

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисциплін
"Сигнали та процеси в електроніці"
для студентів з напрямку підготовки
6.170101 "Безпека інформаційних і комунікаційних систем"
та
"Сигнали та процеси в телекомунікаційних системах"
для студентів з напрямку підготовки
6.170102 "Системи технічного захисту інформації"
всіх форм навчання
із застосуванням програмного комплексу *Electronics Workbench*

2010

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисциплін "Сигнали та процеси в електроніці" для студентів з напрямку підготовки 6.170101 "Безпека інформаційних і комунікаційних систем" та "Сигнали та процеси в телекомунікаційних системах" для студентів з напрямку підготовки 6.170102 "Системи технічного захисту інформації" всіх форм навчання із застосуванням програмного комплексу *Electronics Workbench* /Укл.: С.І.Лізунов. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2010. - 38 с.

Укладач:

С. І. Лізунов, доцент, к.т.н.

Рецензент:

Л.М. Карпуков, професор, д.т.н.

Відповідальний
за випуск:

С. І. Лізунов, доцент, к.т.н.

Затверджено
на засіданні кафедри
захисту інформації

Протокол № 1
від 07 вересня 2010 року

ЗМІСТ

Лабораторна робота №1. Проходження сигналу через лінійні кола	4
Лабораторна робота №2. Проходження сигналу через нелінійні кола.	9
Лабораторна робота №3. Амплітудно-модульовані коливання.	13
Лабораторна робота №4. Детектування амплітудно-модульованих коливань.	20
Лабораторна робота №5. Частотно-модульовані коливання.	25
Лабораторна робота №6. Множення й перетворення частоти сигналу.	30

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Проходження сигналу через лінійні кола

Мета роботи: вивчити й проаналізувати проходження сигналів через лінійні кола.

Загальні відомості

Проходження сигналу через 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 (рисунок 1.1), а також розділювальні й фільтруючі конденсатори (рисунок 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 проведення лабораторної роботи

1. Зібрати схему, що моделює паразитні ємності й опори в електронних колах (рисунок 1.1).

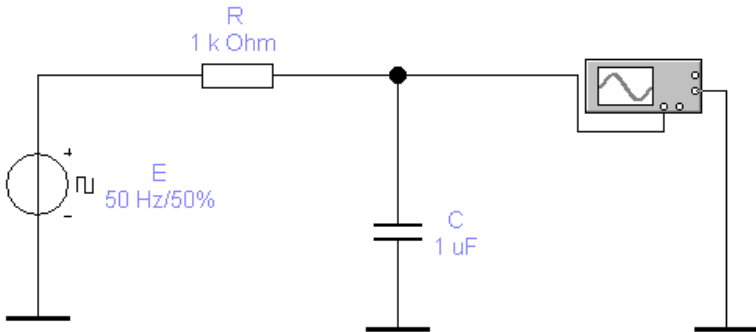


Рисунок 1.1.

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

- генератор меандру (Clock) E:

1) амплітуда сигналу $U_m = 4N$, В;

2) частота $f = 50N$, Гц.

- $R = 1$ кОм.

- $C = 1 / N$ 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” переконалися 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, що моделює вплив розділювальних конденсаторів на проходження сигналу (рисунок 1.2).

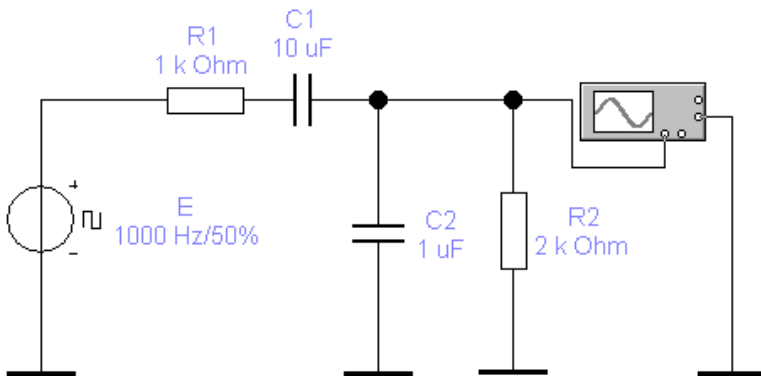


Рисунок 1.2.

