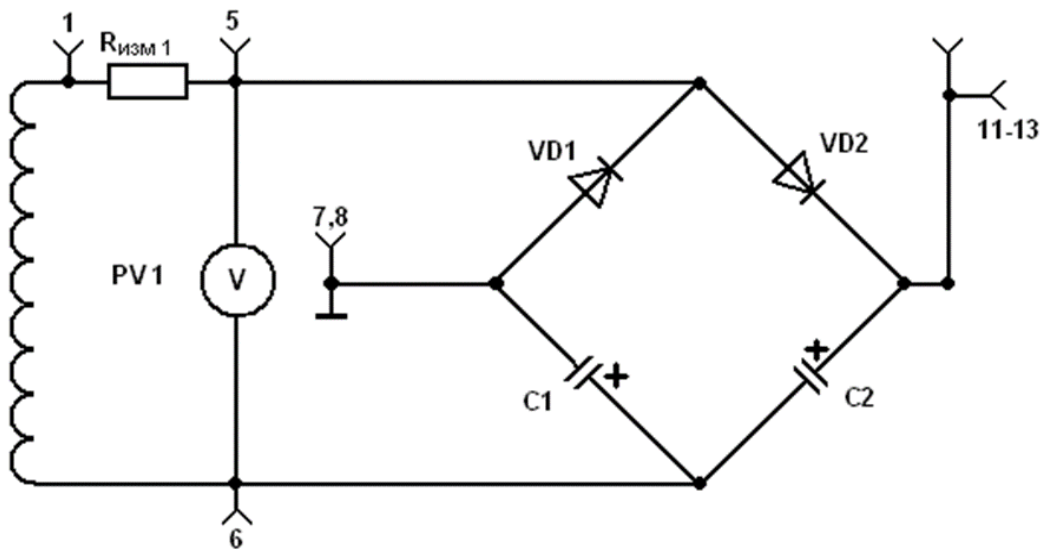


Рис. 8.4 – Випрямляч з подвоєнням напруги

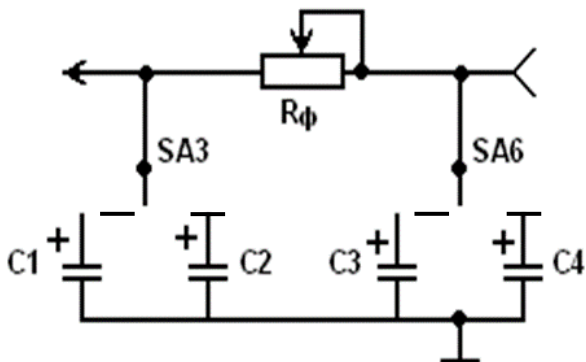


Рис. 8.5 – RC-фільтр

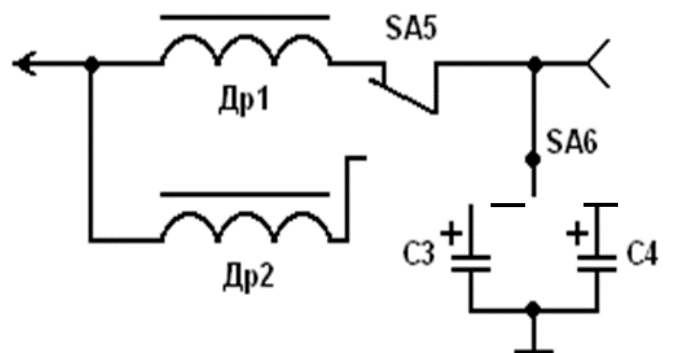


Рис. 8.6 – LC-фільтр

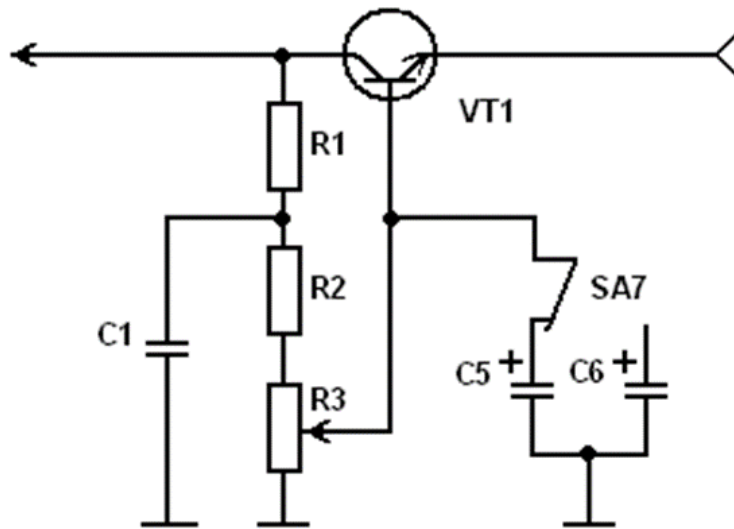


Рис. 8.7 – Транзисторний фільтр

Лабораторний стенд дозволяє дослідити:

- 1) однофазну однопівперіодну схему;
- 2) однофазну двопівперіодну схему з нульовим виводом вторинної обмотки трансформатора;
- 3) однофазну мостову схему;
- 4) однофазну мостову схему подвоєння напруги.

При цьому кожен з названих випрямлячів може робити з транзисторним або L-, C-, LC-, RC-згладжуючими фільтрами.

### Підготовка стенда до роботи

1. Ознайомитись з описом конструкції, порядком роботи стенда та його головних блоків.
2. Тумблер “СЕТЬ” встановити в нижнє положення.
3. Тумблери SA3, SA6 встановити в середнє положення.
4. Тумблери SA2, SA5, SA7 встановити в нижнє положення.
5. Тумблер SA4 встановити в середнє положення.
6. Ручки регуляторів “ $R_n$ ”, “ $R_\phi$ ”, “ $R_d$ ” встановити в лівє крайнє (нульовє) положення.
7. Підготувати до роботи електронний осцилограф.
8. Встановити на передній панелі стенда, в відповідності із завданням викладача, змінні плати випрямляча і згладжуючого фільтра. Стенд та електронний осцилограф підключити до розеток живлення.

УВАГА! Установка і заміна змінних плат випрямлячів і фільтрів повинні виконуватись з дозволу викладача тільки при вимкненому живленні стенда.

9. Включити електронний осцилограф.

### Робоче завдання

При виконанні лабораторної роботи перелік досліджуваних схем та їх параметрів задає викладач.

