

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни:

"Пристрої передачі, прийому та обробки інформації"

для студентів зі спеціальності

125 "Кібербезпека"

всіх форм навчання

із застосуванням програмного комплексу *Electronics Workbench*

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Пристрої передачі, прийому та обробки інформації" для студентів зі спеціальності 125 "Кібербезпека" всіх форм навчання із застосуванням програмного комплексу *Electronics Workbench* /Укл. С.І.Лізунов, - Запоріжжя, НУ "Запорізька політехніка", 2020. - 39 с.

Укладач:	С. І. Лізунов, к.т.н., доц.
Рецензент:	С.М. Романенко, к.ф-м.н, доц.
Відповідальний за випуск:	С. І. Лізунов, к.т.н., доц.

Затверджено
на засіданні кафедри
захисту інформації

Протокол № 7
від 12.02.2020 року

ЗМІСТ

1. Лабораторна робота №1. Передача сигналу через лінії зв'язку	4
2. Лабораторна робота №2. Дослідження підсилювача на транзисторах.	8
3. Лабораторна робота №3. Дослідження амплітудного модулятора коливач.	11
4. Лабораторна робота №4. Дослідження детектора амплітудно-модульованих коливач.	16
5. Лабораторна робота №5. Дослідження частотного модулятора і детектора коливач.	20
6. Лабораторна робота №6. Дослідження помножувача й перетворювача частоти сигналу.	24
7. Лабораторна робота №7. Дослідження пристрою автоматичного регулювання підсилення . . .	30
8. Лабораторна робота №8. Дослідження автогенераторів гармонійних коливач.	35

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Передача сигналу через лінії зв'язку

Мета роботи: вивчити й проаналізувати передачу сигналів через лінії зв'язку.

Загальні положення

Проходження сигналу через лінію зв'язку (лінійне коло) є широко розповсюдженим перетворенням сигналу. Цей процес часто супроводжується зміною форми сигналу, що еквівалентно втратам інформації, що міститься в ньому. Такі зміни пов'язані з обмеженістю смуги пропускання реальних кіл. У реальних пристроях завжди є спеціально встановлені або паразитні опори і ємності (схема №1.1), а також розділювальні й фільтруючі конденсатори (схема №1.2).

Робота лінійних кіл обумовлюється двома видами характеристик - часовими й частотними. Між ними існує однозначна залежність. Так, тривалість фронтів імпульсу на виході кола відповідає малим часам, а значить - спроможності кола пропускати високі частоти. І навпаки, величина спаду вершини імпульсу характеризує параметри кола в області великих часів і обумовлює смугу пропускання кола на низьких частотах.

Перекручування сигналу, що відбуваються в лінійних колах, називають лінійними або частотними. Їхня особливість у тому, що на виході кола не з'являються додаткові складові в спектрі сигналу.

Лінійні перекручування виникають у двох випадках:

- коли окремі гармонійні складові вхідного сигналу передаються через коло неоднаково (змінюється їхнє амплітудне співвідношення);
- коли фазові зсуви, які здобувають гармонійні складові сигналу, пройшовши через коло, змінюють свої взаємні зсуви в часі.

Щоб коло в смузі робочих частот не вносило лінійних перекручувань, його амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) повинна бути прямокутною, а фазочастотна характеристика (ФЧХ) - лінійною.

Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему №1.1, що моделює паразитні ємності й опори в лініях зв'язку.

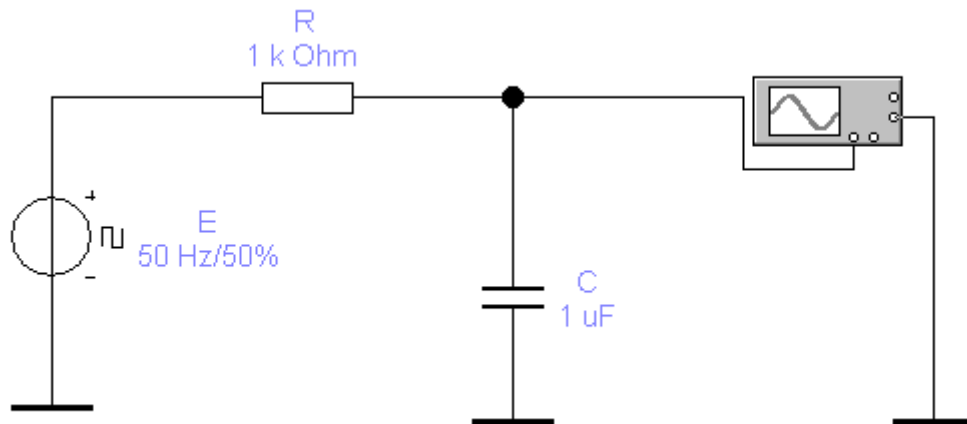


Схема № 1.1.

2. Установити параметри елементів (N - номер за списком у журналі):

2.1. Генератор меандру (Clock) E:

- амплітуда сигналу $U_m = 4N$, В;

- частота $f = 50N$, Гц.

2.2. $R = 1$ кОм.

2.3. $C = 1 / N$ мкФ.

3. Розрахувати постійну часу ланцюга $\tau = RC$.

4. Виміряти:

- тривалість імпульсу за рівнем $0,5U_m$;

- тривалість фронту й спаду за рівнем від 0,1 до 0,9 від U_m .

5. Зменшити величину опору R у два рази й розрахувати нове значення τ .

6. Повторити п. 4 для нового значення R.

7. Порівняти й проаналізувати отримані результати.

8. Замінити генератор E на джерело перемінної напруги (AC voltage source) з параметрами N В і 1 кГц.

9. За допомогою пунктів меню "Analysis" → "AC frequency" зняти амплітудно-частотну (АЧХ) і фазочастотну (ФЧХ) характеристики кола для обох значень опору R у діапазоні частот від N Гц до 2N кГц.

10. Визначити смуги пропущення кола в обох випадках за рівнем -3 дБ (0,707) від U_m .

11. Порівняти й проаналізувати отримані результати.

12. За допомогою пунктів меню "Analysis" → "Fourier" переконатися у відсутності вищих гармонік у спектрі вихідного сигналу (на елементі C). Для цього перед початком спектрального аналізу в меню "Fourier" установити:

- номер вихідного вузла схеми у вікні "Output node" (заздалегідь визначається так: підвести курсор до вихідного вузла схеми, натиснути праву

кнопку мишки, увійти в меню “Component properties”, у вікні, що відкрилося, “Node ID” прочитати номер вузла);

- крок частоти для аналізу, дорівнює частоті генератора (у нашому випадку - 1 кГц) у вікні “Fundamental frequency”;

- число гармонік “Number harmonics” рівне 9.

13. Зібрати схему №1.2, що моделює вплив розділювальних конденсаторів на проходження сигналу.

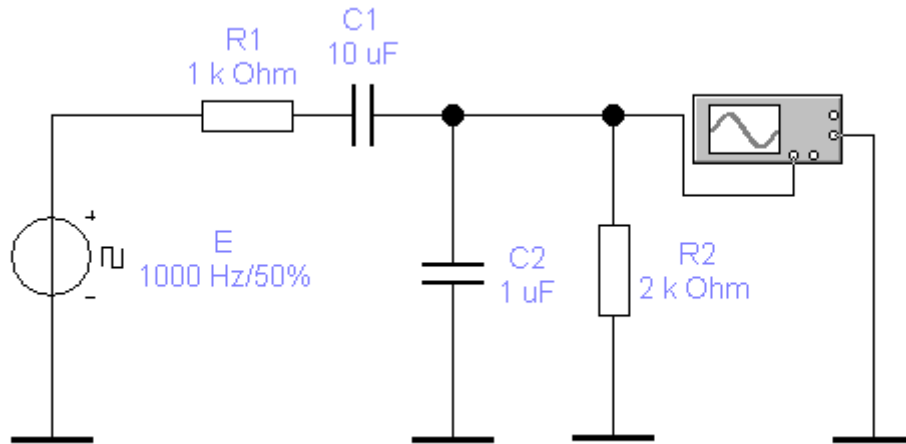


Схема № 1.2.

14. Установити параметри елементів (N - номер за списком у журналі):

14.1. Генератор меандру (Clok) E:

- амплітуда сигналу $U_m = 5N$, В;

- частота $f = 50N$, Гц.

14.2. $R1 = 1$ кОм, $R2 = 2$ кОм.

14.3. $C1 = 10 / N$ мкФ, $C2 = 1 / N$ мкФ.

15. Виміряти:

- тривалість імпульсу за рівнем $0,5U_m$;

- тривалість фронту й спаду за рівнем від 0,1 до 0,9 від U_m ;

- спад вершини імпульсу в % від U_m .

16. Зменшити величину ємності $C1$ у два рази.

17. Повторити п. 15 для нового значення $C1$.

18. Порівняти й проаналізувати отримані результати.

19. Замінити генератор E на джерело перемінної напруги (AC voltage source) з параметрами $0.5N$ В і 1 кГц.

20. За допомогою пунктів меню “Analysis” → “AC frequency” зняти амплітудно-частотну (АЧХ) і фазочастотну (ФЧХ) характеристики кола для обох значень ємності $C1$ у діапазоні частот від N Гц до $2N$ кГц.

21. Визначити смугу пропущення кола за рівнем -3 дБ (0,707) для обох значень ємності $C1$.

22. Порівняти й проаналізувати отримані результати.

23. За допомогою пунктів меню “Analysis” → “Fourier” переконатися у відсутності вищих гармонік у спектрі вихідного сигналу (на елементі $R2$). Для цього перед початком спектрального аналізу в меню “Fourier” установити:

- номер вихідного вузла схеми у вікні “Output node” (заздалегідь визначається так: підвести курсор до вихідного вузла схеми, натиснути праву кнопку мишки, увійти в меню “Component properties”, у вікні, що відкрилося, “Node ID” прочитати номер вузла);
- крок частоти для аналізу, дорівнює частоті генератора (у нашому випадку - 1 кГц) у вікні “Fundamental frequency”;
- число гармонік “Number harmonics” рівне 9.

Зміст звіту

1. Схеми, що аналізуються.
2. Результати обчислень і вимірювань.
3. Форми вихідних сигналів (імпульсів).
4. Графіки отриманих характеристик.
5. Результати проведеного аналізу й висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Поясніть форму імпульсу на конденсаторі С схеми № 1.1.
2. Яка буде форма імпульсу напруги на резисторі R схеми № 1.1?
3. Як впливають параметри елементів схеми № 1.1 на форму вихідного імпульсу?
4. Як виміряти тривалість фронту й спаду імпульсу за допомогою осцилографа?
5. Поясніть отримані АЧХ і ФЧХ схеми № 1.1.
6. Що таке смуга пропускання? Як її виміряти? Як впливають параметри кола на смугу пропускання?
7. Поясніть форму імпульсу на конденсаторі С2 схеми № 1.2.
8. Як впливають параметри елементів схеми № 1.2 на форму вихідного імпульсу?
9. Поясніть отримані АЧХ і ФЧХ схеми № 1.2.
10. Який зв'язок між часовими й частотними характеристиками досліджуваних кіл?
11. Що таке лінійні (частотні) перекручування сигналу?
12. Якими повинні бути АЧХ і ФЧХ кіл для передачі сигналу без перекручувань?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Дослідження підсилювача на транзисторах

Мета роботи: вивчити й проаналізувати проходження сигналів через підсилювач на транзисторах.

Загальні положення

При проходженні сигналів через більшість реальних радіоелектронних пристроїв, крім лінійних перекручувань, досліджених раніше в лабораторній роботі №1, виникають нелінійні перекручування.