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

- генератор меандру (Clok) E:

- 1) амплітуда сигналу $U_m = 5N$, В;

- 2) частота $f = 50N$, Гц.

- $R1 = 1$ кОм, $R2 = 2$ кОм.

- $C1 = 10 / N$ 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. 14 для нового значення C1.

18. Порівняти й проаналізувати отримані результати.

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

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

21. Визначити смугу пропущення кола за рівнем -3 дБ (0,707) для обох значень опору резистора R.

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, нажати 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 запитання

1. Поясніть форму імпульсу на конденсаторі С схеми, що зображена на рис.1.1.
2. Яка буде форма імпульсу напруги на резисторі R схеми, що зображена на рис.1.1?
3. Як впливають параметри елементів схеми, що зображена на рис.1.1, на форму вихідного імпульсу?
4. Як виміряти тривалість фронту й спаду імпульсу за допомогою осцилографа?
5. Поясніть отримані АЧХ і ФЧХ схеми, що зображена на рис.1.1.
6. Що таке смуга пропущення? Як її виміряти? Як впливають параметри кола на смугу пропущення?
7. Поясніть форму імпульсу на конденсаторі С2 схеми, що зображена на рис.1.2.
8. Як впливають параметри елементів схеми, що зображена на рис.1.2, на форму вихідного імпульсу?
9. Поясніть отримані АЧХ і ФЧХ схеми, що зображена на рис.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

Проходження сигналу через нелінійні кола

Мета роботи: вивчити й проаналізувати проходження сигналів через нелінійне коло.

Загальні відомості

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 проведення лабораторної роботи

1. Зібрати схему для дослідження нелінійних кіл, що зображена на рис.2.1.

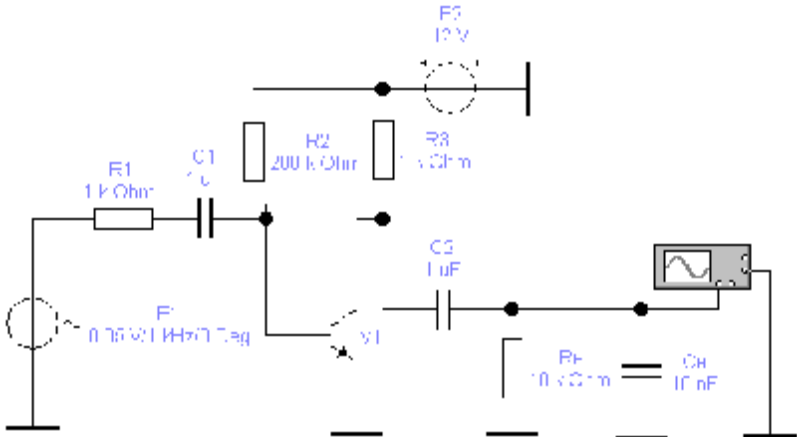


Рисунок 2.1.

2. Установити параметри елементів:

- генератор синусоїдальної напруги (AC voltage source) E1:

1) амплітуда сигналу $U_m = 0.05$ В;

2) частота сигналу $f_c = 0.5$ МГц.

- транзистор VT - ідеальний.

- 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 пропущення за рівнем -3 дБ (0,707).

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

6. За допомогою осцилографа візуально оцінити ступінь перевертання 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, нажати 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 $E1 = 0.07$ 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 запитання

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_T є допустимим при передачі мовного сигналу? Як він виявляється на вихідному сигналі?
5. Поясніть отримані АЧХ і ФЧХ схеми.
6. Що таке смуга пропускання? Як її виміряти? Як впливають параметри схеми на смугу пропускання?
7. Поясніть призначення елементів досліджуваної схеми.
8. Як впливають параметри елементів схеми на коефіцієнт гармонік вихідного сигналу?
9. Як розширити смугу пропускання в області нижніх частот (зменшити f_n)?
10. Як розширити смугу пропускання в області верхніх частот (збільшити f_v)?
11. Як зменшити нелінійні перекручування в транзисторному підсилювальному каскаді?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Амплітудно-модульовані коливання

Мета роботи: вивчити й проаналізувати характеристики амплітудно-модульованих (АМ) коливань.

