

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА ТЕ19

Вивчення електричних кіл змінного струму з нелінійними елементами

19.1. Мета роботи

Вивчення особливостей розрахунку електричних кіл змінного струму з нелінійними елементами.

19.2. Основні теоретичні положення

В задачах електроніки та електротехніки часто мають місце реальні приклади, коли необхідно розглядати вплив нелінійності елементів, або вольт-амперних характеристик приладів на синусоїдальні струми і напруги значних амплітуд. Подібні явища мають місце в підсилювачах потужності, в нелінійних перетворювачах, які працюють як в симетричних, так і несиметричних режимах. На рис.19.1 приводиться приклад нелінійної характеристики приладу, при дії на нього синусоїдального сигналу значної амплітуди.

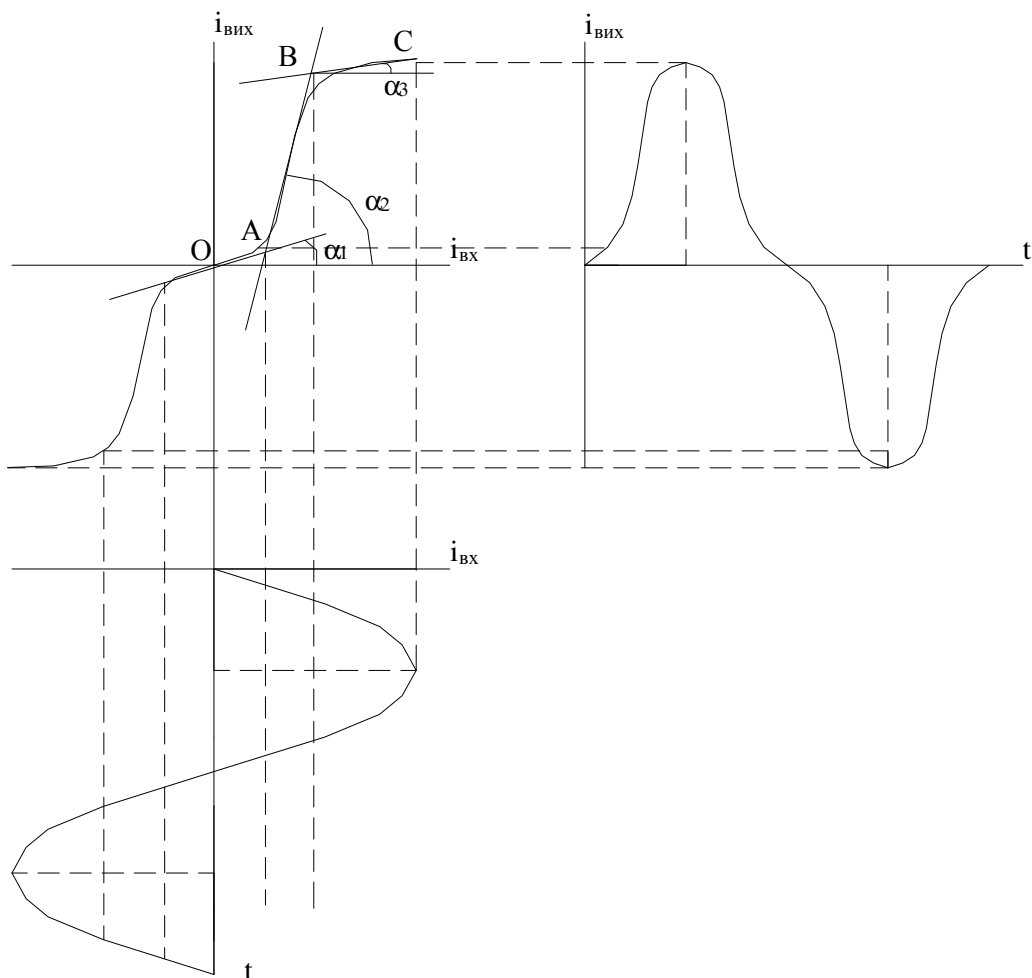


Рис. 19.1.