1) Дослідження однопівперіодного випрямляча

1. Встановити на стенд змінні плати 1 “ВЫПРЯМИТЕЛЬ ОДНОПОЛУПЕРИОДНЫЙ ” і 5 “RC-ФИЛЬТР” (рис. 8.1 і 8.5) і підготувати стенд до роботи.
2. Тумблери SA3 і SA4 встановити в середнє положення. Тумблер SA2 встановити в верхнє положення (підключити діод VD1).
3. Підключити за допомогою дротів вольтметр PV2 (гнізда 17 або 18 і 19 або 20) до виходу випрямляча (гнізда 11- 13 і 6 або 16).
4. Увімкнути тумблер «СЕТЬ», при цьому повинна загорітись лампа сигналізації.
5. Заміряти і записати в табл. 8.1 значення випрямленої напруги  $U_{d0}$  при відсутності навантаження (при струмі  $I_d=0$ ).

Таблиця 8.1 – Зовнішня характеристика випрямляча

$U_{дн}, В$								
$I_d, мА$								

6. Підключити вольтметр PV2 до навантаження випрямляча (гнізда 14 і 15 або 16).
7. Тумблер SA4 встановити в верхнє положення, підключивши навантаження до випрямляча.
8. Зняти зовнішню характеристику випрямляча  $U_{дн}=f(I_d)$  по 6-8 точках, змінюючи струм за допомогою ручки  $R_n$  рівномірно в межах від мінімального до максимального значення.  
Струм навантаження  $I_d$  вимірювати приладом РА, напругу  $U_{дн}$  – приладом PV2.  
Одержані результати занести до табл. 8.1.

С-фільтр

9. Тумблером SA3 підключити конденсатор C1 або C2, а тумблер SA6 встановити в середнє положення. Ручку  $R_\phi$  вивести до крайнього лівого положення.
10. Зняти зовнішню характеристику випрямляча з С-фільтром відповідно до пп. 3-8.
11. Підключити осцилограф до гнізд 14 і 16.
12. Ручкою  $R_n$  встановити максимальний струм  $I_d$  в навантаженні.
13. Тумблер SA3 встановити в середнє положення.
14. Накреслити криву випрямленої напруги  $U_{d0}$  при чисто активному навантаженні.
15. Не змінюючи положення ручки  $R_n$ , підключити тумблером SA3 конденсатор C1 або C2.
16. Накреслити криву випрямленої напруги  $U_{дн}$  при RC-навантаженні.

### L-фільтр

17. Встановити на стенд змінну плату 6 “LC-ФИЛЬТР” (рис. 8.6).
18. Тумблери SA3 і SA6 встановити в середнє положення, тумблер SA4 встановити до нижнього положення. Тумблером SA5 підключити дросель L1 або L2.
19. Підключити осцилограф до гнізд 14 і 16, накреслити криву випрямленої напруги  $U_{дн}$  при LR- навантаженні. Ручкою  $R_n$  при цьому встановити максимальний струм  $I_{дв}$  навантаженні.
20. Підключити осцилограф до гнізд 5 і 11, накреслити криву напруги  $U_{AK}$  на діоді VD1.
21. Підключити осцилограф до гнізд 11 і 14, накреслити криву напруги  $U_L$  на дроселі.
22. Підключити осцилограф до гнізд 2 і 5, накреслити криву струму  $I_2$  у вторинній обмотці трансформатора.

### 2) Дослідження двопівперіодного випрямляча з нульовим виводом вторинної обмотки трансформатора

1. Встановити на стенд змінні плати 2 “ВЫПРЯМИТЕЛЬ ДВУХПОЛУПЕРИОДНЫЙ” (рис.8.2.) і 5 “RC-ФИЛЬТР” і підготувати стенд до роботи.
2. Тумблери SA3 і SA6 встановити в середнє положення.
3. Зняти зовнішню характеристику випрямляча з чисто активним навантаженням, виконавши вказівки пп. 1.3-1.8).

### C-фільтр

4. Зняти зовнішню характеристику випрямляча відповідно до пп. 1.9-1.10.

### RC-фільтр

5. Встановити на стенд змінну плату 5 “RC-ФИЛЬТР”. Ручку  $R_{\phi}$  встановити в положення 5. Тумблером SA6 підключити конденсатор C3 або C4. Тумблер SA3 встановити в середнє положення. Включити стенд.
6. Ручкою  $R_n$  встановити максимальний струм  $I_{д}$ . Тумблер SA4 встановити в нижнє положення.
7. Підключити осцилограф до гнізд 14 і 16, накреслити криву випрямленої напруги  $U_{дн}$  при RC-навантаженні.
8. Накреслити криві напруги  $U_{AK}$  на діоді VD1 і струму  $I_2$  у вторинній обмотці трансформатора, виконавши вказівки пп. 1.20-1.22.
9. Підключити осцилограф до гнізд 11 і 14, накреслити криву напруги  $U_{\phi}$  на опорі  $R_{\phi}$  фільтра.

### L-фільтр

10. Встановити на стенд змінну плату 6 “LC-ФИЛЬТР”.
11. Тумблери SA3 і SA6 встановити в середнє положення, SA4 –в нижнє положення. Тумблером SA5 підключити дросель L1 або L2.



12. Підключити осцилограф до гнізд 14 і 16, накреслити криву напруги  $U_{дн}$  на навантаженні.

13. Накреслити криві напруги  $U_{АК}$  на діоді VD1 і  $U_L$  на дроселі, струму  $I_2$  на вторинній обмотці трансформатора, виконавши пп. 1.20-1.22.

#### LC-фільтр

14. Встановити на стенд змінну плату 6 “LC-ФИЛЬТР”.

15. Тумблери SA3 і SA4 встановити в середнє положення. Тумблером SA5 підключити дросель L1 або L2. Включити стенд.

16. Виміряти і записати до таблиці значення випрямленої напруги без навантаження, виконавши вказівки пп. 1.3-1.5.

17. Тумблер SA4 встановити в нижнє положення, підключивши навантаження до випрямляча.

18. Зняти зовнішню характеристику випрямляча з LC-фільтром, виконавши вказівки пп. 1.6-1.8.

19. Накреслити криву випрямленої напруги  $U_{дз}$  LC-фільтром, підключивши осцилограф до гнізд 14 і 16.

20. Накреслити криві напруги  $U_{АК}$  на діоді VD1 і  $U_L$  на дроселі, струму  $I_2$  на вторинній обмотці трансформатора, виконавши вказівки пп. 1.20-1.22.