Загальні відомості

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:

$$u(t) = U(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \phi_0),$$

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

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.

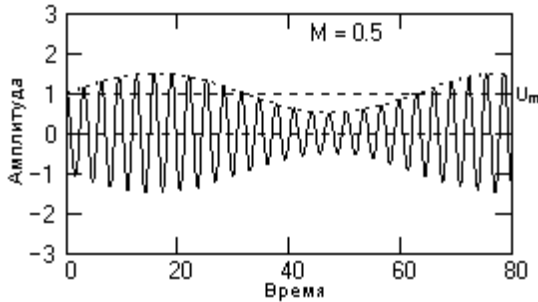


Рисунок 3.1 - Модульований сигнал.

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).

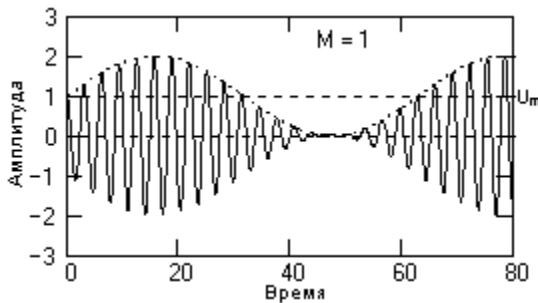


Рисунок 3.2 - Глибока модуляція.

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.

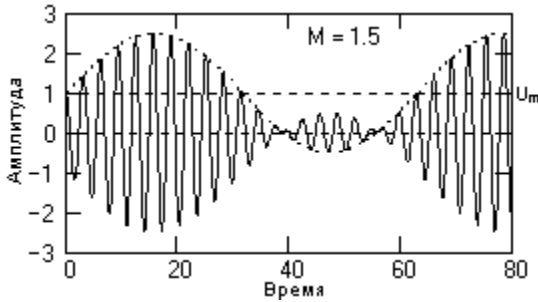


Рис. 3.3 - Перемодуляція сигналу.

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

$$\cos(x) \cdot \cos(y) = (1/2)[\cos(x+y) + \cos(x-y)]$$

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.

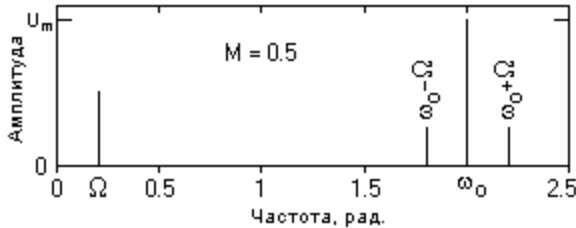


Рисунок 3.4 - Амплітудні спектри сигналів при однотонольній модуляції.

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.

Порядок проведення лабораторної роботи

1. Зібрати схему, що моделює АМ коливання (рис. 3.5).

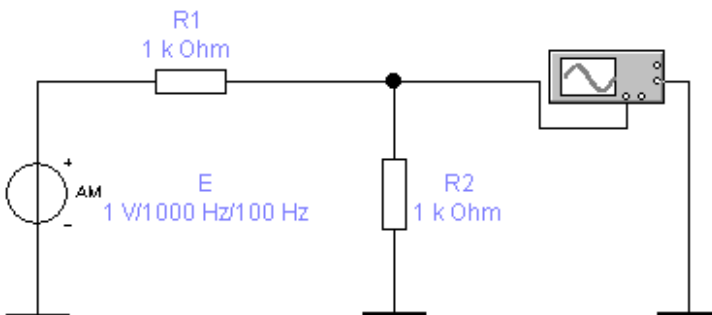


Рисунок 3.5.

