

При виконанні дослідів органи керування осцилографу встановлювати у положення, що забезпечують спостереження стійкого, зручного для вимірів зображення.

4. Зібрати мостову схему випрямлення, для чого перемикач *SA1* встановити у натиснуте положення, а інші перемикачі – згідно з пп. 4.3.2.

5. Замалювати осцилограми напруг на навантаженні і діоді мостового випрямляча, використовуючи методику, викладену в пп. 4.3.3.

4.4. Дослідження однопівперіодного і мостового випрямлячів з різними типами фільтрів та з стабілізатором

1. Зняти залежність вихідної напруги однопівперіодного і мостового випрямлячів від струму навантаження для різних типів фільтрів і з стабілізатором (зовнішні характеристики), для чого:

1) значення струму навантаження задавати резистором R_n за амперметром *PA*, встановленим на лицьовій панелі стенда лабораторного;

2) значення вихідної напруги фіксувати за вольтметром *PV*, встановленим на лицьовій панелі;

3) перемикачі *SA1–SA5* встановлювати згідно з табл. 6.1;

4) результати занести у табл. 6.2.

Примітки.

1. У табл. 6.1 знак “X” відповідає натиснутому положенню перемикача.

2. У табл. 6.2 позиції, що відповідають значенням струму навантаження, які не можуть бути встановлені за допомогою резистора R_n , не заповнювати.

Тип випрямляча	Положення перемикачів					Тип фільтра
	<i>SA1</i>	<i>SA2</i>	<i>SA3</i>	<i>SA4</i>	<i>SA5</i>	
однопівперіодний		X				без фільтра
		X		X	X	<i>C</i>
					X	<i>LC</i>
				X	X	<i>CLC</i>
мостовий	X	X				без фільтра
	X	X		X	X	<i>C</i>
	X					<i>L</i>
	X				X	<i>LC</i>
	X			X	X	<i>CLC</i>
мостовий з стабілізатором	X		X	X	X	<i>CLC</i>

Таблиця 6.1 - Положення перемикачів при дослідженнях

2. Зняти осцилограми напруги на навантаженні однопівперіодного і мостового випрямлячів з ємнісним та індуктивним фільтрами, а також мостового випрямляча з П-подібним *CLC*-фільтром і з *CLC*-фільтром та стабілізатором. Для цього кабель першого каналу осцилографа нульовим проводом підімкнути до клеми *X1*, а сигнальним до *X3*. Тип фільтра задавати установкою перемикачів згідно табл. 6.1.

I_p, A		0,1	0,15	0,2	0,3	0,35	0,4	0,5	0,6	Тип випрямляча
U_d, V	Тип фільтра	без фільтра								одно-півперіодний
		<i>C</i>								
		<i>L</i>								
		<i>LC</i>								
		<i>CLC</i>								
	Тип фільтра	без фільтра								мостовий
		<i>C</i>								
		<i>L</i>								
		<i>LC</i>								
		<i>CLC</i>								
		<i>CLC</i>								мостовий з стабілізатором
		*) <i>LC</i> ($\alpha=30^\circ$)								керований з нульовим виводом
	*) <i>LC</i> ($\alpha=60^\circ$)									

Таблиця 6.2 - Результати зняття зовнішніх характеристик

*) Строки, помічені цим знаком, заповнюються при виконанні завдання пп. 4.5.3.

ПОЯСНЕННЯ ДО РОБОТИ

1. Випрямлячі

Електрична енергія централізовано, в основному, виробляється на змінному струмі.

В той же час споживання електричної енергії, за винятком теплових та освітлювальних установок, двигунів змінного струму та деяких інших застосувань, як правило, відбувається на постійному струмі: електричні двигуни постійного струму, технологічні процеси (наприклад, електроліз, зварювання), живлення електронних пристроїв (наприклад, вимірювальних, підсилюючих, обчислювальних, керуючих і т.п.).

Виходячи з цього, одним з основних видів перетворення електричної енергії є випрямлення.