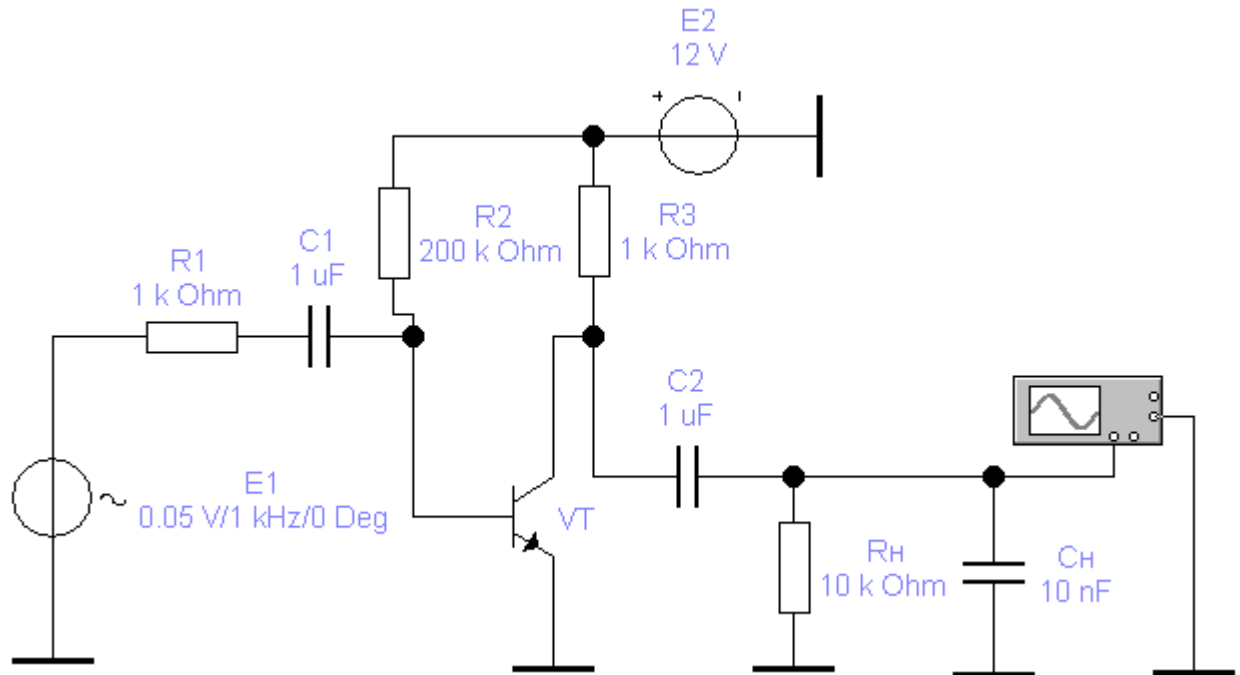
Причиною нелінійних перекручувань є проходження сигналу через елементи, що мають нелінійну вольтамперну характеристику (ВАХ), наприклад, лампу, діод, транзистор, трансформатор. У результаті цього спотворюється форма коливань і змінюється їхній спектральний склад. Тобто в спектрі вихідного сигналу присутні нові (додаткові) гармонійні складові, які кількісно оцінюються коефіцієнтом нелінійних перекручувань (коефіцієнтом гармонік) K_r як співвідношення всіх вищих (нових) гармонік до основної гармоніки вхідного сигналу:

$$K_r = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + U_5^2 + \dots}}{U_1} 100\% .$$

У даній роботі як нелінійний елемент використовується біполярний транзистор. Чим більше амплітуда вхідного (вихідного) сигналу, тим сильніше проявляється нелінійність ВАХ транзистора й тим сильніше перекручування сигналу. У більшості пристроїв прийнятним є коефіцієнт гармонік на рівні від десятих часток до одиниць відсотків.

Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему однокаскадного транзисторного підсилювача.



2. Установити параметри елементів:

2.1. Генератор синусоїдальної напруги (AC voltage source) E1:

- амплітуда сигналу $U_m = 0.05$ В;
- частота сигналу $f_c = 0.5$ кГц.

2.2. Транзистор VT - ідеальний.

2.3. Всі інші елементи - відповідно до номіналів на схемі.

3. За допомогою пунктів меню "Analysis" → "AC frequency" зняти амплітудно-частотну (АЧХ) і фазочастотну (ФЧХ) характеристики схеми в діапазоні частот від 50 Гц до 50 кГц.

4. Визначити смугу пропускання за рівнем -3 дБ (0,707).

5. Провести аналіз впливу елементів схеми на хід АЧХ і ФЧХ.

6. За допомогою осцилографа візуально оцінити ступінь перекошування вихідного сигналу (відхилення від синусоїдальної форми). Перенести форму цього сигналу в звіт.

7. За допомогою пунктів меню "Analysis" → "Fourier" одержати спектральну діаграму на виході схеми (на C_n). Для цього перед початком спектрального аналізу в меню "Fourier" установити:

- номер вихідного вузла схеми у вікні "Output node" (заздалегідь визначається так: підвести курсор до вихідного вузла схеми, натиснути праву кнопку мишки, увійти в меню "Component properties", у вікні, що відкрилося, "Node ID" прочитати номер вузла);
- крок частоти для аналізу, дорівнює частоті генератора f_c (у вікні "Fundamental frequency");
- число гармонік "Number harmonics" рівне 9.

8. Виміряти й записати амплітуди всіх гармонік.

9. Записати розраховане програмою значення коефіцієнта нелінійних перекручувань (Total harmonic distortion).

10. Розрахувати коефіцієнт нелінійних перекручувань (коефіцієнт гармонік) по формулі:

$$K_r = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + U_5^2 + \dots}}{U_1} 100\%,$$

де:

U_2, U_3, U_4, U_5 – амплітуди вищих гармонік вихідного сигналу, обмірювані на спектральній діаграмі;

U_1 – амплітуда першої (основний) гармоніки, обмірювана там же.

11. Порівняти отримане значення зі значенням з п. 9.

12. Повторити п.п. 6 - 11 для значень амплітуди генератора вхідного сигналу $E_1 = 0.07$ В та 0.1 В.

13. Проаналізувати отримані результати.

Зміст звіту

1. Досліджувана схема.
2. Результати обчислень і вимірювань.
3. Форми сигналів.
4. Графіки отриманих характеристик і діаграм.
5. Результати проведеного аналізу й висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Що таке нелінійні перекручування сигналу? Чим вони відрізняються від лінійних?
2. Який елемент досліджуваної схеми є нелінійним? Чому?
3. Що впливає на величину нелінійних перекручувань у досліджуваній схемі?
4. Який K_r є допустимим при передачі мовного сигналу? Як він виявляється на вихідному сигналі?
5. Поясніть отримані АЧХ і ФЧХ схеми.
6. Що таке смуга пропущення? Як її виміряти? Як впливають параметри схеми на смугу пропущення?
7. Поясніть призначення елементів досліджуваної схеми.
8. Як впливають параметри елементів схеми на коефіцієнт гармонік вихідного сигналу?
9. Як розширити смугу пропущення в області нижніх частот (зменшити f_n)?
10. Як розширити смугу пропущення в області верхніх частот (збільшити f_v)?
11. Як зменшити нелінійні перекручування в транзисторному підсилювальному каскаді?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Дослідження амплітудного модулятора коливаль

Мета роботи: вивчити й проаналізувати принцип дії амплітудного модулятора коливаль.

Загальні положення

Перенесення спектра сигналів з низькочастотної області у виділену для їхньої передачі область високих частот каналу зв'язку виконується операцією **модуляції**.

Амплітудна модуляція (АМ) відповідає перенесенню інформації $s(t) \Rightarrow U(t)$ при постійних значеннях параметрів ω і φ . АМ - сигнал симетричний щодо осі часу і являє собою добуток інформаційної обвідної $U(t)$ і її заповнення гармонійним коливанням, частота якого, як правило, багато вище максимальних частот в обвідній функції $U(t)$. Форма запису амплітудно - модульованого сигналу:

$$u(t) = U(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

$$U(t) = U_m \cdot [1 + M \cdot s(t)],$$

де U_m – постійна амплітуда несучого коливання при відсутності вхідного (модулюючого) сигналу $s(t)$, M – коефіцієнт амплітудної модуляції.

Значення коефіцієнта M характеризує *глибину* амплітудної модуляції. При значенні $|M \cdot s(t)| < 1$ для будь-яких значень t форма обвідної несучого коливання повністю повторює форму модулюючого сигналу $s(t)$, що можна бачити на рис. 3.1 (сигнал $s(t) = \sin(\omega_s t)$, коефіцієнт модуляції $M = 0.5$). Малу глибину модуляції ($M \ll 1$) застосовувати недоцільно, тому що при цьому потужність переданого інформаційного сигналу $s(t)$ багато менше потужності несучого коливання й потужність передавача використовується не економічно.

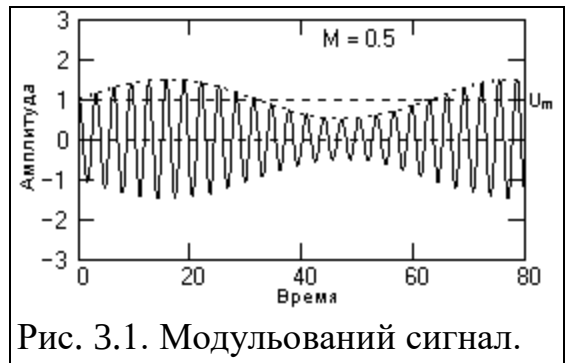


Рис. 3.1. Модульований сигнал.

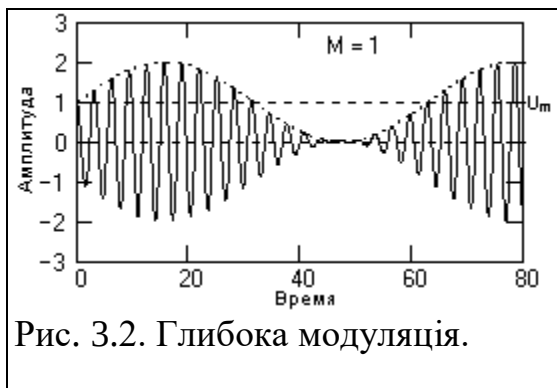


Рис. 3.2. Глибока модуляція.

На рис. 3.2 наведений приклад так називаної *глибокої модуляції*, при якій значення $|M \cdot s_{\text{екстр}}(t)|$ прагне до 1 в екстремальних точках функції $s(t)$. При глибокій модуляції використовуються також поняття відносного коефіцієнта модуляції нагору: $M_v = (U_{\text{max}} - U_m) / U_m$, і модуляції вниз: $M_n = (U_m - U_{\text{min}}) / U_m$. 100% - на модуляція нагору ($M_v = 1$) може приводити до перекручувань сигналів

при перевантаженнях передавача, якщо останній має обмежений динамічний

діапазон по амплітуді несучих частот або обмежену потужність передавача (збільшення амплітуди несучих коливань у пікових інтервалах сигналу $U(t)$ у два рази вимагає збільшення потужності передавача в чотири рази).

Відносний коефіцієнт модуляції вниз також повинен бути досить надійно обмежений. При $M_n > 1$ виникає так називана *перемодуляція*, приклад якої наведений на рис. 3.3, при якій форма обвідної спотворюється щодо форми модулюючого сигналу.

Простіша форма модульованого сигналу створюється при *однотональній* амплітудній модуляції – модуляції несучого сигналу гармонійним коливанням з однією частотою Ω :

$$u(t) = U_m[1 + M \cdot \cos(\Omega t)] \cdot \cos(\omega_0 t). \quad (3.1)$$

Для спрощення математичних виразів значення початкових фазових кутів несучого й модулюючого коливання приймаємо рівними нулю.