#### Транзисторний фільтр

21. Встановити на стенд змінну плату 10 “ТРАНЗИСТОРНЫЙ ФИЛЬТР”.

22. Тумблери SA3, SA4, SA6 встановити в середнє положення, тумблером SA7 підключити конденсатор C5 або C6.

23. Виміряти і записати в таблицю значення випрямленої напруги без навантаження, виконавши вказівки пп. 1.3-1.5.

24. Тумблер SA4 встановити в нижнє положення. Ручку  $R_{\delta}$  встановити в положення 2.

25. Зняти зовнішню характеристику випрямляча з транзисторним фільтром, виконавши п. 1.8.

26. Підключивши осцилограф до гнізд 14 і 16, накреслити криву випрямленого струму  $I_d$ . При цьому ручкою  $R_H$  встановити максимальний струм навантаження.

27. Дослідити вплив опору діляника в базовому колі транзистора на пульсацію струму в навантаженні. При цьому для трьох значень опору  $R_{\delta}$ , заданих викладачем, накреслити криву випрямленого струму в навантаженні, не змінюючи масштаб підсилення осцилографа.

#### 3) Дослідження мостового випрямляча

1. Встановити на стенд змінні плати 3 “ВЫПРЯМИТЕЛЬ МОСТОВОЙ” (рис.8.3) і 5 “РС- ФИЛЬТР”, підготувати стенд до роботи.

2. Тумблери SA3 і SA6 встановити в середнє положення, SA4 – в верхнє.

3. Зняти зовнішню характеристику випрямляча з чисто активним навантаженням, виконавши вказівки пп. 1.3-1.8.

### C-фільтр

4. Зняти зовнішню характеристику випрямляча з C-фільтром відповідно пп. 1.9-1.10.

### RC-фільтр

5. Накреслити криву випрямленої напруги  $U_{дн}$  при RC-навантаженні, виконавши вказівки пп. 2.5-2.7.

6. Підключити осцилограф до гнізд 11 і 14 та накреслити криву напруги  $U_{ф}$  на опорі  $R_{ф}$  фільтра.

7. Підключити осцилограф до гнізд 10 і 13 та накреслити криву напруги  $U_{AK}$  на діоді VD3.

8. Підключити осцилограф до гнізд 2 і 5, накреслити криву струму  $I_2$  у вторинній обмотці трансформатора.

### L-фільтр

9. Встановити на стенд змінну плату 6 “LC-ФИЛЬТР”.

10. Тумблери SA3 і SA6 встановити в середнє, SA4 –в нижнє положення. Тумблером SA5 підключити дросель L1 і L2.

11. Підключивши осцилограф до гнізд 14 і 16, накреслити криву випрямленої напруги  $U_{дн}$  на навантаженні.

12. Підключивши осцилограф до гнізд 10 і 13, накреслити криву напруги  $U_{AK}$  на діоді VD3.

13. Накреслити криві напруги  $U_L$  на дроселі та струму  $I_2$  у вторинній обмотці, виконавши вказівки пп. 1.21-1.22.

### LC-фільтр

14. Встановити на стенд змінну плату 6 “LC-ФИЛЬТР”.

15. Тумблери SA3, SA4 і SA6 встановити в середнє положення.

16. Виміряти та записати у табл. 8.1 значення випрямленої напруги без навантаження, виконавши вказівки пп. 1.4-1.5.

17. Тумблерами SA5 і SA6 підключити дросель L1 або L2 і конденсатор C3 або C4. Тумблер SA4 встановити в нижнє положення, підключивши навантаження до випрямляча.

18. Зняти зовнішню характеристику випрямляча з LC-фільтром, виконавши вказівки пп. 1.3-1.8.

19. Накреслити криву випрямленої напруги  $U_{дн}$  на навантаженні, підключивши осцилограф до гнізд 14 і 16.

20. Накреслити криву напруги  $U_{AK}$  на діоді VD3, підключивши осцилограф до гнізд 10 і 11.

21. Накреслити криві напруги  $U_L$  на дроселі та струму  $I_2$  у вторинній обмотці трансформатора, виконавши вказівки пп. 1.21-1.22.

### Транзисторний фільтр

22. Встановити на стенд змінну плату 10 “ТРАНЗИСТОРНЫЙ ФИЛЬТР”.

23. Дослідити випрямляч з транзисторним згладжуючим фільтром,

виконавши вказівки пп. 2.22-2.27.

4) Дослідження однофазного мостового випрямляча з подвоєнням напруги

1. Встановити на стенд змінні плати 4 “ВЫПРЯМИТЕЛЬ С УДВОЕНИЕМ” (рис. 8.4) і 5 „РС-ФИЛЬТР” і підготувати стенд до роботи.
2. Тумблери SA3 і SA6 встановити в середнє положення.
3. Зняти зовнішню характеристику випрямляча, виконавши вказівки пп. 1.3-1.8.
4. Ручкою  $R_n$  встановити мінімальний струм  $I_d$  в навантаженні.
5. Підключити осцилограф до гнізд 14–16 і накреслити криву випрямленої напруги  $U_{дн}$  на навантаженні.
6. Підключити осцилограф до гнізд 7 і 6 та 13 і 6, накреслити криві напруги  $U_C$  на конденсаторах C1 і C2 мостового випрямляча.
7. Підключити осцилограф до гнізд 1 і 5 і накреслити криву струму  $I_2$  у вторинній обмотці трансформатора.

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНИХ ВИПРЯМЛЯЧІВ ЗІ ЗГЛАДЖУЮЧИМИ ФІЛЬТРАМИ**

В лабораторній роботі досліджується ряд однофазних випрямлячів, схеми яких наведені на рис. 8.1 – 8.4.

У випрямлячах, що перетворюють енергію джерела змінного струму в постійний, крива випрямленої напруги формується із ділянок синусоїдальної кривої напруги живлення.

При цьому постійна складова кривої випрямленої напруги (рис. 8.8) визначає середнє значення випрямленої напруги, яка є одним з основних параметрів випрямляча.