Випрямлячем називають електротехнічний пристрій, призначений для перетворення енергії джерела напруги змінного струму в енергію напруги постійного струму.

Випрямляч зазвичай містить трансформатор, вентильну схему, згладжуючий фільтр, регулятор (стабілізатор). Навантаження також відносять до складу випрямляча, оскільки воно суттєво впливає на його роботу.

Трансформатор здійснює перетворення напруги мережі до необхідного для роботи випрямляча значення і забезпечує електричне (гальванічне) розділення первинного і вторинного кіл. Останнє забезпечує умови електричної безпеки за живлення.

Вентильна схема перетворює змінну напругу на випрямлену – в однополярну пульсуючу.

Згладжуючий фільтр виділяє з однополярної пульсуючої напруги постійну складову, чим забезпечує отримання власне напруги постійного струму.

Регулятор (стабілізатор) призначений для завдання на навантаженні необхідного значення напруги або його зміни за необхідним законом (наприклад, підтримки напруги на навантаженні на незмінному рівні) при змінах напруги мережі або змінах опору навантаження у заданих межах.

2. Однофазні схеми випрямлення

При потужності споживачів до декількох сотень ват випрямлення здійснюють за допомогою однофазних схем: однопівперіодної і двопівперіодних – з нульовим виводом і мостової.

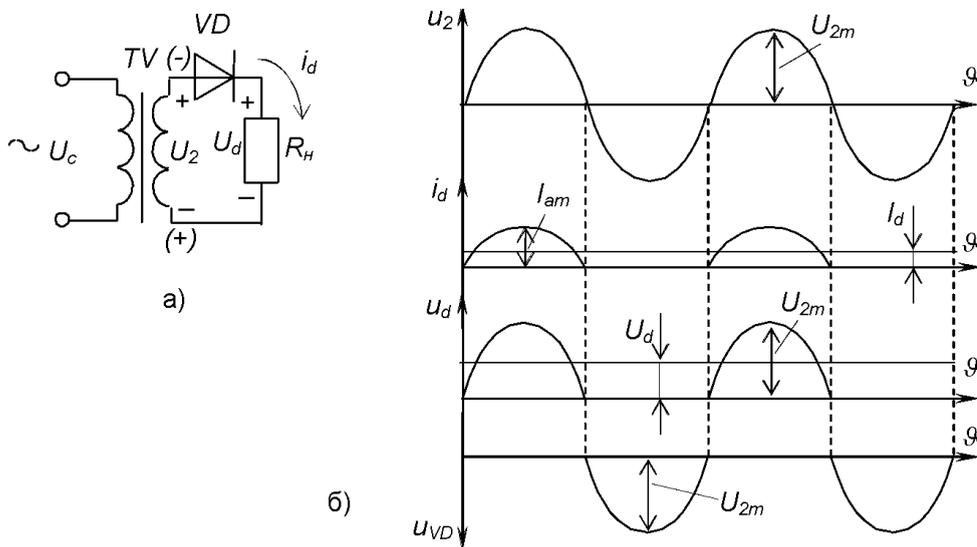


Рис. 6.3 – Однофазний однопівперіодний випрямляч (а) і часові діаграми його роботи (б)

Однопівперіодна схема і часові діаграми, що ілюструють її роботу, наведені на рис. 6.3.

Часові діаграми тут і надалі, як правило показують залежність відповідної величини від $\vartheta = \omega t$, де $\omega = 2\pi f_M$ – кругова частота, f_M – частота мережі живлення, а t – час.

Струм у схемі протікає тільки при полярності напруги U_2 , зазначеної без дужок, коли діод VD відкритий. При протилежній полярності діод закритий, і вся напруга прикладається до нього.

Двопівперіодна схема випрямляча з нульовим виводом та часові діаграми його роботи наведені на рис. 6.4.

