

Міністерство освіти і науки України



**СИГНАЛИ І КОДИ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

Методичні вказівки до лабораторних робіт
для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
освітньої програми «Телекомунікації та радіотехніка»
галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво
спеціальності G5 Електроніка, електронні комунікації,
приладобудування та радіотехніка
денної та заочної форм навчання

УДК 621.396.93 (07)
С 66

Рекомендовано до видання вченою радою факультету КІТ ЛНТУ,
протокол № _____ від « ____ » _____ 20 25 року.

Голова вченої ради факультету КІТ _____ І. С. Кондіус

Електронна копія друкованого видання передана для внесення в репозитарій ЛНТУ

Директор бібліотеки _____ Н. П. Поліщук

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри електроніки та телекомунікацій
ЛНТУ, протокол № _____ від « ____ » _____ 20 25 року.

Завідувач кафедри ЕіТК _____ В. Ю. Заблоцький

Укладач: _____ Й. Р. Селепина, кандидат технічних наук,
доцент кафедри електроніки та телекомунікацій ЛНТУ

Рецензент: _____ Д. А. Захарчук, кандидат фізико-математичних
наук, завідувач кафедри фізики та вищої математики ЛНТУ

Відповідальний за випуск: _____ В. Ю. Заблоцький, кандидат
технічних наук, доцент, завідувач кафедри електроніки та телекомунікацій
ЛНТУ

Сигнали і коди телекомунікаційних та інформаційних систем:
методичні вказівки до лабораторних робіт для здобувачів другого
(магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми
«Телекомунікації та радіотехніка» галузі знань G Інженерія,
виробництво та будівництво спеціальності G5 Електроніка,
електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка денної
та заочної форм навчання / уклад. Й. Р. Селепина. Луцьк: ЛНТУ,
2025. 58 с.

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «**Сигнали і коди телекомунікаційних та інформаційних систем**»: складений відповідно до діючої програми курсу.

Призначений для здобувачів вищої освіти спеціальності G5 Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка освітньої програми «Телекомунікації та радіотехніка».

Й. Р. Селепина 2025

ЗМІСТ

ВСТУП	4
Робота з програмою Electronics Workbench	5
Лабораторна робота №1. Проходження сигналу через лінійні кола	28
Лабораторна робота №2. Проходження сигналу через і кола	32
Лабораторна робота №3. Амплітудно-модульовані коливання	35
Лабораторна робота №4. Детектування амплітудно-модульованих коливань	42
Лабораторна робота №5. Частотно-модульовані коливання	46
Лабораторна робота №6. Множення та перетворення частоти	56
ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ	57

ВСТУП

Дані методичні вказівки призначені для студентів спеціальності G5 Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка, що вивчають курс «Сигнали і коди телекомунікаційних та інформаційних систем».

Віртуальна лабораторія «Electronics Workbench» (EWB) орієнтована для вивчення дисциплін електротехнічного та електронного напрямків. Віртуальна лабораторія EWB дає добрі можливості проведення досліджень кіл постійного, однофазного та трьохфазного змінного струму, кіл з несинусоїдними струмами і напругами, вивчення особливостей електричних кіл з нелінійними елементами як в режимі малих сигналів, так і при дії синусоїдних струмів і напруг. За допомогою віртуальної лабораторії легко вивчаються однофазні трансформатори, частотні і часові параметри чотирьохполюсників. У кожній роботі приводяться типові запитання, на які студент повинен вміти давати правильні і обґрунтовані відповіді.

Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт містять набір лабораторних, що необхідні для успішного засвоєння курсу «Сигнали і коди телекомунікаційних та інформаційних систем». Всі лабораторні роботи містять мету роботи, основні теоретичні відомості, хід виконання завдання, вказівки до виконання необхідних обчислень. Завдання для самостійного опрацювання не представляють великої складності і потребують мінімального часу на їх вирішення.

Запропоновані лабораторні роботи охоплюють проходження сигналу через лінійні та нелінійні кола, амплітудно-модульовані коливання, детектування амплітудно-модульованих коливань, частотно-модульовані коливання, множення та перетворення частоти

Всі роботи відповідають теоретичному курсу дисципліни та дають змогу практично застосувати набуті знання. Порядок наведеного матеріалу відповідає порядку його викладання на лекційних та практичних заняттях, що дозволяє студентам, які пропустили заняття, самостійно засвоїти відповідні розділи курсу.

Робота з програмою Electronics Workbench

Програма Electronics Workbench призначена для проектування електричних кіл та аналогових і цифрових електронних схем. Особливістю програми є наявність контрольно-вимірювальних приладів, які за зовнішнім виглядом і характеристиками наближені до промислових аналогів.

Програма має достатньо простий інтерфейс, що складається з таких опцій:

Меню File:

1. Команди цього меню: New, Open..., Save, Save as..., Print..., Print Setup... – типові для Windows команди роботи з файлами.

2. Revert to Saved... – відновлення схеми до виду, що вона мала в момент останнього збереження.

3. Import... – перетворення нестандартних файлів схем (розширення .net або .cir) до стандартного виду Electronics Workbench.

4. Export... – зберігає файл схеми з одним з наступних розширень: .net, .scr, .cmp, .cir, .plc.

5. Install... – установка додаткових компонентів Electronics Workbench із гнучких дисків.

Меню Edit:

1. Cut, Copy, Paste, Delete, Select All – відповідно стирання, копіювання, вставка та стирання виділеної частини схеми.

2. Copy as Bitmap – копіювання растрового зображення елементів в буфер обміну і використання його в текстових процесорах.

3. Show Clipboard – показати вміст буфера обміну.

Меню Circuit:

1. Rotate – поворот елемента схеми на 90° (проти годинної стрілки).

2. Flip Horizontal / Flip Vertical – дзеркальне відображення елемента схеми по горизонталі/вертикалі.

3. Component Properties... – властивості компонента.

4. Create Subcircuit – створення субсхем.

5. Zoom In, Zoom Out – збільшення, зменшення рисунка.

6. Schematic Options – опції особливостей побудови схеми.

Після вибору цієї опції на екрані з'являється вікно, вигляд якого приводиться на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1–Вікно опцій

Перша опція – Grid – дозволяє виводити на екран сітку. Друга – Show/Hide – дозволяє відображати на екрані, або ховати одні чи інші складові зображення принципової схеми (назви вузлів, елементів схеми). Третя – Fonts – дозволяє вибирати розміри й тип шрифтів. Четверта – Wiring – призначена для вибору ручної або автоматичної трасировки з'єднуючих провідників. П'ята опція – Printing – задає масштаб виводу схеми на принтер.

Меню Analysis:

1. Activate – активізувати роботу схеми.
2. Pause – пауза.
3. Stop – припинення роботи схеми.
4. Analysis Option – набір команд для установки параметрів моделювання. Відповідно до рисунку 1.2, вікно має 5 опцій, кожна з яких дозволяє задавати необхідні параметри для різних задач моделювання.

Перша опція – Global – дає можливість задавати установки загального типу. Параметри установок мають наступні значення:

- Absolute current tolerance (ABSTOL) – задає абсолютну похибку розрахунку струмів;

– Gmin minimum conductance (GMIN) – мінімальна провідність гілки електричного кола (приймаємо, що менша величина провідності сприймається рівною нулю);

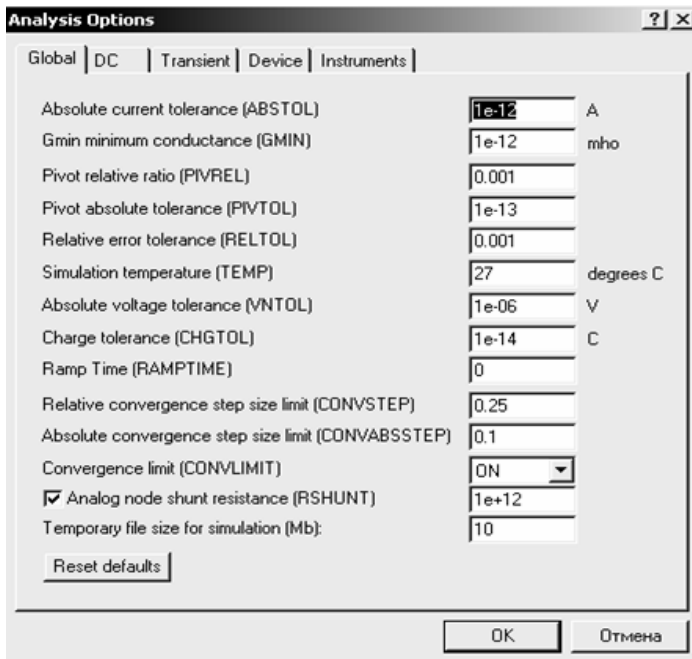


Рисунок 1.2 – Опції аналізування

– Pivot relative ratio (PIVREL) – відносна величина елемента рядка матриці вузлових провідностей;

– Pivot absolute tolerance (PIVTOL) – мінімальна абсолютна величина елемента схеми, яка не сприймається як нуль;

– Relative error tolerance (RELTOL) – допустима відносна помилка розрахунку напруг і струмів;

– Simulation temperature (TEMP) – температура елементів схеми, при якій виконується моделювання;

– Absolute voltage tolerance (VNTOL) – допустима помилка розрахунку напруг у режимі аналізу перехідних процесів (Transient);

– Charge tolerance (CHGTOL) – допустима помилка розрахунку зарядів;

– Ramp Time (RAMPTIME) – початкова точка підрахунку часу при аналізі перехідних процесів;

– Relative convergence step size limit (CONVSTEP) – відносний розмір кроку ітерації при розрахунку режиму по постійному струму;

– Absolute convergence step size limit (CONVABSSTEP) – абсолютний розмір кроку ітерації при розрахунку режиму по постійному струму;

– Convergence limit (CONLIMIT) – підключення або відключення допоміжних засобів для забезпечення збігання ітераційного процесу (наприклад, за рахунок використання методу варіації напруг джерел живлення);

– Analog node shunt resistance (RSHUNT) – допустиме значення електричних втрат для всіх вузлів електричної схеми відносно загальної шини (заземлення);

– Temporary file size for simulation (Mb) – розмір тимчасового файлу для моделювання.