З вигляду нелінійної характеристики видно, що в цілому характеристика може бути апроксимована трьома лінійними ділянками OA з нахилом α_1 ; AB – з нахилом α_2 ; BC з нахилом α_3 . В результаті коефіцієнт підсилення вхідного сигналу $i_{вх}(t)$ на кожній з ділянок буде різним. На

першій ділянці $K_I = \frac{I_{вих}}{I_{вх}} = tg\alpha_1$; на другій $K_I = tg\alpha_2$; на третій $tg\alpha_3$. Завдяки

різному рівню підсилення вихідний сигнал буде спотворений, в результаті чого його форма буде мати вигляд, приведений на графіку $i_{вих}(t)$. З вигляду одержаної синусоїди можна стверджувати, що в ній крім першої гармонійної складової містяться і вищі складові, які фактично і вносять спотворення вихідного сигналу.

Якщо характеристика елемента симетрична відносно початку координат, то вона має слідуєчі властивості: $-i_{вих}(-i_{вх}) = i_{вих}(i_{вх})$.

При такій функції в вихідному струмі будуть знаходитись я парні, так і непарні гармонійні складові, тобто:

$$I_{вих}(t) = I_{1m} \sin \omega t + I_{2m} \sin 2 \omega t + I_{3m} \sin 3 \omega t . ,$$

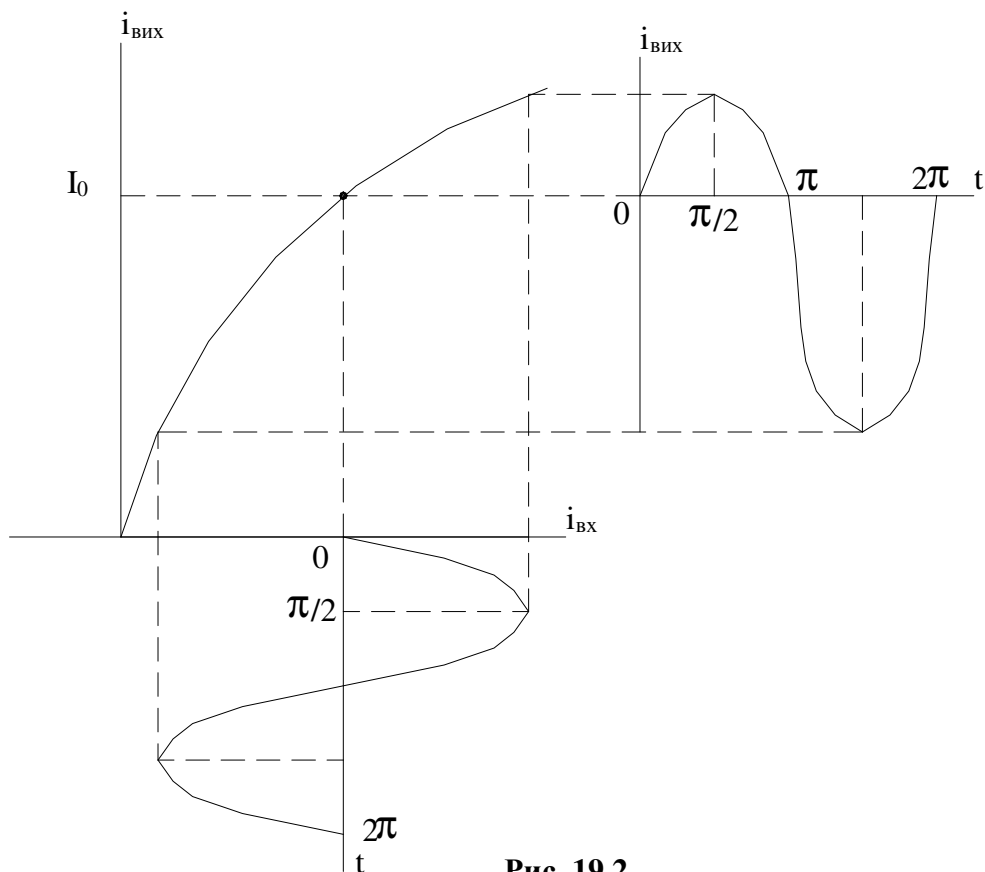


Рис. 19.2.

де I_{1m} I_{2m} I_{3m} – амплітуди гармонійних складових, а ω , 2ω , 3ω – їх частоти. Визначення амплітуд гармонійних складових є досить складною задачею і залежить від того, наскільки складна аналітична форма запису функції $i_{вих}(i_{вх})$. В ряді випадків такі функції апроксимуються гіперболічним синусом типу $I_{вих} = I_{\alpha} sh \beta i_{вх}$, де I_{α} β – числові коефіцієнти.