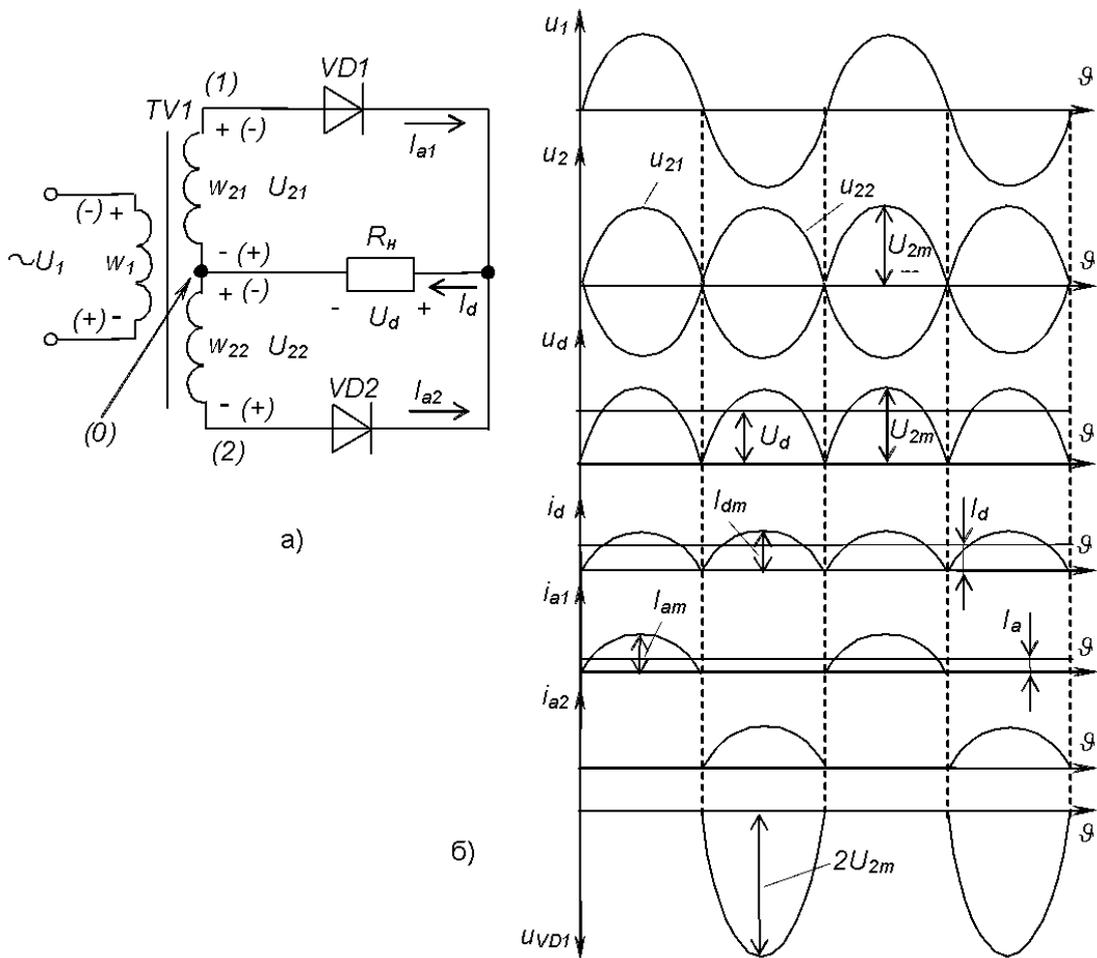


Рис. 6.4 – Однофазний випрямляч з нульовим виводом (а)
і часові діаграми його роботи (б)

Дана схема фактично являє собою об'єднання двох однопівперіодних схем випрямлення, одна з яких пропускає струм у навантаження при позитивній півхвилі напруги U_{21} , а інша – при негативній півхвилі напруги U_{22} . Оскільки число витків півобмоток однакове, то $U_{21} = U_{22}$. При цьому напрямок струму в навантаженні у обох випадках однаковий, а отже полярність пульсуючої напруги також однакова.

