

Лабораторна робота 5

Амплітудна модуляція гармонічного переносника

1. Мета лабораторної роботи

Дослідження формування радіосигналів з амплітудною модуляцією за допомогою нелінійного радіоелектронного кола. Набуття практичних навичок визначення за допомогою осцилографа коефіцієнта глибини модуляції радіосигналу з амплітудною модуляцією, вміння налагодження пристрою формування радіосигналів з амплітудною модуляцією за допомогою нелінійного радіоелектронного кола. Знати наслідки неправильної роботи пристрою.

2. Основні позначення, розрахункові формули та визначення

Евристичний синтез структурно-функціональної схеми пристрою формування радіосигналу з амплітудною модуляцією

Послідовність міркувань, яка дає змогу придумати пристрій (структурно-функціональну схему) для формування АМ-сигналу (модулятор):

1. Маємо гармонічний сигнал з частотою, яка вибрана в діапазоні радіочастот. Цей сигнал виконує функцію переносника;

2. Інформаційним сигналом в експерименті є низькочастотний гармонічний сигнал;

3. Аналіз математичної моделі АМ-сигналу показує його амплітудно-частотний спектр [1, с. 149-154; 2, с. 94-100].

Зауважимо: а) у цьому розгляді спектр АМ-сигналу складається з трьох гармонік з частотами $(f_0 - F)$, f_0 , $(f_0 + F)$ та амплітудами $\frac{MU_m}{2}$, U_m , $\frac{MU_m}{2}$ відповідно;

б) якщо сформувати три гармонічні сигнали з вказаними в п. «а» параметрами і додати їх, то отримаємо АМ-сигнал.

Отже, необхідно ПРИДУМАТИ, як, маючи два гармонічні сигнали з частотами f_0 і F , можна сформувати гармонічні сигнали з частотами $(f_0 - F)$, $(f_0 + F)$?

4. На це питання в «Теорії нелінійних радіоелектронних кіл» дано таку відповідь: Якщо на вхід нелінійного радіоелектронного кола (чотириполосника) подати суму двох гармонічних сигналів з різними частотами f_0 і Ω , то на виході отримаємо сигнал, в спектрі якого будуть гармонічні складові з частотами: $F, 2F, 3F, \dots, f_0, 2f_0, 3f_0, \dots, (f_0 - F), (2f_0 - F), (3f_0 - F), \dots, (f_0 + F), (2f_0 + F), (3f_0 + F)$ і т.д.

Зауважимо:

а) у спектрі сигналу на виході нелінійного радіоелектронного кола (чотириполосника) є необхідні для формування АМ-сигналу складові;

б) виділити потрібні складові спектра і «подавити» всі зайві можна за допомогою смугового фільтра.

Користуючись наведеними вище міркуваннями, можемо здійснити евристичний синтез структурно-функціональної схеми пристрою для формування АМ-сигналу;

Наступним етапом роботи є визначення вимог до функціональних модулів та сигналів для свідомого і успішного виконання експериментальних досліджень.

Структурно-функціональна схема моделі пристрою формування радіосигналу з амплітудною модуляцією наведена на рис. 5.1.

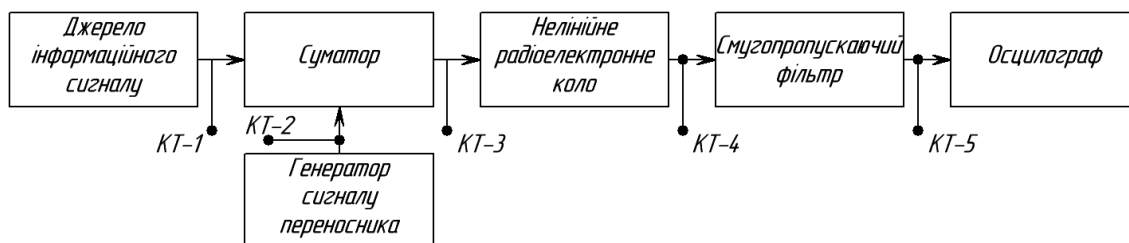


Рис.5.1. Структурно-функціональна схема моделі пристрою формування радіосигналу(модулятора) з амплітудною модуляцією.

3. Домашнє завдання

Формування сигналів з використанням властивостей нелінійних кіл. Амплітудна модуляція гармонічного несучого сигналу

На вході амплітудного модулятора (схему див. у підручнику [5, с. 79, рис. 3.22], вольт-амперна характеристика якого апроксимована поліномом третього степеня

$$i = a_0 + a_1 u + a_2 u^2 + a_3 u^3. \quad (5.1)$$

діє напруга сформована несучим U_{ω_0} і модулюючим U_{Ω} сигналами

$$u = -E + U_{\Omega} \cos(\omega t) + U_{\omega_0} \cos(\omega_0 t). \quad (5.2)$$

Вхідні дані можна вибрати з табл. 5.1.

