

## Практичне заняття 1

### РОЗРАХУНОК ОДНОФАЗНИХ ВИПРЯМЛЯЧІВ

#### Мета заняття

1. Закріплення знань принципів побудови та особливостей функціонування спрямляючих діодів. Дослідження їх спроможності бути використаними в різноманітних схемах однофазних випрямлячів.

2. Прищеплення навичок розрахунку параметрів однофазних діодних випрямлячів, а також побудови та налагоджування їх схем за допомогою програмного забезпечення Electronics Workbench.

#### Стислі теоретичні відомості

Найчастіше в якості джерел живлення електронних приладів використовують вторинні джерела, в яких напруга необхідної якості отримують в результаті її перетворення зі змінної напруги електричної мережі (частота – 50 Гц, діюче значення напруги – 220 В.). Безпосереднє використання напруги електричної мережі (первинне джерело) в більшості випадків неможливе в зв'язку:

- необхідністю використовувати для живлення електронних приладів постійної напруги, припустимі зміни якої не повинні перевищувати достатньо вузькі межі;
- значним розкидом номіналів напруги, що використовують для живлення електронних приладів;
- значною нестабільністю напруги електричної мережі (+13%...мінус 20%).

До останнього часу найбільш застосовувались джерела вторинного електроживлення, структурна схема яких зображена на рис. 1.

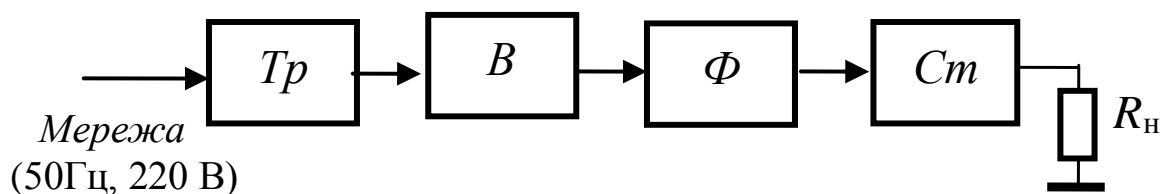


Рис. 1

Вона сформована з послідовно з'єднаних трансформатора ( $Tr$ ), випрямляча ( $B$ ), згладжувального фільтра ( $\Phi$ ) і стабілізатора ( $Cт$ ). Трансформатор забезпечує первинне узгодження за рівнем напруги, випрямляч – за частотою, стабілізацію коротко часову забезпечує фільтр, довго часову – стабілізатор.

### Однофазний однопівперіодний випрямляч

Схема найпростішого однофазного однопівперіодного випрямляча зображена на рис. 2,а. Проаналізуємо його роботу, припустивши, що він працює на активне навантаження  $R_H$ , а вхідна напруга змінюється по синусоїдальному закону  $U_{вх} = U_m \sin \omega t$ .

На інтервалі  $0 \leq t \leq T/2$  (рис. 2,б) на напівпровідниковий діод  $VD$  надходить пряма напруга. Тому він проводить струм, який в навантаженні створює напругу, що повторює вхідний сигнал.

На інтервалі  $T/2 \leq t \leq T$  діод  $VD$  зміщений в зворотному напрямку і струм та напруга навантаження дорівнює нулю. Уся вхідна напруга виникає на діоді, що може призвести до його пробію. Найбільш ймовірний пробій при максимальному, амплітудному значенні зворотної напруги  $U_m$ .