2. Установити параметри елементів:

- генератор АМ-коливань (AM source) E:

1) амплітуда сигналу $V_C = 0.5N$ В;

2) несуча частота $F_C = 1$ кГц;

3) модулююча частота $F_M = 100$ Гц;

4) коефіцієнт модуляції $M = 0.3$.

- опір R_1 й R_2 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 відкрився, “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:

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

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_r
0,3		
0,5		
1,0		
1,5		

10. Проаналізувати отримані результати.

11. Зібрати, що моделює одержання АМ сигналу з односмуговою модуляцією (рисунок 3.6).

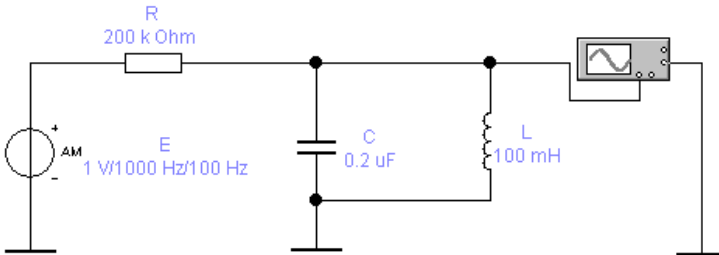


Рисунок 3.6.

12. Установити параметри елементів:

- генератор АМ коливань (AM source) E:

1) амплітуда сигналу $V_C = 0.5 \text{ N B}$;

2) несуча частота $F_C = 1 \text{ кГц}$;

3) модулююча частота $F_M = 100 \text{ Гц}$;

4) коефіцієнт модуляції $M = 0.3$.

- опір $R = 200 \text{ кОм}$.

- індуктивність $L = 0.1 \text{ Гн}$.

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.

M	$\eta_{\text{ом}}$
0,3	
0,5	
1,0	

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

16. Замінивши в схемі (рисунок 3.6) 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 запитання

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 настраюється 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 M ? 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, що зображена на рисунку 3.6? Чому?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Детектування амплітудно-модульованих коливань

Мета роботи: вивчити й проаналізувати процеси при квадратичному й лінійному режимах демодуляції (детектування) амплітудно-модульованих коливань.

Загальні відомості

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 $R_\phi C_\phi$.

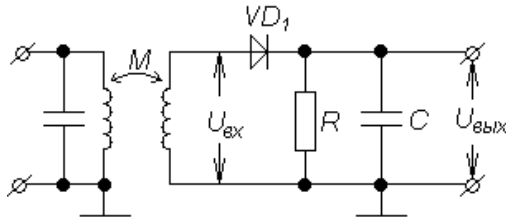


Рисунок 4.1 - АД послідовного типу.

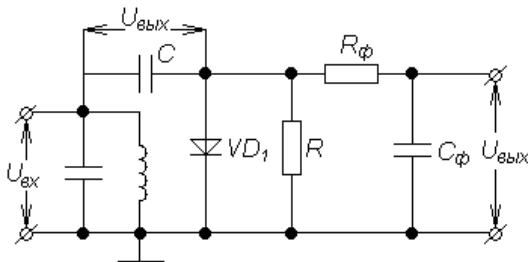


Рисунок 4.2 - АД паралельного типу.

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 проведення лабораторної роботи

1. Зібрати схему амплітудного детектора (рисунок 4.3).

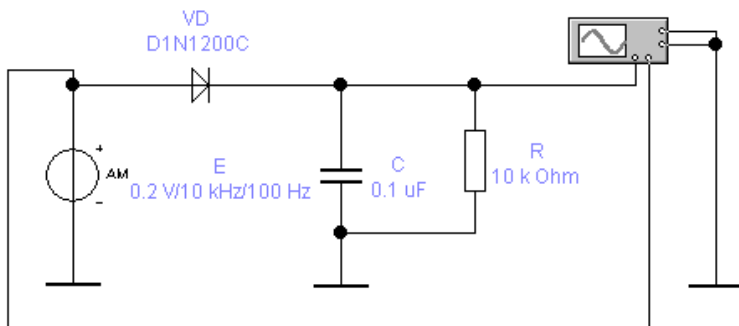


Рисунок 4.3 - Схема амплітудного детектора.