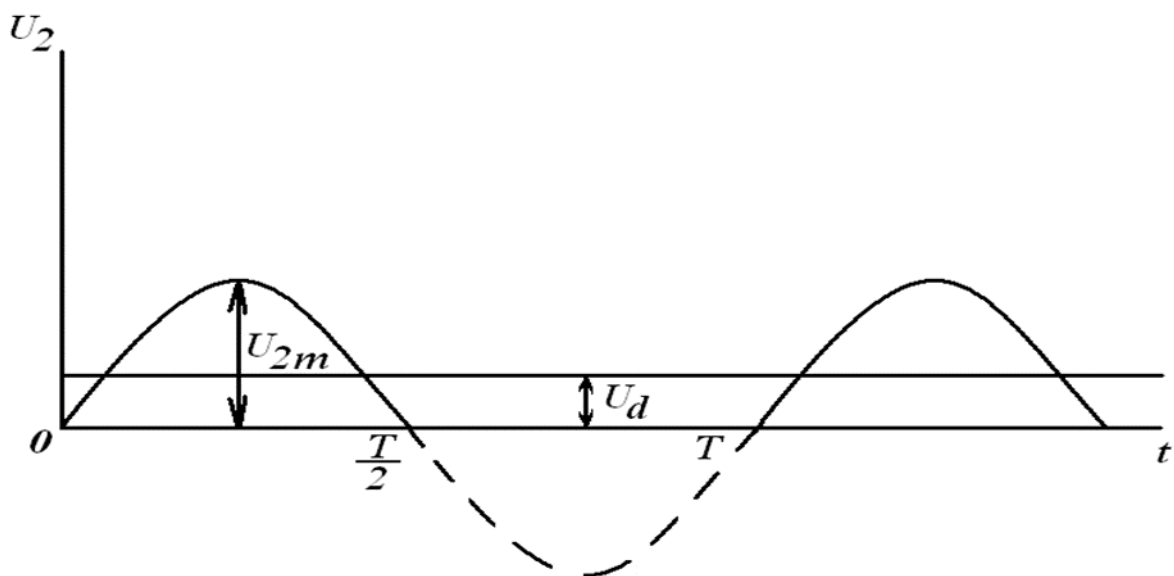


Рис. 8.8 – Часова діаграма роботи однопівперіодного випрямляча

Середнє значення випрямленої напруги  $U_d$  визначається напругою на вторинній обмотці трансформатора та схемою випрямляча і розраховується за формулою:

$$U_d = \frac{1}{T} \int_0^T \sqrt{2} U_2 \sin \omega t d\omega t,$$

де  $U_2$  – діюча напруга вторинної обмотки трансформатора;

$T$  – період повторення кривої випрямленої напруги.

Для однопівперіодного випрямляча при  $T=2\pi$  середня випрямлена напруга  $U_d = 0,45 U_2$ . Для двопівперіодного нульового і мостового випрямлячів значення напруги  $U_d = 0,9 U_2$ .

При виконанні лабораторної роботи слід порівняти значення випрямленої напруги для різних схем випрямлячів на холостому ході, враховуючи, що напруга на вторинних обмотках трансформатора живлення однакова.

Як видно з рис. 8.8, крива випрямленої напруги, крім постійної складової  $U_d$ , містить змінну (пульсуючу) складову.

Для оцінювання якості випрямленої напруги користуються коефіцієнтом пульсації:

$$K_{\Pi} = \frac{U_{m(1)}}{U_d},$$

де  $U_{m(1)}$  – амплітудне значення першої гармоніки випрямленої напруги.

Коефіцієнт пульсації  $K_{\Pi}$  визначають за основною гармонікою, котра, маючи найбільшу амплітуду і найменшу частоту, призводить до збільшення встановленої потужності реактивних елементів згладжуючих фільтрів.

Для зменшення пульсації напруги на навантаженні використовують пасивні та активні фільтри. Відношення коефіцієнта пульсації на вході випрямляча  $K_{\Pi ВХ}$  до коефіцієнта пульсації на навантаженні  $K_{\Pi ВИХ}$  визначає ефективність згладжування фільтром випрямленої напруги і називається коефіцієнтом згладжування  $K_{зг} = K_{\Pi ВХ} / K_{\Pi ВИХ}$ .

На рис. 8.5 – 8.7 зображенні схеми згладжуючих фільтрів, що вивчаються в даній роботі, при підключенні їх до однофазних випрямлячів.

В залежності від типу згладжуючого фільтра, відрізняють вид реактивного навантаження. Відмінною особливістю тієї або іншої реакції навантаження є тривалість провідного стану діода випрямляча. Половина кута, протягом якого діод знаходиться у провідному стані, називається кутом відтину  $\theta$ .

В разі, коли до випрямляча першим підключений конденсатор фільтра, реакція навантаження має ємнісний характер. При цьому, кут відтину  $\theta$  менше ніж половина періоду зміни вихідної напруги (рис. 8.9).

Коли до випрямляча першим підключений дросель фільтра, то реакція навантаження має індуктивний характер. При цьому, для однопівперіодної схеми випрямлення кут відтину  $\theta$  більший ніж половина періоду випрямленої напруги (рис. 8.10). Це відповідає режиму переривистого струму навантаження.

В двопівперіодних схемах з індуктивними фільтрами струм навантаження неперервний, а кут відтину  $\theta = \pi$ .

При побудові діаграм, що характеризують процеси у схемах випрямлячів, що вивчаються, та згладжуючих фільтрів, слід прийняти допущення про ідеальність трансформатора живлення, діодів випрямляча та елементів згладжуючих фільтрів.

### 1) Дослідження роботи випрямляча з ємнісним С-фільтром

Конденсатор С-фільтра шунтує навантаження за змінною складовою напруги, причому його опір для основної гармоніки пульсацій повинен бути набагато меншим опору навантаження. Постійна складова випрямленої напруги при цьому замикається через навантаження. Енергія, яка накопичується конденсатором під час протікання струму, віддається до навантаження в той інтервал часу, коли діоди випрямляча знаходяться у закритому стані, завдяки чому згладжуються пульсації випрямленої напруги.

На рис. 8.9 показана крива випрямленої напруги  $U_d$  двопівперіодного випрямляча з ємнісним навантаженням. В цьому випадку струм  $i_2$  у вторинній обмотці трансформатора має перервний характер. В інтервалі часу (наприклад,  $t_1 - t_2$ ), коли миттєва напруга мережі  $U_2$  більше напруги  $U_C$  на конденсаторі фільтра, діоди випрямляча відкриті. При цьому струм вторинної обмотки  $i_2$  заряджає конденсатор і живить навантаження випрямляча:

$$i_2 = i_C + i_H, \quad i_H \ll i_C.$$

В момент часу  $t_2$  напруга на конденсаторі стає більш, ніж миттєва напруга мережі, діоди замикаються, а струм в навантаженні підтримується тільки за рахунок розряду (в інтервалі  $t_2 - t_3$ ) конденсатора, тобто  $i_H = -i_C$ .