Опція DC призначена для установки параметрів електричного кола постійного струму. Вигляд опції приводиться на рисунку 1.3:

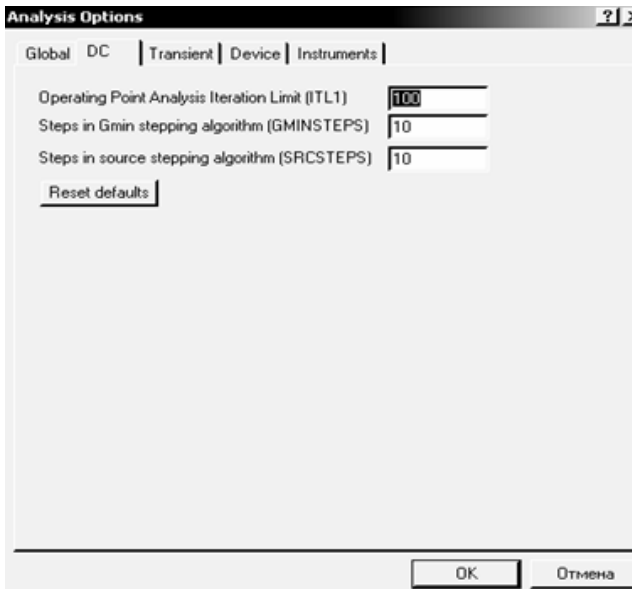


Рисунок 1.3 – Опції для постійного струму

– Operating Point Analysis Iteration Limit (ITL1) – максимальна кількість ітерацій наближених розрахунків;

– Steps in Gmin stepping algorithm (GMINSTEPS) – розмір приросту провідності у відсотках від Gmin (використовується при слабкому збіганні ітераційного процесу);

– Steps in source stepping algorithm (SRCSTEPS) – розмір приросту напруги у відсотках від його номінального значення при варіації напруги живлення (використовується при слабкому збіганні ітераційного процесу).

Опція Transient призначена для установки параметрів під час аналізу перехідних процесів. Її вікно зображене на рисунку 1.4:

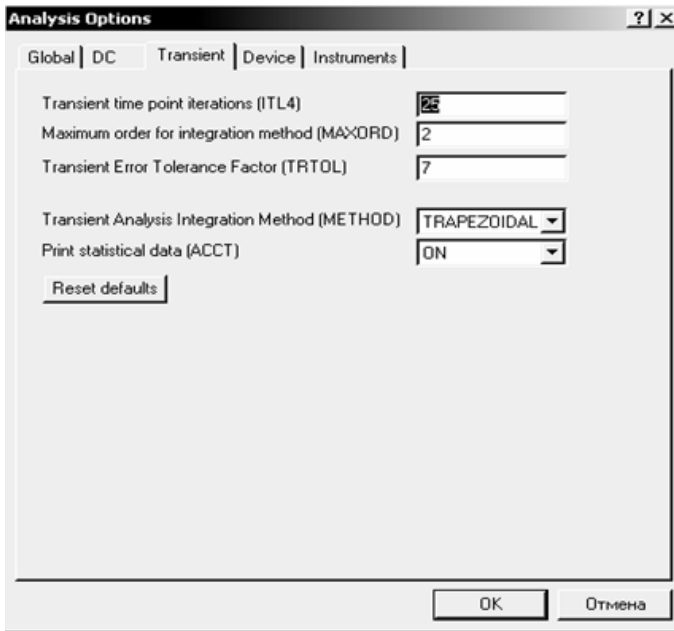


Рисунок 1.4 – Опції для перехідних процесів

– Transient time point iterations (ITL4) – максимальна кількість ітерацій за час аналізу перехідних процесів;

– Maximum order for iteration method (MAXORD) – максимальний порядок (від 2-х до 6-х) методу інтегрування диференційного рівняння;

– Transient Error Tolerance Factor (TRTOL) – допуск на помилку обчислення змінної;

– Transient Analysis Integration Method (METHOD) – метод наближеного інтегрування диференційного рівняння.

(Використовується два методи: TRAPEZOIDAL – метод трапецій та GEAR – метод Гіра);

- Print statistical data (ACCT) – дозвіл на друк статистичних даних;
- Reset defaults – призначена для повернення до попередніх значень установок, які встановлюються по замовчуванню. Вона використовується в тих випадках, коли з'являється необхідність повернутись до початкових установок.

Опція Device призначена для вибору параметрів МОН-транзисторів.

Опція Instruments – призначена для установки параметрів вимірювальних приладів. Вигляд вікна опції приводиться на рисунку 1.5:

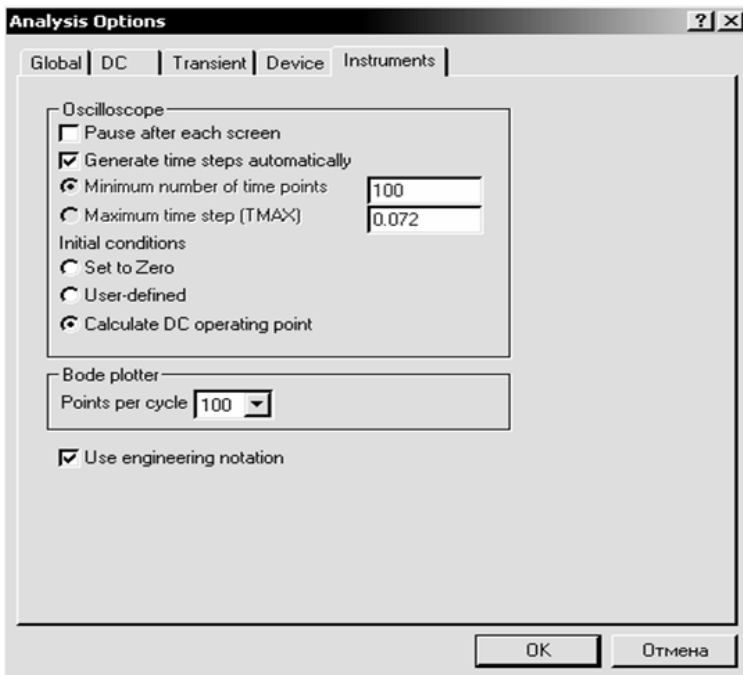


Рисунок 1.5 – Опції для вимірювальних приладів

- Pause after each screen – пауза (тимчасова зупинка моделювання) після заповнення екрану осцилографа по горизонталі;
- Generate time steps automatically – автоматична установка часового кроку (інтервалу) виводу інформації на екран;

- Minimum number of time points – мінімальна кількість точок, які відображаються, за період реєстрації;
- Maximum time step (TMAX) – інтервал часу від початку до кінця моделювання;
- Set to Zero – установка в нульовий стан контрольно-вимірювальних приладів перед початком моделювання.
- User-defined – керування процесом моделювання користувачем (пуск і зупинка);
- Calculate DC operating point – виконання розрахунку режиму по постійному струму;
- Points per cycle – кількість крапок, які відображаються при виводі амплітудно-частотних і фазочастотних характеристик (Bode plotter);
- Use engineering notation – використання інженерної системи позначень одиниць вимірювань (наприклад, напруги будуть виводитись в мілівольтах).

5. DC Operating Point – виконання розрахунків по постійному струму. При роботі програми EWB у такому режимі із схеми, яку моделюють, виключаються всі конденсатори і закорочуються індуктивності. Для використання такого режиму необхідно позначити всі вузли схеми. Це забезпечується тим, що при використанні команд меню Analysis доцільно в меню Circuit > Schematic option > Show/Hide включити опції Show Reference ID і Show nodes. Після вибору опції з'являється вікно Analysis Graphs, в якому наводяться номери вузлів та гілок схеми і відповідні значення напруг і струмів.

6. DC Sweep... – варіація параметрів джерел при розрахунку режиму по постійному струму. В задачах електротехніки використання опції, що описується, дозволяє прискорити оцінку диференційного опору нелінійних елементів електричних кіл. Вікно установок планованих коливань напруги зображено на рисунку 1.6.

Для будь-якого з двох джерел встановлюються початкові і кінцеві значення напруги, або діапазон коливань. Після установки необхідних параметрів запускається режим аналізу (кнопкою Simulate) і на екрані монітора з'являється вікно Analysis Graph із графіком залежності абсолютних коливань напруги джерела й коливань напруги від часу в точці схеми, що аналізується.

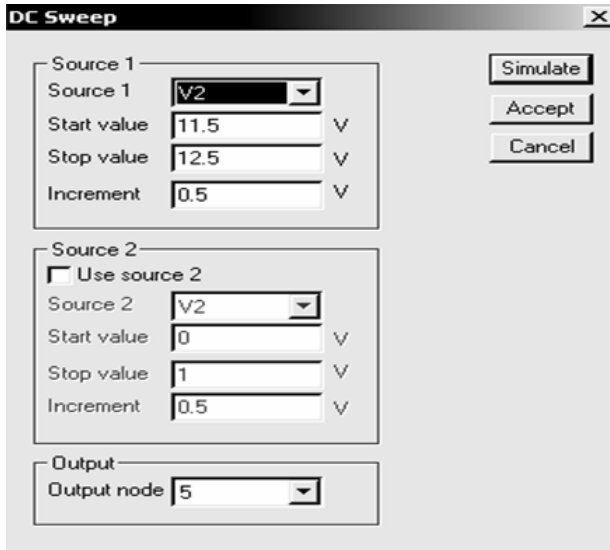


Рисунок 1.6 – Налаштування коливань

7. AC Frequency... – розрахунок частотних характеристик. Виконання аналізу починається з установок у діалоговому вікні AC Frequency Analysis (рис. 1.7). Перед початком проведення дослідів встановлюються діапазон частот, який досліджується, тип вертикальної шкали, а також указуються ті вузли, для яких необхідно виконати обчислення частотних характеристик. Більш детально особливості установок будуть пояснені при проведенні досліджень.

8. Transient... – установка параметрів перехідного процесу і його моделювання.

9. Fourier – забезпечує проведення гармонічного аналізу напруги в заданих точках.

10. Noise... – забезпечує проведення дослідів по оцінці рівня і спектра шумів у відповідних вузлах електронних кіл.

11. Distortion... – забезпечує аналіз нелінійних та інтермодуляційних спотворень сигналів в електричних і електронних колах.

12. Parameter Sweep... – забезпечує проведення дослідів при варіації параметрів електричних і електронних кіл. Широко використовується при оцінці “грубості” схеми по відношенню до

параметрів, що змінюються. Детально буде описано при вивченні роботи електронних схем.

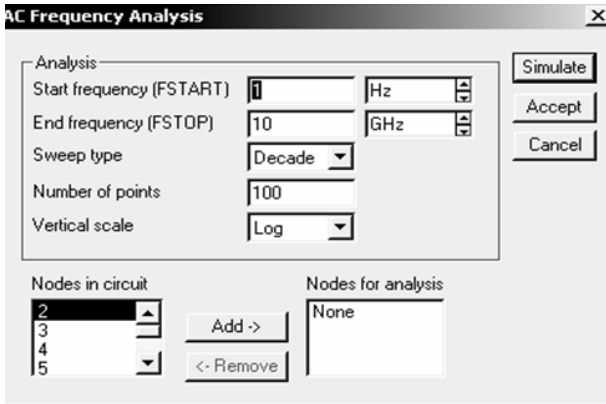


Рисунок 1.7 – Налаштування частоти

13. Temperature Sweep... – використовується при оцінці впливу температури на роботу електричних та електронних кіл.

14. Pole-Zero... – забезпечує розрахунок карти нулів і полюсів передаточної характеристики схеми, що моделюється.

15. Transfer Function... – розрахунок передаточної функції.

16. Sensitivity... – розрахунок відносної чутливості характеристик схеми до зміни параметрів вибраного компонента при частотному аналізі або при розрахунках по постійному струму.