2. Для моделювання режиму квадратичного детектування встановити параметри елементів:

- генератор АМ-коливань (AM source) E:

1) амплітуда сигналу $V_C = 0.1$ В;

2) несуча частота (FC) $f_0 = 10$ Н кГц;

3) модулююча частота (FM) $f_m = 100$ Н Гц;

4) коефіцієнт модуляції $M = 0.3$.

- Діод VD взяти типу D1N1200C (з бібліотеки програми в меню “Models”, “motorol1”).

- опір $R = 10$ кОм.

- 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, нажати 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 перекручувань (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.

M	$K_{г\text{квдр}}, \%$	$K_{г\text{лін}}, \%$
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 запитання

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

Частотно-модульовані коливання

Мета роботи: вивчити й проаналізувати характеристики частотно-модульованих (ЧМ) коливань.

Загальні відомості

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

$$e_{\text{ЧМ}} = A_n \cos[\omega_n t + \delta \cdot \sin(\omega_m t)],$$

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

Індекс модуляції δ визначається як $\Delta\omega_n/\omega_m = \Delta f_n/f_m$ - 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. 5.1). Амплітуда відгуку змінюється із частотою. Для $\omega_n + \Delta\omega_n$ одержуємо амплітуду A_1 , для $\omega_n - \Delta\omega_n$ - амплітуду A_2 , а для частот між $\omega_n + \Delta\omega_n$ й $\omega_n - \Delta\omega_n$ 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 здійснюється попереднє перетворення змін частоти радіосигналу в пропорційну зміну амплітуди (рис. 5.3). Наступне детектування цього перетвореного радіосигналу здійснюється за допомогою звичайного детектора АМ коливань.

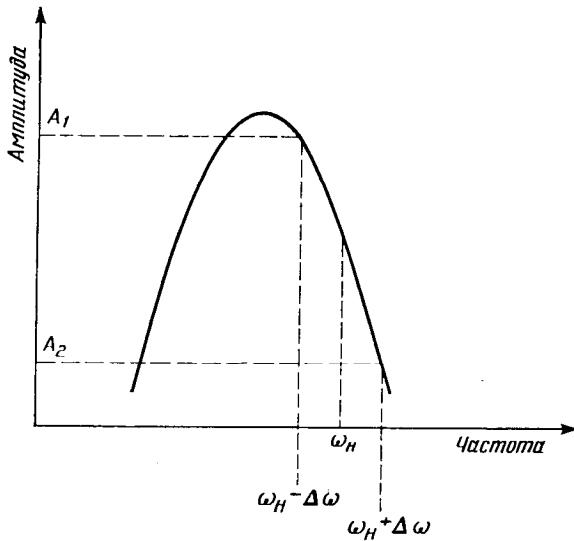


Рисунок 5.1 - Принцип використання резонансного контуру в якості частотного детектора.

Порядок проведення лабораторної роботи

1. Зібрати для дослідження ЧМ коливання (рисунок 5.2).

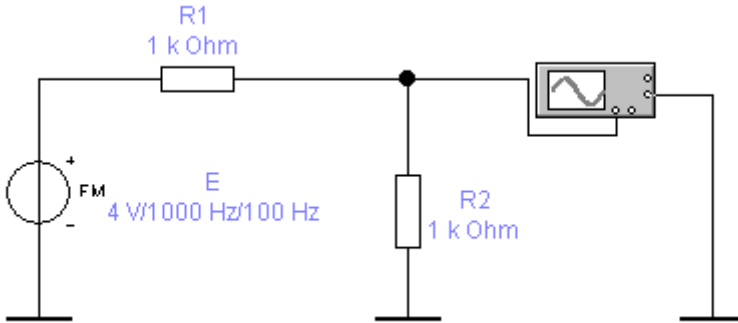


Рисунок 5.2.