Максимальна зворотна напруга на закритому діоді дорівнює сумі амплітуд напруг U_{21} і U_{22} , тобто подвійній амплітуді напруги півобмотки трансформатора, оскільки коли один діод відкритий, а інший закритий, то останній виявляється підімкненим до двох півобмоток трансформатора.

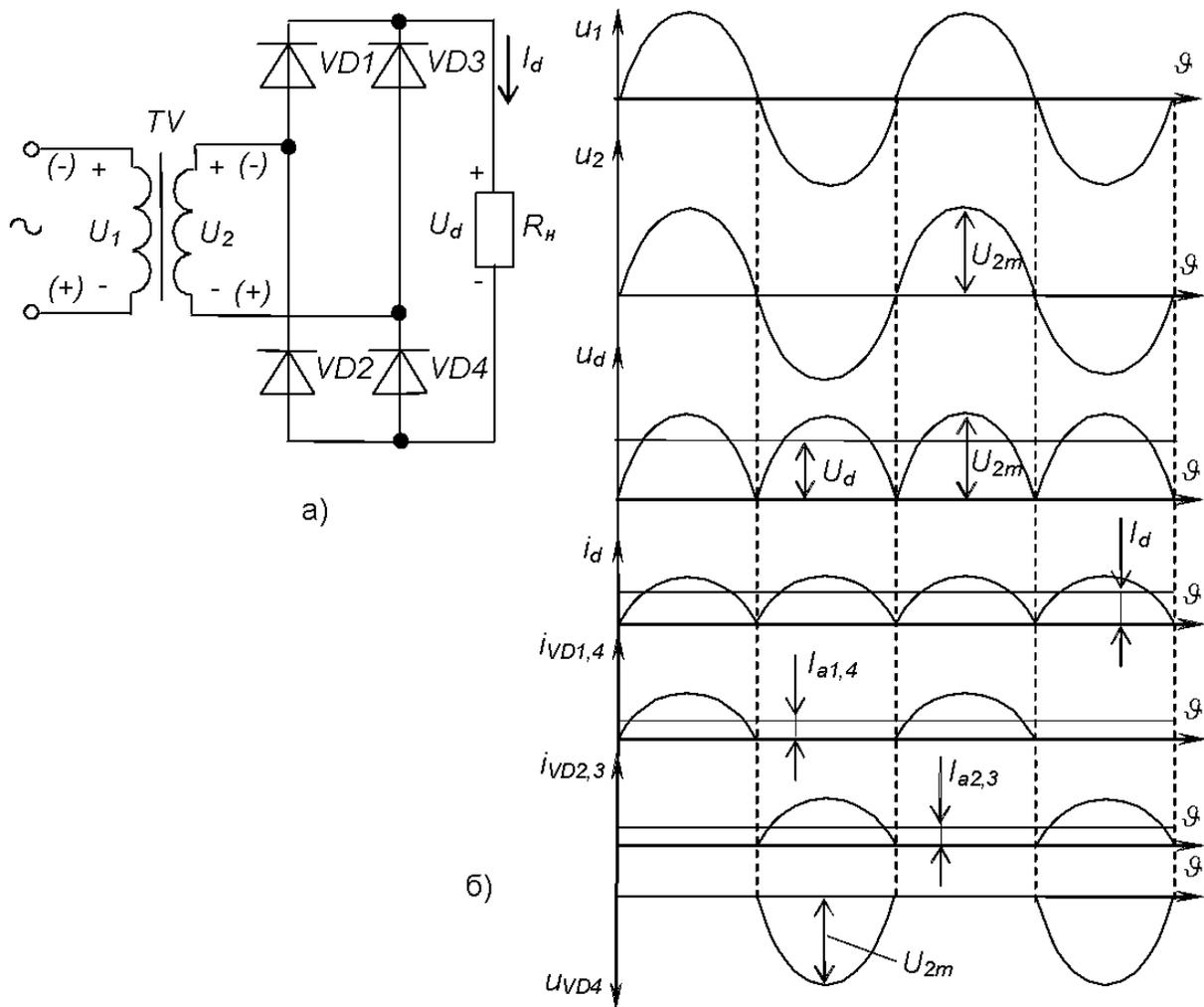


Рис. 6.5 – Однофазний мостовий випрямляч (а) і часові діаграми його роботи (б)