17. Worst Case... – забезпечує виконання розрахунків в режимах постійного або змінного струмів при граничних відхиленнях характеристик схеми.

18. Monte Carlo... – забезпечує проведення статистичного аналізу схеми за методом Монте-Карло.

19. Display Graphs – дозволяє дивитись, регулювати і зберігати графіки та діаграми. Використовується для показу результатів всіх досліджень під час роботи з графіками та діаграмами.

Меню Window:

1. Arrange – акуратне розташування всіх відкритих вікон.
2. Circuit – вивід зображення схеми на передній план;
3. Description – відкриття вікна опису схеми. Якщо вікно опису вже відкрито, переносить його на передній план. У вікні опису можна надрукувати коментарі до схеми.

Меню Help:

Меню Help містить стислу інформацію про всі розглянуті вище команди, електричні та електронні компоненти, вимірювальні прилади, а також інформацію про саму програму.

Зовнішній вигляд інтерфейсу програми зображено на рисунку 1.8.

Особливість моделювання електричних схем за допомогою програмного середовища Electronics Workbench полягає в тому, що для кожного елемента створена математична модель. Кожна модель активізується шляхом виведення її умовного електричного позначення на екран монітора. З'єднання умовних позначень електричних елементів активізує рівняння відповідності струмів у гілках створеної схеми і напруг між вузлами. Таким шляхом створюється математична модель електричної схеми, яку досліджують.

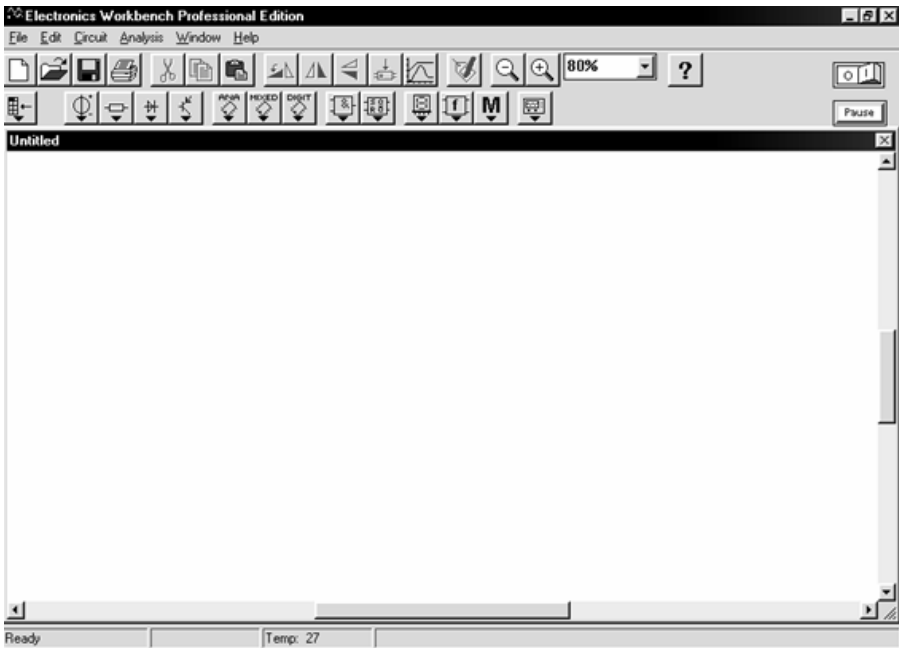


Рисунок 1.8 – Робоче поле програми

Пакет Electronics Workbench має розвинену бібліотеку електричних і електронних компонентів, але тут цьому посібнику подані лише ті, котрі потрібні для дослідження електричних схем.

Електричні компоненти Electronics Workbench

Електричні компоненти віртуальної лабораторії вибираються з відповідних бібліотек, які знаходяться в меню компонентів.

Джерела живлення знаходяться в меню *Sources* (рис. 1.9), з якого можна вибрати 23 типи джерел. Основні – це джерела постійної й змінної напруги (рис. 1.10,а), джерела постійного і змінного струму (рис. 1.10,б), а також заземлення (рис. 1.10,в), яке є обов'язковим елементом будь-якої електричної схеми, що досліджується у віртуальній лабораторії.



Рисунок 1.9 – Джерела енергії та генератори

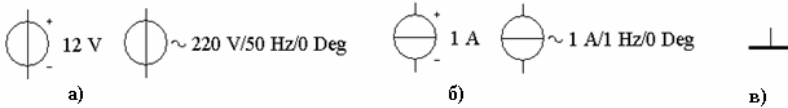


Рисунок 1.10 – Джерела напруги і струму

Джерела напруги й струму є ідеальними. Внутрішній опір ідеального джерела напруги дорівнює нулю, тому його вихідна напруга не залежить від навантаження. Ідеальне джерело струму має нескінченно великий внутрішній опір, тому його струм не залежить від опору навантаження. Встановлення параметрів джерел живлення забезпечується за допомогою опції властивостей того чи іншого елемента.

На рисунку 1.11, як приклад, приводиться вікно властивостей джерела змінного струму, яке викликається подвійним натисненням лівої кнопки «миші» і має наступні опції:

- Label – умовні позначення елемента схеми, наприклад; E1; E2; U1; U2 і т.д;

- Value – електричні параметри (рис. 1.11). Опції цієї вкладки дозволяють встановити величини напруги (Voltage), частоти (Frequency), фази (Phase). Опція Voltage tolerance по замовчуванню встановлена в режим глобальних параметрів допустимих відхилень. Параметри цього режиму можна встановити у вікні Monte Carlo

Analysis (меню Analysis, опція Monte Carlo). Для встановлення величини відхилення, що необхідна для дослідів, скидається прапорець опції Use global tolerance і вводиться потрібна величина у віконці опції Voltage tolerance;

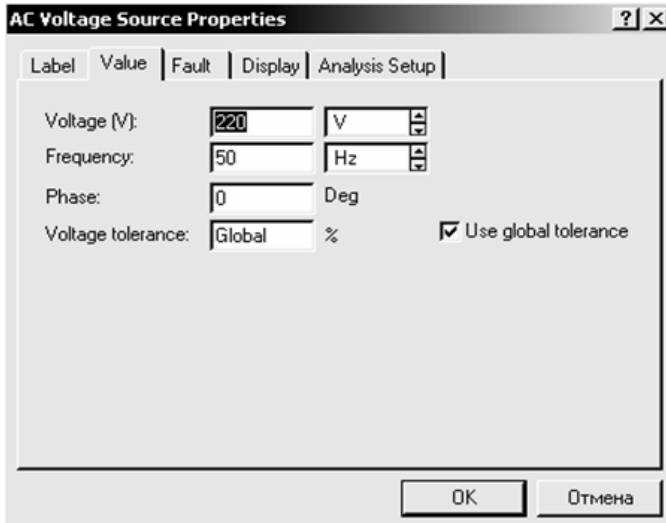


Рисунок 1.11 – Параметри джерела напруги

– Fault – аварійні параметри. По замовчуванню перемикач встановлено у режим None. В тих випадках, коли проводяться дослідів по усуненню недоліків в електричних схемах, встановлюється один із режимів: Short – коротке замикання або Open – обрив. Джерело напруги при виборі Short буде працювати без змін, оскільки його внутрішній опір близький до нуля. Аналогічно, джерело струму буде нормально працювати при виборі Open, оскільки його внутрішній опір достатньо високий;

– Display – відображення тих або інших позначень і параметрів джерела. При наявності прапорця при опції Use Schematic Options global setting вибір відображення параметрів та умовних позначень забезпечується на глобальних установках. Якщо прапорець скинутий, то його позначення можуть встановлюватись за вибором розробника: Show labels (показувати ім'я елемента схеми, що задається розробником у вкладці Label), Show values (показувати номінальні параметри елемента схеми), Show reference ID (показувати ім'я елемента схеми, що задається програмою у вкладці Label);

– Analysis Setup – установки при використанні джерела в задачах аналізу.

Пасивні компоненти електричних кіл вибираються з меню Basic (рис. 1.12). З цього меню (в даному курсі) використовуються такі компоненти, як резистори, конденсатори, індуктивності, а також з'єднуючий вузол (символ з'єднання) (рис. 1.13). Інші елементи електричних схем будуть пояснюватись у ході використання. Встановлення параметрів пасивних елементів виконується аналогічно, що і параметрів джерел живлення.



Рисунок 1.12 – Базові елементи

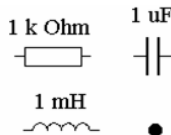


Рисунок 1.13 – Лінійні опір, котушка та індуктивність

Реальні джерела напруги подаються послідовним зєднанням ідеального джерела і внутрішнього опору джерела, а джерела струму паралельним зєднанням ідеального джерела струму і внутрішнього опору.

Вимірювальні прилади вибираються з меню *Indicators* (рис. 1.14,а). З бібліотеки індикаторів найчастіше використовують лише вольтметр і амперметр, які встановлюються для вимірювання постійних або змінних напруг і струмів та електрична лампа розжарювання (рис. 1.14,б).

Властивості вимірювальних приладів дають можливість, поряд із параметрами струмів і напруг, встановлювати величини внутрішнього опору, задавати аварійні режими, робити відповідні супроводжуючі надписи. При використанні приладів у режимі постійного струму слід звертати увагу, що один бік зображення приладів подано товстою лінією. Цією стороною прилад слід приєднувати до заземлення або до меншого з потенціалів, між якими виконується вимірювання.

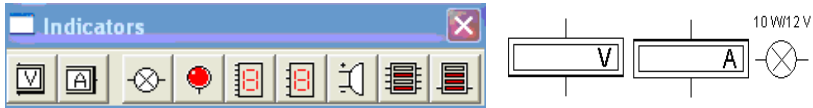


Рисунок 1.14 – Вимірювальні прилади

Властивості вимірювальних приладів дають можливість, поряд із параметрами струмів і напруг, встановлювати величини внутрішнього опору, задавати аварійні режими, робити відповідні супроводжуючі надписи. При використанні приладів у режимі постійного струму слід звертати увагу, що один бік зображення приладів подано товстою лінією. Цією стороною прилад слід приєднувати до заземлення або до меншого з потенціалів, між якими виконується вимірювання.

Амперметр та вольтметр – прилади з автоматичним змінюванням діапазону і не потребують налагодження. В одній схемі можна застосовувати кілька таких приладів одночасно для вимірювання струмів і напруг різних елементів електричного кола.