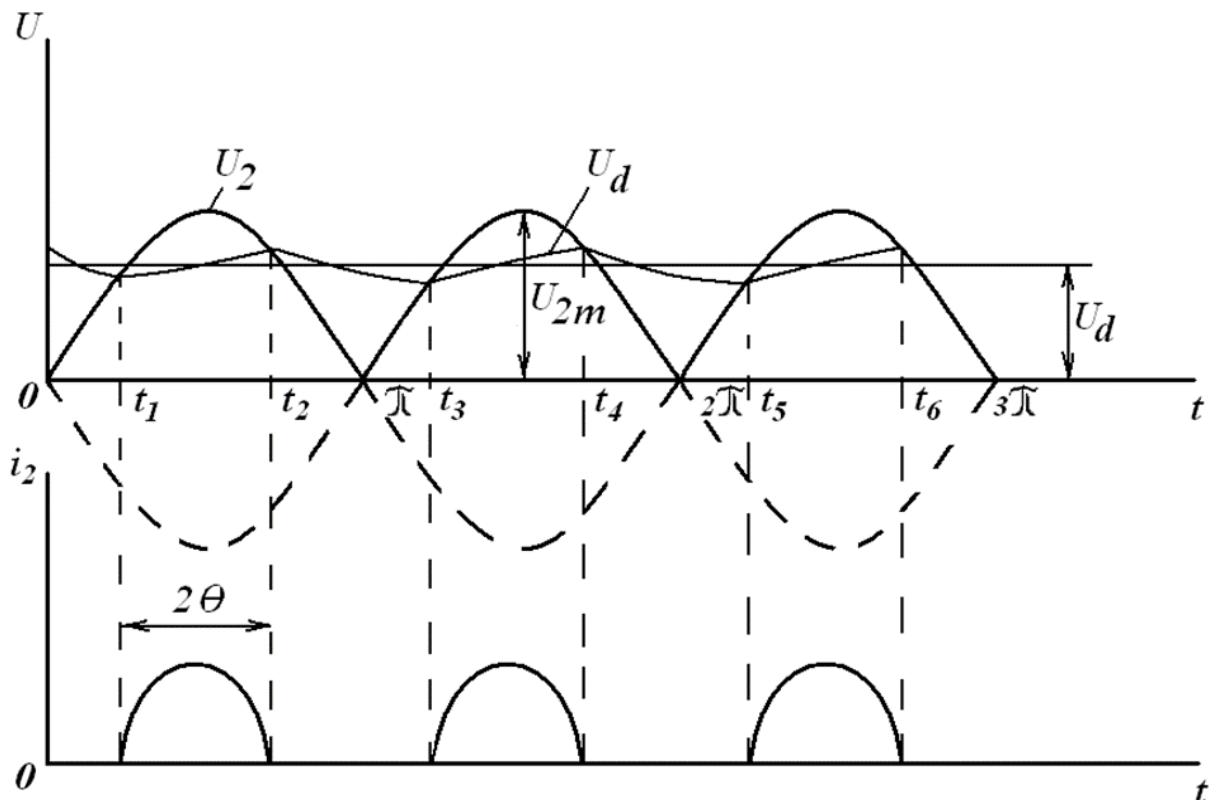


Рис. 8.9 – Часові діаграми роботи двопівперіодного випрямляча з С-фільтром

Вплив на форму випрямленої напруги струму навантаження і ємності фільтра можна визначити, спостерігаючи криву випрямленої напруги на осцилографі при зміні навантаження ручкою керування  $R_H$  та підключенні тумблером SA3 різних за розміром конденсаторів фільтра C1 або C2.

В інтервалі провідності діода  $t_1 - t_2$  падінням напруги на діоді можна знехтувати. Напруга на закритому діоді в інтервалі  $t_2 - t_3$  обумовлюється сумою напруг на вторинній обмотці трансформатора та конденсаторі фільтра. Оскільки постійна часу  $\tau_p$  розряду конденсатора фільтра визначається опором навантаження та ємністю конденсатора

$$\tau_p = R_H C_\phi,$$

то, при підвищенні струму навантаження (зменшенні  $R_H$ ), постійна часу  $\tau_p$  зменшується і збільшується пульсація випрямленої напруги.

Енергія, яка накопичується конденсатором фільтра, пропорційна квадрату напруги та ємності конденсатора. Через це ємнісні фільтри ефективні при малих струмах навантаження і великих напругах у випрямлячах потужністю до кількох сотен ват.

### 2) Дослідження роботи випрямляча з активно-ємнісним RC-фільтром

Конденсатор  $C_\phi$  активно-ємнісного фільтра шунтує навантаження за змінною складовою напруги, котра обмежується опором фільтра  $R_\phi$ .

Завдяки активному опору  $R_\phi$ , амплітуда струму  $i_2$  вторинної обмотки трансформатора знижується, а кут відтину  $\theta$  збільшується.

Суттєвим недоліком RC-фільтра є збиток потужності на опорі  $R_\phi$ . Це знижує ККД фільтра, зменшує значення випрямленої напруги, через це RC-фільтри доцільно використовувати у випрямлячах при малих струмах навантаження. Перевагою RC-фільтра над C-фільтром є більший коефіцієнт згладжування  $K_{зг}$ .

### 3) Дослідження роботи випрямляча з індуктивними фільтрами

При роботі випрямляча на індуктивне навантаження (двигун, реле або індуктивний згладжуючий фільтр) реакція навантаження має індуктивний характер. В цьому разі згладжування випрямленого струму забезпечується за рахунок накопиченої в індуктивності енергії, котра віддається до навантаження при зниженні струму.

Індуктивний згладжуючий фільтр (дросель) підключається послідовно з навантаженням. Опір фільтра для основної гармоніки пульсації повинен бути більшим, ніж опір навантаження. При цьому вищі гармоніки напруги спадають на дроселі фільтра, а постійна складова проходить до навантаження практично без втрат.

На рис. 8.10 зображені криві напруг та струмів в елементах схеми однопівперіодного випрямляча, який працює з індуктивним фільтром та активним навантаженням.