Якщо використовується така апроксимація, то гармонічні складові обираються з використанням функції Беселя. При використанні кусочно-лінійної апроксимації амплітуди гармонійних складових можуть бути обчислені шляхом Фур'є-перетворень.

В тих випадках, коли на нелінійний елемент діє сигнал з постійною складовою і періодичною складовою значної амплітуди, то в відповідності до рис.9.2 в вихідному сигналі змінюється не тільки перша гармоніка. В вихідному сигналі будуть мати місце парні і непарні гармоніки. Рівень постійної складової I буде змінюватись в залежності від амплітуди змінної складової вихідного сигналу.

19.3. Використання віртуальної лабораторії EWB для виконання роботи

В якості нелінійних елементів слід використати діоди, ВАХ яких були досліджені в попередній роботі. Для проведення досліду збирається схема, приведена на рис.19.3. Схема містить послідовно з'єднані джерела змінної напруги, нелінійний елемент і активне навантаження.

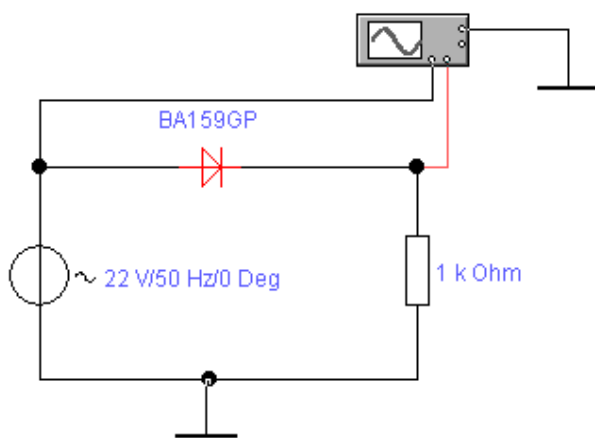
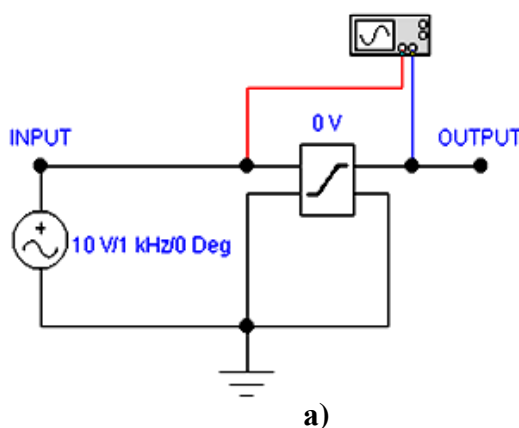


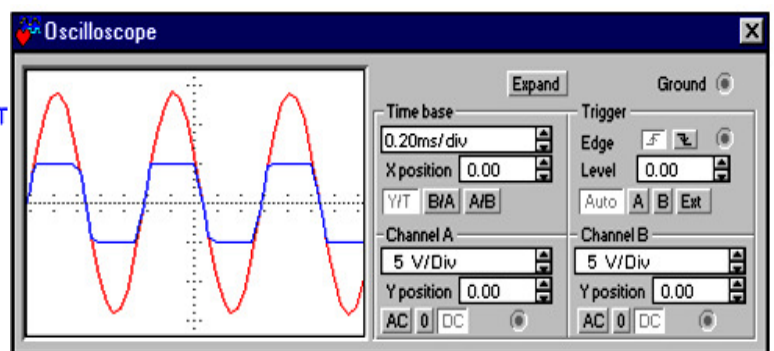
Рис. 19.3.

В бібліотеці базових компонентів (опція **Controls**) EWB містить такі вмонтовані нелінійні елементи як обмежувач напруги (**Voltage Limiter, Voltage Controlled Limiter**), обмежувач струму (**Current Limited Block**), обмежувач швидкості наростання фронту імпульсу (**Voltage Slew Rate Block**), блок з гістерезисною залежністю характеристики вхід-вихід (**Voltage Gisteresys Block**). Для визначення характеру впливу нелінійного елемента на характер напруги на

навантаженні використовується осцилограф, один промінь якого контролює напругу джерела змінної напруги, а другий призначений для відображення характеру напруги на навантаженні.



а)



б)

Рис. 19.4.

Схема для дослідження як керуемого, так і не керуемого обмежувача напруги зображена на рис.19.4а.