Вихідний контур модулятора настроєний на частоту ω_0 має смугу пропускання $\Delta\omega = 2\Omega$.

Таблиця 5.1

Параметри несучого і модулюючого сигналів та математичної моделі модулятора

Варіант	E , [В]	U_{Ω} , [В]	a_1 , [мА/В]	a_2 , [мА/В]	a_3 , [мА/В]	U_{ω_0} , [В]	f_0 , [кГц]	F , [Гц]
1	2,5	2,0	4,53	0,39	0,05	1,8	10	100
2	3,0	2,5	8,73	0,844	0,07	1,6	20	200
3	2,8	2,2	9,0	0,8	0,06	1,4	30	300
4	4,5	3,5	16,0	10,0	1,3	2,8	40	400
5	8,0	4,9	13,0	3,3	0,8	3,2	50	500
6	6,0	3,8	11,2	2,85	0,7	3,0	60	600
7	2,0	1,6	4,8	0,43	0,04	1,2	70	700
8	3,5	2,2	9,0	0,85	0,03	1,4	80	800
9	5,6	2,5	10,0	5,0	0,08	2,2	90	900
10	7,2	4,6	12,0	7,0	0,09	2,3	100	1000
11	2,5	2,0	5,5	0,42	0,07	1,8	110	1100
12	3,0	2,5	9,5	1,2	0,1	1,6	120	1200
13	2,8	2,2	9,8	0,92	0,15	1,4	130	1300
14	4,5	3,5	14,0	8,0	1,5	2,8	140	1400
15	8,0	4,9	12,0	6,0	0,2	3,2	150	1500
16	3,0	1,5	5,34	0,39	0,05	1,2	160	1600
17	2,6	2,0	7,38	0,48	0,07	1,1	170	1700
18	4,8	3,5	8,0	0,84	0,06	1,5	180	1800
19	2,3	2,0	6,1	0,48	0,04	1,2	190	1900
20	6,8	3,8	10,0	5,0	0,1	1,4	200	2000
21	5,0	2,5	14,0	8,28	1,4	1,8	210	2100
22	3,7	2,2	9,0	0,5	0,06	1,4	220	2200
23	2,2	1,4	5,5	0,34	0,02	1,2	230	2300
24	7,0	4,5	11,0	2,58	0,8	3,2	240	2400
25	6,6	3,0	11,2	7,0	0,12	2,2	250	2500
26	4,0	3,3	16,0	8,0	1,3	2,4	260	2600
27	8,5	5,2	13,0	4,3	0,2	3,4	270	2700
28	5,5	2,3	10,0	1,2	0,15	1,6	280	2800
29	2,6	1,6	8,8	0,29	0,03	1,2	290	2900
30	6,0	3,2	9,2	0,58	0,04	2,8	300	3000

Необхідно:

1) записати в узагальненому вигляді рівняння для струму, який протікає у вихідному контурі модулятора;

2) визначити коефіцієнт глибини модуляції m та амплітуду струму I_{a1} при заданому значенні E (скласти методику та виконати

розрахунки);

3) побудувати статичну модуляційну характеристику за зміни значень вхідного сигналу від 0 до E_{max} (E_{max} - значення напруги, за якої струм першої гармоніки в колі $I_{a1} = 0$).

Рекомендації до формування методики розв'язання задачі

А) Рівняння струму, який протікає у вихідному колі модулятора, має такий вигляд:

$$i = a_0 + a_1 u + a_2 u^2 + a_3 u^3. \quad (5.3)$$

де

$$u = -E + U_{\Omega} \cos(\omega t) + U_{\omega_0} \cos(\omega_0 t). \quad (5.4)$$

Отже,

$$\begin{aligned} i = a_0 + a_1 \left(-E + U_{\Omega} \cos(\omega t) + U_{\omega_0} \cos(\omega_0 t) \right) \\ + a_2 \left(-E + U_{\Omega} \cos(\omega t) + U_{\omega_0} \cos(\omega_0 t) \right)^2 \\ + a_3 \left(-E + U_{\Omega} \cos(\omega t) + U_{\omega_0} \cos(\omega_0 t) \right)^3. \end{aligned} \quad (5.5)$$

Б) Коефіцієнт глибини модуляції m визначають так:

$$M = \frac{U_{\Omega}}{U_{\omega_0}}, \quad (5.6)$$

де U_{Ω} - амплітуда інформаційного сигналу; U_{ω_0} - амплітуда сигналу переносника.