З урахуванням відомої формули $\cos(x)\cos(y) = (1/2)[\cos(x+y) + \cos(x-y)]$ з вираження (3.1) одержуємо:

$$u(t) = U_m \cos(\omega_0 t) + (U_m/2) \cos[(\omega_0 + \Omega)t] + (U_m/2) \cos[(\omega_0 - \Omega)t].$$

Звідси треба, що модулююче коливання із частотою Ω переміщується в область частоти ω_0 і розщеплюється на два коливання, симетричні щодо частоти ω_0 , із частотами відповідно $(\omega_0 + \Omega)$ – верхня бічна частота, і $(\omega_0 - \Omega)$ – нижня бічна частота (рис. 3.4 для сигналу, наведеного на рис. 3.1). Амплітуди коливань на бічних частотах рівні один одному й при 100%-ній модуляції дорівнюють половині амплітуди коливань несучої частоти.

Принципової необхідності випромінювати обидві бічні смуги немає, тому що в них міститься однакова інформація. Передача інформації за допомогою однієї бічної смуги (ОБС) дозволить ощадливіше використовувати місце в ефірі, тому що смуга випромінюваного сигналу скорочується вдвічі. Часто при односмуговому зв'язку придушується нижня смуга частот і разом з нею випромінюється 15 - 20% -ний залишок несучої частоти. При цьому знижується навантаження на передавач.

Недоліком зв'язку на ОБС частот є більш складна реалізація прийомної апаратури.



Рис. 3.3. Перемодуляція сигналу.

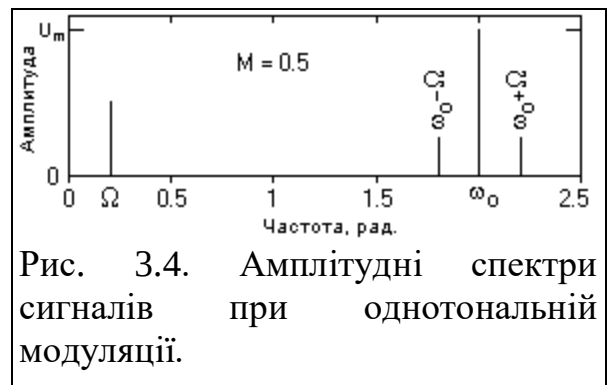


Рис. 3.4. Амплітудні спектри сигналів при однотональній модуляції.

Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему № 3.1, що моделює процес одержання АМ коливань.

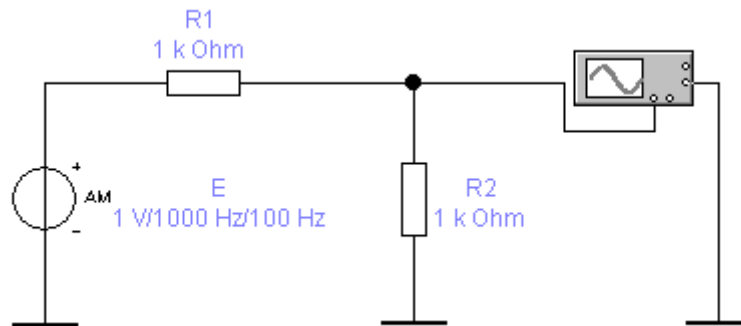


Схема № 3.1.

2. Установити параметри елементів:

2.1. Генератор АМ-коливань (AM source) E:

- амплітуда сигналу $VC = 0.5N$ В;
- несуча частота $FC = 1$ кГц;
- модулююча частота $FM = 100$ Гц;
- коефіцієнт модуляції $M = 0.3$.

2.2. Опір R1 й R2 по 1 кОм кожний.

3. Перенести осцилограму отриманого коливання в звіт. По осцилограмі визначити експериментальний коефіцієнт глибини модуляції, використовуючи розрахункову формулу:

$$M_e = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}}.$$

4. За допомогою пунктів меню “Analysis” → “Fourier” отримати спектральну діаграму на виході схеми. Для цього перед початком спектрального аналізу в меню “Fourier” установити:

- номер вихідного вузла схеми у вікні “Output node” (заздалегідь визначається так: підвести курсор до вихідного вузла схеми, натиснути праву кнопку мишки, увійти в меню “Component properties”, у вікні, що відкрилося, “Node ID” прочитати номер вузла);
- крок частоти для аналізу дорівнює частоті модулюючого сигналу (у нашому випадку - 100 Гц) у вікні “Fundamental frequency”;
- число гармонік “Number harmonics” рівне 15.

5. Перенести спектрограму в звіт. Виміряти й записати параметри несучої U_0 , нижньої U_n і верхньої U_v бічних частот.

6. Розрахувати ефективність передачі інформації за допомогою амплітудної модуляції як відношення потужності сигналів, що містять у собі передану інформацію, до загальної переданої потужності АМ-коливання.

$$\eta_e = \frac{U_n^2 + U_v^2}{U_0^2 + U_n^2 + U_v^2} 100\%.$$

7. Порівняти отримане експериментальне значення η_e з теоретичним, котре можна розрахувати по формулі:

$$\eta_T = \frac{M^2}{2 + M^2} 100\% .$$

8. Повторити п.п. 3 - 7 для значень коефіцієнта модуляції M , рівним 0.5, 1.0 й 1.5.

9. Результати звести в таблицю.

M	η_e	η_T
0,3		
0,5		
1,0		
1,5		

10. Проаналізувати отримані результати.

11. Зібрати схему № 3.2, що моделює одержання АМ сигналу з односмуговою модуляцією.

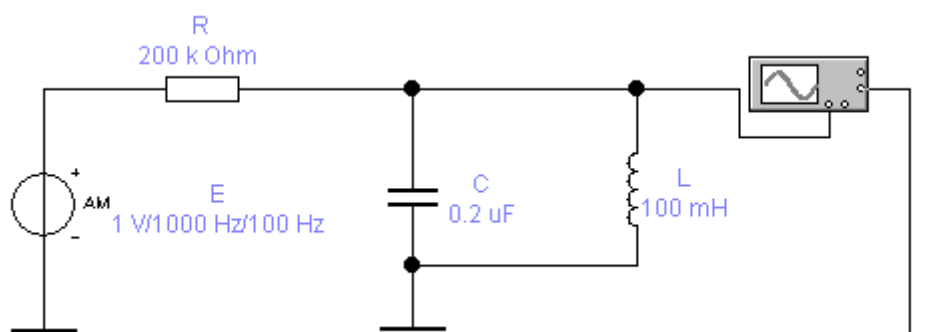


Схема № 3.2.

12. Установити параметри елементів:

12.1. Генератор АМ коливаль (AM source) E:

- амплітуда сигналу $V_C = 0.5N$ В;
- несуча частота $F_C = 1$ кГц;
- модулююча частота $F_M = 100$ Гц;
- коефіцієнт модуляції $M = 0.3$.

12.2. Опір $R = 200$ кОм.

12.3. Індуктивність $L = 0.1$ Гн.

12.4. Величину ємності C розрахувати так, щоб коливальний контур був налаштований на частоту верхньої бічної складової досліджуваного АМ сигналу. Розрахунки занести в звіт.

13. Повторити п.п. 4 - 6 для значень коефіцієнта модуляції M , рівним 0.5 й 1.0.

14. Результати звести в таблицю.

М	$\eta_{\text{ом}}$
0,3	
0,5	
1,0	

15. Проаналізувати отримані результати й порівняти їх з п. 9.

16. Замінивши в схемі № 3.2 джерело АМ сигналу Е на генератор синусоїдальної напруги, зняти й перенести в звіт АЧХ і ФЧХ схеми в діапазоні частот від 500 до 1500 Гц. Переконалися в правильності розрахунку резонансної частоти LC контуру.

Зміст звіту

1. Досліджувані схеми.
2. Результати обчислень і вимірювань.
3. Форми сигналів.
4. Графіки отриманих діаграм.
5. Результати проведеного аналізу й висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Що таке амплітудна модуляція? Запишіть аналітичне вираження АМ-коливання.
2. Який спектр має АМ-коливання? Як можна зменшити ширину цього спектра?
3. Що таке ефективність передачі інформації за допомогою амплітудної модуляції? Як поліпшити цей показник?
4. Які недоліки двосмугового АМ коливання?
5. Чому в п. 12 LC контур настроюється на частоту верхнього бічного складового спектра АМ-коливання? Чому дорівнює ця частота в цьому випадку?
6. Які види АМ-коливань Ви знаєте?
7. Що таке амплітудна маніпуляція?
8. Як одержати АМ з однією бічною смугою (ОБС)?
9. Чим відрізняється АМ-коливання з ОБС від двосмугової АМ?
10. Назвіть переваги й недоліки АМ-коливань з ОБС.
11. Що таке коефіцієнт модуляції М? Який його фізичний зміст?
12. Що відбувається з АМ-коливанням при $M > 1$?
13. Що таке добротність коливального контуру? Як її розрахувати і який її фізичний зміст?
14. Яка добротність коливального контуру повинна бути в схемі №3.2? Чому?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Дослідження детектора амплітудно-модульованих коливань

Мета роботи: вивчити й проаналізувати принцип дії демодулятора (детектора) амплітудно-модульованих коливань.

Загальні положення

Детектування коливань полягає у відновленні керуючого сигналу, що в неявній формі міститься в модульованому високочастотному (ВЧ) коливанні. По своєму призначенню детектування є процесом, зворотним процесу модуляції.

В амплітудному детекторі (АД) здійснюється виділення обвідної амплітудно-модульованого сигналу з одночасним усуненням несучого коливання. Роль несучих коливань можуть виконувати як гармонійні коливання, так і послідовності радіо- або відеоімпульсів.

До складу будь-якого детектора входить нелінійний елемент для утворення спектральних компонентів, що відповідають модулюючій частоті, і лінійний фільтр для виділення компонентів, що відповідають спектру модулюючих частот і усунення компонент, що відповідають спектру несучого коливання і його гармонік. Таким чином, функціональна схема детектора може бути представлена у вигляді послідовно з'єднаних нелінійного елемента й фільтра нижніх частот. Як нелінійні елементи використовують напівпровідникові діоди, а також біполярні й польові транзистори. Роль фільтра, як правило, виконує коло, що складається з резистора й шунтуючої його ємності. У цей час елементи детектора частіше реалізують в одній мікросхемі.

На рис. 4.1 показана схема послідовного амплітудного детектора, а на рис. 4.2 - паралельного детектора.

Схема паралельного амплітудного детектора доповнена фільтром нижніх частот $R_\phi C_\phi$.

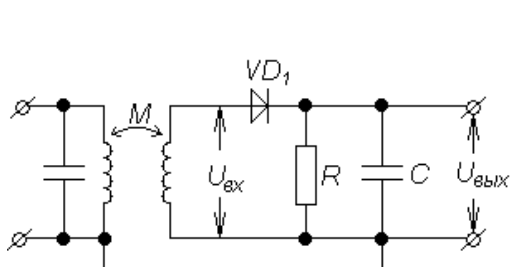


Рис. 4.1. АД послідовного типу.

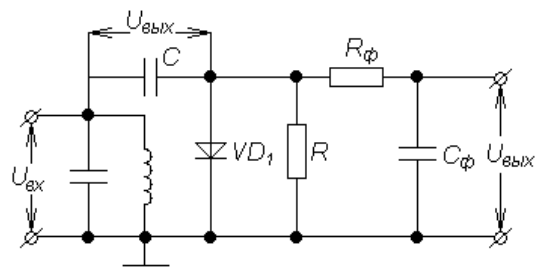


Рис. 4.2. АД паралельного типу.

Постійна часу детектора вибирається відповідно до нерівності:

$$(1/f_0) \ll RC \ll (1/f_m). \quad (4.1)$$

Ліва частина цієї нерівності характеризує здатність детектора відфільтровувати високочастотні складові сигналу, що детектується, а права частина відображає вимогу відтворення форми низькочастотного модулюючого коливання.

У даній роботі як нелінійний елемент використовується діод. Досліджувана схема послідовного детектора може працювати у двох різних режимах, які визначаються вибором положення робочої точки на ВАХ діода.