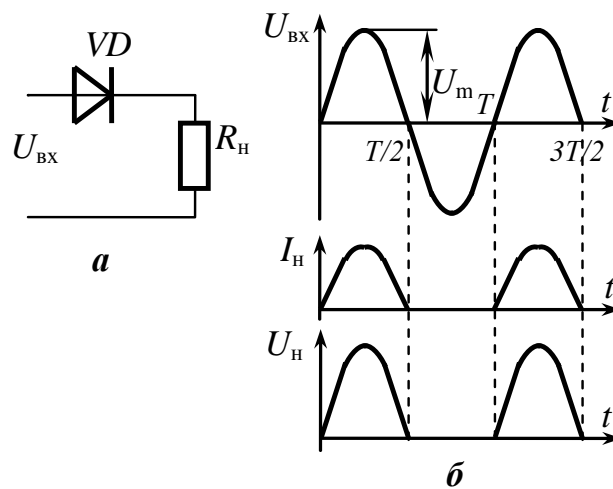


Рис. 2

Подібна картина буде спостерігатися в усіх послідовних періодах. Середня напруга навантаження

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} U_m \sin \omega t dt = -\frac{U_m}{T \omega} \Big|_0^{T/2} = U_m / \pi.$$

Середній струм діода дорівнює середньому струму ланцюга.

Струм та напруга навантаження – пульсуючі однополярні. Якщо розкласти їх в ряд Фур'є, то маємо:

$$u_i = \frac{U_m}{\pi} + \frac{U_m}{2} \sin \omega t - \frac{2U_m}{3\pi} \cos 2\omega t + \dots,$$

де  $(U_m / \pi)$  – постійна складова випрямленої напруги, яка дорівнює середнє випрямленому значенню  $U_0$  (див. вище отримане значення для  $U_0$ );  
 $U_1 = (U_m / 2) \sin \omega t$  – перша (основна) гармоніка напруги навантаження;  
 $(2 U_m / 3\pi) \cos \omega t + \dots$  – друга та подальші гармоніки напруги навантаження.

Змінний, пульсуючий характер вихідної напруги випрямляча, характеризують коефіцієнтом пульсацій, який визначається відношенням амплітуди найбільшої гармоніки до постійної складової:

$$K_n = \frac{U_1}{U_0} = \frac{\pi}{2} \approx 1,57.$$

### Однофазний двопівперіодний випрямляч

Параметри вихідної напруги можна покращити, якщо струм крізь навантаження буде проходити в обидва півперіоди вхідної напруги. Це можна зробити використовуючи дві схеми однопівперіодного випрямляча, що будуть робити на одне навантаження. Для цього на кожен з них необхідно подавати протифазну напругу. Це реалізовано в однофазному випрямлячі, вторинна обмотка трансформатора якого має дві однакові обмотки з виводом від середньої точки (рис. 3,а). Тому на кожен діод поступає однакова за величиною напруга, фаза якої зміщена на  $180^\circ$  (рис. 3,б, де  $U_{1ВХ} = U_{m\ об} \sin\omega t$  і  $U_{2ВХ} = U_{m\ об} \sin(\omega t + \pi)$ ;  $U_{m\ об}$  – амплітуда напруги на одній половині вторинної обмотки трансформатора).

В один з півперіодів, коли верхній вивід обмотки позитивний відносно середнього струм навантаження проходить крізь діод  $VD1$ . В наступний півперіод струм формується діодом  $VD2$  причому струм в навантаженні знову йде в напрямку до середньої точки. Тому середній струм та напруга навантаження зростає два рази в порівнянні з однопівперіодним випрямлячем:

$$U_0 = 2U_{m\ \dot{a}} / \pi.$$

Середній струм кожного діода зменшується в два рази в порівнянні з середнім струмом навантаження