В) Статична модуляційна характеристика – це функція $i_{\text{вих}} = \Psi(u_{\text{вих}})$

$$i_{\text{вих}} = a_0 + a_1 u_{\text{вих}} + a_2 u_{\text{вих}}^2 + a_3 u_{\text{вих}}^3. \quad (5.7)$$

де $u_{\text{вих}} = 0 \dots 3E_{max}$.

4. Опис лабораторного стенду моделі

В лабораторній роботі для дослідження формування радіосигналів з амплітудною модуляцією за допомогою нелінійного радіоелектронного кола використовується програмне середовище моделювання MicroCap 12.

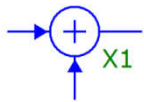
Для формування функціональної схеми моделі пристрою необхідно використати такі блоки:

Джерелом інформаційного (аналогового) сигналу слугує генератор сигналів **Voltage Source**.

Функцію генератора сигналу переносника виконує генератор сигналів

Sine Source.

В якості «суматора» використовується суматор двох напруг **Sum**



Нелінійне радіоелектронне коло (чотириполіусник) повинно мати амплітудну характеристику, яка апроксимується степеневим поліномом не нижче другого степеня(рис.5.2).

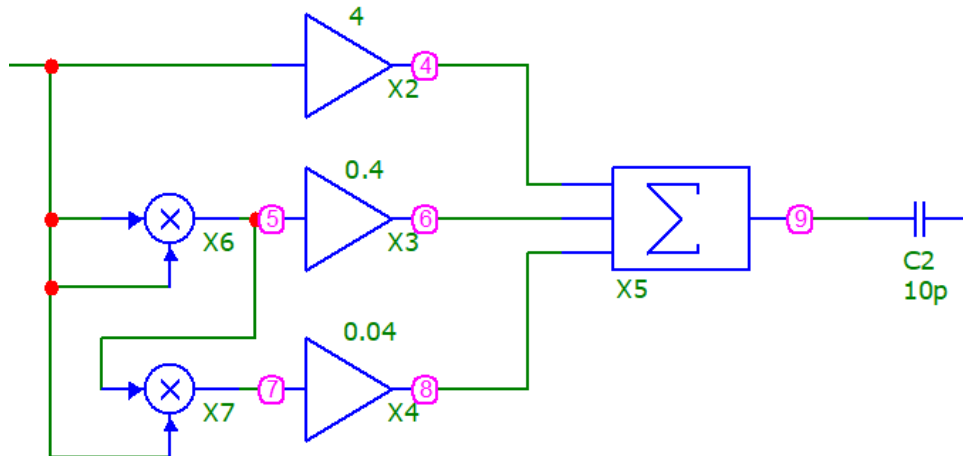


Рис.5.2 Нелінійне радіоелектронне коло.

Смуговий фільтр у макеті виконаний у вигляді коливального контуру. Це потрібно врахувати під час визначення його смуги пропускання(рис.5.3).

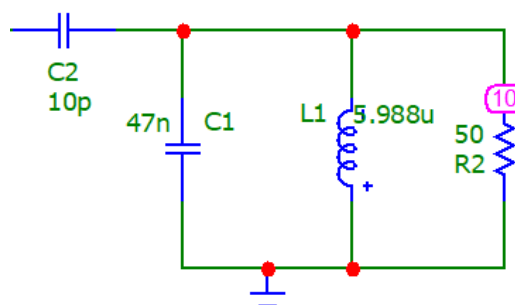


Рис.5.3. Смуговий фільтр у вигляді коливального контуру.

5. Послідовність виконання лабораторної роботи

5.1. Ознайомтесь з реальним радіосигналом з амплітудною модуляцією за допомогою генератора АМ(рис.5.4).

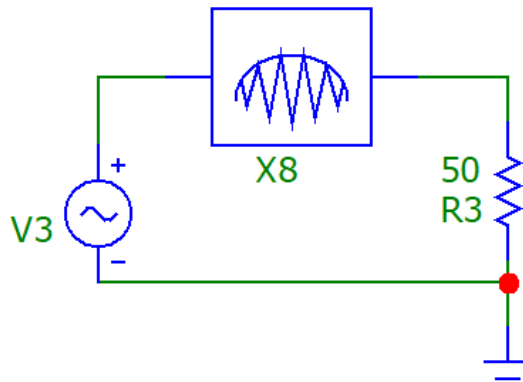


Рис.5.4

5.1.1. Користуючись налаштуваннями генератора, встановіть (згідно варіанта) параметри АМ-сигналу: частоту сигналу переносника, частота інформаційного сигналу, коефіцієнт глибини модуляції 70 %.