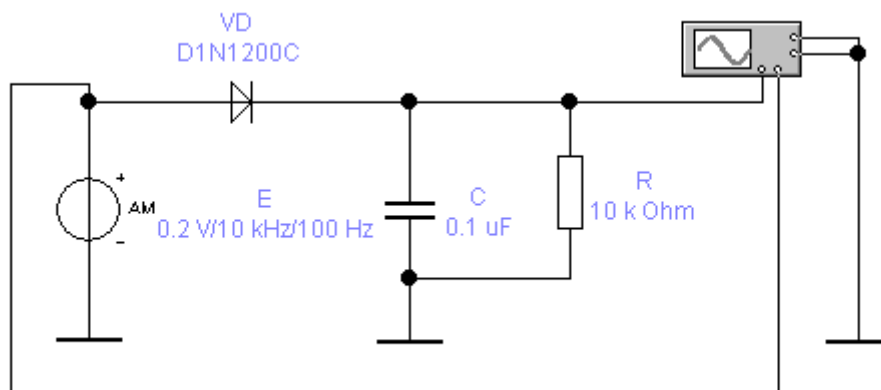
У першому випадку робоча точка вибирається на нижньому вигині ВАХ, що відповідає детектуванню слабких сигналів. Оскільки початкова ділянка ВАХ діода добре апроксимується поліномом другого ступеня, то такий режим детектування називається квадратичним.

У другому випадку провадиться детектування сильних сигналів. При цьому використовується лінійна ділянка ВАХ діода й режим детектування називається лінійним.

При квадратичному режимі коефіцієнт гармонік $K_r = M / 4$, тобто прямо пропорційний коефіцієнту модуляції M .

Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему амплітудного детектора.



2. Для моделювання режиму квадратичного детектування встановити параметри елементів:

2.1. Генератор АМ-коливань (AM source) E:

- амплітуда сигналу $V_C = 0.1$ В;
- несуча частота (FC) $f_0 = 10$ Н кГц;
- модулююча частота (FM) $f_m = 100$ Н Гц;
- коефіцієнт модуляції $M = 0.3$.

2.2. Діод VD взяти типу D1N1200C (з бібліотеки програми в меню “Models”, “motoroll”).

2.3. Опір $R = 10 \text{ кОм}$.

2.4. Конденсатор C вибрати з подвійної нерівності (4.1).

3. Перенести осцилограму отриманого коливання (з урахуванням постійної складової сигналу) у звіт.

4. За допомогою пунктів меню “Analysis” → “Fourier” одержати спектральну діаграму на виході схеми. Для цього перед початком спектрального аналізу в меню “Fourier” установити:

- номер вихідного вузла схеми у вікні “Output node” (заздалегідь визначається так: підвести курсор до вихідного вузла схеми, натиснути праву кнопку мишки, увійти в меню “Component properties”, у вікні, що відкрилося, “Node ID” прочитати номер вузла);

- у вікні “Fundamental frequency” - крок частоти для аналізу, дорівнює частоті сигналу, що модулює, f_m ;

- число гармонік “Number harmonics” рівне 15.

5. Перенести спектрограму в звіт. Записати отриманий коефіцієнт нелінійних переключувань (Total harmonic distortion).

6. Повторити п.п. 3 - 5 для значень коефіцієнта модуляції $M = 0.5, 0.8$ й 1.0 .

7. Результати звести в таблицю.

М	$K_{\Gamma \text{ квадр}}, \%$	$K_{\Gamma \text{ лін}}, \%$
0,3		
0,5		
0,8		
1,0		

8. Проаналізувати отримані результати.

9. Для моделювання режиму лінійного детектування збільшити амплітуду генератора АМ-коливань E до 1 В.

10. Повторити п.п. 3 - 8.

Зміст звіту

1. Досліджувані схеми.

2. Результати обчислень і вимірювань.

3. Форми сигналів.

4. Графіки отриманих діаграм.

5. Результати проведеного аналізу й висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Що таке демодуляція (детектування) сигналу?
2. Який принцип детектування АМ-коливань?
3. Що таке квадратичний режим детектування АМ-коливань?
4. Що таке лінійний режим детектування АМ-коливань?
5. Які недоліки й переваги квадратичного режиму детектування?
6. Які недоліки й переваги лінійного режиму детектування?
7. Поясніть результати вимірювань, зведені в таблицю пункту 7.
8. Поясніть критерій вибору постійної часу RC кола.
9. Як надалі усунути постійну складову сигналу на виході АД?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

Дослідження частотного модулятора і детектора коливань

Мета роботи: вивчити й проаналізувати принцип дії частотного модулятора і демодулятора (детектора) коливань.

Загальні положення

У методі частотної модуляції (ЧМ) амплітуда модулюючого сигналу управляє миттєвою частотою несучої. Ідеальна ЧМ не вносить змін в амплітуду несучої. Отже, форма напруги модульованої несучої може бути виражена у вигляді

$$e_{\text{ЧМ}} = A_{\text{н}} \cos[\omega_{\text{н}} t + \delta \cdot \sin(\omega_{\text{м}} t)],$$

де $\omega_{\text{н}}$ й $\omega_{\text{м}}$ - відповідно несуча частота й частота модуляції, а δ - індекс модуляції. Частоти модульованого коливання можуть бути отримані з вираження $\cos[\omega_{\text{н}} t + \delta \cdot \sin(\omega_{\text{м}} t)]$ з використанням тригонометричних формул і спеціальних таблиць (функції Беселя).

Індекс модуляції δ визначається як $\Delta\omega_{\text{н}}/\omega_{\text{м}} = \Delta f_{\text{н}}/f_{\text{м}}$ - відношення максимальної девіації частоти (за один період модулюючого сигналу) до частоти модуляції.

Амплітуда спектральних складових ЧМ коливання визначається величиною індексу частотної модуляції. При вузькосмуговій ЧМ ($\delta \ll 1$) амплітудний спектр ЧМ коливання збігається зі спектром АМ коливання. При великих індексах модуляції ($\delta \gg 1$) ширина спектра ЧМ коливання близька до подвоєної девіації частоти.

Існують різні методи ЧМ-детектування й селекції. В основі більшості методів лежить використання нахилу частотної характеристики резонансного контуру (рис. 1). Амплітуда відгуку змінюється із частотою. Для $\omega_{\text{н}} + \Delta\omega_{\text{н}}$ одержуємо амплітуду A_1 , для $\omega_{\text{н}} - \Delta\omega_{\text{н}}$ - амплітуду A_2 , а для частот між $\omega_{\text{н}} + \Delta\omega_{\text{н}}$ й $\omega_{\text{н}} - \Delta\omega_{\text{н}}$ маємо всі проміжні амплітуди між A_1 й A_2 . Вихідний сигнал відповідає девіації частоти вхідного сигналу (хоча й не зовсім лінійно в простому резонансному контурі) і тим самим відтворює первісний модулюючий сигнал.

У частотному детекторі з розстроєним коливальним контуром (схема №5.2) здійснюється попереднє перетворення змін частоти радіосигналу в пропорційну зміну амплітуди. Наступне детектування цього перетвореного радіосигналу здійснюється за допомогою звичайного детектора АМ коливань.

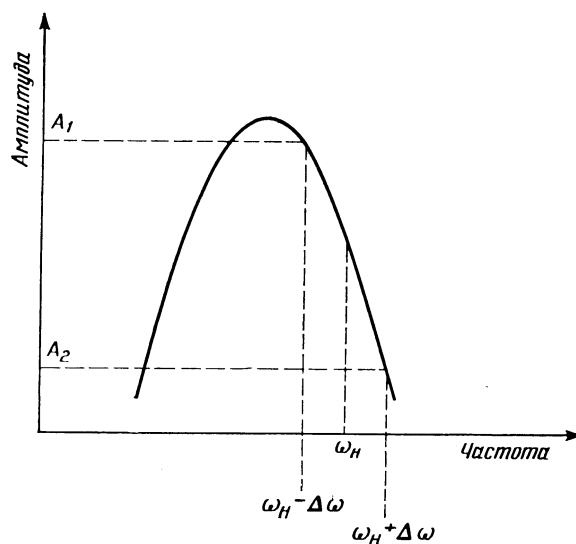


Рис. 5.1. Принцип використання резонансного контуру в якості частотного детектора.

Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему №5.1 для дослідження ЧМ колювання.

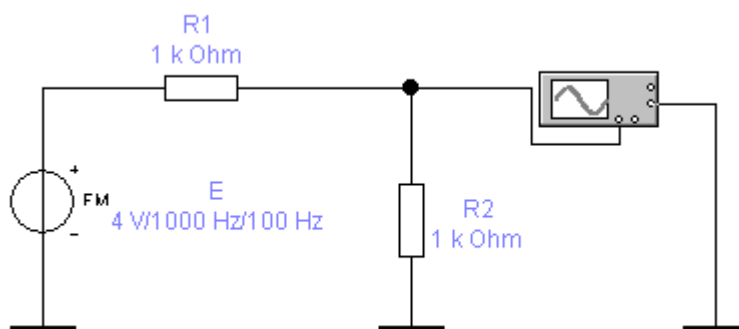


Схема № 5.1.

2. Установити параметри елементів:

2.1. Генератор ЧМ-колювань (FM source) E:

- амплітуда сигналу $VC = 20 / N$, В;
- несуча частота $FC = 1$ кГц;
- модулююча частота $FM = 100$ Гц;
- індекс модуляції $M = 5$.

2.2. Опір R1 й R2 по 1 кОм кожний.

3. Перенести осцилограму отриманого колювання в звіт.

4. За допомогою пунктів меню “Analysis” → “Fourier” одержати спектральну діаграму на виході схеми. Для цього перед початком спектрального аналізу в меню “Fourier” установити:

- крок частоти для аналізу, дорівнює частоті модулюючого сигналу (у нашому випадку - 100 Гц) у вікні “Fundamental frequency”;
- число гармонік “Number harmonics” рівне 21.

5. Перенести спектрограму в звіт.
6. Одержати й зафіксувати в звіті спектрограми для значень індексу модуляції M , рівним 2.0, 1.0 й 0.5.
7. Проаналізувати отримані результати.
8. Зібрати схему №5.2, що моделює процес демодуляції ЧМ сигналу за допомогою розстроєного коливального контуру.

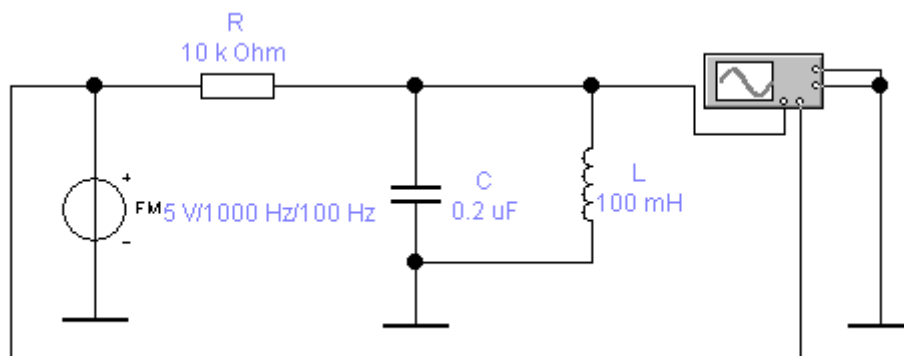


Схема № 5.2.

9. Установити параметри елементів:
 - 9.1. Генератор ЧМ-коливань (FM source) E:
 - амплітуда сигналу $V_C = 20 / N$, В;
 - несуча частота $F_C = 1$ кГц;
 - модулююча частота $F_M = 100$ Гц;
 - індекс модуляції $M = 0.1$.
 - 12.2. Опір $R = 10$ кОм.
 - 12.3. Індуктивність $L = 0.1$ Гн.
 - 12.4. Величину ємності C розрахувати так, щоб коливальний контур був налаштований на частоту 1100 Гц. Розрахунок відобразити в звіті.
13. Зняти й перенести в звіт осцилограму отриманої вихідної напруги.
14. Повторити п. 13 для значень індексу модуляції M , рівним 0.3 й 0.5.
15. Проаналізувати отримані результати.
16. Замінивши в схемі № 5.2 джерело АМ сигналу E на генератор синусоїдальної напруги, зняти й перенести в звіт АЧХ і ФЧХ схеми в діапазоні частот від 500 до 1500 Гц. Переконатися в правильності розрахунку резонансної частоти LC контуру.

