

Міністерство освіти і науки України  
Запорізька державна інженерна академія

---



Н .І .Строїтелева

## ТЕОРІЯ СИГНАЛІВ

Методичні вказівки до виконання

лабораторних робіт та самостійної роботи студентів

*для студентів ЗДІА спеціальності «Мікро- та наноелектроніка»  
денної та заочної форм навчання*

Запоріжжя  
2015

**Міністерство освіти та науки України  
Запорізька державна інженерна академія**

## **ТЕОРІЯ СИГНАЛІВ**

**Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт  
та самостійної роботи студентів**

*для студентів ЗДІА спеціальності «Мікро- та наноелектроніка»  
денної та заочної форм навчання*

*Рекомендовано до видання  
на засіданні кафедри МЕІС,  
протокол № 20 от 25.05.15*

**Запоріжжя, 2015р.**

**Теорія сигналів.** Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт та самостійної роботи студентів спеціальності “Мікро- та наноелектроніка” / Укл.: Строїтелева Н.І.– Запоріжжя: ЗДІА, 2015. – 40 с.

Відповідальний за видання: **зав.кафедрою МЕІС**

**доцент Верьовкін Л.Л.**

## Зміст

|   |    |
|---|----|
| ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1.                                 |    |
| Дослідження амплітудної модуляції безперервного сигналу | 4  |
| ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2.                                 |    |
| Дослідження частотної модуляції безперервного сигналу   | 9  |
| ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3.                                 |    |
| Дослідження фазової модуляції безперервного сигналу     | 14 |
| ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4.                                 |    |
| Кодування інформації .....                              | 19 |
| ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5..                                |    |
| Дослідження амплітудно- імпульсної модуляції            | 23 |
| ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6.                                 |    |
| Дослідження дельта-модуляції                            | 28 |
| ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7.                                  |    |
| Дослідження різнице-дискретної модуляції                | 33 |
| Перелік питань для самоконтроля знань студентів         | 38 |
| Список літератури                                       | 40 |

# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

## Дослідження амплітудної модуляції безперервного сигналу

**Мета роботи** - дослідити особливості спостереження амплітудної модуляції, навчитися визначати основні параметри амплітудної модуляції.

### Короткі теоретичні відомості

**Модуляція** – процес зміни одного або декількох параметрів високочастотного несучого коливання по закону низькочастотного інформаційного сигналу.

Модулюючий сигнал впливає на той чи інший параметр несучого коливання (амплітуду, частоту або фазу), змінюючи його таким чином, щоб той повністю відображав інформаційну сутність модулюючого сигналу. Якщо інформаційні сигнали безперервні, а коливання синусоподібні, то в залежності від модульованого параметра розрізняють амплітудну, частотну та фазову модуляцію.

Якщо у високочастотному коливанні

$$U = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi) \quad (1.1)$$

змінюється амплітуда, то модуляція називається **амплітудною**.

Модулюючий сигнал впливає на амплітуду носія таким чином, що:

$$U_{ам} = U_0 \left( 1 + \frac{\Delta U(t)}{U_0} \right) \cos(\omega_0 t + \varphi) \quad (1.2)$$

Якщо модулюючий сигнал змінюється за аналогічним законом, але з нижчою частотою  $\Omega$ , то:

$$\Delta U_m = \Delta U \cos \Omega t \quad (1.3)$$

$$U_{ам} = U_0 \left( 1 + \frac{\Delta U}{U_0} \cos \Omega t \right) \cos(\omega_0 t + \varphi) \quad (1.4)$$

$$U = U_0 \cdot \left( 1 + \frac{\Delta U}{U_0} \cos \Omega t \right) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

Величину

$$m_a = \frac{\Delta U}{U_0}$$

$$\Delta U \quad (1.5)$$



називають *глибиною амплітудної модуляції*.

З урахуванням (1.5) амплітудно модульований сигнал (1.4) можна описати так:

$$U_{ам} = U_0 \cdot (1 + m_a \cos \Omega t) \cdot \cos \omega t = U_0 \cos \omega t + U_0 m_a \cdot \cos \Omega t \cdot \cos \omega t =$$

$$= U_0 \cos \omega t + \frac{U_0 m_a}{2} \cos(\omega - \Omega) t + \frac{U_0 m_a}{2} \cos(\omega + \Omega) t \quad (1.6)$$

Для спрощення у формулі (1.6) фаза сигналу  $\varphi$  дорівнює нулю. Таким чином модульовані коливання можуть бути представлені у вигляді спектра, який складається з трьох складових: основної з частотою  $\omega$  та амплітудою  $U_0$ , а також двох бічних із частотами  $(\omega - \Omega)$  та  $(\omega + \Omega)$  і амплітудою  $\frac{U_0 m_a}{2}$ .

Схеми модулятора та демодулятора наведені на рисунку 1.1 (в, г). При відсутності напруг  $U_\omega$  та  $U_\Omega$  крізь коливальне коло модулятора тече постійний струм. За наявності цих напруг струм починає змінюватися разом з напругами, причому базовий струм визначається сумою складових обох частот. Для фільтрації непотрібних частот до колекторного ланцюга вмикають коливальне коло, що виконує функцію навантаження та має великий опір на резонансній частоті, що дорівнює частоті носія. Смуга пропускання контуру повинна бути не менш як удвічі ширшою за найбільшу з частот модулюючої напруги. Процес детектування складається з випрямлення амплітудно-модульованих коливань, в результаті якого утворюються імпульси частоти-носія з амплітудою, що відбиває форму коливання початкового повідомлення. Найбільш простим фільтром нижніх частот є конденсатор, який включається паралельно навантаженню.

Оскільки у реальному вигляді модулюючий сигнал відрізняється від синусоподібної форми (інакше повідомлення не несе інформації), то виникає не дві бічні частоти, а їх спектр (рис. 1.1, д).

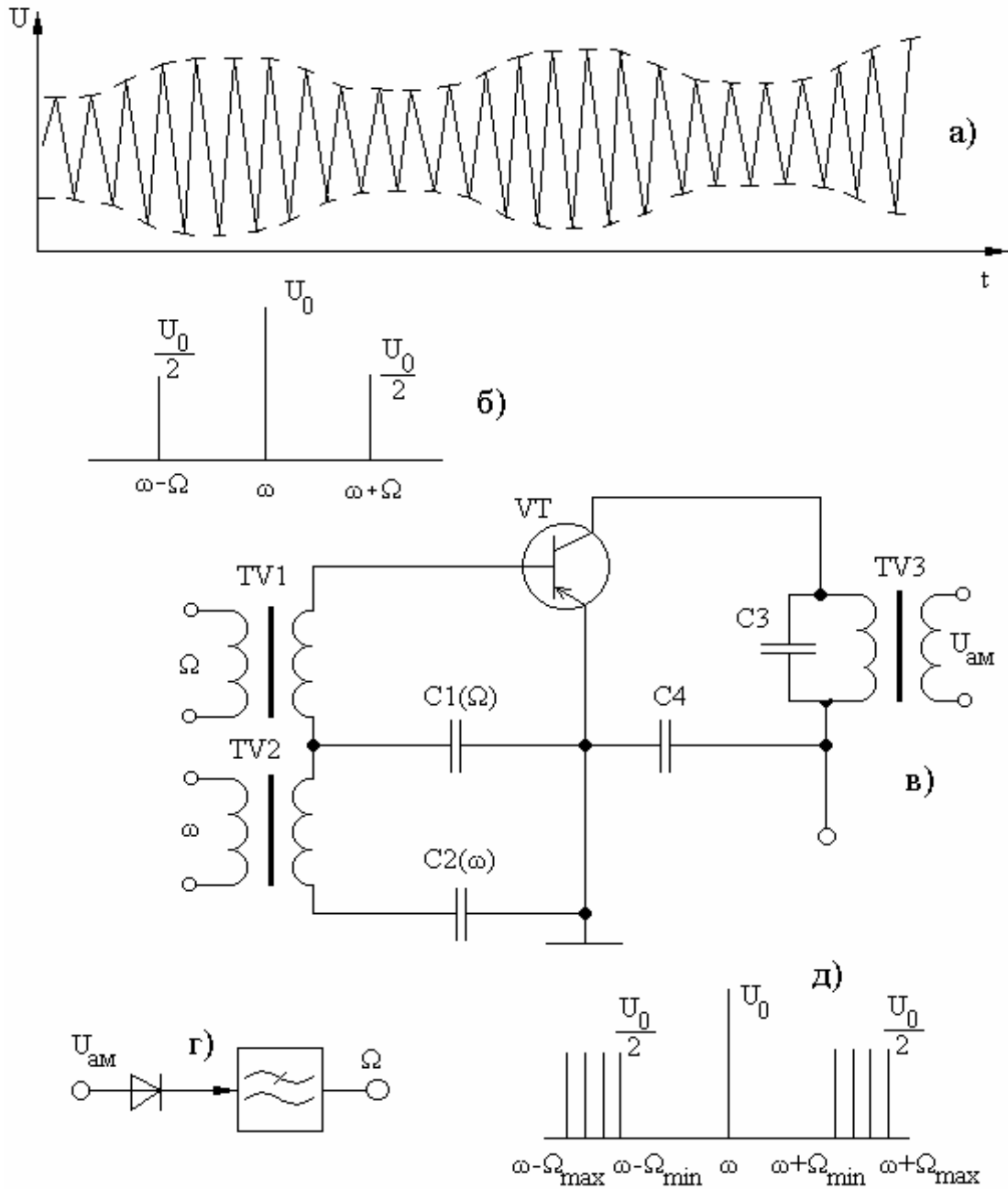
Переваги амплітудної модуляції:

- смуги частот, які займає амплітудно-модульований сигнал досить вузькі, тобто займають менший частотний діапазон;
- реалізація пристроїв нескладна.





Недолік амплітудної модуляції: середня потужність сигналу набагато менша за пікову, тобто апаратура використовується не на повну потужність.