Двопівперіодна мостова схема і часові діаграми, що пояснюють її роботу, наведені на рис. 6.5

У цій схемі до однієї діагоналі утвореного діодами моста – діагоналі змінного струму – підімкнено вторинну обмотку трансформатора, а до іншої – діагоналі постійного струму – навантаження. Діоди $VD1$ і $VD3$ складають катодну групу, а $VD2$ і $VD4$ – анодну (за ознакою з'єднання разом однакових електродів).

За позитивної півхвилі напруги U_2 (полярність зазначена без дужок) струм протікає через діоди $VD1$ і $VD4$. До діодів $VD2$ і $VD3$ у цей час прикладена зворотна напруга, амплітудне значення якої дорівнює U_{2m} , тому що закритий діод (наприклад, $VD2$) через діод, що проводить струм ($VD4$), підмикається паралельно до вторинної обмотки трансформатора. За негативної півхвилі (полярність зазначена у дужках) струм проводять діоди $VD2$ і $VD3$, тобто у провідному стані в мостовому випрямлячі завжди знаходяться два діоди – один катодної групи і один анодної.

Основні показники однофазних схем випрямлення наведені в табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Основні показники однофазних схем випрямлення

Параметр	Схема випрямлення
----------	-------------------

		однопів-періодна	двопів-періодна з нульовим виводом	двопів-періодна мостова
Відношення діючого значення напруги вторинної обмотки трансформатора до середнього значення випрямленої напруги	$\frac{U_2}{U_d}$	2,22	1,11	1,11
Відношення діючого значення струму вторинної обмотки трансформатора до середнього значення випрямленого струму	$\frac{I_2}{I_d}$	1,57	0,785	1,11
Відношення середнього значення струму діода до середнього значення випрямленого струму	$\frac{I_a}{I_d}$	1,57	0,5	0,5
Відношення діючого значення струму первинної обмотки трансформатора до середнього значення випрямленого струму (n - коефіцієнт трансформації)	$\frac{I_1}{nI_d}$	1,21	1,11	1,11
Частота основної гармоніки пульсацій	$f_{(1)}$	f_m	$2f_m$	$2f_m$
Коефіцієнт пульсацій випрямленої напруги	$K_{n(1)}$	1,57	0,667	0,667
Габаритна потужність трансформатора	S_T	3,1	1,48	1,23
Наявність підмагнічування	–	є	немає	немає

Порівняльний аналіз однофазних схем випрямлення показує:

1) однопівперіодна схема, у зв'язку з підвищеною габаритною потужністю трансформатора (бо його осердя підмагнічується через протікання струму у вторинній обмотці в одному напрямку протягом періоду) і значним коефіцієнтом пульсацій, застосовується тільки для живлення навантажень малої потужності – десятки міліват;

2) схема з нульовим виводом має кращі параметри вихідної напруги і два діоди, але трансформатор повинен мати вторинну обмотку, що складається з двох однакових півобмоток, і на закритий діод діє подвійна зворотна напруга;

3) мостова схема, що має чотири діоди і трансформатор з однією вторинною обмоткою, забезпечує ті ж параметри вихідної напруги, що й схема з нульовим виводом (оскільки габарити і вартість діодів невеликі, їхня подвоєна кількість не є істотним недоліком, окрім випадків випрямлення малих значень напруг – одиниці вольт, – коли істотно проявляється дія прямого падіння напруги на діодах).

5.2. Згладжуючі фільтри

Згладжуючий фільтр застосовується для згладжування пульсацій випрямленої напруги до рівня, необхідного для нормальної роботи навантаження.