Зміст звіту

1. Досліджувані схеми.
2. Результати обчислень і вимірювань.
3. Форми сигналів.
4. Графіки отриманих діаграм.
5. Результати проведеного аналізу й висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Що таке кутова модуляція? Які види коливань із кутовою модуляцією Ви знаєте?
2. Який спектр має ЧМ-коливання? Від чого він залежить?
3. Що спільного між ЧМ і ФМ коливаннями?
4. У чому різниця між ЧМ і ФМ коливаннями?
5. Які недоліки ФМ коливання?
6. Який принцип демодуляції ЧМ коливань детектором з розстроєним коливальним контуром?
7. Що таке частотна маніпуляція?
8. Що таке індекс модуляції? Який його фізичний зміст?
9. Що відбувається зі спектром ЧМ-коливання при $M \gg 1$?
10. Що таке добротність коливального контуру? Як її розрахувати і який її фізичний зміст?
11. Яка добротність коливального контуру повинна бути в схемі №5.2? Чому?
12. Що таке девіація частоти?

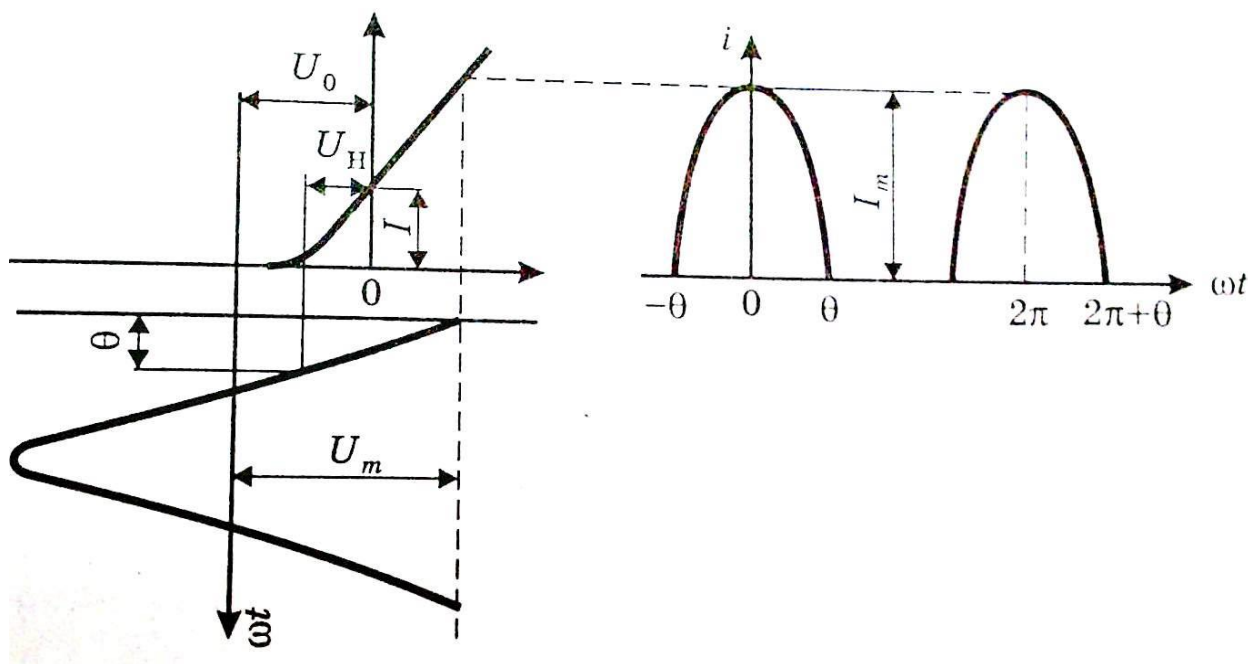
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

Дослідження помножувача й перетворювача частоти сигналу

Мета роботи: вивчити й проаналізувати принципи дії помножувача й перетворювача частоти сигналів.

Загальні положення

Якщо на нелінійний елемент (базу транзистора) подати великий вхідний сигнал, то можна одержати струм колектора у вигляді послідовності гострих імпульсів. Такий струм багатий гармоніками, що утворять лінійчатий спектр. У складі імпульсного колекторного струму будуть присутні гармоніки із частотами, кратними основній частоті збудження. Це дозволяє використовувати підсилювач у якості помножувача частоти. Для цього досить настроїти навантажувальний коливальний контур на частоту виділюваної гармоніки й установити режим роботи нелінійного елемента, найбільш вигідний для підкреслення корисної гармоніки. Оптимальний кут відсічення можна розраховувати по співвідношенню $\theta_{\text{опт}} = 120^\circ / n$, де n – порядок множення частоти.



Напруга зсуву U_0 визначається з формули:

$$\cos \theta = -\frac{SU_0 + I}{SU_m},$$

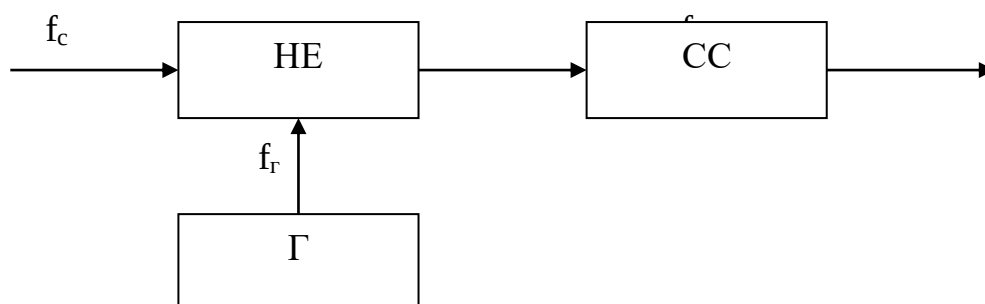
де: S – крутість прохідної характеристики транзистора, U_m – амплітуда вхідного сигналу, U_H – напруга запирання активного елемента, I – ордината точки перетинання апроксимуючої прямої з віссю ординат.

Процес перетворення частотного спектра, при якому у вихідному колі виділяється комбінаційна частота (різницева або сумарна), називається

перетворенням частоти. Перетворення частоти здійснюється за допомогою нелінійних елементів.

Перетворювачем частоти називають пристрій, що здійснює перенесення спектра радіосигналу з однієї області частот в іншу. Оскільки сигнал несе в собі корисну інформацію, укладену в одному або декількох його параметрах, то в процесі перетворення частоти ця інформація повинна зберігатися. Природно, що в реальних умовах завжди мають місце перекручування інформації, які не повинні перевершувати деяких припустимих значень.

Цим умовам найбільше повно відповідає принцип гетеродинного перетворення частоти:



У такому перетворювачі частоти сигнал f_c і коливання f_r малопотужного допоміжного генератора, що називають гетеродином (Г), одночасно впливають на нелінійний елемент (НЕ).

У результаті на виході нелінійного елемента (змішувача) з'являється множина комбінаційних складових струмів/напруг із частотами:

$$f_k = | \pm n f_r \pm m f_c | ,$$

де n та m можуть дорівнювати 0, 1, 2, 3, ...

Одна із цих комбінаційних частот використовується в якості нової несучої частоти вихідного сигналу. Ця частота називається проміжною частотою ($f_{пр}$). Для її виділення як навантаження змішувача використовують різні типи селективних систем (СС).

З погляду мінімізації перекручувань інформації при перетворенні частоти й поліпшення вибіркової при наявності сигналів, що заважають, перетворювач частоти для сигналу повинен бути лінійним, тобто в ньому не повинні породжуватися гармоніки частоти сигналу ($m=1$). Ця умова може виконуватися досить точно, якщо сигнал є «малим». При цьому його розмах захоплює лише невелику ділянку характеристики перетворювального елемента і її можна вважати для напруги сигналу лінійною на цій ділянці.

Стосовно коливань гетеродина нелінійність перетворювального елемента повинна проявляти себе можливо сильніше. Звичайно, це приводить до необхідності мати значну амплітуду гетеродинної напруги. Таким чином, у переважній більшості випадків виконується умова:

$$U_c(t) \ll U_r(t).$$

Доти, поки виконується ця нерівність, властивості перетворювача частоти не залежать від амплітуди сигналу, а визначаються властивостями перетворювального елемента, амплітудою гетеродинної напруги й стабільністю його коливань.

Роль нелінійних або параметричних елементів у сучасних перетворювачах частоти виконують біполярні й польові транзистори, мікросхеми, діоди.

В якості селективної системи використовуються одиночні коливальні контури, двоконтурні фільтри й фільтри зосередженої селекції різного виду.

Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему №6.1, що імітує роботу помножувача частоти коливань.

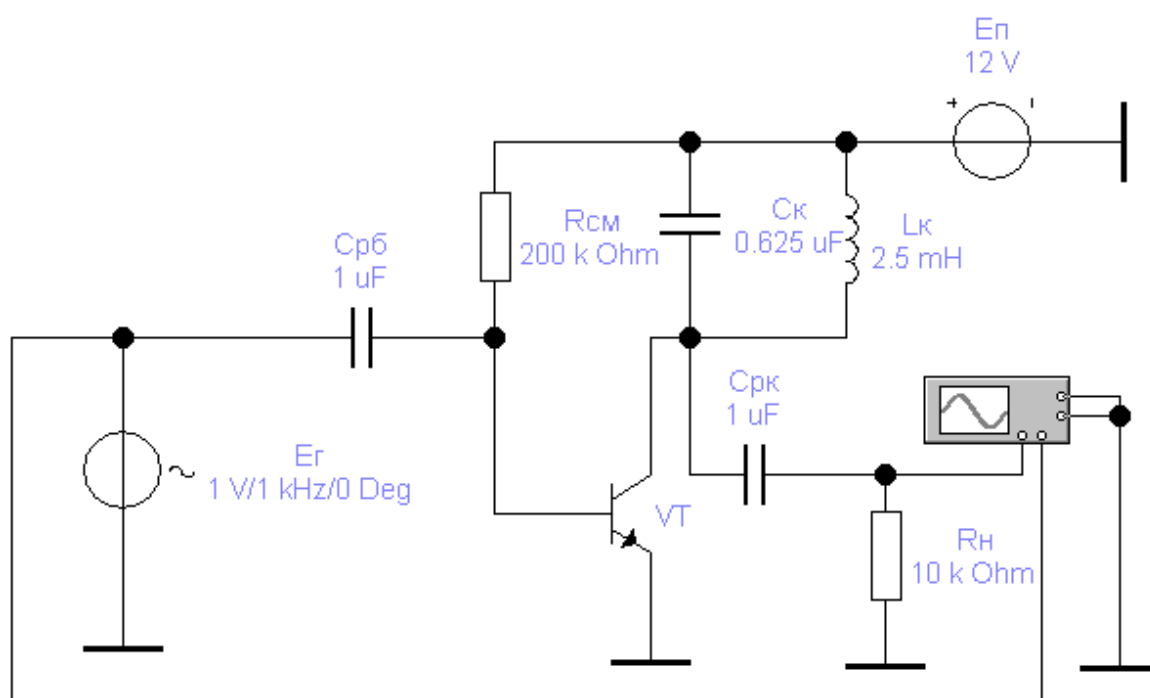


Схема № 6.1.

2. Установити параметри елементів:

2.1. Генератор синусоїдальної напруги E_g :

- амплітуда сигналу $U_m = 1$ В;
- частота сигналу $f_c = 0.5$ МГц.