- а – вигляд амплітудно-модульованих коливань;
- б – амплітудний спектр; в - схема модулятора;
- г -схема демодулятора, д - реальний спектр частот

Рисунок 1.1 – Схема методу амплітудної модуляції

## Порядок виконання роботи

320

1. На лабораторному стенді зібрати схему, що зображена на рис.1.2:

А) підключити осцилограф (СН1) до комплексного аудіогенератора до виходу ВЧ.

Б) Підключити вихід генератора сигналів до зовнішнього виходу АМ – ЧМ комплексного аудіо генератора та з'єднати генератор з заземленням (вхід заземлення зображений на комплексному аудіо генераторі символом  $\perp$ ).

В) На генераторі сигналів спеціальної форми виставити частоту  $5 \cdot 10^2$  Гц та напругу 2 В. Виставити форму сигналу згідно з варіантом таблиці 1.1.

Г) На перемикачі робочого стану вибрати “Внешний Сигнал Амплитудной Модуляции”

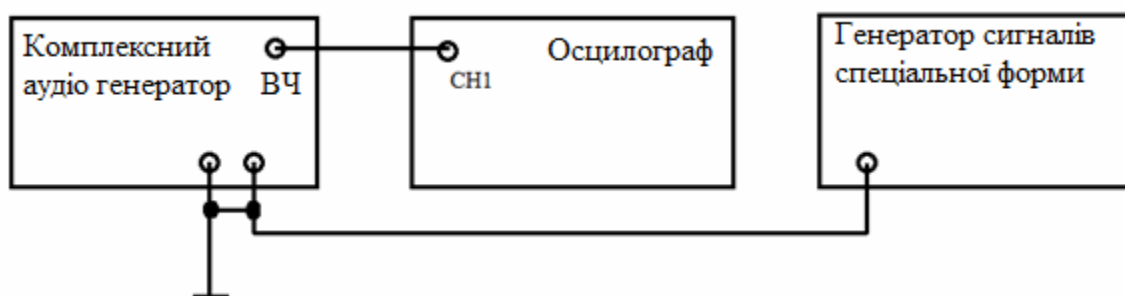


Рис. 1.2 - Схема дослідження амплітудної модуляції

2. Для отримання модульованого сигналу на комплексному аудіогенераторі перемикач “Выбор ВЧ полос” виставити діапазон 4 та плавним регулюванням отримати на осцилографі амплітудну модуляцію в діапазоні від 3.7 МГц до 3.9 МГц.

3. Замалювати отриману осцилограму .

4. По отриманій осцилограмі розрахувати глибину амплітудної модуляції за формулою

$$m = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}} \quad (1.7)$$

5. На генераторі сингалів спеціальної форми змінити напругу з 2В до 1В. Розрахувати глибину амплітудної модуляції для значення 1В за формулою (1.7).
6. Порівняти отриманні значення глибини амплітудної модуляції при різних значеннях напруги та проаналізувати отриманні результати.

Таблиця 1.1 – Варіанти завдання

| №           | Варіант№1      | Варіант№2   | Варіант №3         | Варіант №4    |
|-------------|----------------|-------------|--------------------|---------------|
| Тип сигналу | Синусоїдальний | Прямокутний | Лінійно-зростаючий | Пилкоподібний |

### Контрольні питання

1. Основні параметри гармонійних коливань.
2. Який вигляд мають амплітудно-модульовані коливання?
3. Які переваги та недоліки амплітудної модуляції?
4. Що таке глибина амплітудної модуляції?
5. Що таке частотний спектр та бокові частоти модуляції?
6. Схема простого модулятора амплітуди.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

### Дослідження частотної модуляції безперервного сигналу

**Мета роботи** - дослідити частотну модуляцію і вивчити основні параметри цієї модуляції.

#### Короткі теоретичні відомості

При *частотній модуляції* частоту синусоподібних коливань змінюють в часі відносно його центрального значення  $\omega_0$  за законом модулюючого сигналу, амплітуда коливань при цьому лишається незмінною:

$$\omega = \omega_0 + \Delta\omega(t) . \quad (2.1)$$

Найбільше відхилення  $\omega$  від центральної частоти називається *девіацією*.

При частотній модуляції частота змінюється відповідно до закону зміни переданого звукового сигналу:

$$\omega(t) = \omega_0 + \Delta\omega \sin \Omega t , \quad (2.2)$$

де  $\omega_0$  - частота звукового модулюючого коливання;

$\Delta\omega$  - максимальне значення відхилення частоти від її середнього значення, назване *девіацією частоти*, що пропорційна силі звукового сигналу (амплітуді напруги, що модулює):

$$\Delta\omega = k U_{\Omega} \quad (2.3)$$

$k$  – коефіцієнт пропорційності.

Якщо:

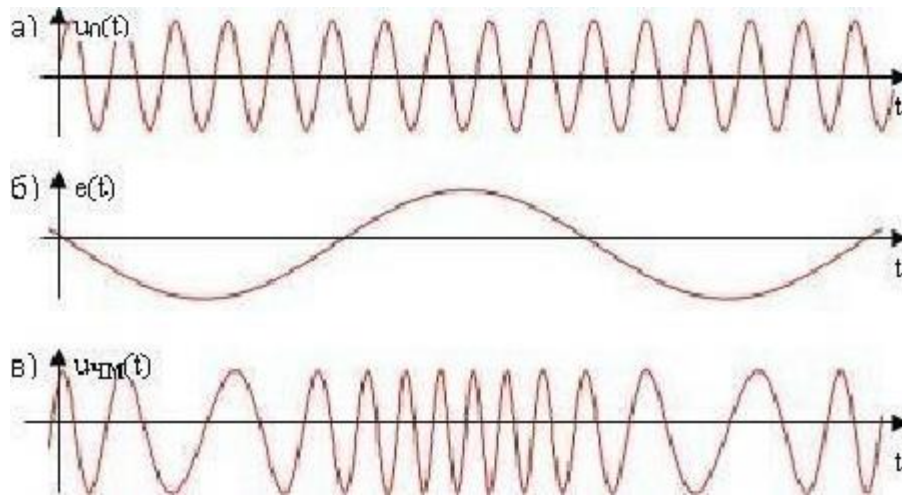
$$\Delta\omega(t) = \omega_0 m_f \cos \Omega t , \quad (2.4)$$

то максимальне значення  $\Delta\omega(t)$  буде при  $\cos \omega t = 1$ .

Відношення

$$m_f = \frac{\Delta}{\omega} \quad (2.5)$$

має назву *індексу частотної модуляції*.



а – несучий сигнал; б- звуковий сигнал, що модулюється;  
в – частотно – промодульований сигнал

Рисунок 2.1 – Схема методу частотної модуляції

Розглядаючи випадок, коли  $m_f \ll 1$ , коливання всіх бокових частот не враховують, маємо наступний опис сигнал у вигляді:

$$U_{чм} = U_0 \cos \omega_0 t + \frac{U_0 m_f}{2} \cos(\omega_0 - \Omega) t + \frac{U_0 m_f}{2} \cos(\omega_0 + \Omega) t \quad (2.6)$$

Таку частотну модуляцію називають *вузькосмуговою*.

Якщо  $m_f > 1$ , то частотно-модульований сигнал має нескінченну кількість бічних складових спектра, амплітуда яких зменшується при віддаленні від  $\omega_0$ .

На практиці ширину спектра обмежують частотами складових, амплітуди яких не менші за  $0,1U_0$ . Тоді приблизна ширина спектра складає:

$$\Delta\omega = 2\Omega \cdot (m + 1) . \quad (2.7)$$

Переваги частотної модуляції – це висока заводозахищеність та проста реалізації. Недолік частотної модуляції: широкий частотний спектр при інтенсивному модулюючому сигналі. Частотна модуляція застосовується для високоякісної передачі звукового (низькочастотного) сигналу у радіомовленні (у діапазоні УКХ), для звукового супроводу телевізійних програм, передачі сигналів

кольоровості в телевізійному стандарті, відеозапису на магнітну стрічку, музичних синтезаторах.

### Лабораторний макет для експериментального дослідження

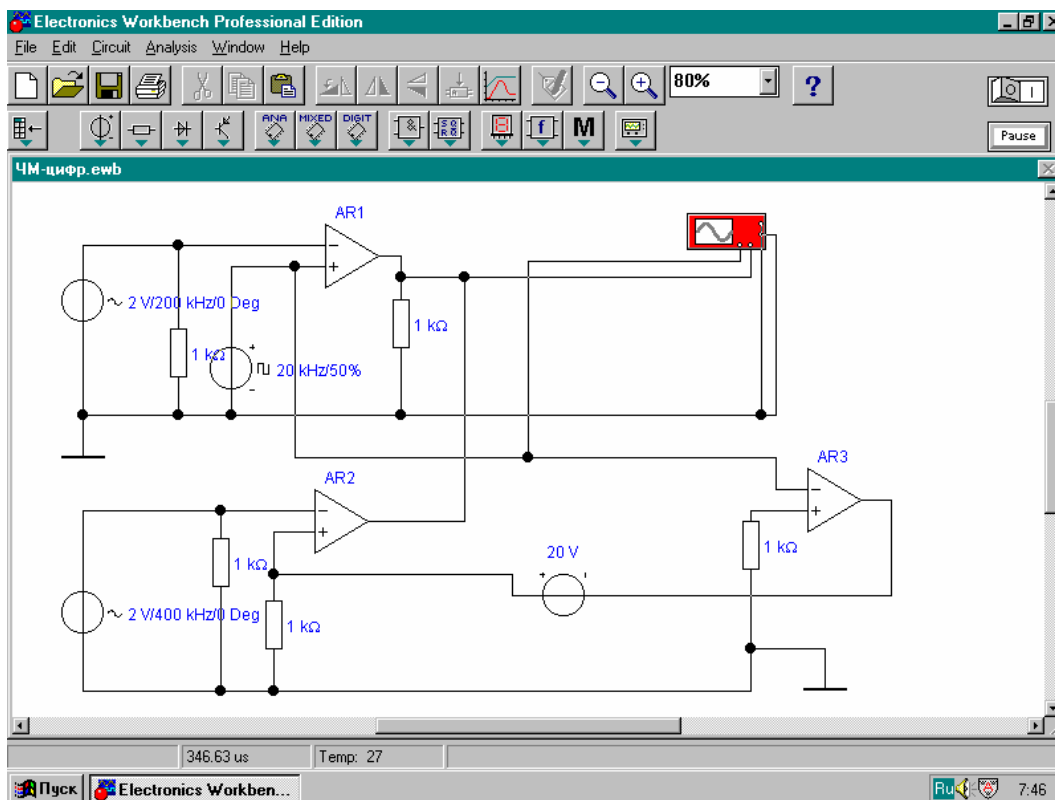


Рис.2.2 - Схема для дослідження частотної модуляції

Модуляція в схемі здійснюється за допомогою двох електронних ключів, у якості яких використовуються операційні підсилювачі (ОП) AR1 і AR2 (рис.2.2). На один вхід першого ОУ подається сигнал несучих коливань із частотою 200 кГц, а на іншій - цифровий із частотою 20 кГц. На один вхід другого ОП подається сигнал несучих коливань із частотою 400 кГц, а на іншій - той же цифровий сигнал із частотою 20 кГц. Ключі ОП відкриваються поперемінно, що досягається за допомогою третього ОП - AR3, що повертає фазу модулюючого сигналу на  $180^{\circ}$ . У результаті при передачі «1» частота промодульованого сигналу дорівнює 400 кГц, а при передачі «0» - 200 кГц, що підтверджується