При цьому коефіцієнт пульсацій випрямленої напруги визначається як відношення амплітуди основної гармоніки пульсацій $U_{m(1)}$ до значення постійної складової

$$K_{n(1)} = \frac{U_{m(1)}}{U_d} . \quad (6.1)$$

Якість фільтра характеризується коефіцієнтом згладжування, що дорівнює відношенню коефіцієнта пульсацій на вході фільтра $K_{n(1)вх}$ до коефіцієнта пульсацій на його виході $K_{n(1)вих}$:

$$K_{зг} = \frac{K_{n(1)вх}}{K_{n(1)вих}} . \quad (6.2)$$

Фільтри бувають пасивними (виконуються на пасивних елементах – резисторах, конденсаторах, дроселях) і активними (на транзисторах, операційних підсилювачах).

Пасивні фільтри використовують здатність індуктивностей і ємностей накопичувати енергію відповідно електричного та електромагнітного полів.

Індуктивні фільтри застосовуються у випрямлячах середньої і великої потужності, тому що забезпечують безперервність струму в схемі: у навантаженні, трансформаторі, діодах (бо відповідно до першого закону комутації струм у індуктивності не може змінюватися стрибком).

Схема індуктивного фільтра і часові діаграми його роботи при фільтрації двопівперіодної напруги наведені на рис. 6.6.