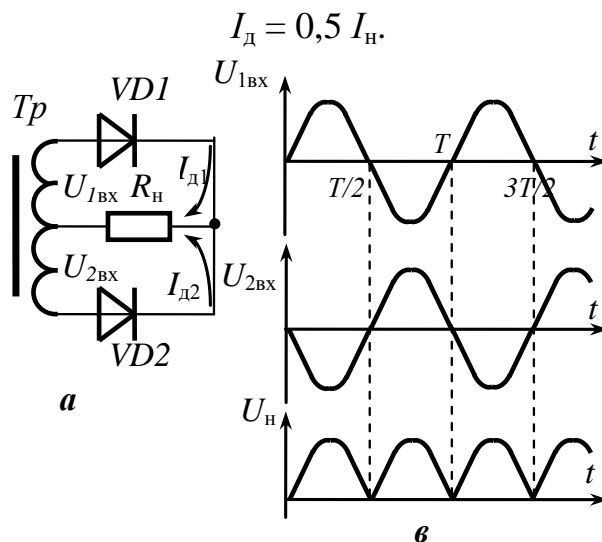


Рис. 3

Зменшуються і пульсації вихідної напруги. Коефіцієнт пульсацій зменшується до значення  $K_n = 0,67$ , причому частота максимальної складової зростає у два рази ( $f_n = 2 f_m = 100$  Гц). Однак зворотна напруга на закритому діоді також зростає у два рази порівняно з напругою однієї половини обмотки, бо до закритого діода буде прикладена напруга всієї вторинної обмотки трансформатора.

Найкращі показники має мостова схема випрямляча (рис. 4). В ньому при позитивній вхідній напрузі струм навантаження йде крізь діоди  $VD3$  і  $VD2$ , при негативній – крізь діоди  $VD4$  і  $VD1$ . Тому форма напруги та струму навантаження не відрізняються від наведених на рис. 3. Не відрізняються і співвідношення між середніми та амплітудними значеннями і значеннями коефіцієнта пульсацій. Максимальна зворотна напруга на діоді дорівнює амплітуді вхідної.

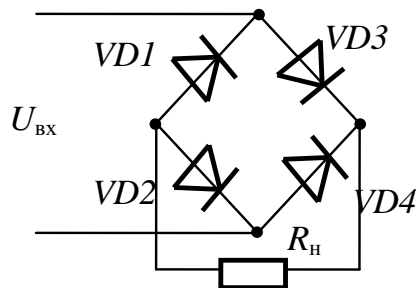


Рис. 4

### Рекомендації щодо підготовки до практичного заняття

Практичне заняття передбачає наявність твердих знань теорії операційних підсилювачів їх параметрів, характеристик, особливостей використання в схемах різного призначення щодо обробки аналогових та цифрових сигналів, а саме:

- організації функціонування операційного підсилювача в режимі підсилення вхідного сигналу з інвертуванням (без інвертування);
- використання операційного підсилювача для отримання суми (інвертованої суми) вхідних сигналів;
- використання операційного підсилювача для побудови схеми інтегрування (диференціювання) вхідних сигналів;
- використання операційного підсилювача для побудови схеми порівняння аналогових сигналів.

### Питання для самоконтролю:

1. Дати характеристику операційного підсилювача.
2. Пояснити принцип функціонування компаратора на операційному підсилювачі.
3. Яким чином можна отримати повторювач вхідних сигналів, що інвертує (не інвертує)?
4. Дати характеристику основним параметрам операційного підсилювача.
5. У чому полягає роль резистора зворотного зв'язку для реалізації властивостей операційного підсилювача?

### Вказівки до виконання завдання:

Функціональні схеми однофазних випрямлячів наведені на рис. 2, 3, 4. Як було пояснено, у першій схемі випрямляється лише один півперіод напруги, яка виникає на вторинній обмотці трансформатора. У двох інших схемах випрямляється два півперіоди, тому вони названі двопівперіодними.

Діод, який забезпечує випрямлення напруги, повинен бути здатен витримати середній спрямлений струм ( $I_d$ ), що проходить через нього при прямій нарузі та максимальну зворотну напругу ( $U_{дзв}$ ), яка з'являється на вторинній обмотці трансформатора. Співвідношення між ними та середніми спрямленими напругою  $U_0$  і струмом  $I_0$  (дані, що вказані в табл. 2) для різних схем випрямляча наведені у табл. 3.