осцилограмами, наведеними на рис.2. 3 (зверху цифровий сигнал модуляції, знизу – сигнал після частотної модуляції).

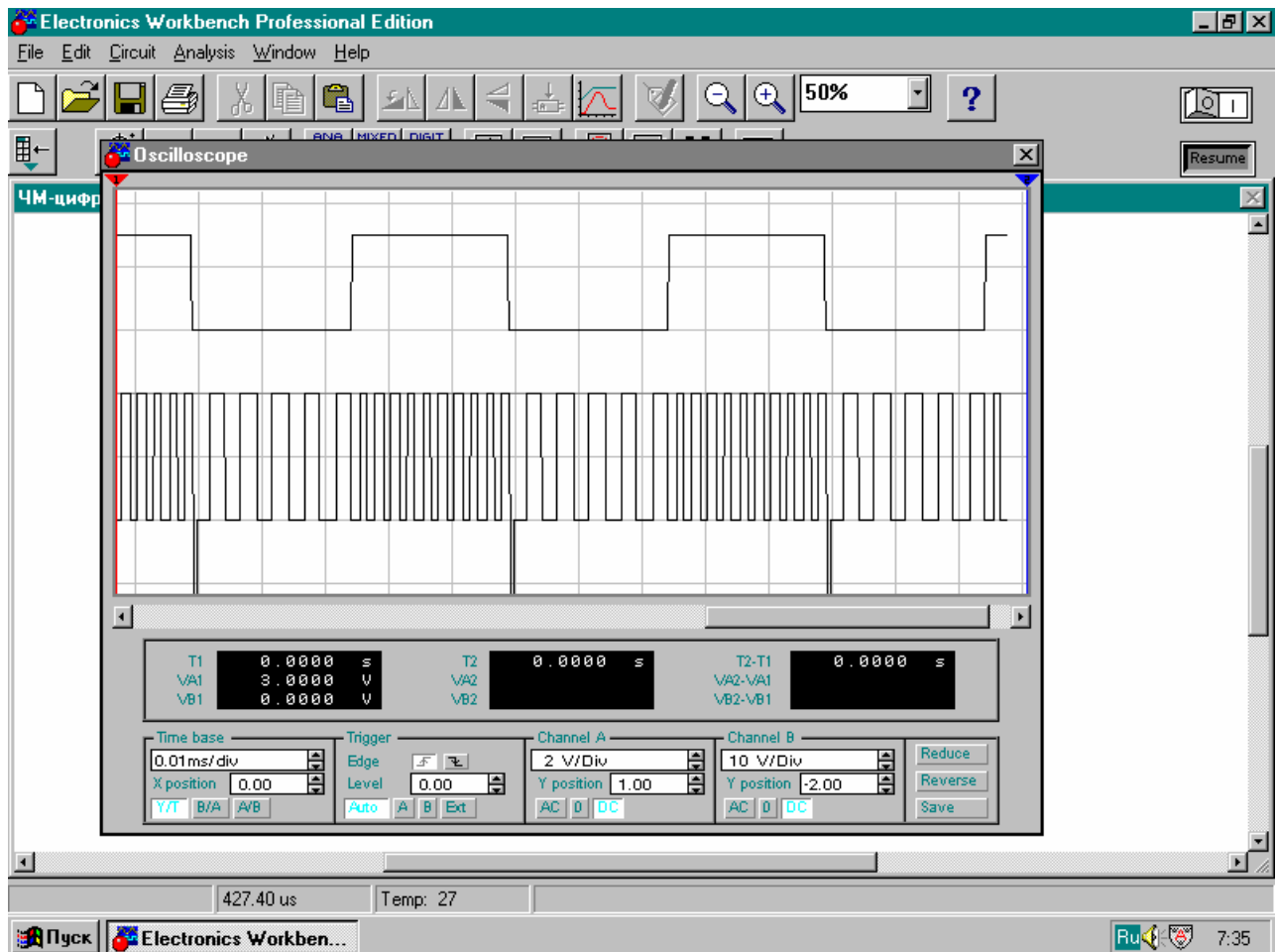


Рис.2.3 - Осцилограма частотно- модульованого сигналу

### Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему згідно з рис. 2.2 (в якості ОП AR1, AR2, AR3 використовуємо ідеальні).
2. Увімкніть осцилограф на схемі і налаштуйте його згідно з рис.2.3. Зупиніть роботу середовища «Electronics Workbench» та замалюйте у звіт отриманий на осцилографі сигнал.
3. Змініть частоту на вході першого ОП AR1 згідно з варіантом (табл.2.1). Отримайте на осцилографі змінений сигнал та замалюйте його у звіт.

4. Порівняйте між собою два отримані сигнали, зробіть висновки.

Таблиця 2.1 – Варіанти завдань до роботи

| Варіант № | Частота, кГц |    | Варіант № | Частота, кГц |
|-----------|--------------|----|-----------|--------------|
| 1         | 100          | 11 | 110       |              |
| 2         | 120          | 12 | 130       |              |
| 3         | 140          | 13 | 150       |              |
| 4         | 160          | 14 | 170       |              |
| 5         | 180          | 15 | 190       |              |
| 6         | 220          | 16 | 290       |              |
| 7         | 240          | 17 | 270       |              |
| 8         | 260          | 18 | 210       |              |
| 9         | 280          | 19 | 230       |              |
| 10        | 300          | 20 | 250       |              |

### Контрольні питання

1. У чому полягає метод частотної модуляції?
2. Який вид має частотно-модульований сигнал?
3. Що таке девіація частоти?
4. Які переваги та недоліки частотної модуляції?
5. Яку модуляцію називають вузькосмуговою?



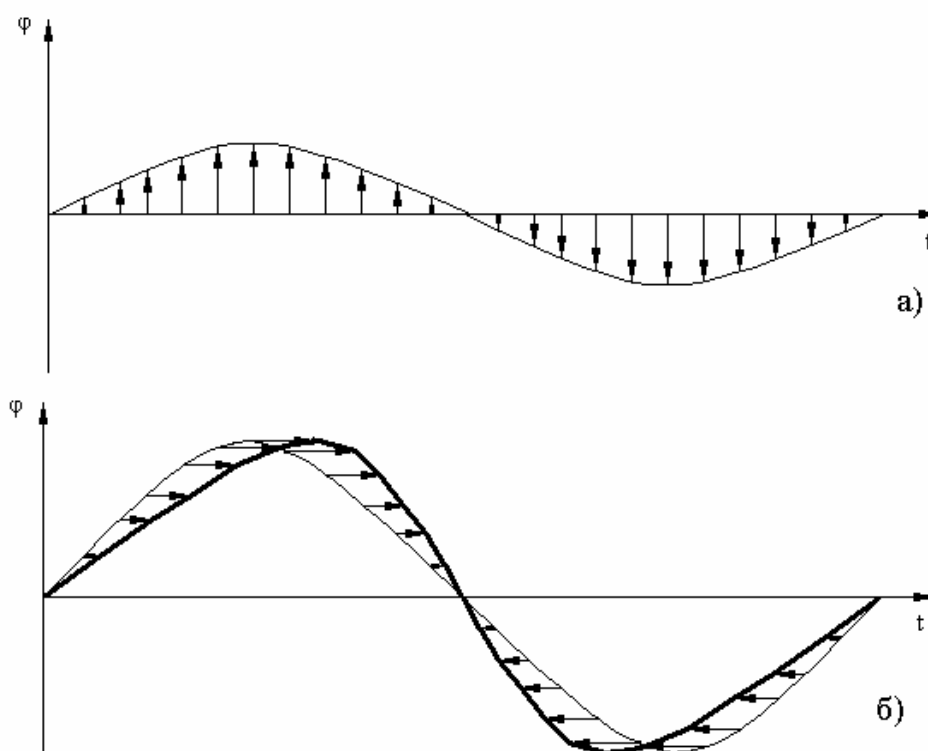
## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

### Дослідження фазової модуляції безперервного сигналу

**Мета роботи** - дослідити і вивчити особливості фазової модуляції, визначити її зв'язок із частотною модуляцією.

#### Короткі теоретичні відомості

При фазовій модуляції повідомлення, що передається, змінює значення фази згідно з сигналом – носієм (рис. 3.1).