2. Установити параметри елементів:

- генератор ЧМ-коливань (FM source) E:

1) амплітуда сигналу $VC = 20 / N$, В;

2) несуча частота $FC = 1$ кГц;

3) модулююча частота $FM = 100$ Гц;

4) індекс модуляції $M = 5$.

- опір $R1$ й $R2$ по 1 кОм кожний.

3. Перенести осцилограму отриманого коливання 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, що моделює процес демодуляції ЧМ сигналу за допомогою розстроєного коливального контуру (рис. 5.3).

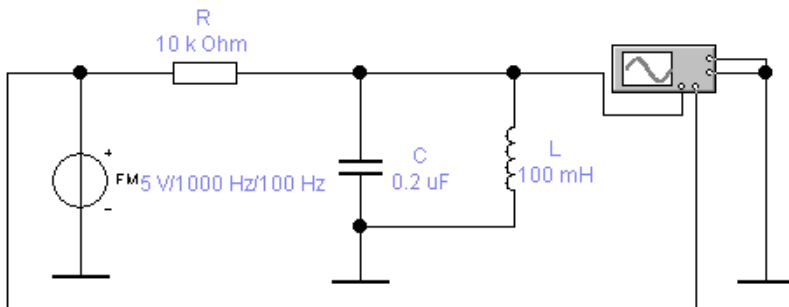


Рисунок 5.3.

9. Установити параметри елементів:

- генератор ЧМ-коливань (FM source) E:

1) амплітуда сигналу $V_C = 20 / N$, В;

2) несуча частота $F_C = 1$ кГц;

3) модулююча частота $F_M = 100$ Гц;

4) індекс модуляції $M = 0.1$.

- опір $R = 10$ кОм.

- 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, що зображена на рис. 5.3, 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. 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 запитання

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, що зображена на рис. 5.3? Чому?
12. Що таке девіація частоти?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

Множення й перетворення частоти сигналу

Мета роботи: вивчити й проаналізувати принципи й процеси перетворення частоти (переносу спектра) сигналів.

Загальні відомості

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 утворюють 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 (рис. 6.1).

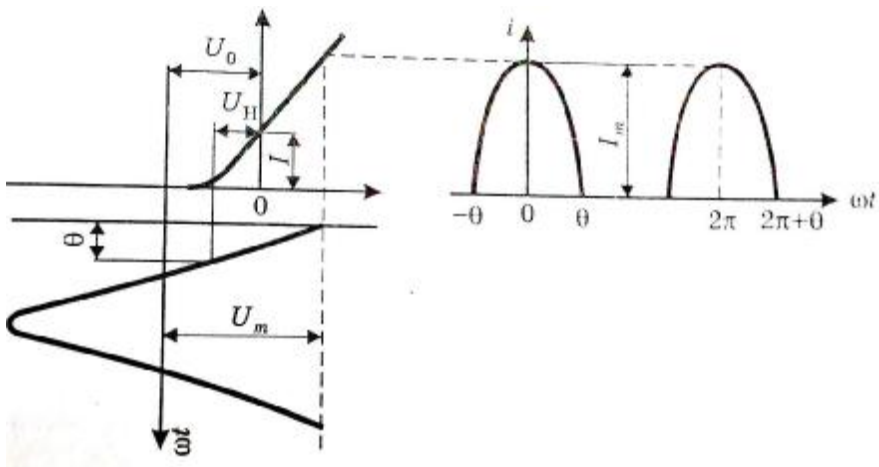


Рисунок 6.1.

Напруга зсуву U_0 визначається з формули:

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

де: S – крутість прохідної характеристики транзистора, U_m – амплітуда вхідного сигналу, U_n – 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 перекошування інформації, які не повинні перевершувати деяких припустимих значень.

Цим умовам найбільше повно відповідає принцип гетеродинного перетворення частоти (рис. 6.2).

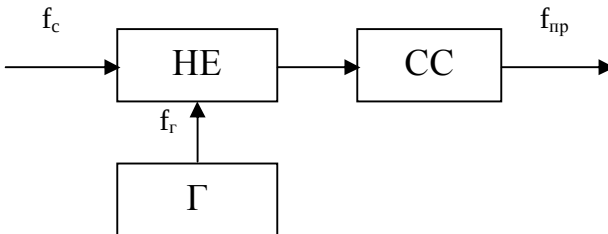


Рисунок 6.2 - Схема гетеродинного перетворення частоти.