На рис.19.4б приведена осцилограма вихідного сигналу відносно вхідного. Тут можна побачити, що обмеження напруги відбувається як зверху, так і знизу синусоїди. Якщо встановлена напруга обмежувача перебільшує амплітуду синусоїдального сигналу, то обмеження вихідного сигналу не спостерігається. Величина напруги обмеження встановлюється у вікні **Voltage Limiter Properties** нелінійного елемента. Різниця між керуемим та не керуемим обмежувачем напруги полягає в тому, що в керуемом обмежувачі напруга обмеження регулюється зовнішнім джерелом постійної напруги, а в не керуемом задається в “властивостях” останнього. Схема для використання керуемого обмежувача напруги приведена на рис.19.5.

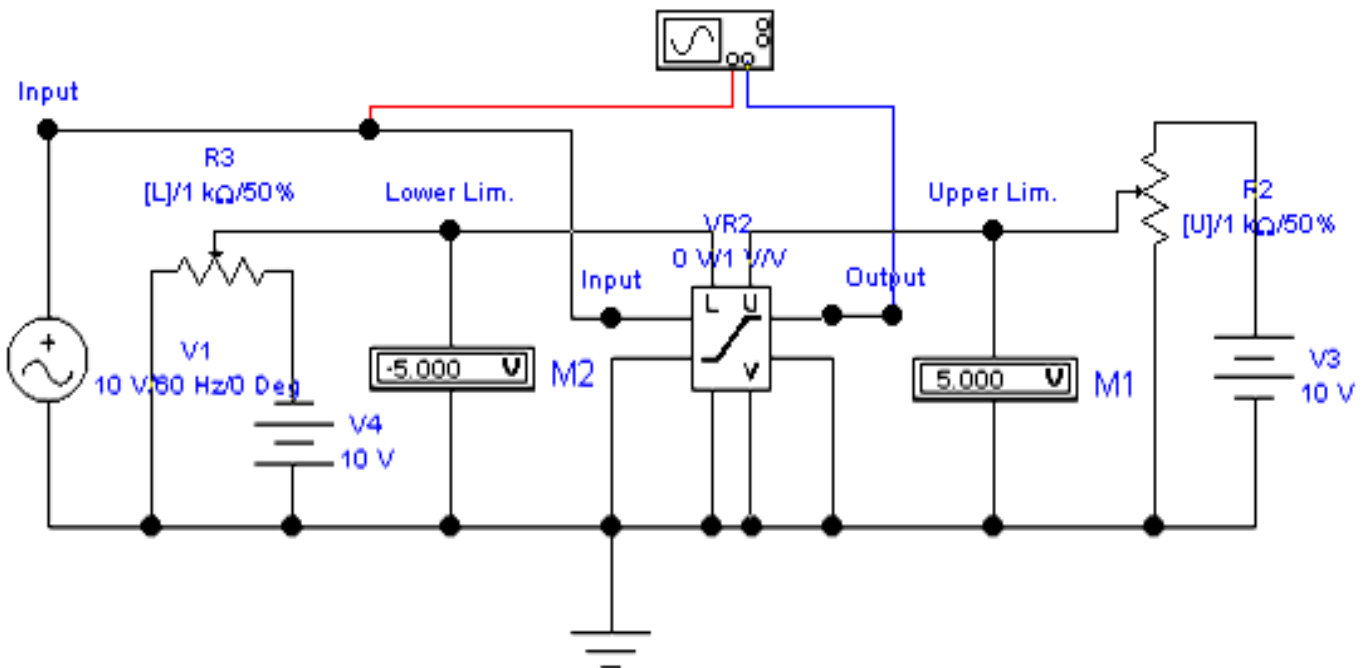


Рис. 19.5.