а – модулюючий сигнал;

б – модульований сигнал;

Рисунок 3.1 – Вигляд фазової модуляції сигналу

При фазовій модуляції фаза колибаний змінюється в залежності від звукового сигналу, що передається, по закону:

$$\varphi = \omega_0 t + \Delta\varphi \sin \Omega t + \varphi_0, \quad (3.1)$$

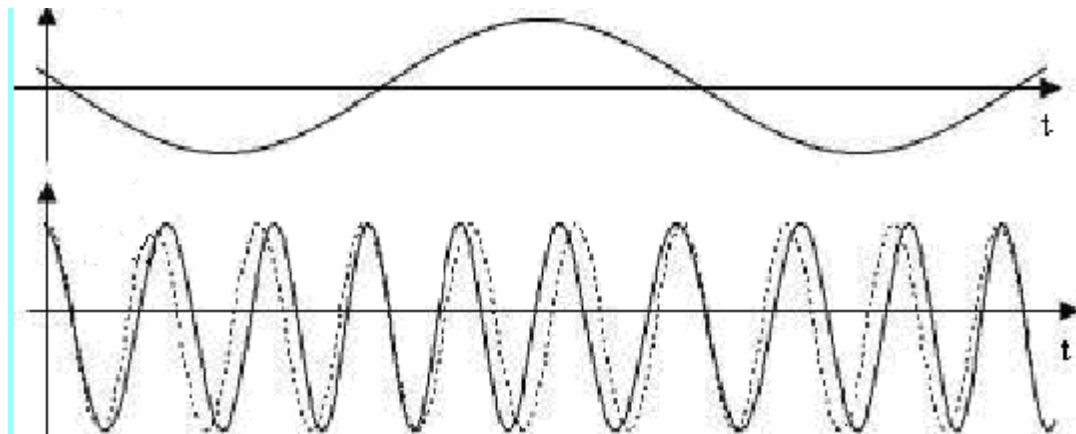
де  $\Delta\varphi = \omega_0 t + \varphi_0$  - величина максимального відхилення фази коливань від початкового значення, що має назву *індекс модуляції* і є прямо пропорційною силі звукового сигналу (амплітуді напруги, що модулює) :

$$\Delta\varphi = k U_{\Omega} \quad (3.2)$$

де  $k$  - коефіцієнт пропорційності.

З виразу (3.1) бачимо, що фазо – модульовані коливання мають 3 складові :

- перша змінюється з постійною швидкістю  $\omega_0$ ,
- друга змінюється по синусоїдальному закону,
- третя має постійну складову  $\varphi_0$ .



а – сигнал, що модулює ; б – несуче коливання (пунктир) та фазово-модельоване коливання (сплошна лінія)

Рисунок 3. 2 -- Фазова модуляція

Рівняння фазо-модульованого сигналу

$$U_{\varphi_m} = U_0 \cos \left( \omega_0 t + \frac{m_{\varphi_0}}{\Omega} \sin \Omega t \right) \quad (3.3)$$

практично співпадає з рівнянням для частотно-модульованого коливання, з урахуванням того, що індекс фазової модуляції

$$m = \Delta\varphi. \quad (3.4)$$

У випадку фазової модуляції змінюється не лише фаза, але й миттєва частота. Девіація кутової частоти  $\Delta\omega$  пов'язана з девіацією фази  $\Delta\varphi$  співвідношенням

$$\Delta\omega = \Omega \cdot \Delta\varphi . \quad (3.3)$$

Смуга частот даного сигналу:

$$\Delta f_{\text{фм}} = 2 f_{\Omega} (m_{\text{ф}} + 1) . \quad (3.4)$$

Якщо  $m_{\text{ф}} \ll 1$ , то спектр сигналу складається з частоти сигналу - носія та двох бічних частот. У випадку  $m_{\text{ф}} \gg 1$  спектри фазової та частотної модуляції схожі з урахуванням того, що бічні частоти не залежать від частоти повідомлення. Модулятори для фазової модуляції аналогічні модуляторам для частотної модуляції.

### Лабораторний макет для експериментального дослідження

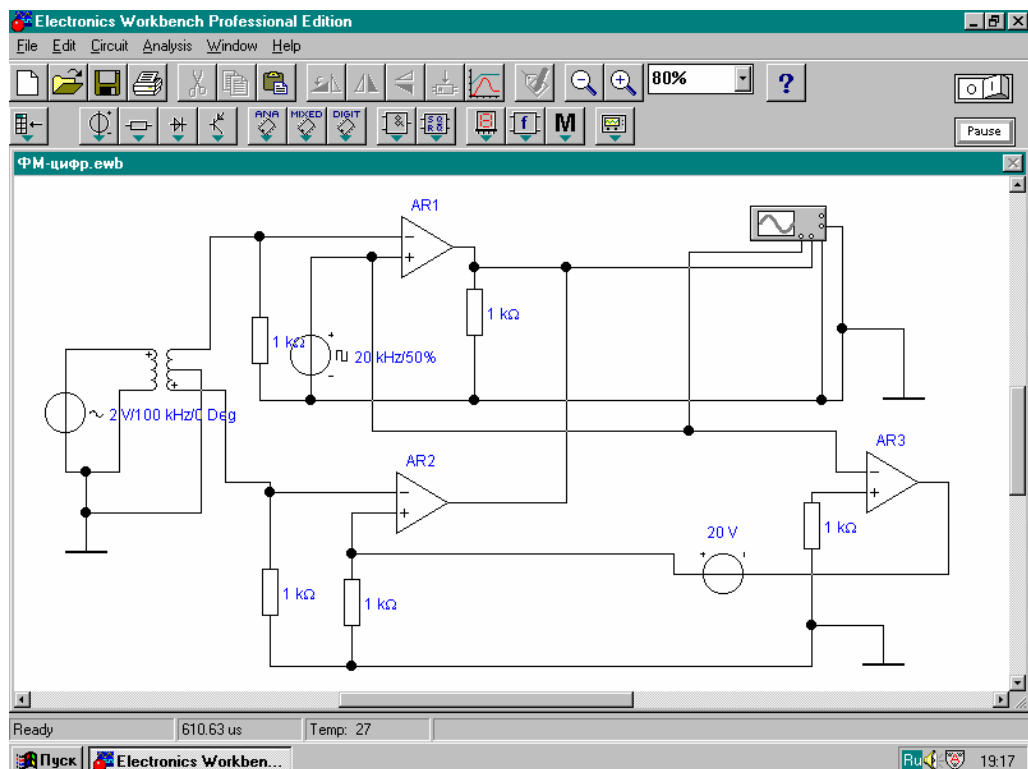


Рисунок 3.3 – Схема фазового модулятора цифрових повідомлень

Модуляція в схемі (рис.3.3) здійснюється за допомогою двох електронних ключів, у якості яких використовуються операційні підсилювачі (ОП) AR1 і AR2. На перший вхід обох ОП подається сигнал несучих коливань із однією й тією ж частотою 100 кГц., але з різними початковими фазами, що відрізняються на  $180^\circ$ , що досягається за допомогою високочастотного трансформатора. На другий вхід обох ОП подається цифровий сигнал, що модулює, із частотою 20 кГц. Ключі (ОП) відкриваються поперемінно, що досягається за допомогою третього ОП - AR3, що повертає фазу сигналу, який модулює, на  $180^\circ$ . У результаті при переході від «1» до «0» і назад відбувається стрибок фази сигналу, що модулюється, на  $180^\circ$ , що підтверджується осцилограмами, наведеними на рис.3.4 (зверху цифровий сигнал модуляції, знизу - несуча після фазової модуляції).

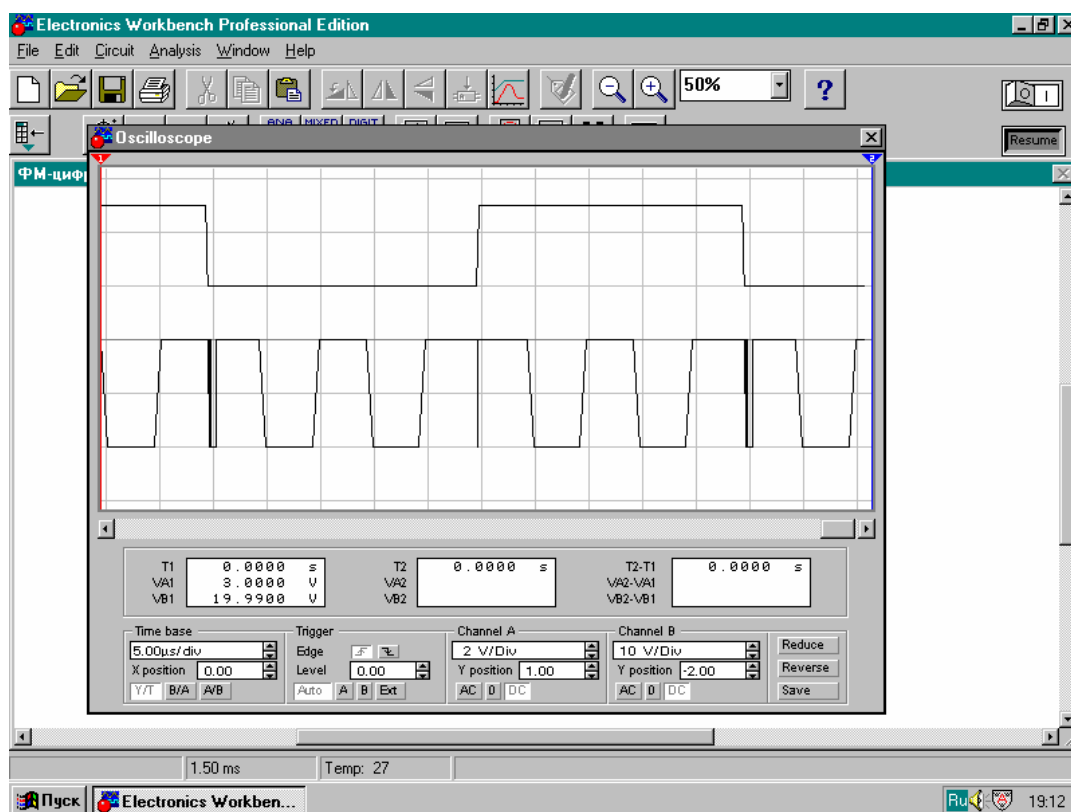


Рисунок 3.4 – Результат фазової модуляції несучого сигналу

### Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему згідно з рис. 3.3 (в якості ОП AR1, AR2, AR3 використовують ідеальні).
2. Увімкніть осцилограф на схемі і налаштуйте його згідно з рис.3.3. Зупиніть роботу середовища «Electronics Workbench» та замалюйте у звіт отриманий на осцилографі сигнал.
3. Змініть частоту та амплітуду сигналу модуляції та несучого сигналу, встановіть їх вплив на осцилограму фазо-модульованого сигналу згідно з варіантом (табл.3.1). Отримайте на осцилографі змінений сигнал та замалюйте його у звіт.
4. Порівняйте між собою два отримані сигнали, зробіть висновки.