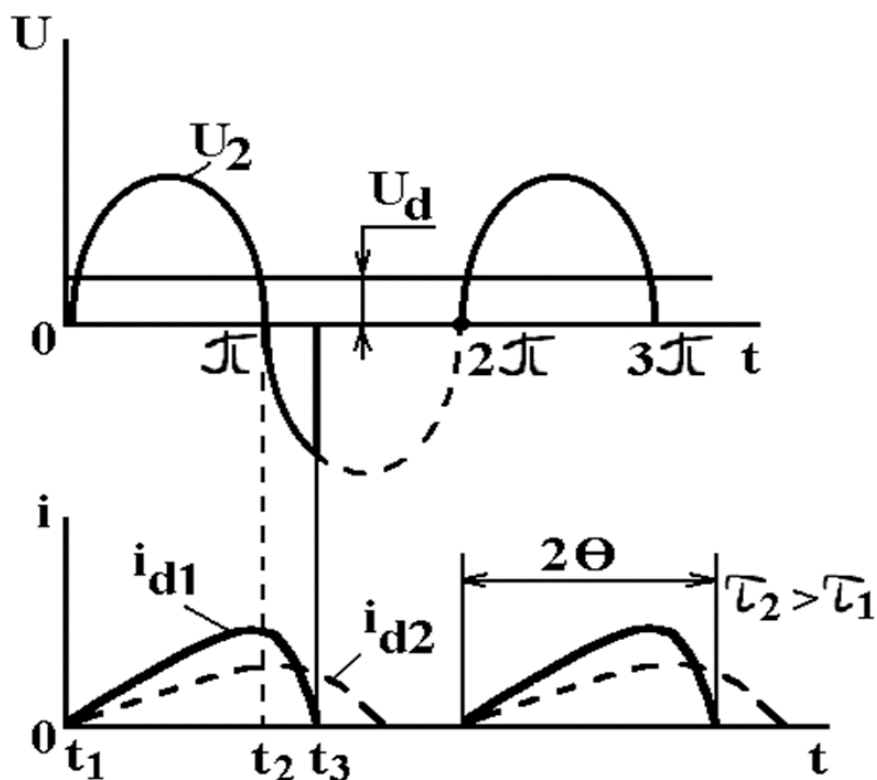


Рис. 8.10 – Часові діаграми роботи однопівперіодного випрямляча з L-фільтром

На відміну від чисто активного навантаження, струм  $i_2$  в ланцюгу випрямляча, який виник під час початку  $t_1$  позитивної напівхвилі напруги, наростає уповільнено через індуктивність фільтра і досягає свого максимуму на момент  $t_2$  переходу напруги  $U_2$  через нуль. В інтервалі  $t_2 - t_3$  діод випрямляча відкритий, бо ЕРС самоіндукції, яка з'являється в дроселі, підтримує струм в ланцюгу навантаження. При цьому енергія від дроселя частково подається до мережі живлення (бо струм в обмотці трансформатора спрямовано проти її ЕРС). Завдяки цьому струм навантаження більш різко спадає, ніж наростає.

Інтервал провідності діода закінчується на момент  $t_3$ , коли енергія, запасена в дроселі, стає рівною нулю.

Таким чином, при індуктивній реакції навантаження кут відтину  $\theta$  діода в однопівперіодному випрямлячі перевищує  $\frac{\pi}{2}$  і залежить від опору активного навантаження  $R_n$  і індуктивності  $L_\phi$  згладжуючого дроселя. При  $R_n=0$  інтервал провідності діода збільшується і стає рівним  $2\pi$ , бо відсутні втрати енергії.

На кривій випрямленої напруги в інтервалі  $t=(t_3-t_2)$  внаслідок затягування хвилі струму з'являється негативна площадка, що призводить до зниження середнього значення випрямленої напруги  $U_d$ . При виконанні лабораторної роботи (п. 1.22) це явище слід вивчити, змінюючи струм навантаження ручкою керування  $R_d$  і підключаючи тумблером SA5 дроселі з різною індуктивністю.

В двопівперіодному випрямлячі при чисто індуктивному навантаженні ( $R_n=0$ ) завдяки тому, що в момент  $t_2$  (рис. 8.10) починає проводити струм друге плече випрямляча, струм навантаження переходить до ланцюга другого діода. В

результаті струм навантаження стає неперервним, а кут відтину стає рівним  $\frac{\pi}{2}$ .

Завдяки тому, що енергія, накопичена дроселем, пропорційна квадрату струму, що тече, індуктивні фільтри ефективні при великих струмах навантаження у випрямлячах середньої та великої потужності.

#### 4) Дослідження роботи випрямляча з LC-фільтром

У випрямлячів невеликої потужності найкраще згладжування випрямленої напруги досягається при включенні Г-подібних LC-фільтрів (рис. 8.6). В цьому випадку конденсатор фільтра шунтує навантаження за змінною складовою, а на дроселі фільтра відбувається падіння напруги гармонік випрямленої напруги.

При розрахунках Г-подібних LC-фільтрів значення індуктивності  $L$  дроселя і ємності  $C$  конденсатора обирають, виходячи з потрібного коефіцієнта згладжування  $K_{зг}$  випрямленої напруги:

$$LC = \frac{K_{зг} + 1}{\omega_{(1)}^2},$$

де  $\omega_{(1)}$  – кругова частота першої гармоніки випрямленої напруги.

При великих напругах живлення знижують ємність конденсатора фільтра, а при великих струмах навантаження зменшують індуктивність дроселя.

#### 5) Дослідження роботи випрямляча з транзисторним фільтром

Не дивлячись на простоту і надійність LC-фільтрів, їх вага та розміри суттєво впливають на загальну масу і розміри випрямляючого пристрою. Шкідливий вплив на живлену радіоелектронну апаратуру можуть мати магнітні поля розсіювання згладжуючого дроселя, виконаного з повітряним зазором. У зв'язку з цим, все більше використання, особливо в пристроях з елементами мікроелектроніки, знаходять так звані активні фільтри, в котрих у якості елемента, згладжуючого пульсації струму, використовується транзистор.

На рис. 8.7 зображена схема досліджуваного транзисторного фільтра. Транзисторний фільтр підключається до випрямляча послідовно з навантаженням. Постійна складова спрямленої напруги повинна дійти до навантаження, а змінна складова – виділитися на транзисторі.

При прикладенні пульсуючої випрямленої напруги  $U_d$  з амплітудою основної гармоніки  $U_{m(1)}$  до транзистора, падіння напруги на транзисторі  $U_{\text{ТРАН}}$  має постійну складову, визначену обраним робочим режимом транзистора, і змінну складову, рівну пульсації спрямленої напруги. Різниця напруг на випрямлячі  $U_d$  та транзисторі  $U_{\text{ТРАН}}$  весь час залишається постійною. Таким чином, до навантаження прикладається постійна напруга  $U_{\text{дН}} = U_d - U_{\text{ТРАН}}$ .