В меню Instruments (рис. 1.15) можна знайти універсальний вимірювальний прилад – мультиметр, який можна використовувати для вимірювання напруг і струмів (постійних і змінних) та опору. За допомогою мультиметра можна також заміряти величину затухання сигналу між двома точками електричного кола.



Рисунок 1.15 – Інструменти вимірювання

Схематичний вигляд мультиметра приведено на рисунку 1.16,а, а збільшений – на рисунку 1.16,б. Цей прилад також з автоматичним дзмінюванням діапазону вимірювання і не потребує налагодження. При натисненні лівою кнопкою «миші» на відповідних кнопках вибирається параметр, який необхідно заміряти. Кнопка *Settings* відкриває вікно установок мультиметра (рис. 1.16,в), які можна задавати при проведенні дослідів.

Для дослідження електричних кіл змінного струму програма EWB пропонує використовувати осцилограф. Це зручно для проведення вимірювань напруг, струмів і фазових співвідношень між ними. Осцилограф, як і ряд інших складних електронних приладів,

знаходиться в меню Instruments (рис. 1.15).

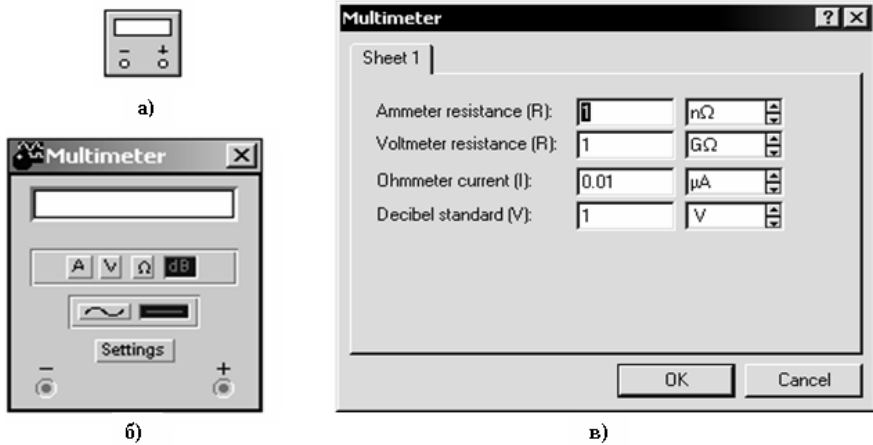


Рисунок 1.16 – Мультиметр



Рисунок 1.17 – Підключення осцилографа

Використання осцилографа можливо як для вимірювання напруг постійного струму по відношенню до загальної шини, так і для вимірювання параметрів напруг змінного струму. Схематичний вигляд осцилографа й схема підключення приводиться на рисунку 1.17, а його загальний вигляд – на рисунку 1.18.

Двоканальний осцилограф дозволяє виконувати широкий ряд вимірювань, які встановлюються часовими параметрами (Time base), порогом і рівнем визначення сигналу, який вимірюється (Trigger), а також рівнем амплітуди вхідного сигналу, що може подаватись на два канали одночасно (канал А і канал В). Масштаб рівня сигналів встановлюється у вольтах на ділення (V/Div) у вікнах Channel А та Channel В. Масштаб горизонтальної розгортки осцилограми встановлюється в секундах на ділення (s/div) у вікні Time base. У нижній частині вікна Time base осцилографа розміщені три кнопки, які відображають інформацію в часі Y/T, або у вигляді фігур Лісажу (A/B).

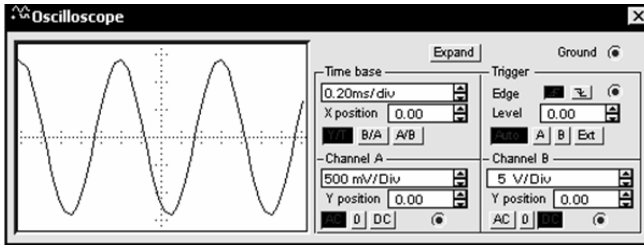


Рисунок 1.18 – Мінімізоване вікно осцилографа

Якщо необхідно уточнити параметри сигналів, що досліджуються, осцилограф можна переключити кнопкою Expand у збільшений розмір, який приводиться на рисунку 1.19.

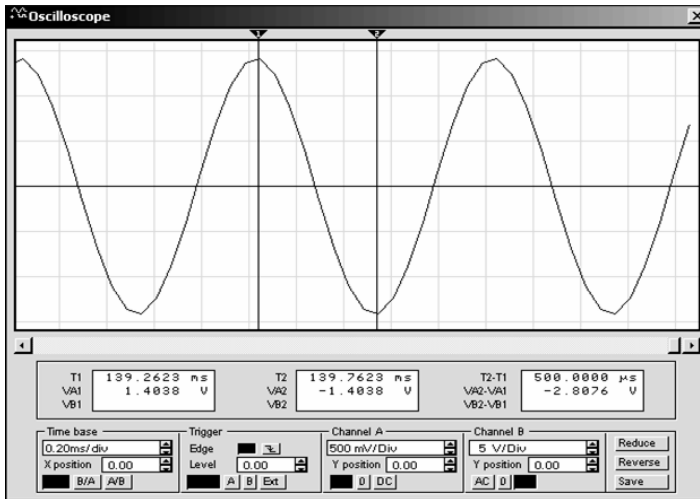


Рисунок 1.19 – Розгорнуте вікно осцилографа

Вертикальні лінії курсору ліворуч і праворуч екрану, які переміщуються за допомогою «миші», дають можливість більш точно визначити амплітуди сигналів і часові співвідношення.

Для того, щоб виміряти, наприклад, амплітуду та період синусоїдального сигналу, потрібно встановити курсори (за допомогою трикутників із позначками 1 і 2) відповідно в позиції максимального і мінімального значення синусоїди. На першому з трьох табло, що розташовані під екраном осцилографа, відображається миттєве значення вхідного сигналу каналу A (1.4038 V), на другому табло

миттєве значення вхідного сигналу каналу В (-1.4038 V). На останньому табло – різниця (по модулю) двох замірювань (-2.8076 V). На цих табло відображаються також і часові характеристики синусоїди. Так різниця в часі між позитивною максимальною точкою синусоїди (139.2623) і негативною максимальною (139.7623) дорівнює 500 мкс (третє табло осцилографа) – це половина періоду синусоїди.

Такі вимірювання в EWB виконуються в режимі паузи, яка встановлюється у правому верхньому куті екрану монітора.

Під час проведення дослідів канали осцилографа можна перемикаєти з однієї точки електричного кола до іншої, аналізуючи різні сигнали. При цьому процес моделювання не зупиняється. Не впливають на процес моделювання також зміна установок осцилографа – масштабу часу чи шкали амплітуд по будь-якому з входів.

Установка кнопки Y/T дає можливість керувати масштабом горизонтальної осі в часі. Максимальний масштаб – 1 с/под (1.00 s/div) відповідає частоті 1 Гц. Якщо, наприклад, потрібно один період сигналу з частотою 1 кГц вмістити в одну поділку горизонтальної осі, то встановлюється масштаб часу 1 мс/под, а для сигналу частоти 10 кГц масштаб часу повинен бути 0.1 мс/под (рис. 1.20).

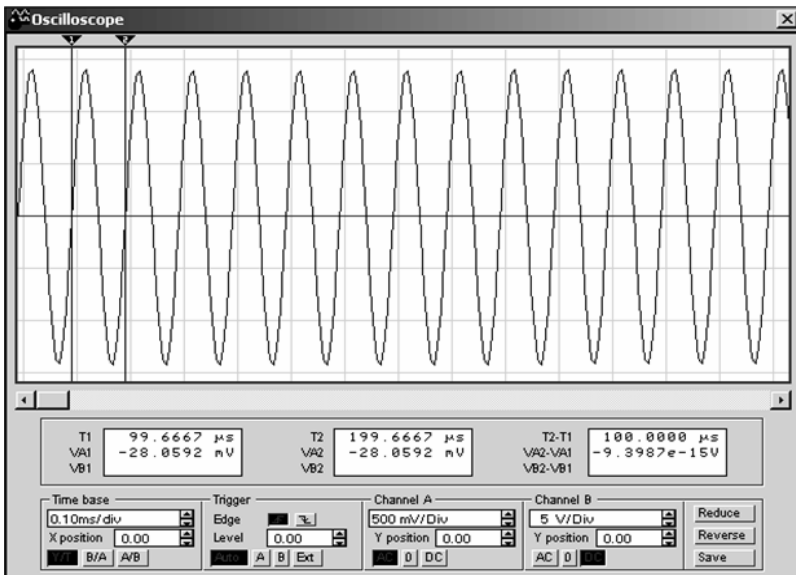


Рисунок 1.20 – Вимірювання параметрів сигналу

Вертикальна вісь має по три поділки в позитивній і негативній частинах. Тому, якщо установлений масштаб, наприклад, 0,5 В/под, то на екрані осцилографа можна спостерігати зображення сигналу з амплітудним значенням до 1,5 В. Якщо ж амплітудне значення перевищуватиме 1,5 В, то верхня і нижня половини синусоїди будуть виглядати зрізаними і в цьому випадку треба збільшити масштаб. Приблизне обчислення миттєвого значення сигналу виконується шляхом перемноження кількості поділок, яких він досягає, на числове значення масштабу.

Осцилограф та схема, що досліджується, повинні бути заземленими.

Побудова електричних схем в середовищі EWB

Перед тим як побудувати електричну схему для дослідження в середовищі EWB, потрібно на аркуші паперу підготувати її ескіз із зразковим розташуванням компонентів.

Процес побудови схеми починається з розміщення на робочому полі екрану компонентів із бібліотек програми, відповідно до підготовленого ескізу. Необхідний для побудови схеми символ (умовне позначення) компонента переноситься з каталога на робоче поле програми посунанням «миші» за натиснутої лівої кнопки, після чого кнопка відпускається для фіксації символу. Вибраний компонент освітлюється червоним кольором. Кнопками Rotate, Flip horizontal, Flip vertical встановлюється розташування елементів у схемі. Подвійне натиснення кнопки «миші» на умовному зображенні елемента забезпечує виклик вікна для встановлення необхідних параметрів: опору резистора, індуктивності дроселя, ємності конденсатора і т.ін. (рис. 1.21). Вибір підтверджується натисканням кнопки Accept (OK) або клавіші Enter. У ході створення схем використовуються лише два перших вікна Label і Value: перше дозволяє встановлювати літерні й цифрові надписи біля вибраних компонентів, а друге – їхні величини.