5.1.2. Використовуючи відповідні методики, перевірте достовірність значень цих параметрів за допомогою осцилографа.

5.1.3. Виконайте спостереження осцилограми АМ-сигналу у разі зміни:

- а) частоти сигналу переносника (збільшить у два рази);
- б) частоти інформаційного сигналу (збільшить у два рази);-
- в) коефіцієнта глибини модуляції (встановіть 35 %).

5.2. Перевірте працездатність макета пристрою формування радіосигналу з амплітудною модуляцією та здійсніть його налагодження згідно з поставленою задачею. Під час налагодження макета необхідно забезпечити:

5.2.1. Нелінійний режим роботи радіоелектронного кола.

5.2.2. Розміщення спектра АМ-сигналу в частотній смузі пропускання смугового фільтра (СФ).

5.3. Дослідіть зміни форми АМ-сигналу (зміну форми АМ-сигналу спостерігати і описувати за осцилограмою і, якщо це можливо, визначати коефіцієнт глибини модуляції):

5.3.1. У разі переходу від нелінійного режиму роботи радіоелектронного кола до лінійного.

5.3.2. Виводячи верхню бічну складову спектра АМ-сигналу за межі смуги пропускання СФ (досягається збільшенням частоти сигналу переносника).

5.3.3. Виводячи нижню бічну складову спектра АМ-сигналу за межі смуги пропускання СФ (досягається зменшенням частоти сигналу переносника).

5.3.4. Виводячи обидві бічні складові спектра за межі смуги пропускання СФ (досягається збільшенням частоти інформаційного

сигналу). Експеримент рекомендується виконати тричі із збільшенням частоти інформаційного сигналу:

а) в 2 рази; б) в 10 разів; в) в 100 разів.

6. Методики, які необхідно скласти і використати під час виконання лабораторної роботи

6.1. Методика визначення частоти сигналу переносника та частоти гармонічного інформаційного сигналу, якщо смуговий фільтр (СФ) для пристрою формування радіосигналу з амплітудною модуляцією є заданим.

Порада: Врахуйте, що в макеті функцію СФ виконує коливальний контур. Структурно-функціональна схема макета під час визначення меж смуги пропускання та центральної частоти СФ наведена на рис. 5.5



Рис. 5.5. Структурно-функціональна схема макета під час визначення меж смуги пропускання та центральної частоти СФ.

6.2. Методика встановлення нелінійного режиму роботи радіоелектронного кола?

Порада: нелінійний режим роботи радіоелектронного кола за правильного вибору частоти сигналу переносника та частоти гармонічного інформаційного сигналу забезпечує отримання на виході смугового фільтра радіосигналу амплітудною модуляцією.

6.3. Методика перевірки працездатності та налагодження макета пристрою формування радіосигналу з амплітудною модуляцією.

Порада: працездатність макета можна визначати перевіркою відповідності осцилограм сигналів у контрольних точках (див. рис. 5.1) їх теоретичному обґрунтуванню.

7. Результати виконаних досліджень

Наведення результатів досліджень повинно містити:

7.1. Згідно з п. 5.1 опис змін в осцилограмі АМ-сигналу у разі зміни частоти сигналу переносника, частоти інформаційного сигналу, коефіцієнта глибини модуляції.

7.2. Згідно з п. 5.2 осцилограми в контрольних точках (див. рис. 5.1) макета пристрою формування радіосигналу та обґрунтований висновок про працездатність макета. А також значення:

а) визначених частот верхньої та нижньої границь смуги пропускання

СФ та її центральної частоти;

б) вибраних частот сигналу переносника та інформаційного (модулюючого) сигналу.

7.3. Згідно з п. 5.3 опис змін в осцилограмі АМ-сигналу у разі неправильних налаштувань пристрою формування радіосигналу з амплітудною модуляцією.

8. Висновки за результатами виконаних досліджень

Під час формулювання висновків необхідно дати відповідь на такі запитання:

8.1. Який ефект спостерігаємо на осцилограмі АМ-сигналу, коли частоти обох бічних складових його спектра виходять за межі смуги пропускання СФ?

8.2. Який ефект спостерігаємо на осцилограмі АМ-сигналу, коли верхня бічна складова його спектра виходить за межі смуги пропускання СФ?

8.3. Який ефект спостерігаємо на осцилограмі АМ-сигналу, коли нижня бічна складова його спектра виходить за межі смуги пропускання СФ?

8.4. Який ефект спостерігаємо у разі переходу від нелінійного режиму роботи радіоелектронного кола до лінійного?