У такому перетворювачі частоти сигнал f_c і коливання f_r малопотужного допоміжного генератора, що називають гетеродином (Γ), 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 вибірковості 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 проведення лабораторної роботи

1. Зібрати схему, що імітує роботу помножувача частоти коливань (рис.6.3).

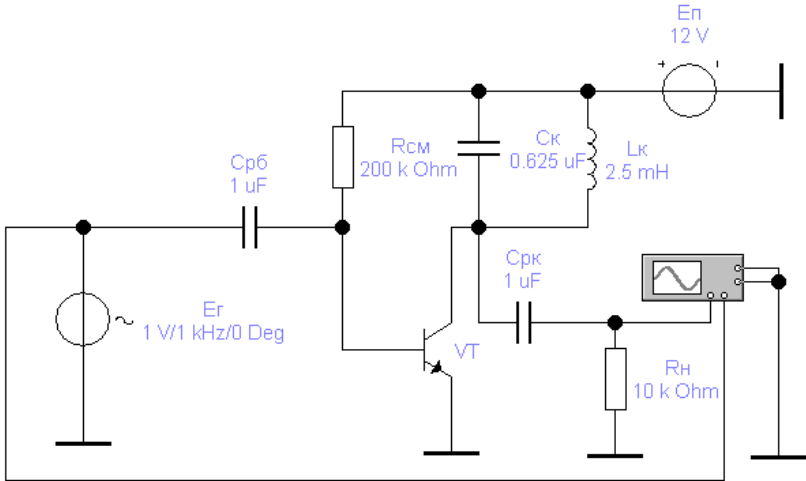


Рисунок 6.3.

2. Установити параметри елементів:

- генератор синусоїдальної напруги E_r :

1) амплітуда сигналу $U_m = 1$ В;

2) частота сигналу $f_c = 0.5$ МГц.

- транзистор VT - ідеальний.

- індуктивність $L_k = 2.5$ мГн.

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

- 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. Переконатися в правильності настроювання 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 $R_k = 500 \text{ Ом}$ (рис. 6.4).

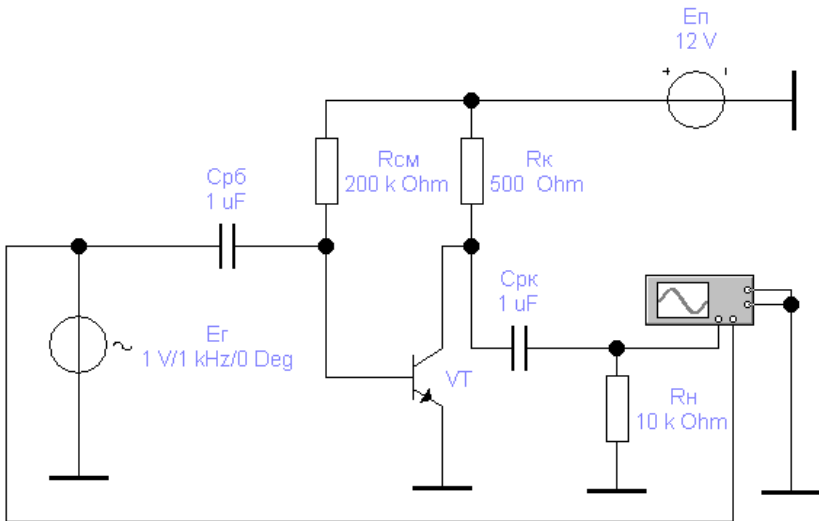


Рисунок 6.4.

9. Зняти осцилограму й спектрограму вихідного сигналу.

10. Проаналізувати отримані результати й зробити висновки.

11. Зібрати схему, що імітує роботу змішувача коливань (рис.6.5).