Після розміщення компонентів проводиться з'єднання виводів провідниками. Необхідно враховувати, що до кожного виводу компонента можна приєднати тільки один провідник. З'єднання в електричних схемах виконується в такій послідовності. Підводиться курсор «миші» до виводу компонента до моменту появи чорної точки (з'єднуючого символу). Після цього натискається ліва кнопка «миші» і курсор підводиться до виводу другого компонента, або до раніше встановленого провідника електричної схеми. Коли з'являється

аналогічна з'єднуюча точка кнопка «миші» відпускається. При цьому з'являється з'єднуючий провідник, колір якого можна змінити. Для цього стрілка «миші» підводиться до провідника і подвійним натисненням лівої кнопки викликається вікно Wire Properties, в якому вибирається бажаний колір провідника. Якщо до кольорового провідника приєднується вхід осцилографа, то відповідний промінь буде мати такий самий колір.

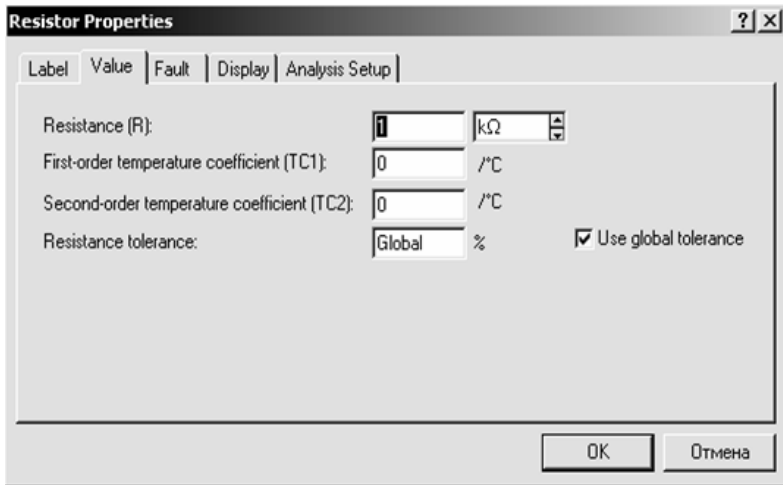


Рисунок 1.21 – Параметри резистора

Приєднати до побудованої електричної схеми інші компоненти можна за допомогою символу з'єднання, який переноситься на раніше встановлений провідник. До цієї точки з'єднання можна приєднати ще два провідники. Спочатку символ з'єднання буде позначений червоним кольором. За умови переведу його в пасивний стан, на ньому може бути видимою лінія з'єднання. Це вказує на відсутність з'єднання в схемі. Тоді слід повторити установку символу. Символ з'єднання може мати умовні позначення (номери), так само, як і інші компоненти електричної схеми.

Відповідні номери, а також назви вузлів (символів з'єднання) встановлюють у вікні Connector Properties, яке з'являється на екрані монітора якщо двічі натиснути ліву кнопку «миші». За умови використання вкладки Label назва вузла встановлюється самим розробником схеми, а якщо використовується вкладка Node, номер вузла встановлюється програмою (при наявності прапорця у віконці Display node label). Останній спосіб завдання використовується, якщо

номер вузла потрібний для проведення аналізу схеми за допомогою меню Analysis.

За необхідності розірвати встановлене з'єднання використовуються два способи. За першим з них до провідника підводиться курсор «миші» і натиском лівою кнопкою провідник виділяється (виділена лінія буде мати подвійну ширину). Після цього правою кнопкою «миші» викликається вікно, в якому необхідно натиснути опцію Delete. Другий спосіб полягає в тому, що виконується процедура, зворотна процедурі з'єднан-ня. Підводиться курсор «миші» до одного з виводів електричних компонентів і після появи чорної (з'єднуючої) точки натискається ліва кнопка й курсор відсувається від компонента.

Спосіб забезпечення з'єднань та роз'єднань електричної схеми задається в меню Circuit / Schematic Options / Wiring, вікно якого подано на рисунку 1.22.

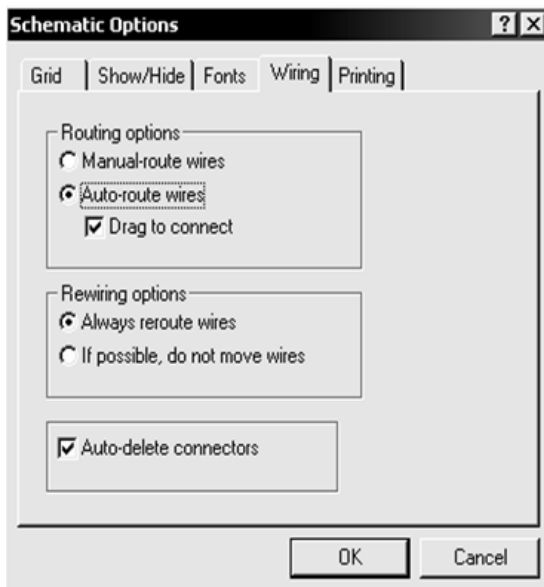


Рисунок 1.22 – Опції електричного кола

У віконці Routing options – вибір з'єднання, дається на вибір два варіанти розміщення маршруту провідника – ручний (Manual-route wires) та автоматичний (Auto-route wires). У віконці Rewiring options – вибір видалення провідника, також використовуються два варіанти:

Always reroute wires – завжди видаляти провідник If possible, do not move wires – по можливості, не переміщувати провідники.

Для практичної роботи із схемами важлива наявність прапорця у віконці Auto-delete connections, що дозволяє автоматично видаляти точки з'єднання, якщо в них відпала потреба.

Інформаційність схеми, що буде побудована, та її якість залежать від опцій, що вибрані в Circuit / Schematic Options. На рисунку 1.23 приведено вікно Show / Hide, яке дозволяє відображати на схемі допоміжну інформацію:

- Show labels – показувати присвоєні назви.
- Show reference ID – показувати послідовну нумерацію кожного з типів елементів, які використовуються у схемі. Нумерація складається з букви, що є умовним позначенням типу елемента й цифри, і є порядковим номером елемента в схемі.
- Show models – показувати модель пристрою, що використовується.
- Show value – показувати величини параметрів елементів.
- Show nodes – показувати номери вузлів.

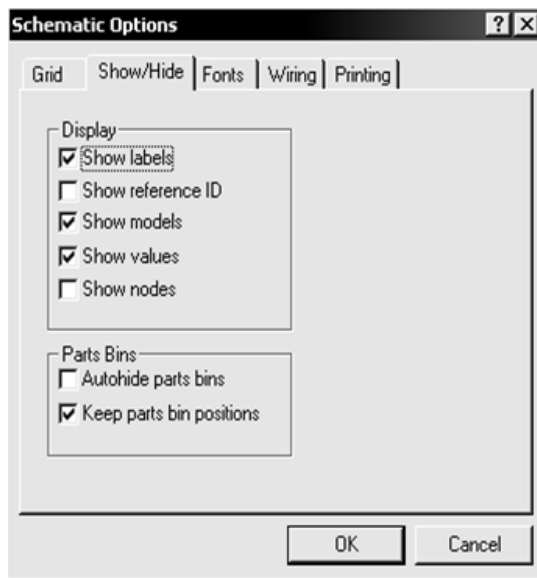


Рисунок 1.23 – Встановлення міток

У вікні Fonts встановлюються типи шрифтів для позначення параметрів і величин елементів схеми. Відповідні установки виконуються у вікнах вибору шрифту, що з'являються після натискання кнопок Set label font (встановити тип і колір шрифту, що задається вкладкою Label) та Set value font (встановити тип і колір шрифту, що задається вкладкою Value).

Програма EWB дає змогу об'єднати схему електричного кола, або її частину в субблок. Для цього потрібно виділити потрібне і набрати пункт Subcircuit меню Circuit, або клацнути лівою кнопкою «мишки» по піктограмі Create Subcircuit.

З'явиться вікно, рисунку 1.24. У рядку Name потрібно ввести ім'я субблоку, наприклад **W**, а потім натиснути одну з чотирьох кнопок: Copy from Circuit (скопіювати зі схеми), Move from Circuit (вилучити зі схеми), Replace in Circuit (замінити в схемі), Cancel (відмінити). Якщо натиснути на кнопку Copy from Circuit, схема залишиться без змін, а в полі компонент Favorites з'явиться субблок з привласненим йому ім'ям. Якщо натиснути на кнопку Move from Circuit, виділена ділянка кола відокремиться від схеми і розміститься у вікні з іменем, присвоєним субблоку. В полі компонент Favorites з'явиться субблок з привласненим йому ім'ям. Якщо натиснути кнопку Replace in Circuit, то виділена ділянка кола заміниться субблоком.

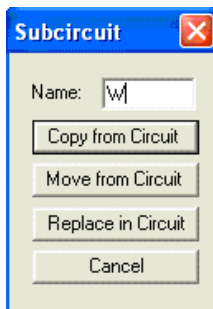


Рисунок 1.24 – Створення субкола

У EWB ватметр відсутній, але є можливість побудувати його модель за допомогою такої компоненти програми EWB, як перемножувач (меню Controls), якщо на його входи X і Y подати напруги пропорційні відповідно напрузі та струму.

Щоб розв'язати входи ватметра, напруги на перемножувач потрібно подати через залежні джерела: джерело напруги, кероване напругою та джерело напруги, кероване струмом, рисунку 1.25. Напруга на виході перемножувача буде пропорційна потужності і може бути виміряна вольтметром в режимі постійного струму. Аналогічно виконуються вимірювання і в колах синусоїдального струму.

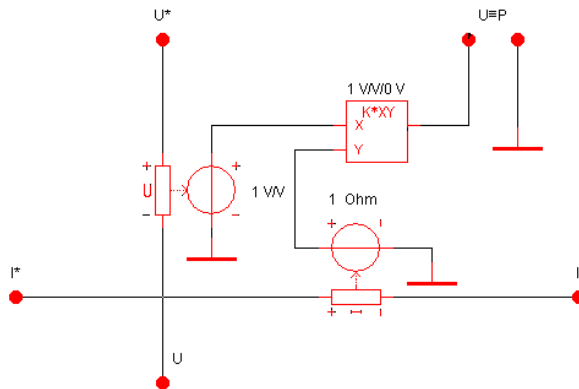


Рисунок 1.25 – Ватметр виконаний як помножувач напруги на струм

Лабораторна робота № 1

Проходження сигналу через лінійні кола

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

Основні теоретичні 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 пропущення реальних кіл. У реальних пристроях завжди є спеціально встановлені або паразитні опори і ємності, а також розділювальні й фільтруючі конденсатори [1].

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 пропущення 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 [1].

Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему (рис. 1.1), що моделює паразитні ємності та опори в електричних колах.

2. Установити параметри елементів згідно варіанту (N – номер бригади):

2.1. Генератор меандру (Clock) E :

– амплітуда сигналу $U_m = 4N$, В;

– частота $f = 50N$, Гц.

2.2. $R = 1 \text{ кОм}$.

2.3. $C = 1/N, \text{ мкФ}$.