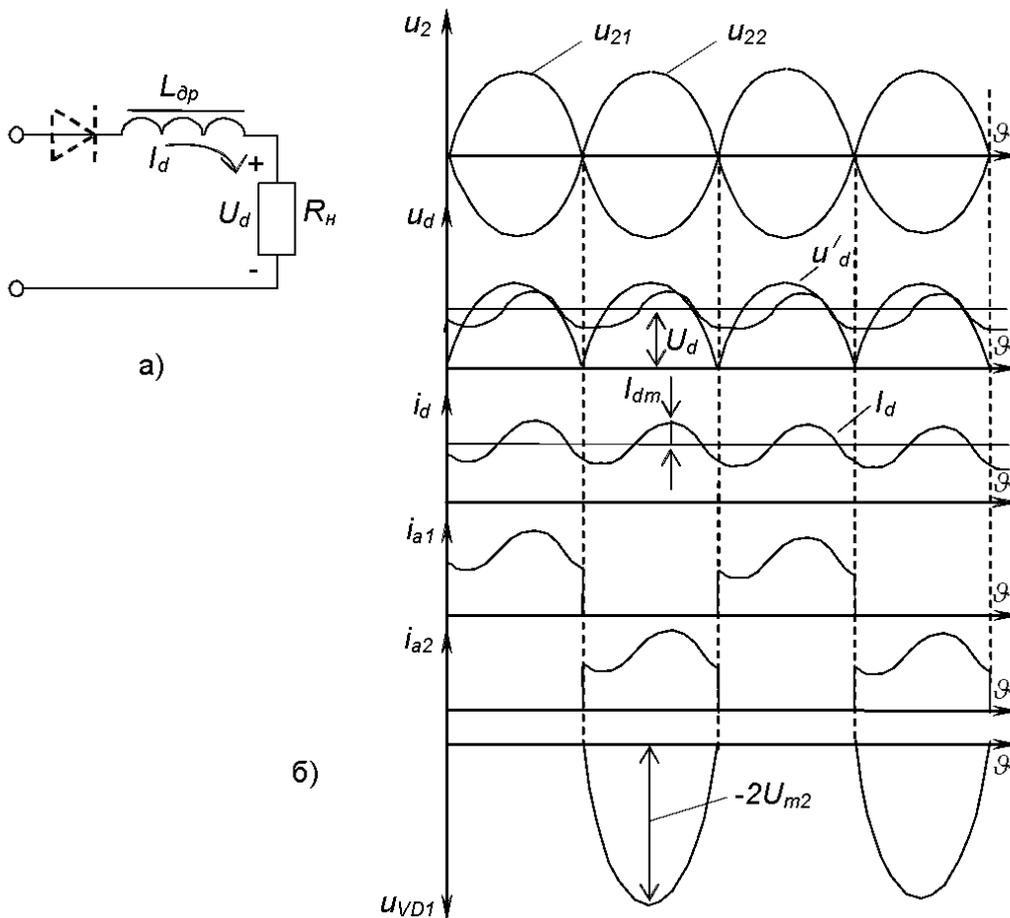


Рис. 6.6 – Індуктивний фільтр (а) і часові діаграми роботи (б) однофазного двопівперіодного випрямляча з індуктивним фільтром (з активно-індуктивним навантаженням) (3)

Ефект фільтрації визначається тим, що індуктивність чинить опір гармонічним складовим пульсуючої випрямленої напруги, а постійній складовій – ні. Дросель і активний опір навантаження утворюють частотнозалежний дільник напруги за умови, що опір дроселя змінній складовій пульсуючого струму з найнижчою частотою $X_L = \omega_n L$ (активний опір у ідеального дроселя відсутній) значно перевищує активний опір навантаження R_n . Змінні складові напруги діляться між R_n і X_L так, що в основному падають на X_L , а постійна складова вся прикладається до R_n .

Отже для ефективного згладжування необхідним є виконання умови:

$$X_L = \omega_n L \gg R_n, \quad (6.3)$$

де $\omega_n = 2\pi f_n$.

У якості індуктивності в випрямлячах використовують дроселі – котушки індуктивності з магнітним осердям, що має повітряний зазор, який запобігає насиченню магнітопроводу.

Ємнісний фільтр – це конденсатор, що вмикається паралельно навантаженню. Його схема і часові діаграми роботи наведені на рис. 6.7.

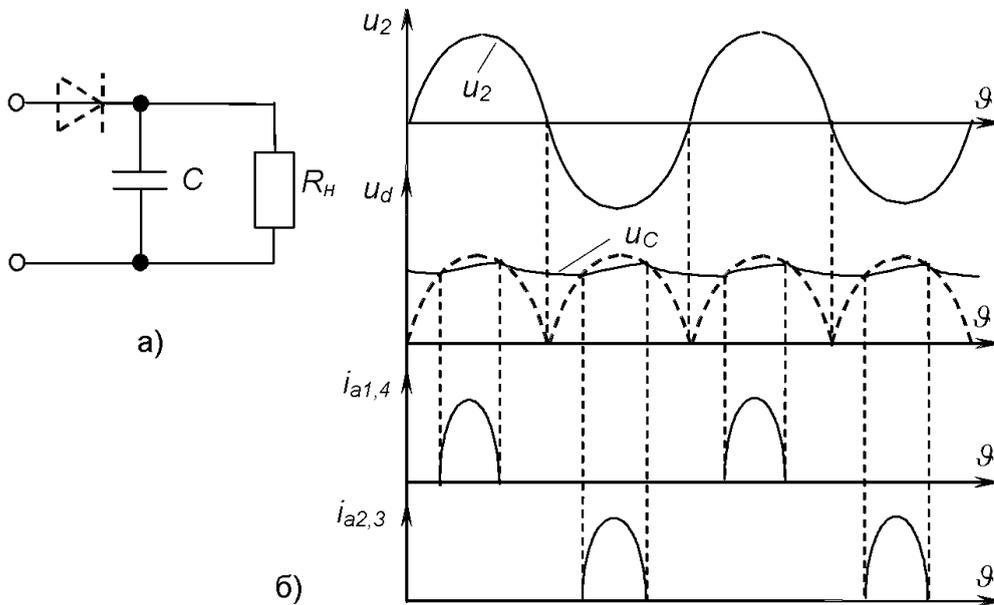


Рис. 6.7 – Ємнісний фільтр (а) і часові діаграми роботи (б) мостового випрямляча з ємнісним фільтром (з активно-ємнісним навантаженням)