2.2. Транзистор VT - ідеальний.

2.3. Індуктивність $L_k = 2.5$ мГн.

2.4. Ємність C_k розрахувати так, щоб коливальний контур у колі колектора був налаштований на другу гармоніку сигналу f_c .

2.5. Всі інші елементи - відповідно до номіналів на схемі.

3. За допомогою пунктів меню "Analysis" → "AC frequency" зняти амплітудно-частотну (АЧХ) і фазочастотну (ФЧХ) характеристики схеми в діапазоні частот від 200 Гц до 200 кГц.

4. Переконайтеся в правильності налаштування коливального контуру L_k C_k .

5. Перенести отриману осцилограму в звіт. Виміряти амплітуду й частоту коливань.

6. Зняти й перенести в звіт спектрограму сигналу на виході (на R_n).

7. Повторити п.п. 3 - 6, настроївши коливальний контур на третю й четверту гармоніки вхідного сигналу.

8. Для одержання осцилограми й спектрограми вихідного сигналу без урахування впливу коливального контуру замінити навантаження в колі колектора транзистора на активний опір $R_k = 500 \text{ Ом}$ (схема №6.2).

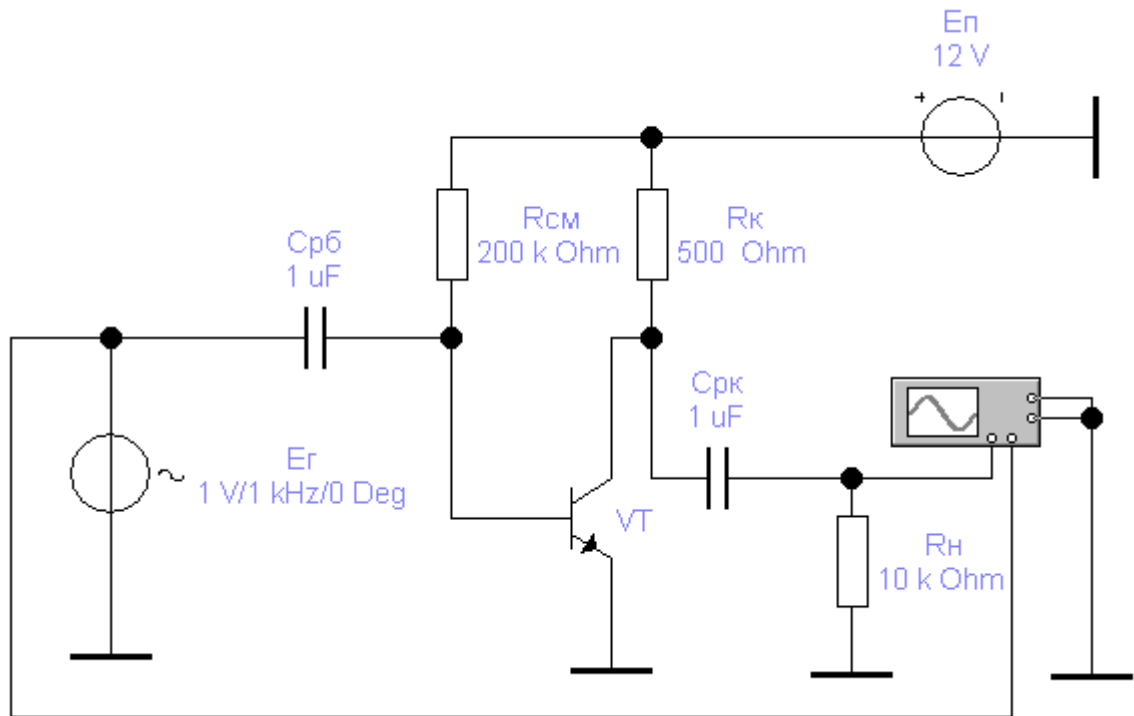


Схема № 6.2.

9. Зняти осцилограму й спектрограму вихідного сигналу.

10. Проаналізувати отримані результати й зробити висновки.

11. Зібрати схему №6.3, що імітує роботу змішувача коливань.

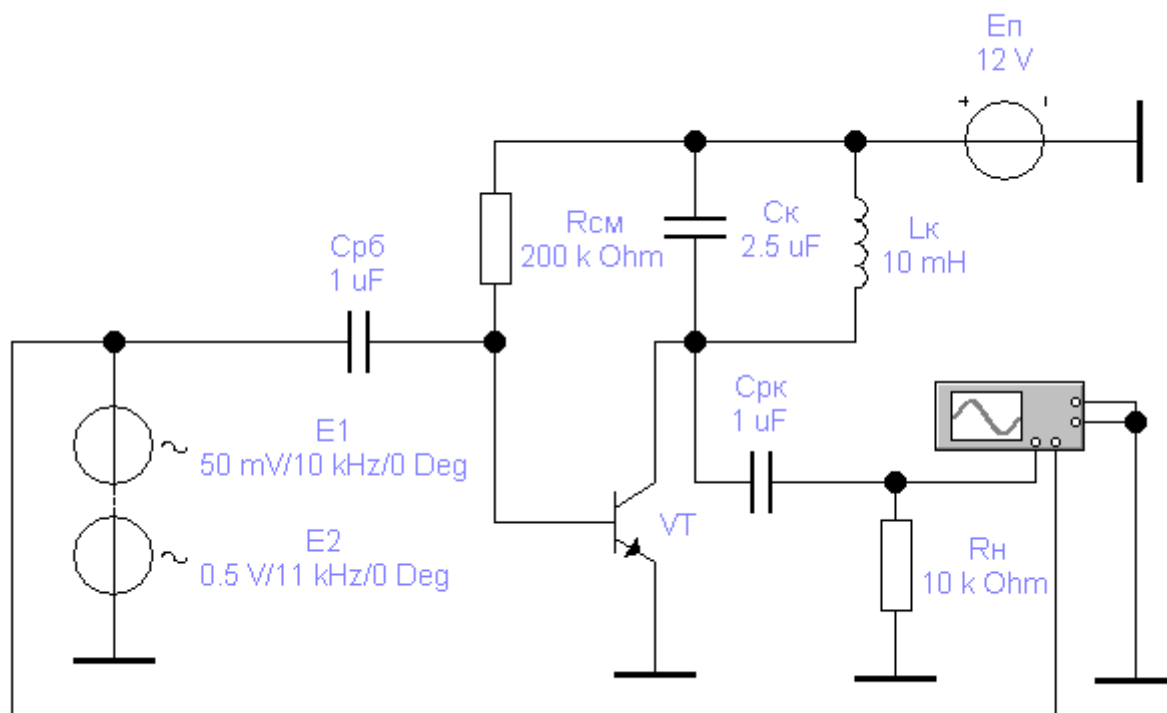


Схема № 6.3.

12. Установити параметри елементів:

12.1. Генератор синусоїдальної напруги (сигнал) E1:

- амплітуда сигналу $U_{mc} = 0.05$ В;

- частота сигналу $f_c = 10N$ кГц.

12.2. Генератор синусоїдальної напруги (гетеродин) E2:

- амплітуда сигналу $U_{mg} = 0.5$ В;

- частота сигналу $f_r = (10 + N)N$ кГц.

12.3. Транзистор VT - ідеальний.

12.4. Індуктивність $L_k = 10 / N$ мГн.

12.5. Ємність C_k розрахувати так, щоб коливальний контур у колі колектора був настроєний на різницю частот генераторів E2 й E1 ($f_r - f_c$).

12.6. Всі інші елементи - відповідно до номіналів на схемі.

13. За допомогою пунктів меню "Analysis" → "AC frequency" зняти амплітудно-частотну (АЧХ) і фазочастотну (ФЧХ) характеристики схеми в діапазоні частот від 100 Гц до 1 МГц.

14. Переконалися в правильності настроювання коливального контуру $L_k C_k$.

15. Перенести отриману осцилограму в звіт. Виміряти амплітуду й частоту коливання.

16. Зняти й перенести в звіт спектрограму сигналу на виході (на R_n).

17. Для одержання осцилограми й спектрограми вихідного сигналу без урахування впливу коливального контуру замінити навантаження в колі колектора транзистора на активний опір $R_k = 250$ Ом (схема №6.4).

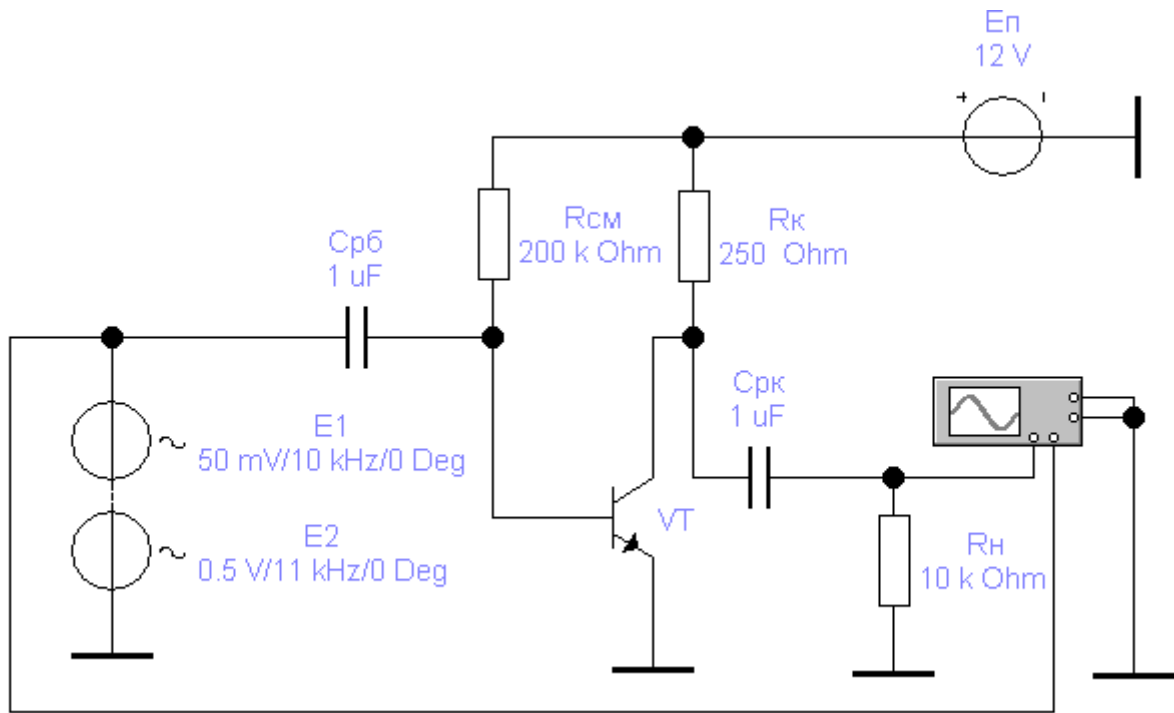


Схема № 6.4.

18. Зняти осцилограму й спектрограму вихідного сигналу.
19. Проаналізувати отримані результати й зробити висновки.

Зміст звіту

1. Досліджувані схеми.
2. Результати обчислень і вимірювань.
3. Форми сигналів.
4. Графіки отриманих характеристик і діаграм.
5. Результати проведеного аналізу й висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Що таке множення частоти коливання? На чому воно засновано?
2. В яких випадках потрібне множення частоти?
3. На якому принципі працює змішувач частоти коливань?
4. У чому різниця між помножувачем і змішувачем частоти?
5. Як домогтися максимальної ефективності роботи перетворювача частоти?
6. Поясніть призначення елементів досліджуваних схем.
7. Де застосовується множення частоти й з якою метою?
8. Де застосовується змішувач частоти й з якою метою?
9. Які комбінації частот можна одержати на виході змішувача?
10. Які частоти можна одержати на виході помножувача?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

Дослідження пристрою автоматичного регулювання підсилення

Мета роботи: вивчити і проаналізувати принцип дії автоматичного регулювання підсилення (АРП).