Схема з обмежувачем струму зображена на рис.19.6. Осцилограма

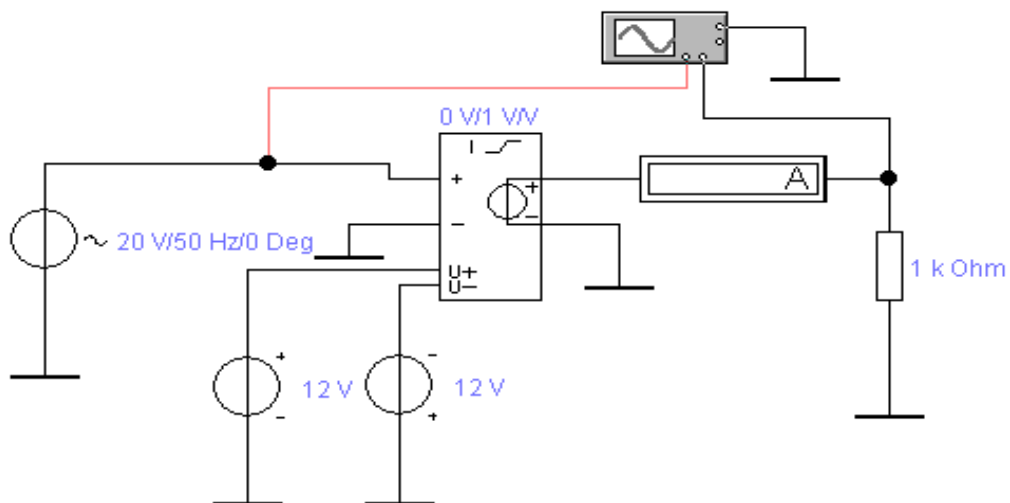


Рис. 19.6.

обмеження вихідного сигналу відносно вхідного така ж сама, як на рис. 19.4б, але обмеження здійснюється не по напрузі, а по струму на навантаженні. Принципова схема блока з гістерезисною залежністю характеристики вхід-вихід зображена на рис.19.7а. Осцилограма роботи цієї схеми приведена на рис.19.7б. На виході пристрою завжди спостерігається прямокутна форма напруги, незалежно від форми вхідного сигналу. Точки перемикання вихідного сигналу, при певній вхідній напрузі, задаються в “властивостях” пристрою.

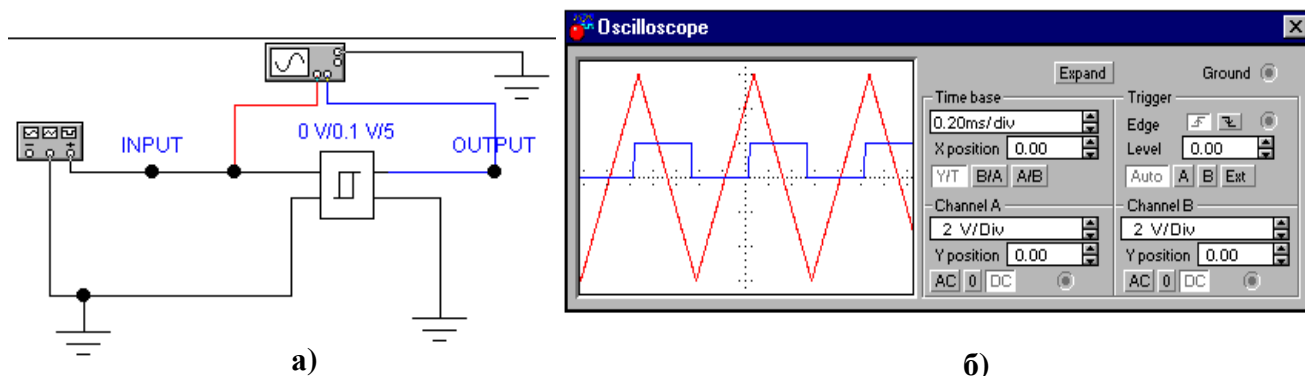


Рис. 19.7.

Обмежувач швидкості наростання фронту імпульсу застосовується там, де треба отримати певну швидкість часу зростання вихідного сигналу. Цей