Таблиця 3

Параметр	Тип схеми		
	Однопів-періодна	Двопівперіодна з середньою точкою	Мостова
Струм діода, $I_d$	$I_0$	$I_0 / 2$	$I_0 / 2$
Зворотна напруга, $U_{дзв}$	$\pi U_0$	$\pi U_0$	$0,5 \cdot \pi U_0$
Коефіцієнт Пульсацій	1,57	0,67	0,67

*Примітка до табл. 3.* Наведені співвідношення відповідають роботі випрямляча на активне навантаження. Урахування реактивності навантаження значно ускладнює розрахунки [9, 10].

Гранично (максимально) припустимі параметри вибраного (за довідником) діода повинні задовольняти нерівностям:

$$I_{сер\ макс} \geq K_1 I_d, \quad U_{зв\ макс} \geq K_1 U_{дзв}, \quad (1)$$

де  $I_{сер\ макс}$  – максимально припустимий середній спрямлений струм діода;

$U_{зв.макс}$  – максимально припустима зворотна напруга діода;

$K_1 = 1,2 \dots 1,5$  – коефіцієнт запасу.

Величини  $I_{сер\ макс}$  та  $U_{зв.макс}$  беруться з довідникової літератури [14] або технічної документації.

Коефіцієнт трансформації трансформатора визначається за однією з формул:

$$K_{тр} = \frac{U_{2\ макс}}{U_{м\ макс}} = \frac{U_2}{U_m}. \quad (2)$$

де  $U_{2 \text{ макс}}, U_{\text{м макс}}$  – амплітуди напруги на вторинній обмотці трансформатора та напруги мережі,  $U_2, U_{\text{м}}$  – їх діючі значення.

Співвідношення амплітудного і діючого значень для синусоїдного сигналу

$$U_{\text{макс}} = 1,41 U_{\text{діюч}} . \quad (3)$$

Для зменшення пульсацій використовують фільтри. Дія фільтра характеризується коефіцієнтом згладжування  $q$ , який дорівнює

$$q = \frac{K_{\text{п вх}}}{K_{\text{п вих}}} , \quad (4)$$

де  $K_{\text{п вх}}, K_{\text{п вих}}$  – коефіцієнти пульсацій на вході та виході фільтра. Значення першого наведено у табл. 3, другого – в табл. 2.

Згладжуючи властивості фільтра визначаються його типом і номіналами елементів, що використовують. Для Г-подібного  $LC$  фільтра співвідношення між значеннями індуктивності і ємності та коефіцієнтом згладжування визначаються формулою:

$$L_0 C_0 = \frac{10}{m^2} (q+1), [\text{Гн мкФ}] \quad (5)$$

де  $m = 1$  для однопівперіодної схеми випрямляча;

$m = 2$  – для двопівперіодної.

Індуктивність дроселя задано, тому за формулою (5) визначається необхідна ємність конденсатора. За розрахованою величиною вибирається тип конденсатора і його номінали [16]. Ці дані наводяться у звіті.

## Програма практичного заняття

### Завдання № 1

У відповідності з вказаним викладачем варіантом (табл. 2) розрахувати однофазний випрямляч з ідеальними вентилями і трансформатором (без врахування втрат у них), що працює на активне навантаження. Вибрати тип напівпровідникових вентилів, що найбільш підходить за параметрами, визначити коефіцієнт трансформації силового трансформатора, вважаючи, що живлення здійснюється від мережі  $U_{\text{м}} = 220 \text{ В}, f_{\text{м}} = 50 \text{ Гц}$ .