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

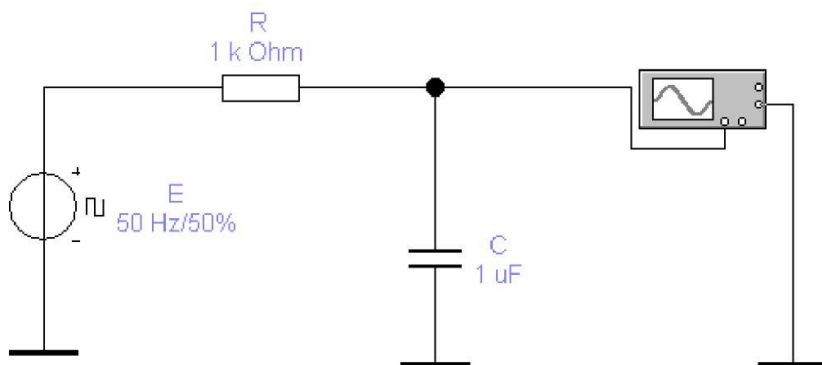


Рисунок 1.1 Схема досліду 1

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 і розрахувати нове значення $\tau = RC$.

6. Повторити п. 4 для нового значення R .

7. Порівняти й проаналізувати отримані результати.

8. Замінити генератор E на джерело змінної напруги (AC voltage source) з параметрами $E = N, \text{ В}$ і частотою 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 $N \text{ Гц}$ до $2N \text{ кГц}$.

10. Визначити смуги пропускання 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 відкривалося, «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 рисунку 1.2, що моделює вплив розділювальних конденсаторів на проходження сигналу.

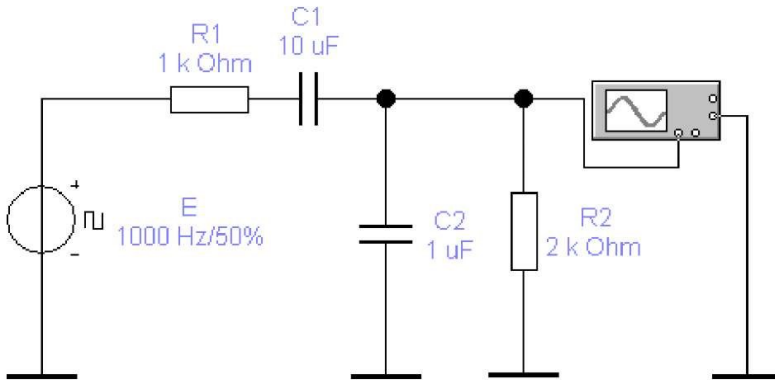


Рисунок 1.2 Схема досліду 2

14. Установити параметри елементів згідно варіанту (N – номер бригади):

14.1. Генератор меандру (Clock) 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 змінної 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» переконалися 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»;
- крок частоти для аналізу, дорівнює частоті генератора (у нашому випадку - 1 кГц) у вікні «Fundamental frequency»;
- число гармонік «Number harmonics» рівне 9 .

Вимоги до 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. Яка буде форма імпульсу напруги на резисторі R схеми №1?
2. Як впливають параметри елементів схеми №1 на форму вихідного імпульсу?
3. Як виміряти тривалість фронту й спаду імпульсу за допомогою осцилографа?
4. Поясніть отримані АЧХ і ФЧХ схеми №1.
5. Що таке смуга пропущення? Як її виміряти? Як впливають параметри кола на смугу пропущення?
6. Поясніть форму імпульсу на конденсаторі $C2$ схеми №2.
7. Як впливають параметри елементів схеми №2 на форму вихідного імпульсу?
8. Поясніть отримані АЧХ і ФЧХ схеми №2.
9. Який зв'язок між часовими й частотними характеристиками досліджуваних кіл?

Лабораторна робота № 2

Проходження сигналу через нелінійні кола

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

Основні теоретичні відомості

При проходженні сигналів через більшість реальних радіоелектронних пристроїв, крім лінійних перекручувань, досліджених раніше в лабораторній роботі №19Е, виникають нелінійні перекручування [1].

Причиною нелінійних перекручувань є проходження сигналу через елементи, що мають нелінійну вольт-амперну 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_{Γ} як співвідношення всіх вищих (нових) гармонік до основної гармоніки вхідного сигналу:

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

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 [1].

Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему рисунку 2.1.
2. Установити параметри елементів:
 - 2.1. Генератор синусоїдальної напруги (AC voltage source) $E1$:
 - амплітуда сигналу $U_m = 0,05$ В;
 - частота сигналу $f_c = 0,5N$ 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.

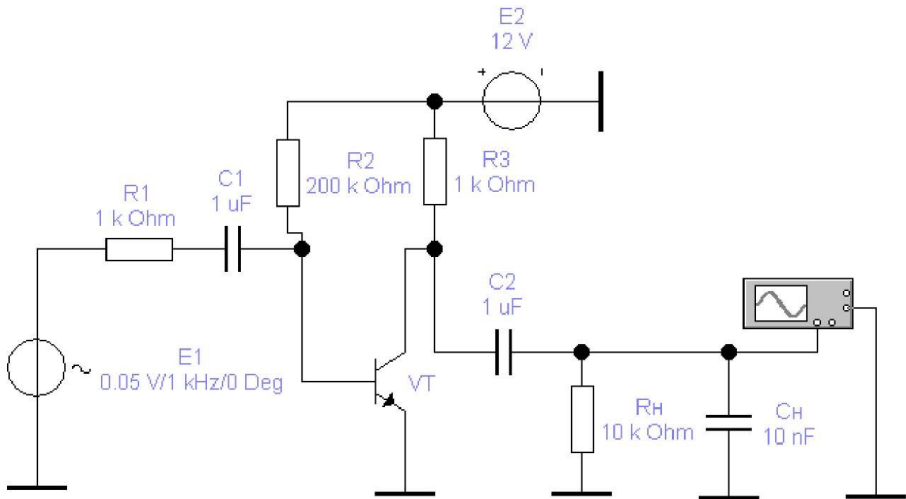


Рисунок 2.1 – Дослідна схема

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 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 CH). Для цього перед початком спектрального аналізу в меню «Fourier» установити:

– номер вихідного вузла схеми у вікні «Output node»;

– крок частоти для аналізу, дорівнює частоті генератора f (у вікні «Fundamental frequency»);

– число гармонік «Number harmonics» рівне 9.

8. Виміряти й записати амплітуди всіх гармонік.

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

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

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

де: U_2, U_3, U_4, U_5 – амплітуди вищих гармонік вихідного сигналу, виміряні на спектральній діаграмі;

U_1 – амплітуда першої (основний) гармоніки, виміряна 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 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_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_n)?

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.

Основні теоретичні відомості

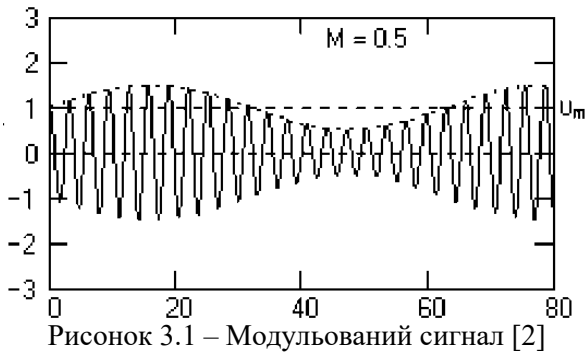
Перенесення спектра сигналів з низькочастотної області у виділену для їхньої передачі область високих частот каналу зв'язку виконується операцією модуляції.

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, набагато вища максимальних частот в обвідній функції $U(t)$. Форма запису амплітудно-модульованого сигналу [2]:

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

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

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 рисунку 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 $s(t)$ набагато менша потужності несучого колювання й потужність передавача використовується не економічно.

На рисунку 3.2 наведений приклад так названої глибокої модуляції, при якій значення $|M \cdot s_{експ}(t)|$ прагне до 1 в екстремальних точках функції $s(t)$. При глибокій модуляції використовуються також поняття відносного коефіцієнта модуляції нагору: $M_v = (U_{max} - U_m)/U_m$, і модуляції вниз: $M_n = (U_m - U_{min})/U_m$. 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 колювань у пікових інтервалах сигналу $U(t)$ у два рази вимагає збільшення потужності передавача в чотири рази).

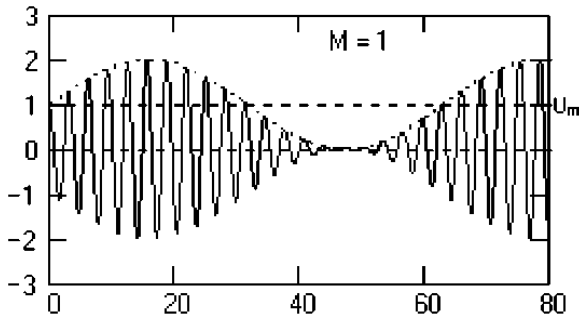


Рисунок 3.2 – Глибока модуляція [2]

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

Простіша форма модульованого сигналу створюється при однотональній амплітудній модуляції – модуляції несучого сигналу гармонійним колюванням 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 колювання приймаємо рівними нулю.

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

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

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 (для сигналу, наведеного на рисунку 3.1). Амплітуди коливань на бічних при однотональній модуляції, 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.

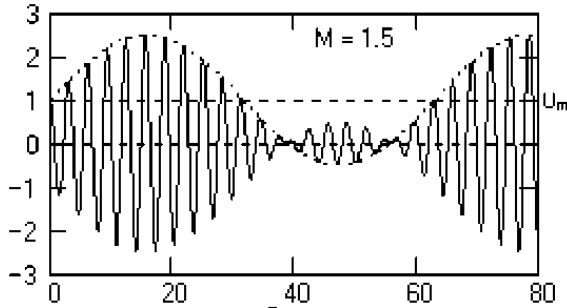


Рисунок 3.3 – Перемодуляція сигналу [2]



Рисунок 3.4 – Амплітудні спектри сигналів [2]

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

Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему на рисунку 3.5, що моделює АМ коливання.
2. Установити параметри елементів згідно варіанту:
 - 2.1. Генератор АМ-коливань (JIM 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.

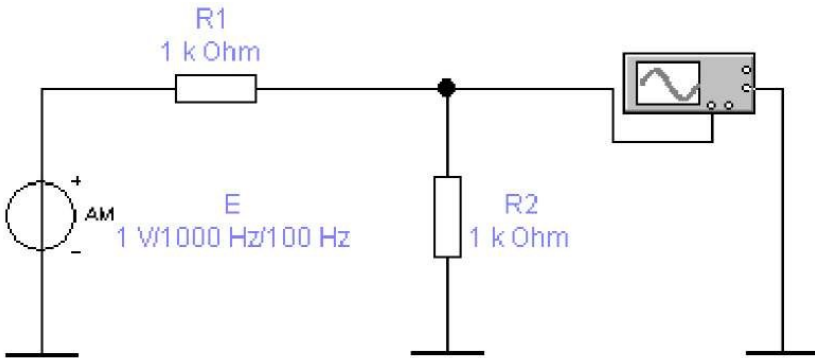


Рисунок 3.5 – Схема досліду 1

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»;
- 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:

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

8. Повторити п.п. 3...7 для значень коефіцієнта модуляції M , рівним 0,5, 1,0 й 1,5.