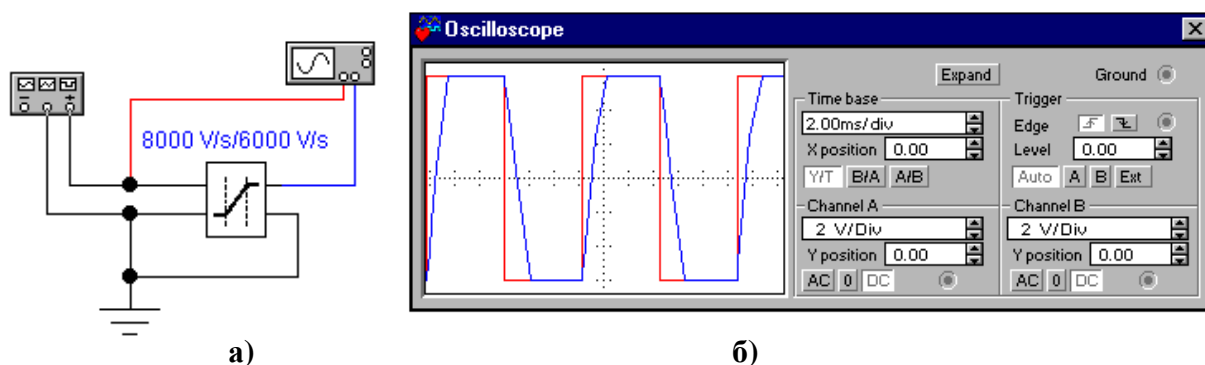


Рис. 19.8.

час задається у вікні **Voltage Slew Rate Block Properties** цього нелінійного елемента. Найбільш яскравий приклад використання цього чотирьохполюсника можна побачити при прямокутній формі вхідної напруги (Рис.19.8), але ці обмеження можуть відбуватися і при синусоїдальному вхідному сигналі.

19.4. Порядок виконання роботи

19.4.1. Зібрати схему у відповідності до рис. 19.3. Зняти осцилограми вхідної напруги й напруги на навантаженні. Заміряти параметри напруги джерела й напруги на навантаженні.

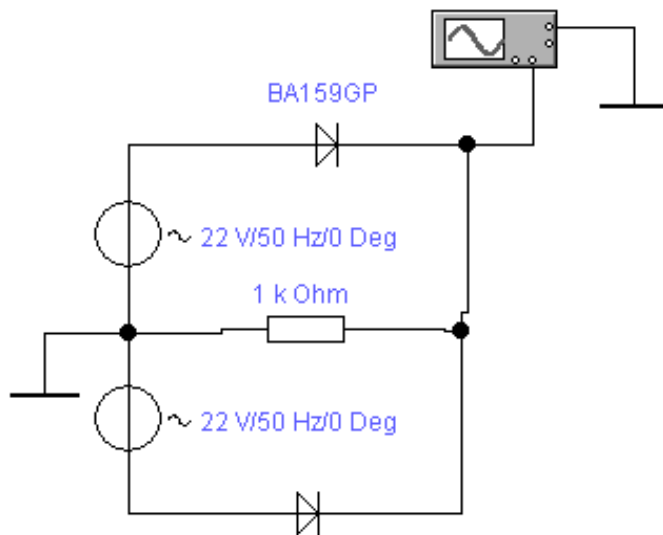


Рис. 19.9.

19.4.2. Зібрати схему, що приведена на рис.19.9, в яку включено два джерела напруги і два нелінійних елементи. Заміряти параметри напруги на навантаженні.

19.4.3. Зібрати одну із схем чотирьохполюсників, що розглядались, згідно до варіанту (Див. Додаток). Для різних значень частоти та амплітуди джерела вхідної напруги зняти осцилограми вхідного і вихідного сигналу.

19.5. Вимоги до звіту

19.5.1. Побудувати характеристику “вхід-вихід” для послідовного з’єднання нелінійного елемента і пасивного опору.

19.5.2. Привести графічне обґрунтування напруги, яка отримується на навантаженні, для всіх схем, які досліджувались. При проведенні обґрунтування необхідно використовувати ідеалізацію діода, тобто вважати, що падіння напруги на діоді відсутнє й внутрішній (динамічний) опір рівняється нулю.

19.6. Питання до атестації

19.6.1. Пояснити ВАХ ідеального діода.

19.6.2. Пояснити особливість побудови характеристики “вхід-вихід” для послідовного з’єднання ідеального діода і пасивного опору.

19.6.3. Пояснити особливість перетворення синусоїдальної напруги при проходженні через нелінійний пристрій.

19.6.4. Пояснити, як зміниться гармонічний склад напруги на виході нелінійного пристрою при подачі на його вхід синусоїдальної напруги з постійними фазою, амплітудою й частотою.

19.7. Задачі

19.7.1. Синусоїдальна напруга з амплітудою 10В прикладається до входу чотирьохполюсника, схема якого приведена на рис.19.10. Діод VD – ідеальний, $R=1$ Ом. Необхідно:

- побудувати частотну діаграму напруги на виході чотирьохполюсника;
- використовуючи розклад напруги в ряд Фур’є, визначити постійну складову та амплітуди її перших трьох гармонік;
- пояснити залежність амплітуд гармонік від їх порядку (частоти гармоніки).