Таблиця 3.1 – Варіанти завдань до роботи

| Варіант № | Частота, кГц |    | Варіант № | Частота, кГц |
|-----------|--------------|----|-----------|--------------|
| 1         | 110          | 11 | 100       |              |
| 2         | 130          | 12 | 120       |              |
| 3         | 150          | 13 | 140       |              |
| 4         | 170          | 14 | 160       |              |
| 5         | 190          | 15 | 180       |              |
| 6         | 290          | 16 | 220       |              |
| 7         | 270          | 17 | 240       |              |
| 8         | 210          | 18 | 260       |              |
| 9         | 230          | 19 | 280       |              |
| 10        | 250          | 20 | 300       |              |

### Контрольні питання

1. У чому полягає метод фазової модуляції?
2. Що таке девіація частоти при фазовій модуляції?
3. Які переваги та недоліки фазової модуляції?
4. Що спільного між частотною та фазовою модуляціями? Чому?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

### Кодування інформації

**Мета роботи:** вивчити принципи двійкового й шістнадцятиричного кодування, навчитися визначати скан- коди клавіш клавіатури.

### Теоретичні відомості

*Двійковий код* — це спосіб подання даних в одному розряді у вигляді комбінації двох знаків, що зазвичай позначаються цифрами 0 і 1. Розряд у цьому випадку називається двійковим розрядом. У випадку позначення цифрами «0» і «1», можливі стани двійкового розряду наділяються якісним співвідношенням «1» > «0» і кількісними значеннями чисел «0» і «1». Двійкова система використовується в цифрових пристроях, оскільки є найбільш простою і відповідає наступним вимогам: чим менше значень існує в системі, тим простіше виготовити окремі елементи, що оперують цими значеннями. Зокрема, дві цифри двійкової системи числення можуть бути легко представлені багатьма фізичними явищами: є струм (струм більше граничної величини) — немає струму (струм менше граничної величини), індукція магнітного поля більше граничної величини чи ні (індукція магнітного поля менше граничної величини) і т.д.

У цифровій електроніці одному двійковому розряду у двійковій системі числення відповідає один двійковий розряд двійкового регістра, тобто двійковий тригер з двома станами (0 та 1).

Припустимо, що маємо двійкове число  $110001_2$ . Для перекладу числа в десяткову систему числення запишемо його як суму по розрядах у такий спосіб:

$$1 * 2^5 + 1 * 2^4 + 0 * 2^3 + 0 * 2^2 + 0 * 2^1 + 1 * 2^0 = 49$$

Те ж саме запишемо трохи інакше:

$$1 * 32 + 1 * 16 + 0 * 8 + 0 * 4 + 0 * 2 + 1 * 1 = 49$$

Можна записати це у вигляді таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Переклад двійкового числа у десятирічну систему числення

|     |     |     |    |     |     |    |    |    |    |
|-----|-----|-----|----|-----|-----|----|----|----|----|
| 512 | 256 | 128 | 64 | 32  | 16  | 8  | 4  | 2  | 1  |
|     |     |     |    | 1   | 1   | 0  | 0  | 0  | 1  |
|     |     |     |    | +32 | +16 | +0 | +0 | +0 | +1 |

Рухайтеся від праворуч до ліворуч. Під кожною двійковою одиницею напишіть її еквівалент у рядку нижче. Складіть десяткові числа, що вийшли. Таким чином, двійкове число  $110001_2$  рівнозначно десятковому  $49_{10}$ .

**Шістнадцятирічна система числення** (шістнадцятирічні числа) — це позиційна система числення по підставі 16. Звичайно в якості шістнадцятирічних цифр використовуються десяткові цифри від 0 до 9 і латинські букви від А до F для позначення цифр від  $10_{10}$  до  $15_{10}$ , тобто (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, А, В, С, D, E, F). Ця система числення широко використовується в низькорівневому програмуванні й комп'ютерній документації, оскільки в сучасних комп'ютерах мінімальною одиницею пам'яті є 8-бітний байт, значення якого зручно записувати двома шістнадцятирічними цифрами.

Для перекладу шістнадцятирічного числа в десяткове необхідно це число представити у вигляді суми добутків ступенів по підставі шістнадцятирічної системи числення на відповідні цифри в розрядах шістнадцятирічного числа.

Наприклад, потрібно перевести шістнадцятирічне число  $5A3$  у десяткове. У цьому числі 3 цифри. Відповідно до вищевказаного правила представимо його у вигляді суми ступенів з підставою 16:

$$\begin{aligned}
 5A3_{16} &= 3 \cdot 16^0 + 10 \cdot 16^1 + 5 \cdot 16^2 = \\
 &= 3 \cdot 1 + 10 \cdot 16 + 5 \cdot 256 = 3 + 160 + 1280 = 1443_{10}.
 \end{aligned}$$

Клавіатура — один з найважливіших пристроїв комп'ютера, що використовується для уведення в систему команд і даних. Кожна клавіша на клавіатурі має свій код, представлений у шістнадцятирічній системі числення й називаний

**скан-кодом.** При натисканні клавіші процесор, що убудований у клавіатуру, визначає координати замкнутого перемикача в матриці, потім він передає на системну плату послідовний пакет даних, що утримує скан-код натиснутої клавіші. Контролер клавіатури перетворює поточний скан-код в один з передбачених у системі скан-кодів і направляє його в головний процесор комп'ютера. Іноді потрібно знати ці скан-коди, особливо при пошуку несправностей у клавіатурі, тобто ідентифікувати конкретну клавішу можна по її скан-коду. Знаючи скан-код несправної клавіші, за допомогою таблиці скан- кодів можна визначити, яка клавіша вийшла з ладу або має потребу в чищенні. Після того як контролер клавіатури в системі одержить скан-коди, що є згенерованими клавіатурою, і передасть їх на головний процесор, операційна система перетворить коди у відповідні алфавітно-цифрові символи.

### **Порядок виконання роботи**

1. Підключити клавіатуру до лабораторного стенда. Підключити осцилограф до стенда, прийняти верхній сигнал як інформаційний канал, нижній – як імпульси від тактового генератора.
  2. Включити стенд і осцилограф. Нажати на будь-яку клавішу на клавіатурі й не відпускати її до моменту зняття результатів з екрана осцилографа.
  3. Налаштувати зображення на осцилографі таким чином, щоб було добре видно тактові імпульси на одному каналі й інформаційні імпульси на іншому каналі. Замалювати у звіт тактовий і інформаційний імпульси.
  4. Виключити осцилограф і стенд.
  5. Зіставити сигнали інформаційні й тактові імпульси й обчислити двійковий код сигналу.
  6. Перевести двійковий код у шістнадцятирічну систему числення.
- Увага!** Читати двійковий код по імпульсах треба праворуч ліворуч, тому що генератор видає цифри коду у зворотній послідовності. Наявність імпульсу означає одиницю в коді, а відсутність імпульсу - нуль.



### **Контрольні питання**

1. Переклад числа із двійкової системи счислення у десятирічну систему счислення.
2. Переклад числа із десятирічної системи счислення у двійкову систему счислення.
3. Переклад числа із десятирічної системи счислення у шістнадцятирічну м систему счислення.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

### Дослідження амплітудно- імпульсної модуляції

**Мета роботи** - вивчити особливості і дослідити утворення амплітудно- імпульсної модуляції.

#### Короткі теоретичні відомості

Для дискретних сигналів найбільш поширеними є амплітудноімпульсна, широтноімпульсна, фазоімпульсна, частотно-імпульсна, кодоімпульсна та дельта- модуляції. У відповідності з параметрами, які характеризують імпульсну послідовність, розрізняють чотири основних види імпульсної модуляції: амплітудно-імпульсну, частотно-імпульсну, фазо-імпульсну, широтно-імпульсну.

Додатково використовуються кодово-імпульсна, дельта-модуляція і різнице-дискретна модуляція.

Часові діаграми сигналів для основних методів модуляції наведені на рис. 5.1. Принцип дії дискретного каналу з *амплітудно- імпульсною модуляцією* подано на рис. 5.2.

Передавальна частина каналу складається з генератора, модулятора та фільтра. Основними вимогами до генератора частоти-носія є стабільність частоти і вихідного рівня. Для виконання цих вимог доцільно використовувати інтегральні генератори з кварцовими резонаторами. У приймальній частині системи модульовані сигнали змінного струму, що прийшли з лінії, розподіляються по каналах за допомогою фільтрів, після чого проходить звичайний процес демодуляції, який не відрізняється від відповідного неперервного процесу. Часові діаграми подані на рисунку 5.2,в.