Результати звести в таблицю.

M	η_e	η_m
0,3		
0,5		
1,0		
1,5		

10. Проаналізувати отримані результати.

11. Зібрати схему рисунку 3.6, що моделює одержання АМ сигналу з односмужовою модуляцією.

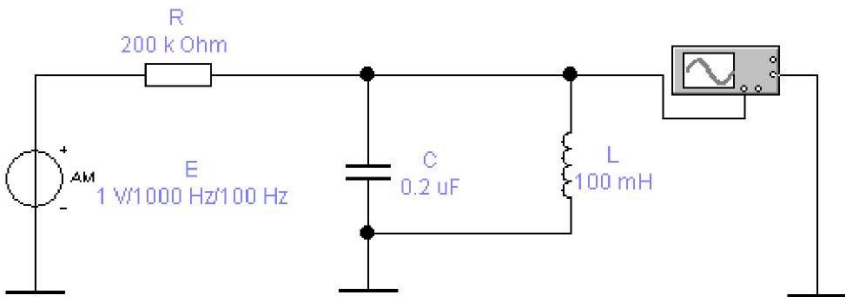


Рисунок 3.6 – Схема досліду 2

12. Установити параметри елементів згідно варіанту:

12.1. Генератор АМ коливань (АМ 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. 1...4 для значень коефіцієнта модуляції M , рівним 0, 5 й 1,0.

14. Результати звести в таблицю.

M	η_{om}
0,3	
0,5	
1,0	

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

16. Замінивши в схемі рисунку 21.6 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 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?

3. Які недоліки двосмугового АМ колювання?
4. Які види АМ-колювань Ви знаєте?
5. Що таке амплітудна маніпуляція?
6. Як одержати АМ з однією бічною смугою (ОБС)?
7. Чим відрізняється АМ-колювання з ОБС від двосмугової АМ?
8. Назвіть переваги й недоліки АМ-колювань з ОБС.
9. Що таке коефіцієнт модуляції M ? Який його фізичний зміст?

Лабораторна робота № 4

Детектування амплітудно-модульованих коливань

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

Основні теоретичні 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.

На рисунку 4.1 показана схема послідовного амплітудного детектора, а на рисунку 4.2 – паралельного детектора.

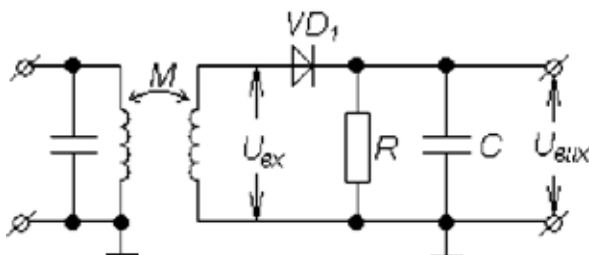


Рисунок 4.1 – АД послідовного типу [2]

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.

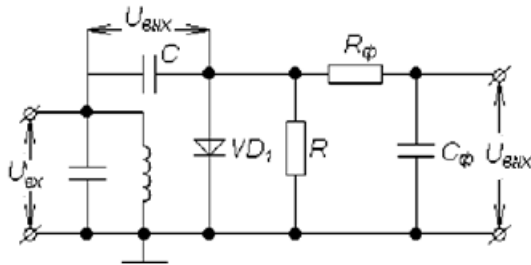


Рисунок 4.2 – АД паралельного типу [2]

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

Постійна часу детектора вибирається відповідно до нерівності:

$$(1/f_0) \ll \tau \ll \dots \quad (4.1)$$

Ліва частина цієї нерівності характеризує здатність детектора відфільтрувати 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 $K_{\Gamma} = M/4$, тобто прямо пропорційний коефіцієнту модуляції M .

Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему амплітудного детектора рисунку 4.3.

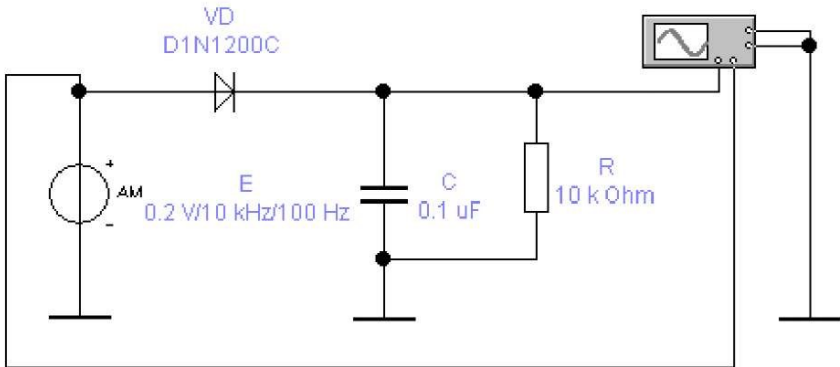


Рисунок 4.3 – Дослідна схема

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», «motorol1»).

2.3. Опір $R = 10$ 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»;
- 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.

<i>M</i>	<i>K_г квадр, %</i>	<i>K_г лін, %</i>
0,3		
0,5		
0,8		
1,0		

8. Проаналізувати отримані результати.

9. Для моделювання режиму лінійного детектування збільшити амплітуду генератора АМ-коливачів 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-коливачів?
3. Що таке квадратичний режим детектування АМ-коливачів?
4. Що таке лінійний режим детектування АМ-коливачів?
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.

Основні теоретичні 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 [1]:

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

де ω_n й ω_m – відповідно несуча частота й частота модуляції,
 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 [3].

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 [1].

У частотному детекторі з розстроєним коливальним контуром (рис. 5.1.) здійснюється попереднє перетворення змін частоти радіосигналу в пропорційну зміну амплітуди. Наступне детектування

цього перетвореного радіосигналу здійснюється за допомогою звичайного детектора АМ коливань.

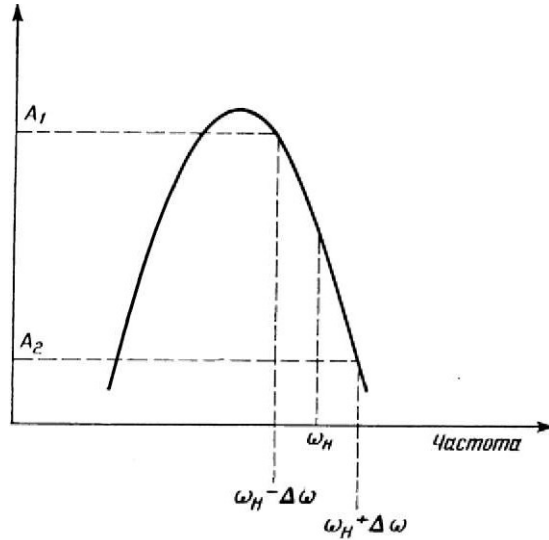


Рисунок 5.1 – Принцип використання резонансного контуру в якості частотного детектора [3]

Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему рисунку 5.2 для дослідження ЧМ коливання.

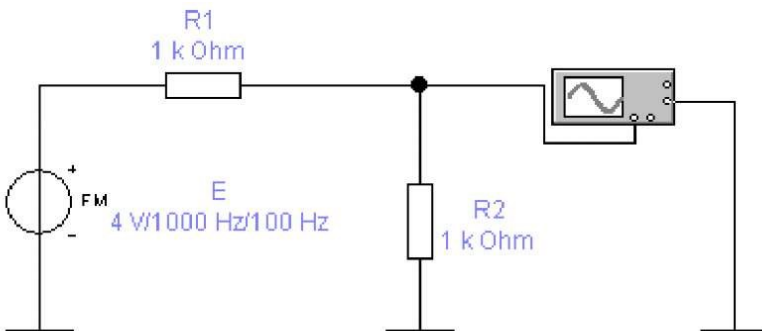


Рисунок 5.2 – Схема досліду 1

2. Установити параметри елементів згідно варіанту:

2.1. Генератор ЧМ-коливань 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 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 рисунку 23.3, що моделює процес демодуляції ЧМ сигналу за допомогою розстроєного коливального контуру.

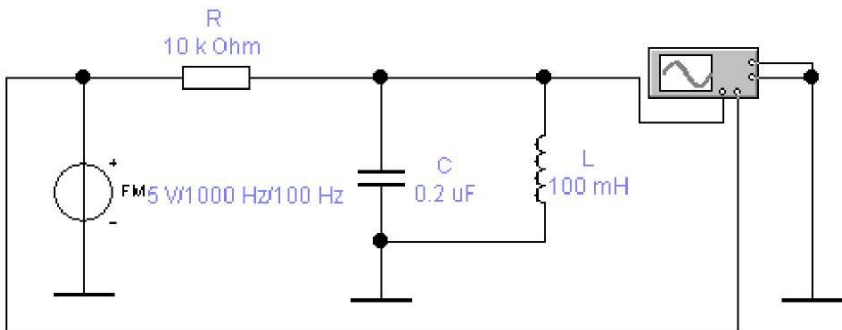


Рисунок 5.3 – Схема досліду 2

9. Установити параметри елементів згідно варіанту:

9.1. Генератор ЧМ-коливань FM source) E:

- амплітуда сигналу $VC = 20 / N$, В;
- несуча частота $FC = 1$ кГц;
- модулююча частота $FM = 100$ Гц;
- індекс модуляції $M = 0,1$.

9.2. Опір $R = 10$ кОм.

9.3. Індуктивність $L = 0,1$ Гн.

9.4. Величину ємності C розрахувати так, щоб коливальний контур був налаштований на частоту 1100 Гц. Розрахунок відобразити в звіті.

10. Зняти й перенести в звіт осцилограму отриманої вихідної напруги.

11. Повторити п. 10 для значень індексу модуляції M , рівним 0,3 й 0,5.

12. Проаналізувати отримані результати.

13. Замінивши в схемі рисунку 23.3 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. 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 рисунку 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.

Основні теоретичні 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 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 [4].