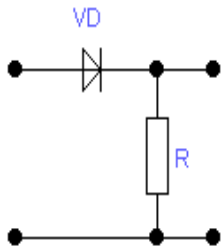


Рис. 19.10.

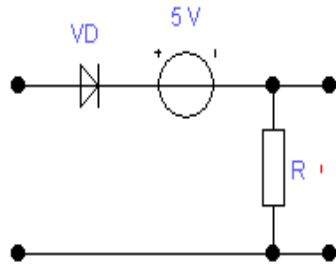


Рис. 19.11.

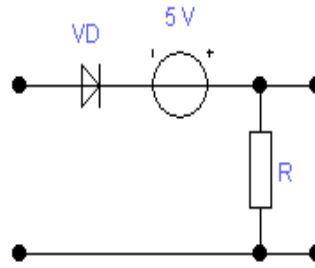


Рис. 19.12.

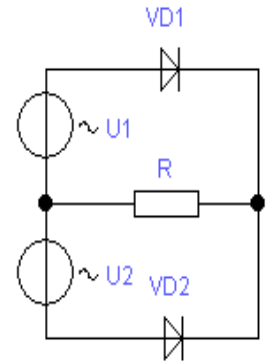


Рис. 19.13.

19.7.2. Синусоїдальна напруга з амплітудою 10В прикладається до входу чотирьохполюсника, схема якого приведена на рис.19.11. Діод VD – ідеальний, $R=1$ Ом. Необхідно:

- побудувати частотну діаграму напруги на виході чотирьохполюсника;
- використовуючи розклад напруги в ряд Фур'є, визначити постійну складову та амплітуди її перших трьох гармонік;
- пояснити залежність амплітуд гармонік від їх порядку (частоти гармоніки).

19.7.3. Синусоїдальна напруга з амплітудою 10В прикладається до входу чотирьохполюсника, схема якого приведена на рис.19.12. Діод VD – ідеальний, $R=1$ Ом. Необхідно:

- побудувати частотну діаграму напруги на виході чотирьохполюсника;
- використовуючи розклад напруги в ряд Фур'є, визначити постійну складову та амплітуди її перших трьох гармонік;
- пояснити залежність амплітуд гармонік від їх порядку (частоти гармоніки).

19.7.4. Два послідовно з'єднаних джерела синусоїдальної напруги U_1 та U_2 з амплітудами 10В мають одне навантаження R (Рис.19.13). Діоди VD1 та VD2– ідеальні. Необхідно:

- побудувати часові діаграми напруги на навантаженні R ;
- встановити взаємозв'язок між постійною складовою напруги на навантаженні R і амплітудою;
- обчислити амплітуди перших трьох гармонічних складових напруги на навантаженні R та їх частоти, якщо частота вхідного моногармонічного сигналу – 50Гц.

19.7.5. Для чотирьохполюсника, схема якого приведена на рис.19.14, побудувати залежність $U_{\text{вих}}=f(U_{\text{вх}})$ для діапазону напруг $-10\text{В} - +10\text{В}$.

19.7.6. Для чотирьохполюсника, схема якого приведена на рис.19.14, побудувати часові діаграми напруги на виході при дії на вході синусоїдальної напруги з амплітудою 10В.

19.7.7. Для чотирьохполосника, схема якого приведена на рис.19.14, обчислити амплітуди та частоти перших трьох гармонічних складових при дії на вході моногармонічного сигналу з частотою 100Гц.

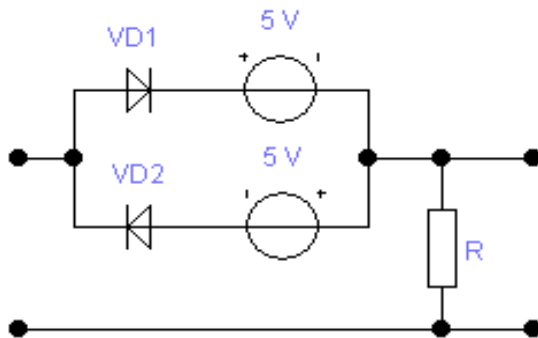


Рис. 19.14.