Для тонального телеграфування використовуються канали зі смугою частот (300 - 3400) Гц. Для забезпечення мінімального впливу між каналами, зумовленого нелінійними спотвореннями другого порядку, що викликані нелі-

нійностями каналу, частоти-носії повинні бути непарно кратні певній частоті, прийнятій за основу:

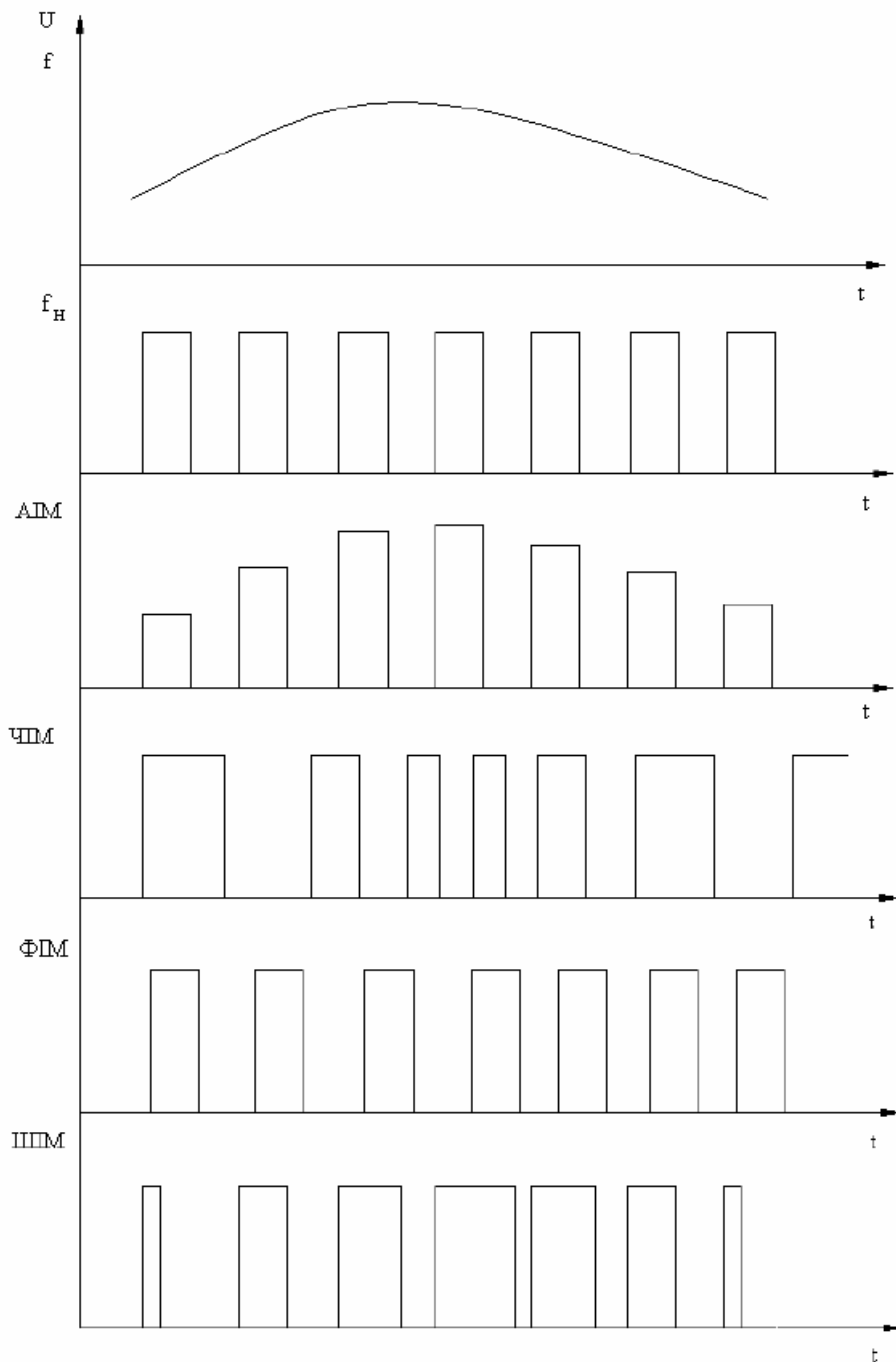
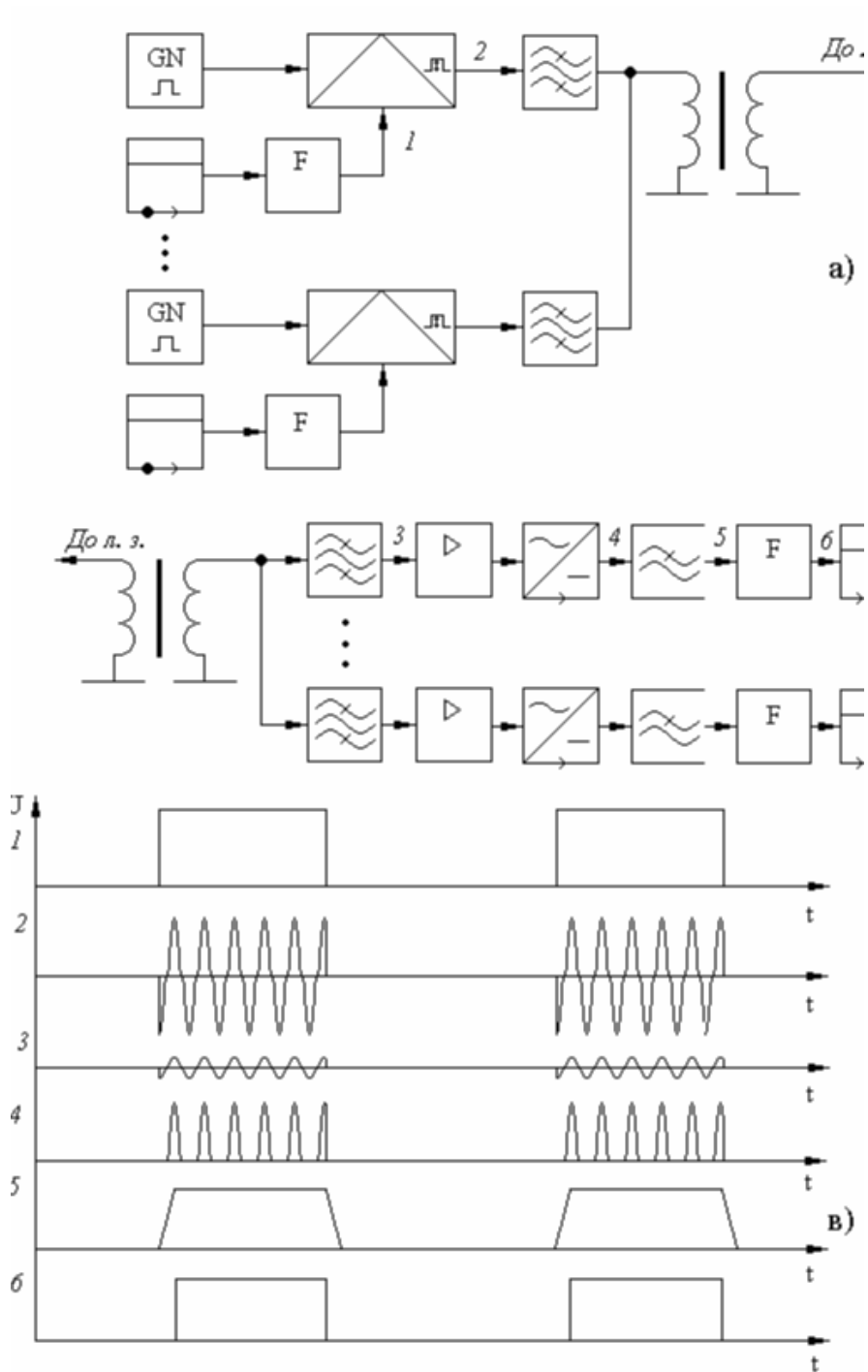


Рисунок 5.1 – Вигляд сигналу в залежності від виду імпульсної модуляції

$$f_{n \text{ нос}} = (2k + 1)f_0, \quad (5.1)$$

де  $k = 1, 2, 3, \dots$

$$f_{n \text{ нос}} - f_{(n-1) \text{ нос}} = 2f_0. \quad (5.2)$$



а – передавач; б – приймач; в – часові діаграми

Рисунок 5.2 – Багатоканальна система з амплітудно-імпульсною модуляцією

Для амплітудно- імпульсної модуляції мінімальна ширина смуги пропускання пов'язана зі швидкістю передавання співвідношенням

$$0,7 \cdot \Delta f_{\min} = v_{\text{практ}} \quad (5.3)$$

Недоліки каналу з амплітудно- імпульсною модуляцією на довгих лініях зв'язку, пов'язані з недостатньою заводо захищеністю, вимагають використання більш ефективних методів модуляції. Висока заводо захищеність та мала чутливість до коливань рівня - основні причини широкого розповсюдження систем з **частотно- імпульсною модуляцією**. Недоліком їх є велика чутливість до нестабільності частоти-носія каналу.

### **Лабораторний макет для експериментального дослідження**

Віртуальний макет являє собою головне вікно, на якому міститься зображення досліджуваного виду модуляції. Елементи управління вікна реалізують відповідні функції реального пристрою. Частоту можна змінювати в межах 1 Гц .. 20 кГц, шпаруватість – від 0 до 100 процентів через 10 %. Потрібно зняти характеристики для всіх кодових комбінацій, змінюючи біти для передачі.

### **Порядок виконання роботи**

1. Увімкнути макет «Емулятор АІМ». Виставити несучу частоту 20 Гц.
2. Виставити перше значення шпаруватості. Задати кодову комбінацію 0000; замалювати форму сигналів при відсутності передачі інформації. По черзі задавати кодові комбінації відповідно до варіанту завдання (табл. 5.1)., замалювати форму сигналів на передавачі, в лінії передачі й на виході приймача.
3. Виставити друге значення шпаруватості і повторити дії п. 2.
4. Вимкнути головне вікно віртуального макету.
5. Проаналізувати залежність тривалості імпульсу від шпаруватості, зробити висновки.