Розглянутий режим роботи транзистора додержується при стабілізованому струмі бази. Завдяки цьому базовий ланцюг живиться від дволанкового Г-подібного RC-фільтра ( $R_1$ - $C_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $C_5$ ,  $C_6$ ), при цьому конденсатор  $C_5$  ( $C_6$ ) є джерелом постійного зміщення в ланцюгу емітер-база транзистора. Постійний струм бази визначає робочу крапку.



В лабораторній роботі (п. 2.27) вплив параметрів фільтра на якість згладжування спрямленої напруги можна вивчити зміною ємності конденсатора (тумблер SA7) і опору (ручка керування  $R_d=R_3$ ) в ланцюгу живлення бази транзистора при спостереженні кривої спрямленої напруги.

Транзисторні фільтри призначені для роботи з навантаженням до кількох амперів і напруг до десятків вольт.

б) Дослідження зовнішніх характеристик випрямляча

При протіканні струму навантаження крізь елементи випрямляча виникає падіння напруги на діодах, в активних опорах трансформатора та згладжуючого фільтра, внаслідок чого зовнішня характеристика випрямляча  $U_{dH}=f(I_d)$  має спадаючий характер: зі зростанням струму навантаження  $I_d$  спрямлена напруга  $U_d$  знижується.

На рис. 8.11 зображені зовнішні характеристики двопівперіодного випрямляча без фільтра (крива 1), з ємнісним фільтром (крива 2), ємнісним фільтром більшої ємності (крива 3), індуктивно-ємнісним фільтром (LC-фільтром) (крива 4).

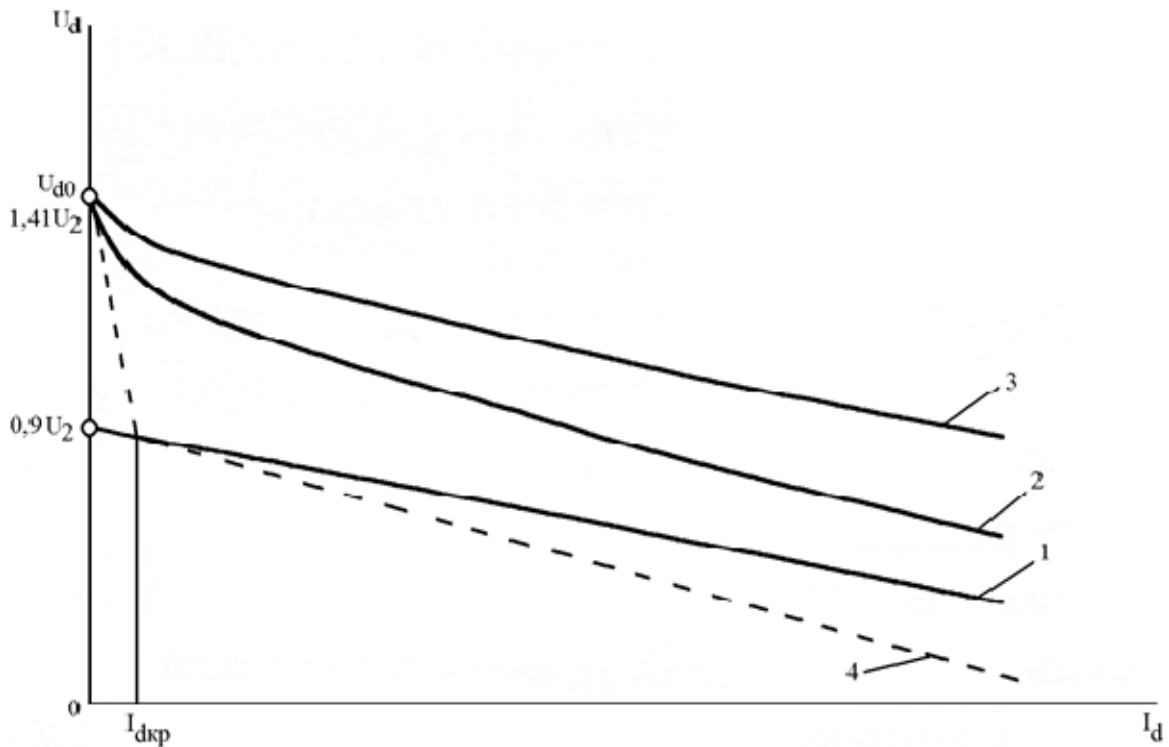


Рис.8.11 –Зовнішні характеристики випрямляча

Максимальну спрямлену напругу  $U_{d0}$  випрямляча без згладжуючого фільтра можна розрахувати за формулою, приведеній на с. 12. В лабораторній роботі  $U_{d0}$  визначається при дослідженні кожної схеми випрямляча при відсутності струму навантаження (на холостому ході).

При підключенні С-фільтра на холостому ході конденсатор заряджається до амплітудного значення напруги вторинної обмотки трансформатора (рис. 8.11, криві 2 та 3). Жорсткість (кут нахилу) зовнішньої характеристики випрямляча з ємнісним фільтром визначається постійною часу розряду

конденсатора. Через це для поліпшення зовнішньої характеристики випрямляча потрібно збільшити ємність конденсатора згладжуючого фільтра.

Зовнішня характеристика випрямляча з L-фільтром подібна характеристиці випрямляча без згладжуючих фільтрів, але із-за падіння напруги на активному опорі дроселя крутизна зовнішньої характеристики стає більшою.

Визначною особливістю зовнішньої характеристики випрямляча з LC-фільтром є наявність круто спадаючої початкової ділянки (рис. 8.11, крива 4). На цій ділянці від крапки холостого ходу до крапки  $I_{дкр}$  струм навантаження має перервний характер, а випрямляч працює в режимі, близькому до режиму роботи з ємнісним фільтром. В цьому разі дросель виконує роль заряджаючого елемента в ланцюгу конденсатора згладжуючого фільтра, причому при нульовому струмі навантаження конденсатор заряджається до амплітудного значення напруги вторинної обмотки трансформатора.

З підвищенням  $I_d$  на пологій ділянці характеристики реакція навантаження має активно-індуктивний характер.

Величина критичного струму  $I_{дкр}$  обернено пропорційна індуктивності дроселя фільтра і може складати 5..10% номінального струму навантаження.

Випрямляч з транзисторним згладжуючим фільтром має жорстку зовнішню характеристику, крутизна якої визначається падінням напруги на діодах та трансформаторі і не залежить від фільтра.