Загальні положення

Як відомо [4], коефіцієнт підсилення транзисторного каскаду залежить від положення робочої точки на вольтамперній характеристиці (ВАХ). Чим більше зміщення подається на базу транзистора, тим більше коефіцієнт підсилення транзистора.

При постійній напрузі джерела живлення це обумовлено двома факторами:

1. З ростом струму бази робоча точка переміщується на ділянку ВАХ з більшою крутизною.
2. Коефіцієнт підсилення по току h_{21e} (β) зростає із збільшенням струму бази при помірних токах емітера (рис.7.1).

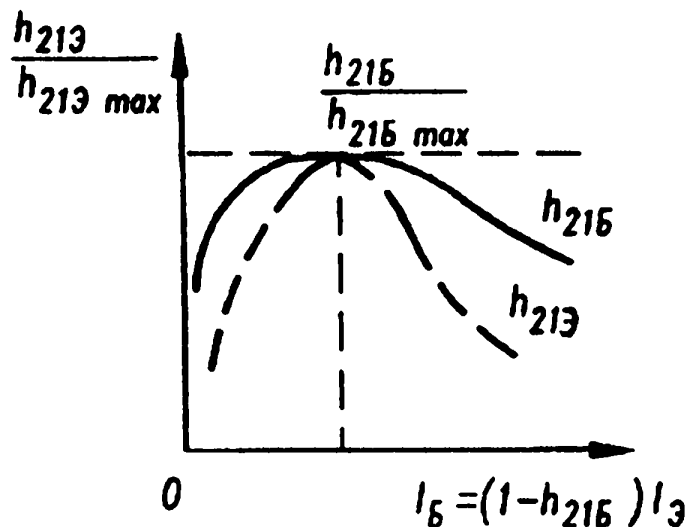


Рисунок 7.1- Графік залежності $h_{21з}$ від току бази.

Така властивість транзистора може бути використана в амплітудних модуляторах, різних схемах дистанційного та автоматичного регулювання рівня сигналів і т.п.

На рисунку 7.2 представлена схема автоматичного регулювання підсилення (АРП) з операційним підсилювачем (ОП) в колі зворотного зв'язку (33).

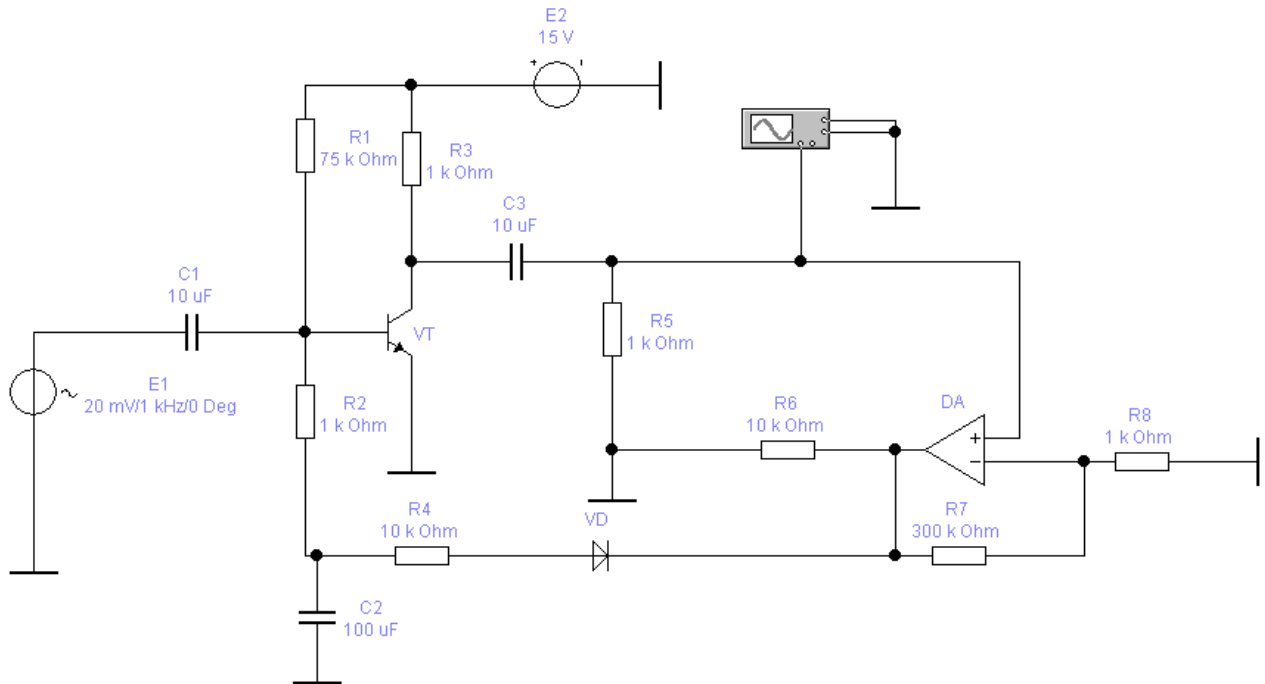


Рисунок 7.2- Схема АРП з ОП в колі ЗЗ.

Принцип дії цієї схеми такий. При зміні (наприклад, збільшенні) амплітуди вхідного сигналу (E1) пропорційно збільшується вихідна напруга на навантаженні R5 підсилюючого каскаду на транзисторі VT. Цей же сигнал подається на неінвертуючий вхід ОП (DA).

ОП служить для збільшення чутливості ланцюга зворотного зв'язку, тобто для поліпшення стабілізації амплітуди вихідного сигналу. Коефіцієнт підсилення ОП по напрузі залежить від співвідношення величин опорів R7 і R8. В даному випадку він близько 300. Підсилений операційним підсилювачем сигнал подається на однополуперіодний випрямляч на діоді VD, який пропускає тільки негативні напівхвилі сигналу. Інтегруючий ланцюг R4C2 (фільтр низьких частот) згладжує пульсації сигналу і перетворює його в практично постійну напругу негативної полярності, величина якої залежить від величини вихідної напруги на R5. Ця напруга через R2 надходить на базу транзистора, де складається з напругою зміщення, що подається від джерела живлення E2 через опір R1. В результаті цього напруга на базі транзистора (зміщення) стане менш позитивним (зменшиться). Це призведе до зменшення коефіцієнта підсилення транзистора, а значить і каскаду в цілому.

Таким чином, початкове збільшення амплітуди вхідного сигналу було скомпенсоване зменшенням коефіцієнта передачі транзистора і сигнал на навантаженні підсилювального каскаду зміниться в значно меншій мірі, ніж на вході.

Опір R6 служить для вирівнювання навантаження ОП як для позитивних, так і для негативних напівхвиль сигналу.

При зменшенні амплітуди вхідного сигналу ланцюг АРП підніме робочу точку на ВАХ вище і збільшить підсилення каскаду.

Порядок виконання роботи

1. Для дослідження залежності коефіцієнта підсилення каскаду від положення робочої точки на ВАХ зібрати схему 7.3.

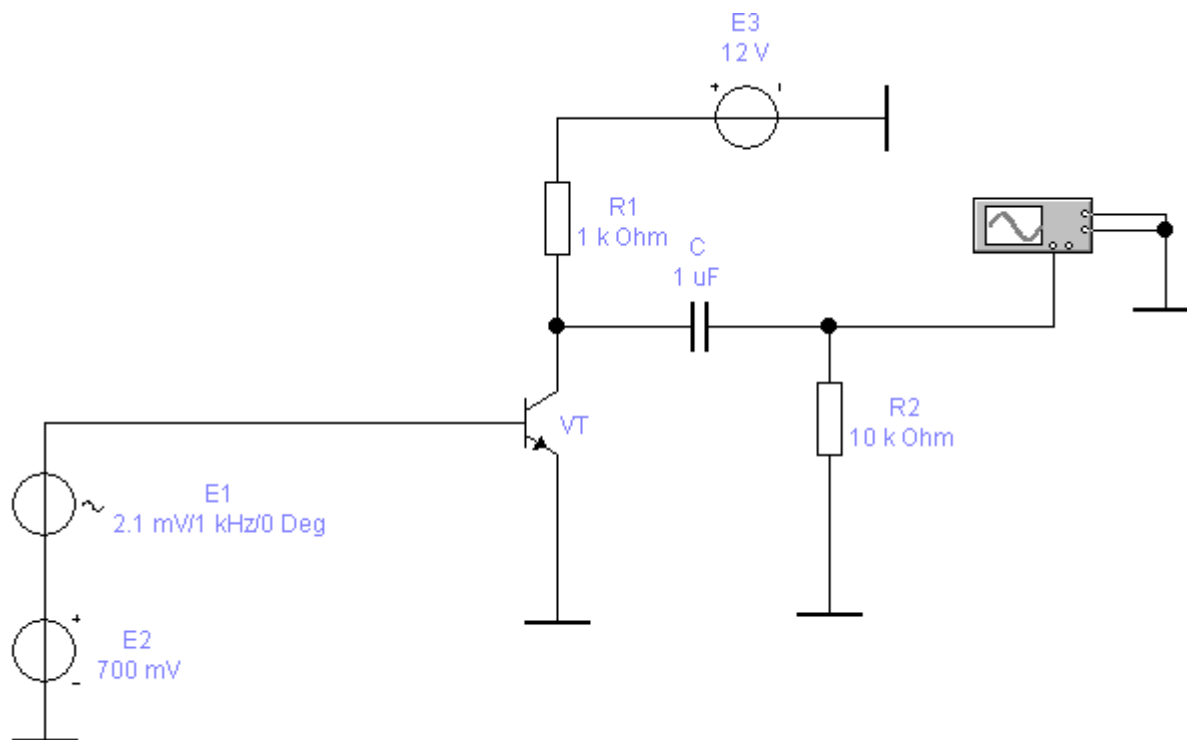


Схема 7.3.

2. Поставити параметри джерела сигналу E1:

- величина напруги 2.1 мВ (при цьому амплітуда сигналу буде приблизно 3 мВ);

- частота - $(1 + 0.5N)$ кГц.

3. Напругу зміщення E2 змінювати від 700 мВ до 830 мВ з кроком 10 мВ.

4. Транзистор VT - ідеальний. Номінали інших елементів - відповідно до схеми.

5. За допомогою осцилографа виміряти значення амплітуди вихідного сигналу на R2 і розрахувати величину коефіцієнта посилення по напрузі $K_u = U_{R2} / E1_m$ для кожного значення E2. Дані занести в таблицю 7.1.

Таблиця 7.1.

E2, мВ	U _{R2} , мВ	K _u
700		
710		
720		
730		
740		
750		
760		
770		
780		
790		
800		
810		
820		
830		

6. Побудувати графік залежності $K_u = f(E_2)$.

7. Для дослідження принципів роботи АРП зібрати схему 7.2.

8. Для неї задати параметри:

- джерело сигналу E1: частота - $(1 + 0.5N)$ кГц; величини напруги - відповідно до таблиці 7.2;

- елементи VT, VD і DA - ідеальні (ідеальний DA не вимагає підключення джерел живлення);

- номінали інших елементів - відповідно до схеми.

9. Змінюючи величину вхідної напруги E1, зробити необхідні вимірювання і розрахунки, після чого заповнити таблицю 7.2.

УВАГА: Кожен вимір проводити після встановленого перехідного процесу!

Таблиця 7.2.

E1, мВ (U _{вх})	U _{R5max} , мВ (U _{вих max})	K _u
0.02		
0.05		
0.1		
0.5		
1		
5		
10		

10. Побудувати графік залежності U_{R5max} від E1.