Таблиця 5.1 – Варіанти завдань кодових комбінацій інформації

| № варіанта                       |     | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
|----------------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|
| Шпарува-<br>тість<br>імпульсного | 40% | 1000 | 0100 | 0010 | 0001 | 0110 | 1001 |
|                                  | 80% | 0110 | 0101 | 0011 | 1100 | 1010 | 0101 |
|                                  |     | 0111 | 1011 | 1101 | 1110 | 1011 | 0111 |
|                                  |     |      | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
| сигналу                          |     | 1111 | 1111 | 1111 | 1111 | 1111 | 1111 |
| № варіанта                       |     | 7    |      |      |      |      |      |
| Шпарува-<br>тість                | 60% | 1000 | 0100 | 0010 | 0001 | 0110 | 1001 |
|                                  |     | 0110 | 0101 | 0011 | 1100 | 1010 | 0101 |
| імпульсного<br>сигналу           | 30% | 0111 | 1011 | 1101 | 1110 | 1011 | 0111 |
|                                  |     | 1111 | 1111 | 1111 | 1111 | 1111 | 1111 |
| № варіанта                       |     | 13   | 14   | 15   | 16   |      |      |
| Шпарува-<br>тість                | 20% | 1000 | 0100 | 0010 | 0001 | 0110 | 1001 |
|                                  |     | 0110 | 0101 | 0011 | 1100 | 1010 | 0101 |
|                                  |     | 0111 | 1011 | 1101 | 1110 | 1011 | 0111 |
| сигналу                          | 70% | 1111 | 1111 | 1111 | 1111 | 1111 | 1111 |

### Контрольні питання

1. Назвіть основні види імпульсної модуляції.
2. Опишіть принцип дії дискретного каналу з амплітудно-імпульсною модуляцією.
3. Назвіть переваги та недоліки амплітудноімпульсної модуляції.
4. Опишіть характер зміни форми сигналу в процесі його передачі лінією з амплітудноімпульсною модуляцією.



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

### Дослідження дельта-модуляції

**Мета роботи** - дослідити і вивчити дельта-модуляцію, яка використовується в телемеханіці, зв'язку, пристроях електроніки й автоматики.

#### Короткі теоретичні відомості

Для перетворення сигналів амплітудноімпульсної модуляції у цифрову форму може бути використана *дельта-модуляція* (рис. 6.1). При цьому кодується не квантоване значення аналогового сигналу, а знак приросту даного відрахунка відносно попереднього. Інформація про знак передається за допомогою дворівневого (+1 або -1) однорозрядного коду. Неперервний сигнал в цьому випадку замінюється ступінчастою функцією, яка приблизно співпадає з сигналом. Її приріст визначається у моменти дискретизації за часом і не може перевищувати крок квантування  $\Delta$ . Цифровий сигнал  $v(t)$  є послідовністю імпульсів, полярність яких визначається знаком приросту відрахунків. Тактова частота дельта-модульованого сигналу дорівнює частоті дискретизації сигналу  $S(t)$ .

Декодування сигналу дельта-модуляції на приймальному боці здійснюється інтегратором, який перетворює цифровий дельта-модульований сигнал на ступінчастий. На виході інтегратора вмикається фільтр нижніх частот, який згладжує ступінчастий сигнал і приблизно відтворює початковий.

При цьому методі модуляції виникають шуми квантування, які залежать від кроку квантування. При дельта-модуляції безперервний вихідний сигнал апроксимується слідкуючим сигналом,  $G(t)$  (рис. 6.2).

Ступінь відповідності функцій  $G(t)$  і  $f(t)$  визначається значенням кроку квантування в часі  $\Delta t$  і за рівнем  $\Delta U$ . Згідно функції сходинковго (трикутного) сигналу одержують модульований сигнал у вигляді подиноких імпу-



льсів (найчастіше змінюється полярність імпульсів). Параметри імпульсу відбивають знак різниці між поточною вибіркою і її прогнозованим значенням, у якості якого береться квантоване значення попередньої вибірки.

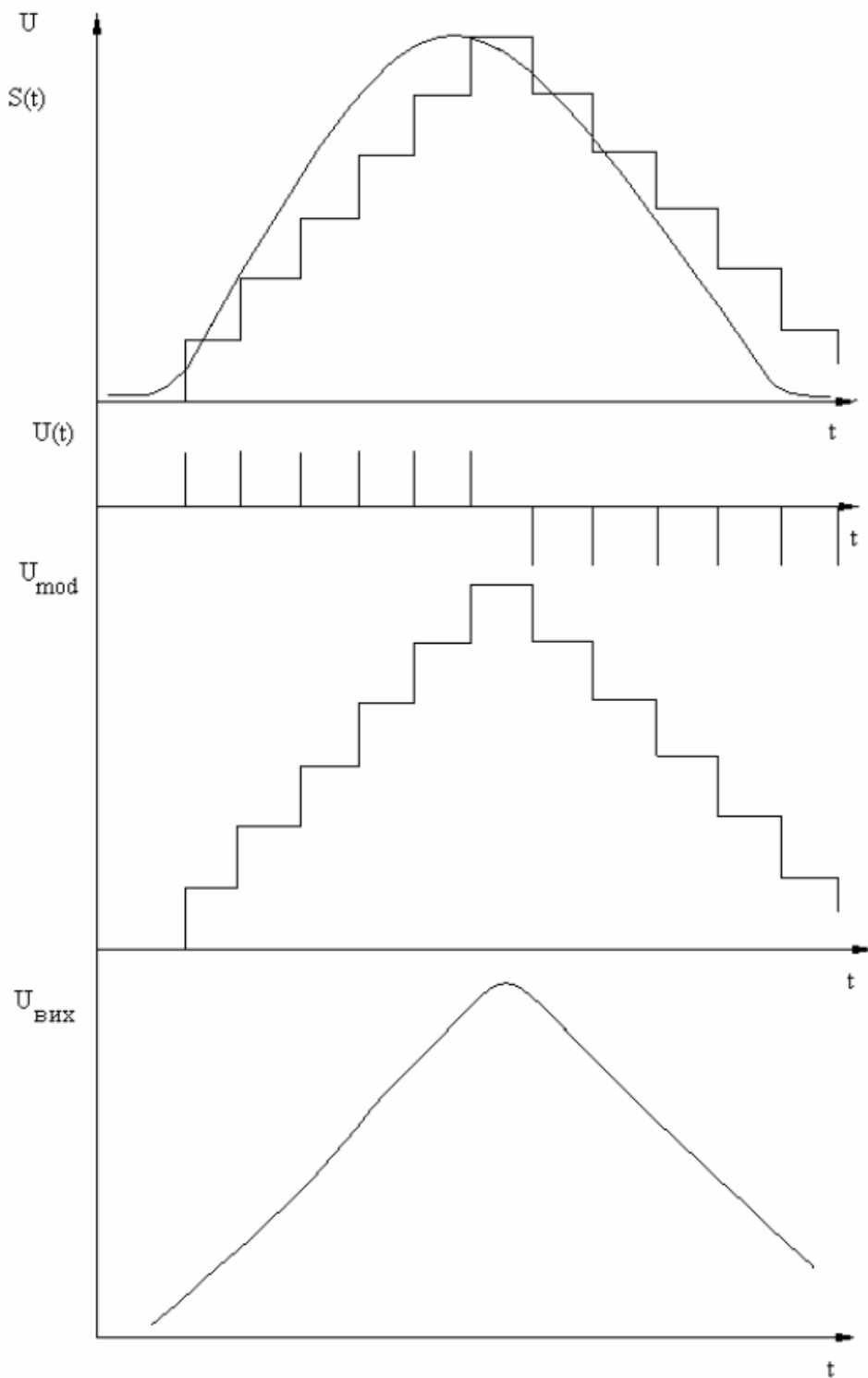


Рисунок 6.1 – Послідовність перетворень у випадку дельта-модуляції

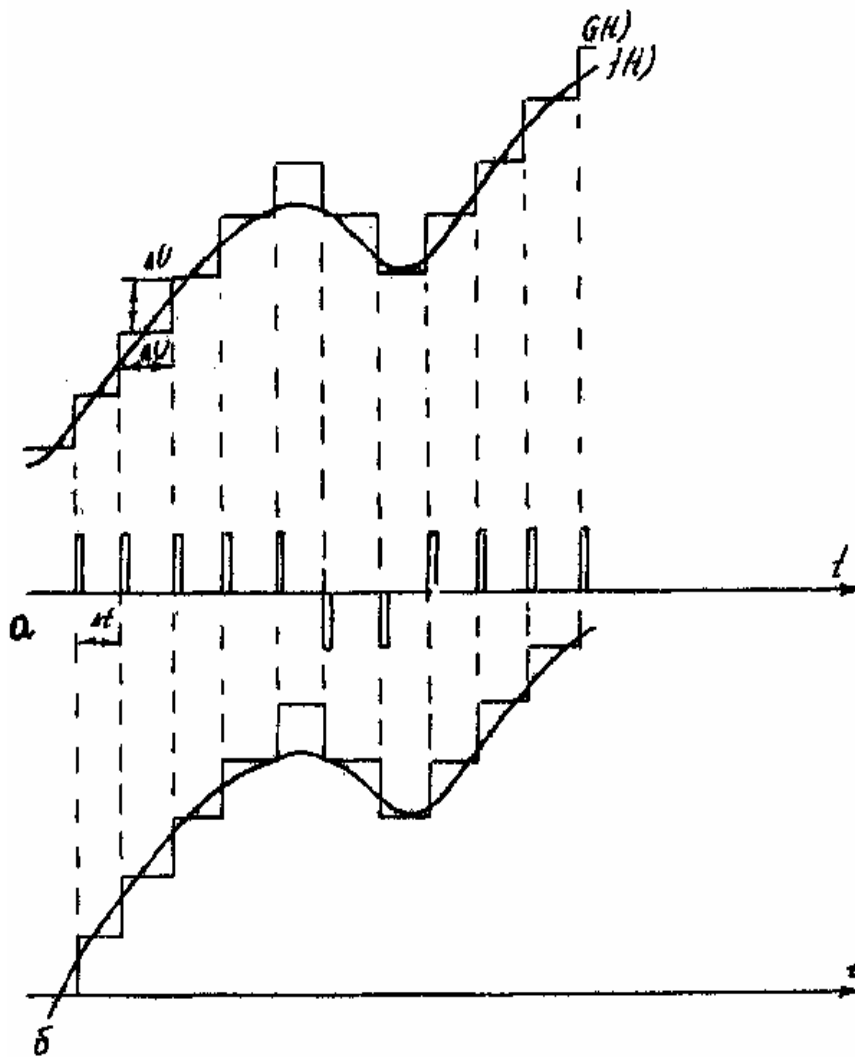


Рисунок 6.2 - Дельта-модуляція

Таким чином, при дельта-модуляції значення повідомлення в кожній точці кодується однорозрядним двійковим кодом. На виході приймального пристрою з імпульсної послідовності відновлюється вхідний сигнал (рис. 6.2,б).