Таблиця 1

№ варіанту	$U_0$ , В	$I_0$ , А	Тип сх.	$K_{\text{п}}$ , %	№ варіанту	$U_0$ , В	$I_0$ , А	Тип сх.	$K_{\text{п}}$ , %
1	30	4,0	1	5	16	150	0,3	1	10
2	35	5,0	3	1	17	80	0,7	3	7
3	40	4,0	2	2	18	20	4,0	2	3
4	45	6,0	3	2	19	70	0,5	3	2
5	40	3,0	1	6	20	60	5,0	3	3

6	60	5,0	2	2	21	60	1,5	1	9
7	30	2,5	3	4	22	100	0,3	2	7
8	50	2,0	1	7	23	150	1,2	3	6
9	50	3,0	3	2	24	200	0,6	2	5
10	60	1,0	2	3	25	55	3,0	3	2
11	40	5,5	3	4	26	60	3,0	2	4
12	100	0,5	1	8	27	65	2,0	2	3
13	120	1,5	3	6	28	30	3,5	1	5
14	90	0,6	2	4	29	70	2,0	3	5
15	50	2,5	3	4	30	70	1,0	1	4

*Примітка.* Тип схеми: 1 – однопівперіодна, 2 – двопівперіодна зі середньою точкою, 3 – двопівперіодна мостова.

## Завдання № 2

Розрахувати Г-подібний  $LC$  фільтр випрямляча, що згладжує, який забезпечує вказані у табл. 1 пульсації у навантаженні, вибрати ємність, вважаючи, що  $L_\phi = 4$  Гн. Врахувати, якщо коефіцієнт згладжування (відношення пульсації на виході випрямляча до пульсації на виході фільтра) більший 25, рекомендується брати багатоланковий фільтр (наприклад, дволанковий, який складається з двох ланок, які утворені з однакових конденсаторів і дроселів).

## РЯДИ НОМІНАЛЬНИХ ОПОРІВ (ЄМНОСТЕЙ)

## ТА ЇХ ДОПУСКІВ

Номинальний опір (ємність) – значення опору резистора (ємності конденсатора), на які розрахований відповідний виріб і яке на ньому позначене або вказане у нормативній документації, що супроводжує його. Номинальні значення опорів (ємностей), які випускає вітчизняна промисловість та зарубіжні фірми, стандартизовані і зведені у сім рядів: E3; E6; E12; E24; E48; E96; E192. Для конденсаторів значної ємності (більш 1...10 мкФ) номінали можуть встановлюватись поза рядів E і залежати від типу конденсатора.

Ряди E являють собою десяткові ряди геометричної прогресії із знаменником прогресії, що дорівнює  $q^{1/N}$ , де N – номер ряду. Цифра після букви E (номер ряду) вказує кількість номінальних величин у кожному десятковому інтервалі. Наприклад, ряд E6 містить шість значень номінальних опорів (ємностей) у кожній декаді, які відповідають числам 1,0; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8 або числам, які отримані шляхом ділення або множення цих чисел на  $10^n$ , де n – ціле додатне або від’ємне число. Значення номінальних чисел для рядів, які найбільш використовуються, наведені у табл. А1.

Таблиця А.1.

<b>E3</b>	<b>E6</b>	<b>E12</b>	<b>E24</b>	<b>E3</b>	<b>E6</b>	<b>E12</b>	<b>E24</b>
1,0	1,0	1,0	1,0		3,3	3,3	3,3
			1,1				3,6
		1,2	1,2			3,9	3,9
			1,3				4,3
	1,5	1,5	1,5	4,7	4,7	4,7	4,7
			1,6				5,1
		1,8	1,8			5,6	5,6
			2,0				6,2
2,2	2,2	2,2	2,2		6,8	6,8	6,8
			2,4				7,5
		2,7	2,7			8,2	8,2
			3,0				9,1

Фактичні значення опорів (ємностей) можуть відрізнятися від номінальних у межах допустимих відхилень. Ряд допустимих відхилень також нормований. Допуски на номінали опору наводяться у відсотках і обираються у відповідності з рядом:

$\pm 0,001$ ;  $\pm 0,002$ ;  $\pm 0,005$ ;  $\pm 0,01$ ;  $\pm 0,02$ ;  $\pm 0,05$ ;  $\pm 0,1$ ;  $\pm 0,25$ ;  $\pm 0,5$ ;  $\pm 1,0$ ;  $\pm 2,0$ ;  $\pm 5,0$ ;  $\pm 10$ ;  $\pm 20$ ;  $\pm 30$ .