Експериментально одержані зовнішні характеристики випрямлячів (з метою їх зіставлення) слід побудувати в однакових координатних осях, додержуючись масштабів струму і напруги.

### 7) Деякі особливості роботи фільтрів

Ємнісний фільтр відзначається своєю простотою і дешевизною. Проте у нього, як наслідок переривчастості струму заряду конденсатора, присутнє імпульсне перевантаження за струмом вентилів і обмоток трансформатора у робочому режимі випрямляча. Крім того, переривчасте споживання струму з мережі живлення вносить в неї додаткові гармонійні складові, що вимагає установки додаткових вхідних фільтрів, які повинні забезпечувати умови електромагнітної сумісності споживачів (виключати взаємні завади). Тому ємнісні фільтри використовують тільки за малої потужності навантаження випрямляча.

Індуктивний фільтр, хоча він і більш громіздкий та дорогий, забезпечує безперервність струму, споживаного з мережі, що автоматично виконує умови електромагнітної сумісності споживачів. Тому в потужних випрямлячах використовують саме індуктивні фільтри.

Але в таких режимах роботи випрямляча, коли навантаження різко змінює свою величину, наприклад, коли воно чи значна його частина повністю вмикається або вимикається, індуктивність фільтра спричиняє перехідні процеси, що супроводжуються різкими змінами величини напруги на навантаженні. Це відбувається тому, що, як відомо, згідно з першим законом комутації, струм в індуктивності не може змінюватися стрибкоподібно. У

результаті, при вмиканні навантаження виникає провал напруги на час, доки дросель не накопичить енергію, а при вимиканні – викид напруги на час, доки дросель не витратить накопичену енергію, бо в обох випадках він намагається підтримувати незмінним значення струму, що було до комутації. Наслідком різких змін напруги можуть бути збої в режимах роботи навантаження і навіть вихід його з ладу через перенапругу.

Запобігти вказаним явищам дозволяє застосування Г-подібного фільтра. Крім, як вже зазначалося, підвищення ефективності фільтра в цілому, наявність конденсатора веде також і до зменшення величини провалів і викидів напруги на виході фільтра, бо, згідно з другим законом комутації, напруга на конденсаторі (а значить, і на підключеному паралельно до нього навантаженні) не може змінюватися стрибкоподібно.

Роботу фільтра за перехідних режимів ілюструє рис. 8.12, де на часовій діаграмі суцільною лінією показано напругу на навантаженні при індуктивному фільтрі, а штриховою - при Г-подібному.

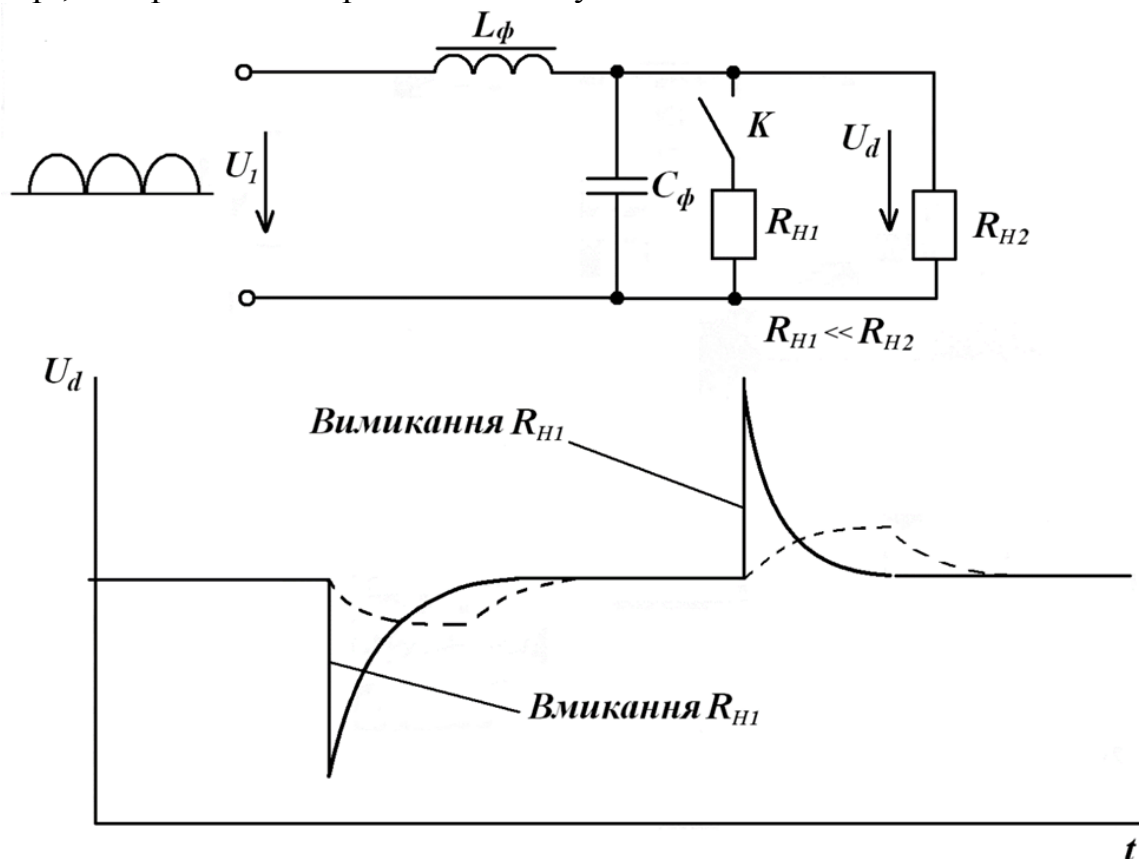


Рис. 8.12 – Робота фільтрів у перехідних режимах

### ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт повинен містити: номер, назву та мету роботи; принципові схеми і стислий опис досліджуваних пристроїв, таблиці з розрахунковими і експериментальними даними; осцилограми напруг і струмів, побудовані в одному масштабі часу; висновки за результатами досліджень.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Колонтаєвський Ю.П., Сосков Ю.Г. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003.-368 с.
2. Основы промышленной электроники: Учебник / Под ред. В.Г. Герасимова. – М.: Высш. шк., 1986. – 336 с.
3. Основы схемотехники электронных систем: Підручник / В.І. Бойко, А.М. Гуржій, В.Я. Жуйков та ін. – К.: Вища шк., 2004. – 527 с.