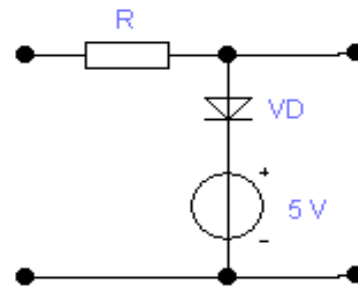


Рис. 19.15.

19.7.8. Для чотирьохполосника з ідеальними діодами, схема якого приведена на рис.19.15, необхідно:

- побудувати залежність $U_{\text{вих}}=f(U_{\text{вх}})$ для діапазону напруг $-10\text{В} - +10\text{В}$;
- побудувати часові діаграми напруги на виході чотирьохполосника при дії на вході синусоїдальної напруги з амплітудою 10В;
- обчислити амплітуду та частоти перших трьох гармонічних складових при дії на вході моногармонічного сигналу з частотою 100Гц.

19.7.9. Для чотирьохполосника з ідеальними діодами, схема якого приведена на рис.19.16, необхідно:

- побудувати залежність $U_{\text{вих}}=f(U_{\text{вх}})$ для діапазону напруг $-10\text{В} - +10\text{В}$;
- побудувати часові діаграми напруги на виході чотирьохполосника при дії на вході синусоїдальної напруги з амплітудою 10В;
- обчислити амплітуду та частоти перших трьох гармонічних складових при дії на вході моногармонічного сигналу з частотою 100Гц.

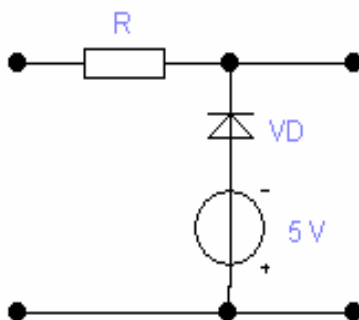


Рис. 19.16.

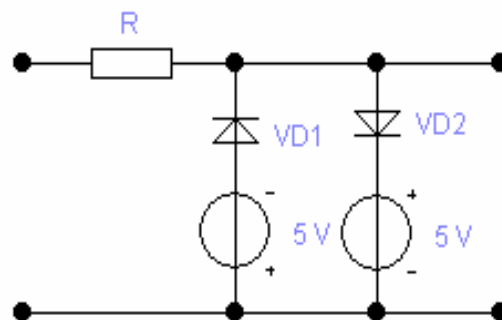


Рис. 19.17.

19.7.10. Для чотирьохполосника з ідеальними діодами, схема якого приведена на рис.19.17, необхідно:

- d) побудувати залежність $U_{\text{вих}}=f(U_{\text{вх}})$ для діапазону напруг $-10\text{В} - +10\text{В}$;
- e) побудувати часові діаграми напруги на виході чотирьохполосника при дії на вході синусоїдальної напруги з амплітудою 10В ;
- f) обчислити амплітуду та частоти перших трьох гармонічних складових при дії на вході моногармонічного сигналу з частотою 100Гц .

9.7.11. Намалювати вольт-амперну характеристику ідеального діода.

19.8. Додаток

Таблиця варіантів до лабораторної роботи.

Номер варіанту	Модель1	Модель2	Модель3	R, Ом	Номер рисунку
1	ВУМ10-50	D1N4001GP	GP02-20	2	16.2
2	ВУМ10-100	D1N4002GP	GP02-25	3	16.5
3	ВУМ10-200	D1N4003GP	GP02-30	5	16.6
4	ВУМ10-400	D1N4004GP	GP02-35	6	16.2
5	ВУМ10-600	D1N4005GP	GP02-40	7	16.5
6	ВУМ10-800	D1N4006GP	GP10A	8	16.6
7	ВУМ11-50	D1N4007GP	GP10B	9	16.2
8	ВУМ11-100	D1N4245GP	GP10D	10	16.5
9	ВУМ11-200	D1N4246GP	GP10G	12	16.6
10	ВУМ11-400	D1N4247GP	GP10J	15	16.2
11	ВУМ11-600	D1N4248GP	GP10K	16	16.5
12	ВУМ11-800	D1N4249GP	GP10M	19	16.6
13	ВУМ11-1000	D1N4383GP	GP10N	20	16.2
14	ВУМ10-1000	D1N4384GP	GP10Q	21	16.5
15	ВУМ11-1000	D1N4385GP	GP10T	22	16.6