Для резисторів ряду E3 допуск  $\pm 30\%$ ; E6 –  $\pm 20\%$ ; E12 –  $\pm 10\%$ ; E24 –  $\pm 5\%$

Допуски на номінали ємностей конденсаторів вказуються у відсотках і обираються із ряду:

$\pm 0,1$ ;  $\pm 0,25$ ;  $\pm 0,5$ ;  $\pm 1$ ;  $\pm 2$ ;  $\pm 10$ ;  $\pm 20$ ;  $\pm 30$ ;  $0 + 50$ ;  
 $-10 + 30$ ;  $-10 + 50$ ;  $-10 + 100$ ;  $-20 + 50$ ;  $-20 + 80$ .

Величина допуску, яка використовується, визначається не лише рядом номіналів (рядом E), а також і типом конденсатора. Для конденсаторів із номінальними ємностями нижче 10 пФ відхилення, які допускаються, вказуються у абсолютних значеннях:  $\pm 0,1$ ;  $\pm 0,25$ ;  $\pm 0,5$  та  $\pm 1$  пФ.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Гніліцький В.В., Купкін Є.С., Новацький А.О. Аналогова електроніка: Навчальний посібник. – Житомир: ЖДТУ, 2011. – 272 с
2. Скаржепа В.А., Луценко А.Н. Електроніка і мікросхемотехніка. Електронні пристрої інформаційної автоматики: Учебник /Под общ. ред. А.А. Краснопрошиной - Киев: Выща шк., 1989. –431 с.
3. Омельчук В.В., Соколов О.П. Основи електроніки і мікро схемотехніки. /За ред. В.П. Манойлова – Житомир: ЖДТУ. 2004. – 346 с.
4. Гершунский Б.С. Основы электроники и микросхемотехники. – 3-е изд., перераб. и доп. - Киев: Выща шк., 1987. –442 с.
5. Микроэлектронные устройства автоматики. /Под ред. А.А. Сазонова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. –384 с.
6. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1982. –495 с.
7. В.А. Прянишников Электроника: Курс лекций. – СПб.: КОРОНА принт, 1998. –400 с.
8. П. Малахов Схемотехника аналоговых устройств. Одесса "АстроПринт" 2000. –256
9. Гершунский Б.С. Справочник по расчету электронных схем. – Киев: Выща шк., 1983. –240 с.
10. Полупроводниковые приемно-усилительные устройства: Справочник радиолобителя /Сост. Р.М. Терещук и др. – Киев: Наук. думка, 1981. –670 с.
11. Полупроводниковые приборы: Диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы. Справочник /Под ред. Н.Н. Горюнова. – М.: Энергоиздат, 1982. – 744 с.
12. Петухов В.М. Маломощные транзисторы и их зарубежные аналоги: Справочник. – М.: КУБК-а, 1996. –672 с.
13. Полупроводниковые электронные приборы: Справочник /Под ред. Н.Н. Горюнова. - М.: Энергоатомиздат, 1984. –844 с.
14. Петухов В.М. Полевые и высокочастотные биполярные транзисторы большой и средней мощности их зарубежные аналоги: Справочник. Т3 – М.: КУБК-а, 1996. –672 с.
15. Новаченко И.В., Петухов М.Б., Блуднов И.П., Юровский А.В. Микросхемы для бытовой аппаратуры: Справочник. – М.: Радио и св., 1989. – 384 с.
16. Справочник по электрическим конденсаторам /Под ред. И.И.Четверткова и В.Ф.Смирнова.– М.: Радио и связь, 1983. –576 с.