Зміст звіту

1. Досліджувані схеми.
2. Результати обчислень і вимірювань.
3. Графіки отриманих характеристик.
4. Результати проведеного аналізу і висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Від чого залежить коефіцієнт підсилення (передачі) транзисторного каскаду?
2. Як впливає режим роботи транзистора по постійному струму на коефіцієнт підсилення каскаду?
3. Як впливає вхідний і вихідний опір каскаду на його коефіцієнт підсилення?
4. Назвіть переваги і недоліки транзисторного каскаду за схемою з загальним емітером.
5. Яке призначення кожного з елементів схеми 7.2?
6. Поясніть принцип роботи схеми 7.2.
7. Які Ви знаєте схеми подачі зміщення на базу біполярного транзистора? Яка з них використовується в схемі 7.2?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

Дослідження автогенераторів гармонійних коливань

Мета роботи: вивчити і проаналізувати принцип дії:

- RC автогенератора квазігармонійних коливань на ОП;
- LC автогенератора на біполярному транзисторі.

Загальні положення

Автогенератором називають пристрій, який здатний самостійно генерувати задані коливання без застосування зовнішніх джерел збудження.

Для побудови автогенераторів гармонійних сигналів в якості елементів, які визначають частоту, широко використовуються резонансні LC контури. Це обумовлено простотою і надійністю таких схем. Крім того, такі автогенератори видають коливання з низьким коефіцієнтом гармонік. Однак, при необхідності отримання коливань з низькими частотами (одиниці кГц і нижче), потрібні великі величини ємностей і індуктивностей, що входять в коливальний контур. Це призводить до збільшення габаритів, ваги та вартості таких генераторів

Тому, на низьких частотах часто застосовують RC автогенератори квазігармонійних коливань. Схема такого генератора на операційному підсилювачі наведена на рисунку 8.1.

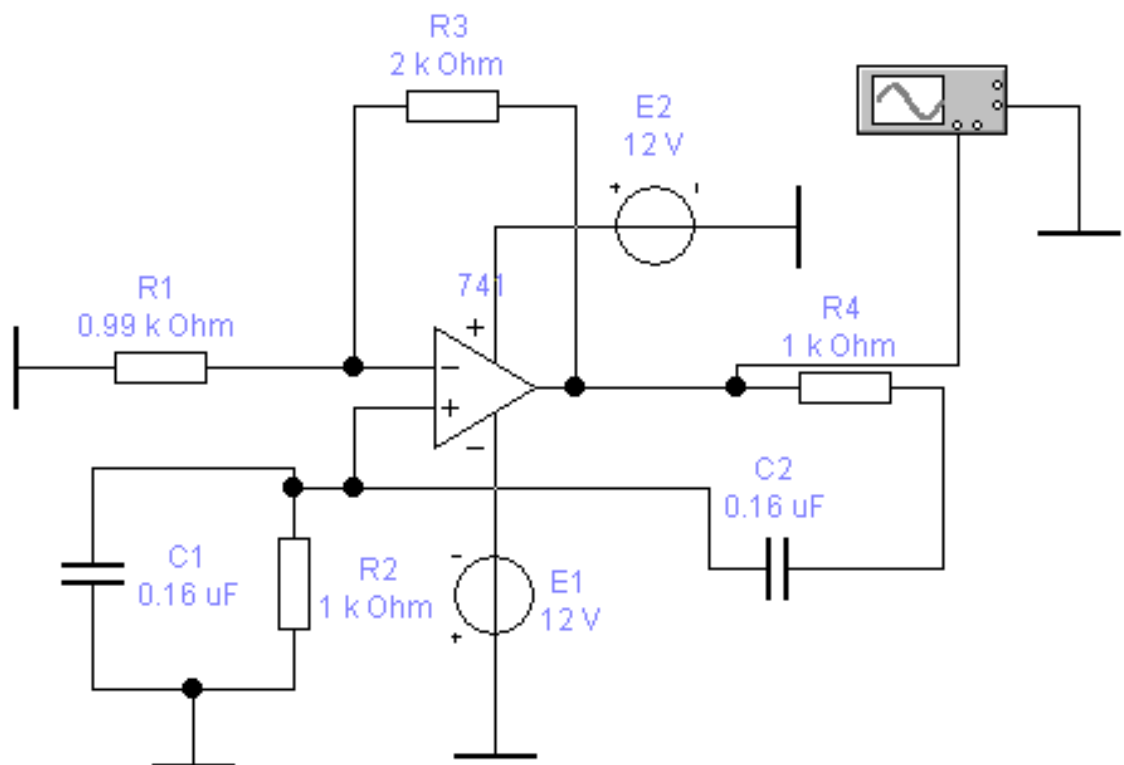


Рисунок 8.1-Схема автогенератора квазігармонійних коливань на ОП.

Частота автоколивань тут визначається ланцюгом позитивного зворотного зв'язку (ПЗЗ), що складається з ФВЧ C2R4 і ФНЧ C1R2. Разом ці два фільтри формують смуговий фільтр з квазірезонансною частотою f_0 . При $R4=R2=R$ і $C2=C1=C$:

$$f_0 = 1 / (2\pi RC) .$$

Форма автоколивань обумовлюється ланцюгом негативного зворотного зв'язку (НЗЗ) на елементах R1 і R3. Для квазігармонійних коливань має бути: $R3 = 2R1$.

Для більшої стабільності амплітуди генерованих коливань опір R1 робиться параметричним (тобто його величина залежить від прикладеної напруги) або таким, що підлаштовується.

До недоліків такої схеми слід віднести досить великі нелінійні спотворення генерованих сигналів і низька стабільність коливань в порівнянні з традиційними LC автогенераторами.

Схема генератора на біполярному транзисторі з частотозадаючим LC контуром приведена на рисунку 8.2.

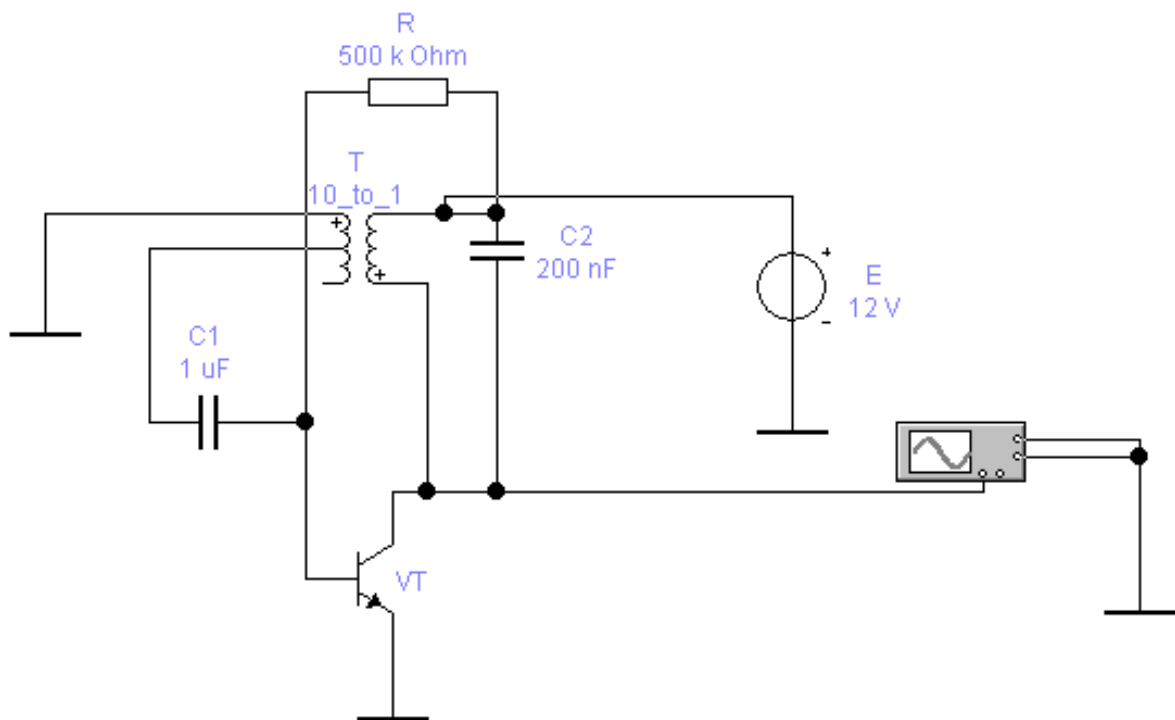


Рисунок 8.2-Схема автогенератора гармонійних коливань на транзисторі.

Транзисторний каскад має резонансне навантаження у вигляді паралельного коливального контуру, що складається з правої (за схемою) обмотки трансформатора T і конденсатора C2. Цей контур визначає частоту коливань автогенератора. Позитивний зворотний зв'язок здійснюється через ліву (за схемою) обмотку трансформатора T і конденсатор C1.

Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему 8.1.
 2. Задавши $R = R_2 = R_4 = 1 \text{ кОм}$, розрахувати необхідну величину ємності $C_1 = C_2 = C$ виходячи із заданої для Вашого варіанту частоти генерованих коливань: $f_0 = (0.8 + 0.1N) \text{ кГц}$.
 3. Підбираючи величину R_1 в невеликих межах, домогтися стійких гармонійних коливань з мінімальними спотвореннями.
 4. Перенести в звіт осцилограму отриманих коливань.
 5. Виміряти і занести в звіт частоту отриманих коливань.
- УВАГА: Кожен вимір проводити після встановленого перехідного процесу!***

1. Зібрати схему 8.2.
2. Задати: $R=500 \text{ кОм}$, $C_1=1 \text{ мкФ}$, $E=12 \text{ В}$, транзистор VT – ідеальний, трансформатор – з бібліотеки Basic $\rightarrow$ Transformer $\rightarrow$ audio $\rightarrow$ 10_to_1.
3. Потрібну величину C_2 обрати з таблиці 8.1.

Таблиця 8.1.

Номер за списком, N	Величина C_2 , мкФ
1	0.1
2	0.2
3	0.4
4	0.6
5	0.8
6	1
7	2
8	4
9	6
10	8
11	10
12	20
13	40
14	60
15	80
16	100
17	200

4. За допомогою осцилографа переконатися в наявності стійких гармонійних коливань.
5. Перенести в звіт осцилограму отриманих коливань.
6. Виміряти і занести в звіт частоту отриманих коливань.

Зміст звіту

1. Досліджувані схеми.
2. Результати обчислень і вимірювань.
3. Форми сигналів.
4. Результати проведеного аналізу і висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Який пристрій називається автогенератором? Наведіть його функціональну схему.
2. Які умови повинні виконуватися для успішної роботи автогенератора?
3. Поясніть принцип роботи досліджуваної схеми автогенератора.
4. Які елементи досліджуваної схеми визначають частоту коливань?
5. Які елементи досліджуваної схеми визначають форму коливань?
6. Якої форми коливання можна ще отримати за допомогою досліджуваного автогенератора? Як це зробити?
7. Які схеми автогенераторів гармонійних коливань Ви знаєте?
8. Які параметри і характеристики автогенераторів Вам відомі?
9. Які існують методи підвищення стабільності автоколивань генераторів?
10. Які вимоги пред'являються до автогенератора?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Хома В.В. Основи збору, передачі та оброблення інформації: Навч. посібник, — Л.: вид. НУ «ЛП», 2007, 312 с.
2. Радиопередающие устройства: Учебник для вузов/В.В. Шахгильдян, В.Б.Козырев, А.А. Ляховкин и др.; Под ред. В.В. Шахгильдяна. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Радио и связь, 2003. — 560 с.: ил.
3. Равдиоприёмные устройства: Учебник для вузов/Н. Н. Фомин, Н. Н. Буга, О. В. Головин и др.; Под. ред. Н. Н. Фомина. - 2-е изд. - М.: Радио и связь, 2003. - 520 с.: ил.
4. Першин В.Т. Основы радиоэлектроники и схемотехники: учебное пособие для студентов вузов / В.Т. Першин. — Ростов н/Д: Феникс, 2006. — 544 с. — (Высшее образование).