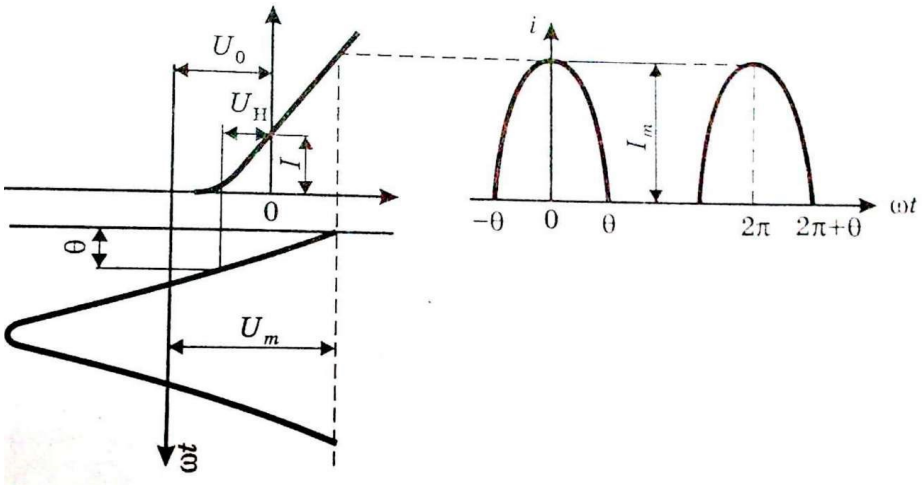


Рисунок 6.1 – Параметри імпульсу [4]

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_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).

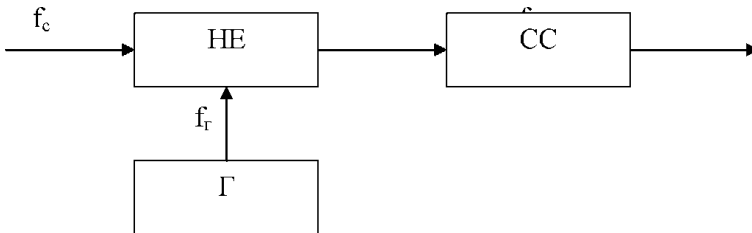


Рисунок 6.2 – перетворення частоти [4]

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:

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

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 частоти 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:

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

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 рисунку 6.3, що імітує роботу помножувача частоти коливань

2. Установити параметри елементів згідно варіанту:

2.1. Генератор синусоїдальної напруги E_g :

– амплітуда сигналу $U_m = 1$ В;

– частота сигналу $f_c = 0,5$ Н кГц.

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 настроювання коливального контуру $LkCk$.

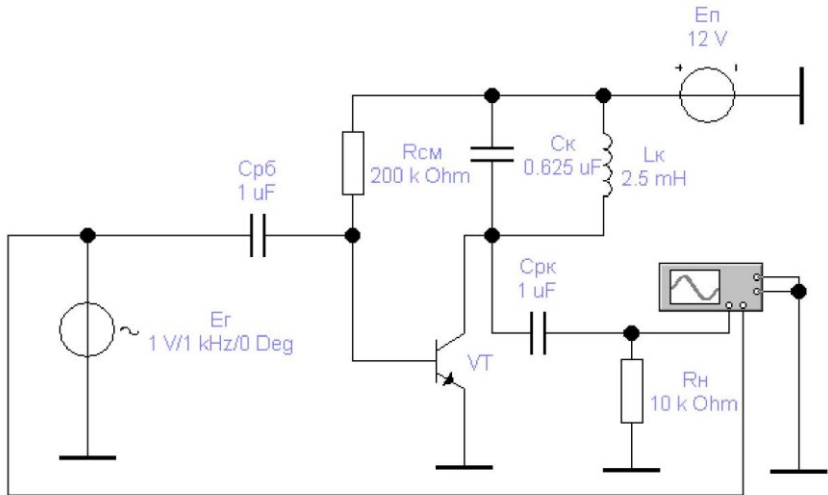


Рисунок 6.3 – Схема досліду1

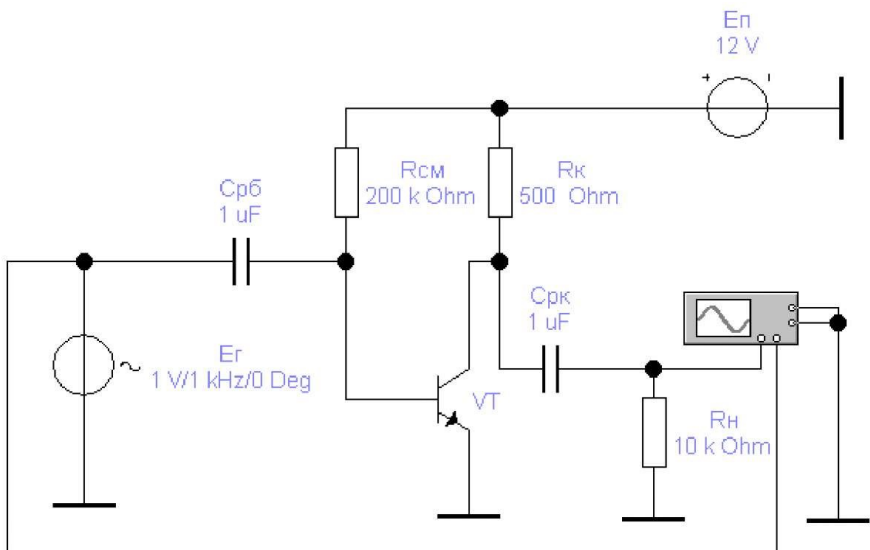


Рисунок 6.4 – Схема досліду 2

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

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

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 $R_k = 500$ Ом (рисунку 6.4).

9. Зняти осцилограму й спектрограму вихідного сигналу.

10. Проаналізувати отримані результати й зробити висновки

11. Зібрати схему рисунку 6.5, що імітує роботу змішувача коливань.

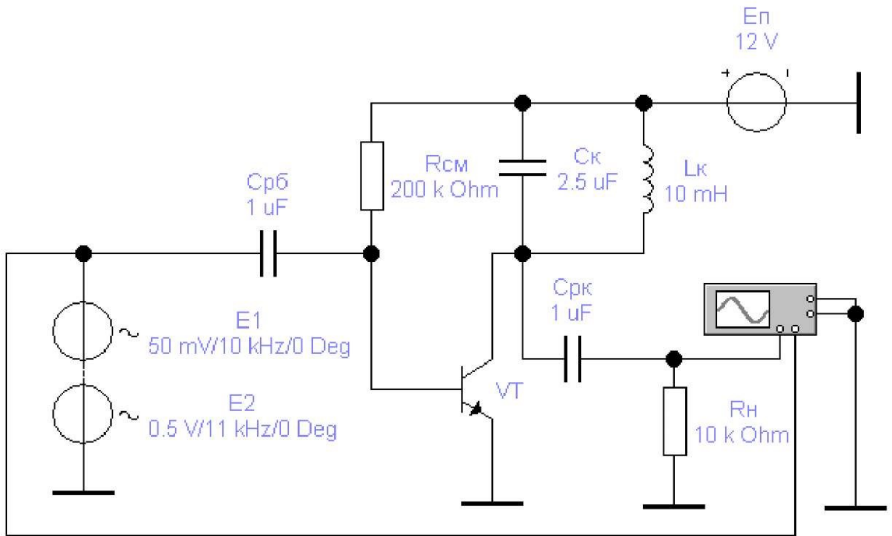


Рисунок 6.5 – Схема досліду 3

12. Установити параметри елементів згідно варіанту:

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 $f_T = (10 + N)N$ 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 $E1$ ($f_T - f_c$).

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_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).

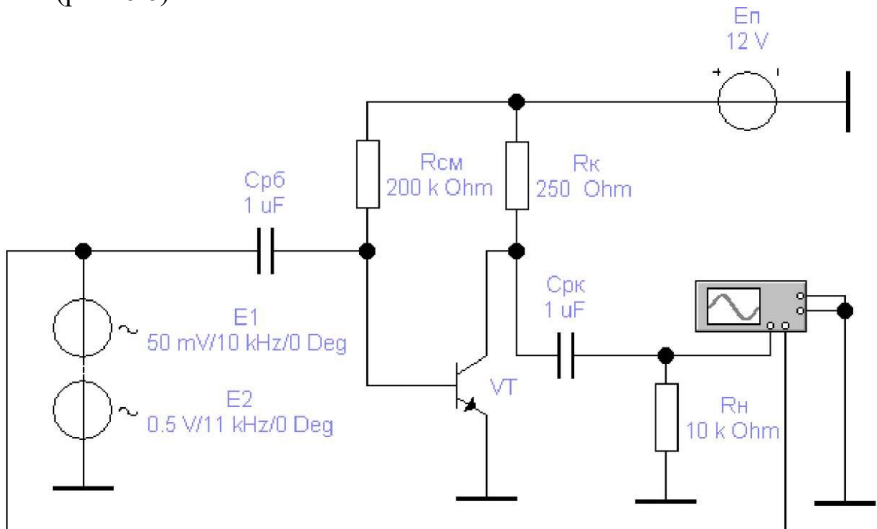


Рисунок 6.6 – Схема досліду 4

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. Поясніть призначення елементів досліджуваних схем.
6. Де застосовується множення частоти й з якою метою?
7. Де застосовується змішувач частоти й з якою метою?
8. Які комбінації частот можна одержати на виході змішувача?

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Горев В. М. Теорія електричних кіл та сигналів. Частина I. Навчальний посібник. Дніпро: Дніпровська політехніка, 2021. 104 с. URL: <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/160146> (дата звернення 20.05.2025 р.).
2. Горев В. М. Теорія електричних кіл та сигналів. Частина II. Навчальний посібник. Дніпро: Дніпровська політехніка, 2021. 107 с. URL: <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/160146> (дата звернення 22.05.2025 р.).
3. Захаров І. П., Милютченко І. О. Основи аналізу лінійних електричних кіл: навч. посіб. Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. Харків: ХНУРЕ, 2021. 102 с. URL: <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/33761326-7f4f-474a-8187-943186d5a4b9/content> (дата звернення 25.05.2025 р.).
4. Цимбал В. П. Теорія інформації та кодування. К.: Вища школа, 304 с. URL: https://shron1.chtyvo.org.ua/Zhurakovskiyi_Yurii/Teoria_informatsii_ta_koduvannia.pdf?PHPSESSID=nq3pasd2mtbr0g6dqj3t8s13i5 (дата звернення 30.05.2025 р.).

- С 66** **Сигнали і коди телекомунікаційних та інформаційних систем:** методичні вказівки до лабораторних робіт для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми «Телекомунікації та радіотехніка» галузі знань 6 Інженерія, виробництво та будівництво спеціальності 65 Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка денної та заочної форм навчання / уклад. Й. Р. Селепина. Луцьк: ЛНТУ, 2025. 58 с.

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «**Сигнали і коди телекомунікаційних та інформаційних систем**»: складений відповідно до діючої програми курсу.

Призначений для здобувачів вищої освіти спеціальності 65 Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка освітньої програми «Телекомунікації та радіотехніка».

Комп'ютерний набір

Й. Р. Селепина

Редактор

Й. Р. Селепина

Підп. до друку «___» _____ 2025 р.
Формат 60x84/16. Папір офс. Гарнітура Таймс.
Ум. друк. арк. _____. Тираж 10 прим. Зам. _____

Відділ іміджу та промоцій
Луцького національного технічного університету
43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75