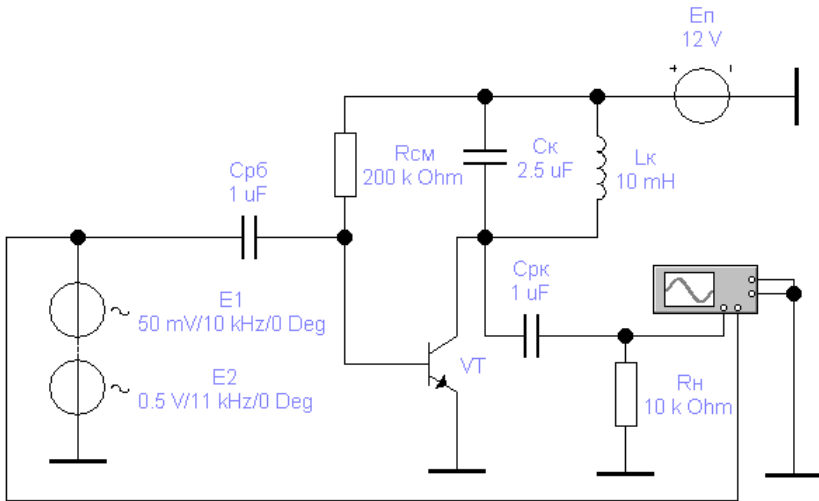


Рисунок 6.5.

12. Установити параметри елементів:

- генератор синусоїдальної напруги (сигнал) E1:

1) амплітуда сигналу $U_{mc} = 0.05 \text{ В}$;

2) частота сигналу $f_c = 10N \text{ кГц}$.

- генератор синусоїдальної напруги (гетеродин) E2:

1) амплітуда сигналу $U_{mr} = 0.5 \text{ В}$;

2) частота сигналу $f_r = (10 + N)N \text{ кГц}$.

- транзистор VT - ідеальний.

- індуктивність $L_k = 10 / N \text{ мГн}$.

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

- 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 100 кГц.

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

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

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

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 (рис. 6.6).

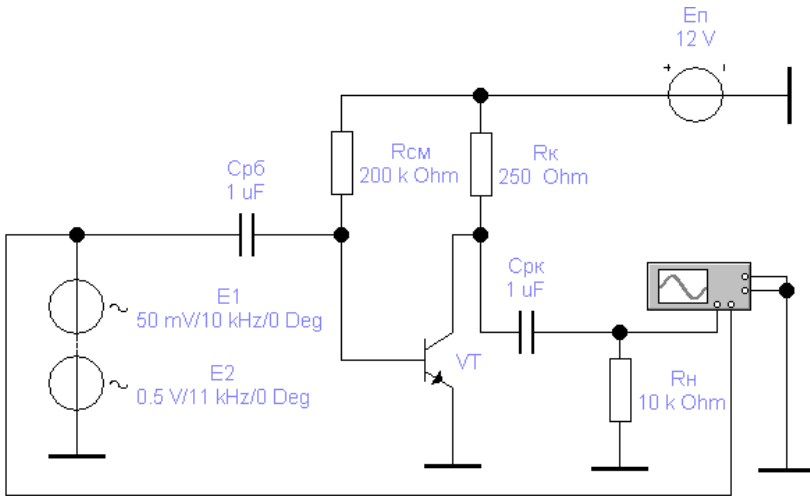


Рисунок 6.6.

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 запитання

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?

Рекомендована література

1. Волощук Ю.І. Сигнали та процеси у радіотехніці: Підручник для студентів вищих навчальних закладів, том 1. – Харків: Компанія СМІТ, 2003. – 580 с.
2. Волощук Ю.І. Сигнали та процеси у радіотехніці: Підручник для студентів вищих навчальних закладів, том 2. – Харків: Компанія СМІТ, 2003. – 444 с.
3. Першин В.Т. Основы радиоэлектроники и схемотехники: учебное пособие для студентов вузов / В.Т. Першин. – Ростов н/Д: Феникс, 2006. – 544 с. – (Высшее образование).