За умови, що опір конденсатора X_C для складової пульсуючого струму з найнижчою частотою значно менший за опір навантаження R_n , забезпечується шунтування навантаження за змінним струмом: оскільки конденсатор і активний опір навантаження утворюють частотнозалежний дільник струму, постійний струм увесь протікає через R_n (конденсатор постійного струму не проводить), а змінні складові розподіляються між R_n і X_C . Для ефективного згладжування необхідним є виконання умови:

$$X_C = \frac{1}{\omega_n C} \ll R_n \quad (6.4)$$

Заряд конденсатора відбувається у проміжки часу, коли напруга вторинної обмотки перевищує напругу на конденсаторі (протікає струм через відповідні вентилі). Якщо вона нижче, то навантаження живиться енергією, що запасена в ємності (конденсатор розряджається).

Струм заряду, значення якого обмежується лише опором елементів схеми випрямлення, має пульсуючий характер, що несприятливо як для діодів і трансформатора, так і для мережі живлення. Тому ємнісні фільтри застосовуються при малих струмах навантаження. Іноді, щоб обмежити кидки струму, у коло заряду включають опір $R = (0,2 - 0,3)R_n$.

Слід також зазначити, що чим більша постійна часу розряду конденсатора $\tau = CR_n$, тим вище середнє значення випрямленої напруги, що наближається до величини $U_{dXX} = \sqrt{2}U_2$.

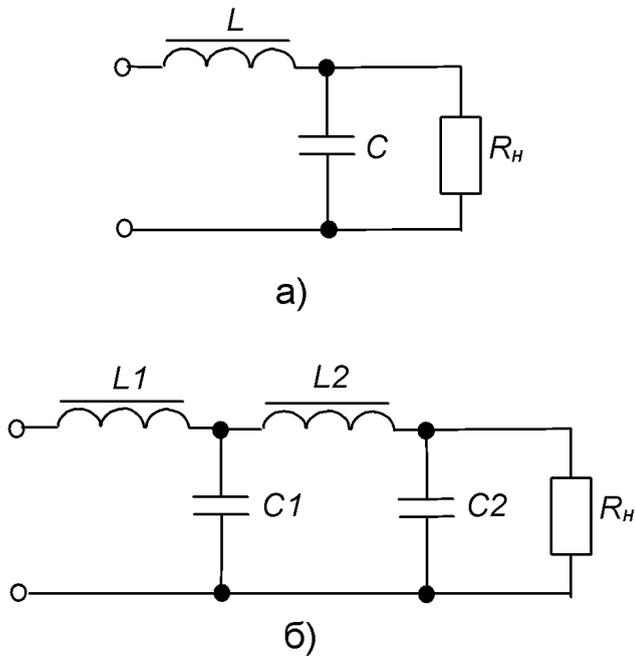


Рис. 6.8 - Г-подібні LC-фільтри:
одноланковий (а) і дволанковий (б)

Для підвищення якості фільтрації і поліпшення умов роботи випрямляча застосовують Г-подібні LC-фільтри, що виконуються за схемою, зображеною на рис. 6.8,а.

Тут конденсатор знижує опір навантаження за змінним струмом, а індуктивність, окрім фільтрації, забезпечує і безперервність струму.

Для одержання кращого згладжування випрямленої напруги при забезпеченні прийнятних значень параметрів елементів фільтра застосовують багатоланкові фільтри, що являють собою послідовне вмикання простих фільтрів (ланок). Коефіцієнт згладжування багатоланкового фільтра дорівнює добутку коефіцієнтів згладжування ланок. Прикладом багатоланкового фільтра може бути П-подібний CLC-фільтр, зображений на рис. 6.8,б.

Він являє собою послідовне вмикання смісного фільтра і Г-подібного LC-фільтра.

Для забезпечення високих масогабаритних показників за малої потужності застосовують активні фільтри, у яких дія реактивних елементів посилюється транзисторними або операційними підсилювачами.