9. Вказівки до звіту

9.1. **Звіт** оформлюється індивідуально кожним студентом, що виконує лабораторну роботу.

9.1.1. Звіт повинен містити такі розділи (складові частини):

- а) титульний лист;
- б) мета виконання лабораторної роботи;
- в) початкові дані (лабораторне устаткування);
- г) результати досліджень;
- д) результати обробки експериментальних даних;
- е) результати теоретичних досліджень або розрахунків;
- ж) порівняльний аналіз експериментальних та теоретичних результатів;
- з) висновки;
- и) допускаються подання в звіті основних загальних теоретичних даних по темі лабораторної роботи (л/р).

9.2. **Титульний лист** оформлюється на окремому аркуші з наданням наступних даних: Міністерство освіти і науки України; навчальний заклад; кафедра; номер групи; назва дисципліни; тема лабораторної роботи і її

порядковий номер; прозвище і підпис виконавця; прізвище керівника.

9.3. Мета виконання – в стислій формі вказуються основні кінцеві результати, які повинні набути виконавцем, як в теоретичній так і практичній фаховій підготовці після виконання л/р.

9.4. Результати експериментальних досліджень містять програму досліджень у відповідності методичним вказівкам. Порядок і методика виконання досліджень з зазначенням параметрів елементів і сигналів конкретних числових або графічних даних за процесами, що досліджувалися. Такими даними можуть бути числові значення напруг або струмів, часові діаграми напруг або струмів, спектрограми сигналів, значення початкових фаз тощо.

9.5. В обробці експериментальних даних наводяться дані, що отримують шляхом якісного аналізу або обрахунків результатів, що отримані при безпосередніх вимірювань. Ці дані отримують під час самостійної підготовки. Обробка здійснюється шляхом кількісних обрахунків експериментальних значень параметрів, або якісним графічним аналізом часових діаграм. Результати оформлюють у вигляді таблиць, графіків, часових або векторних діаграм.

9.6. Результати теоретичних досліджень або розрахунків. У відповідності до параметрів елементів пристрої, що досліджуються, виконують теоретичний розрахунок значень та форми величин і параметрів сигналів цього пристрою. Дозволяється частково теоретичні розрахунки замінювати результатами програмного моделювання з використанням відповідного пакету програм.

9.7. Порівняльний аналіз. У розділі кількісно і якісно порівнюють результати експериментальних та теоретичних досліджень. При якісному аналізі враховують відповідність форми сигналів, загального характеру поведінки сигналу, екстремальних значень параметрів тощо. В результаті порівняння необхідно вказати відповідають чи ні експериментальні результати теоретичним очікуваним даним. Якщо результати теорії і практики не співпали, необхідно визначити причину невідповідності.

9.8. Висновки. У висновках вказують:

а) конкретний об'єм експериментальних досліджень, що виконав автор звіту;

б) процент виконання необхідного об'єму досліджень (кількість пунктів згідно методичним вказівкам);

в) досягнута мета лабораторної роботи чи ні;

г) відповідає практика і теорія по дослідженням лабораторній роботі і причини невідповідності;

д) конкретні кількісні і якісні результати досліджень в інтегрованій формі;

ж) дані, щодо особливостей проведення лабораторної роботи (несправність обладнання, макетів, особливості умов проведення робіт);

з) рекомендації щодо покращення порядку, методики та умов проведення лабораторних робіт.

9.9. Звіт підписується виконавцем і підлягає індивідуальному захисту у керівника.

9.10. Звіт оформлюється на аркушах стандартного формату (А4) та друкарському або клітинному папері.

10. Список літератури

1. Волочій Б.Ю. Передавання сигналів в інформаційних системах. Част. 1. - Львів, 2005.
2. Мандзій Б.А., Желяк Р.І. Основи теорії сигналів. - Львів, НВП “Новий тезаурус”, 2001
3. Волощук Ю.І. Сигнали та процеси у радіотехніці. Част. 1. — Харків, Нац. ун-т радіоелектроніки, 2003.
4. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. — М.: Высш. шк., 1988.
5. Андреев В.С. Теория нелинейных электрических цепей. — М.: Радио и связь, 1982.

Контрольні запитання для формування висновків до роботи

1. Яким способом можна перенести спектр інформаційного сигналу в потрібний частотний діапазон?

2. Від яких параметрів АМ-сигналу залежить висота (амплітуда) бокових складових спектра цього сигналу?

3. З яких міркувань доцільно перетворювати АМ-сигнал у радіосигнал з подавленою в його спектрі несучою складовою.

4. За якою ознакою радіоелектронну схему можна зарахувати до класу нелінійних кіл?