Недоліки дельта-модуляції наступні:

- залежність динамічного діапазону від частоти модулюючого сигналу, що пояснюється ростом крутості сигналу зі збільшенням частоти;
- низька завадостійкість системи при впливі в каналі імпульсних перешкод.

Похибка не перевищує кроку квантування. З цієї точки зору крок квантування треба зменшувати. Але з малим кроком квантування швидкість зміни ступінчастого сигналу на виході інтегратора невелика. На інтервалах часу, де

стрімкість кодового сигналу велика, різниця між неперервним і ступінчастим сигналами велика, і похибка різко збільшується. Це називається *перевантаженням*. Якщо сигнал постійний, то система відслідковує рівень сигналу, формуючи по черзі позитивні та негативні імпульси.

З метою усунення перевантажень необхідно, щоб приріст сигналу  $S(t)$  за період дискретизації не перевищував кроку квантування. Виконання цієї умови вимагає збільшення частоти дискретизації. Для передавання телефонних повідомлень частота дискретизації повинна бути 150 ... 200 кГц.

### **Лабораторний макет для експериментального дослідження**

Віртуальний лабораторний макет являє собою головне вікно. Права частина цього вікна поділена на чотири частини, де показані графіки аналогового, оцифрованого, модульованого та демодульованого сигналів. В лівій частині – параметри досліджуваних сигналів та величина похибки, що виникає під час модуляції.

### **Порядок виконання роботи**

1. Увімкнути макет «Дельта-модуляція». У лівій частині цього вікна вибрати дельта-модуляцію.
2. Виставити частоту дискретизації 10000 Гц, перші значення частоти сигналу й амплітуди відповідно до варіанту завдання (табл. 6.1) і натиснути клавішу «Встановити».
3. Замалювати графіки для кожного типу вхідного сигналу (синусоїди, прямокутного та трикутного). Записати для кожного випадку величину середньої похибки (видається внизу цієї частини вікна).
4. Виставити друге значення частоти сигналу і повторити п. 2. та п. 3.
5. Виставити друге значення амплітуди сигналу і повторити п. 2. та п. 3.
6. Вимкнути головне вікно віртуального макету.



|    |         |        |
|----|---------|--------|
| 17 | 280,800 | 30,105 |
| 18 | 300,850 | 32,110 |
| 19 | 325,825 | 34,115 |
| 20 | 350,900 | 36,120 |

## Контрольні питання

1. Що таке модуляція?
2. Які бувають методи імпульсної модуляції?
3. Що являє собою дельта-модуляція? В чому її переваги і недоліки?
4. За рахунок чого можна підвищити швидкість передавання інформації?
5. Як впливає на величину середньої похибки амплітуда і частота сигналу?



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

### Дослідження різнице-дискретної модуляції

**Мета роботи** - дослідити і вивчити різнице-дискретну модуляцію сигналів.

#### Короткі теоретичні відомості

*Різнице-дискретна модуляція* є модифікацією дельта-модуляції. Вона полягає в тому, що під час збільшення інформаційного сигналу формуються позитивні імпульси, під час зменшення - негативні (як і для дельта-модуляції), але якщо інформаційний сигнал не змінюється, то імпульси не формуються (на відміну від дельта-модуляції). Таким чином, для повільно змінюваних сигналів імпульси формуються рідко, що дозволяє збільшити енергію одного імпульсу за заданою середньою потужністю і таким чином підвищити завадозахищеність. Недоліком як дельта-модуляції, так і її модифікацій, є накопичення похибки.

Для збільшення завадозахищеності часто використовують не один тип модуляції, а їх комбінацію. Така модуляція називається *двократною* або *комбінованою*. Так, комбінують амплітудну модуляцію з частотною, частотна з фазовою модуляцією, а також імпульсні.

В сучасних умовах основною задачею є підвищення швидкості передавання. Для її вирішення існують два основні шляхи:

- збільшення питомої інформативної ємності, коли одним сигналом передається декілька біт інформації;
- підвищення швидкості передавання за рахунок розширення смуги частот, яку займає сигнал.

В першому випадку реалізується *диференціальна модуляція*, при якій перетворення даних здійснюється дібітами, трибітами чи квадробітами. Найбільше поширення це знайшло для фазоімпульсної модуляції.



Другий принцип крім збільшення швидкості передавання дозволяє ще й пропорційно зменшити спектральну щільність потужності сигналу. В цьому разі інформація може одночасно і незалежно передаватися декількома каналами, кількість яких може сягати шістнадцяти. Прикладами цього може бути модуляція *DSSS*, *m-кратна ортогональна (MOK)*, *CCSK*, *OSDM*, *OFDM* тощо. Вказані принципи знайшли розповсюдження у сучасних модуляторах-демодуляторах (модемах) і є найперспективнішими.

### **Лабораторний макет для експериментального дослідження**

Лабораторний макет – те саме головне вікно, що і для лабораторної роботи № 5. Права частина цього вікна поділена на чотири частини, де показані графіки аналогового, оцифрованого, модульованого та демодульованого сигналів. В лівій частині – параметри досліджуваних сигналів.

### **Порядок виконання роботи**

1.1. Увімкнути макет «Дельта-модуляція». У лівій частині цього вікна вибрати різнице-дискретну модуляцію.

2. Встановити частоту дискретизації 10000 Гц, перші значення частоти сигналу й амплітуди відповідно до варіанту завдання (табл. 6.1) і натиснути кнопку «Встановити».

3. Порівняти графіки і величину середньої похибки (виводиться внизу цієї частини вікна) для різнице-дискретної та дельта-модуляції. Записати величину середньої похибки різнице-дискретної модуляції для кожного типу вхідного сигналу (синусоїди, прямокутного та трикутного).

4. Встановити друге значення частоти сигналу і повторити п. 2.

5. Встановити друге значення амплітуди сигналу і повторити п. 3.

6. Зробити висновки щодо величини середньої похибки для різнице-дискретної порівняно з дельта-модуляцією.

7. Зробити висновки щодо величини середньої похибки різнице-дискретної модуляції для трьох форм вхідного сигналу при однакових значеннях його частоти і амплітуди.

8. Зробити висновки щодо величини середньої похибки різнице-дискретної модуляції для трьох форм вхідного сигналу при зростанні його частоти.

9. Зробити висновок щодо форми, частоти й амплітуди сигналу, які забезпечують найменшу похибку в умовах різнице-дискретної модуляції.

Таблиця 6.1 - Варіанти завдань

| Варіант | Частота, Гц |      | Амплітуда сигналу, В |     |
|---------|-------------|------|----------------------|-----|
| 1       | 10          | 100  | 4                    | 40  |
|         |             | 200  |                      |     |
| 2       | 20          | 300  | 5                    | 50  |
|         |             | 400  |                      |     |
| 3       | 30          | 500  | 6                    | 60  |
|         |             | 600  |                      |     |
| 4       | 40          | 700  | 7                    | 70  |
|         |             | 800  |                      |     |
| 5       | 50          | 900  | 8                    | 80  |
|         |             | 150  |                      |     |
| 6       | 60          | 250  | 9                    | 90  |
|         |             | 350  |                      |     |
| 7       | 70          | 450  | 10                   | 100 |
|         |             | 550  |                      |     |
| 8       | 80          | 650  | 11                   | 110 |
|         |             | 750  |                      |     |
| 9       | 90          | 850  | 4                    | 40  |
|         |             | 950  |                      |     |
| 10      | 15          | 1000 | 5                    | 50  |
|         |             |      |                      |     |
| 11      | 25          | 330  | 6                    | 60  |

12 35 7 70

13 45 8 80

14 55 9 90

15 65 10 100

16 75 11 110

17 85 4 40

18 95 5 50

19 10 6 60

20 38 7 70

### Контрольні питання

1. Що таке модуляція? Які бувають методи імпульсної модуляції?
2. Що являє собою різнице-дискретна модуляція? В чому її переваги і недоліки?
3. За рахунок чого можна підвищити швидкість передавання інформації?
4. Як впливає на величину середньої похибки амплітуда і частота сигналу?
5. При якому з двох видів модуляції (дельта- або різнице-дискретна) величина середньої похибки є найменшою для кожної з 3-х форм вхідного сигналу (синусоїди, прямокутного та трикутного)?

## Перелік питань для самоконтроля знань студентів

1. Яка функція описує динамічне подання сигналу у вигляді елементарних прямокутних імпульсів
2. Яка функція описує динамічне подання сигналу у вигляді елементарних сходових функцій
3. Основна властивість дельта – функції
4. Як називається Інформаційна функція, що несе повідомлення про фізичні властивості, стан або поводження якої-небудь фізичної системи.
5. В чому полягає сенс фільтруючої властивості дельта – функції
6. Який шістнадцятирічний код відповідає двійковому коду 1010 0101 та 0110 1001, 1 0000 0000
7. Назвіть основні параметри коливального процесу.
8. Що таке модуляція сигналу
9. Як змінюється частота несучого сигналу при амплітудній модуляції.
10. Дайте визначення глибині модуляції
11. Що таке амплітудна модуляція
12. Яким параметром визначається дальність передачі сигналу при амплітудній модуляції
13. Класифікація детермінованих сигналів
14. Що таке шуми в електронній апаратурі?
15. Принципи частотної модуляції
16. Принципи фазової модуляції
17. Що таке девіація
18. Що таке індекс модуляції
19. Особливості вузькополосної фазової модуляції
20. Яку модуляцію називають широкополосною
21. Де використовують фазову та частотну модуляції
22. Що таке аналоговий сигнал
23. Що таке цифровий сигнал
24. Що таке дискретний сигнал
25. Як визначити шаг дискретизації сигналу

26. назвіть основні параметри електричних сигналів
27. В чому полягає фізичний сенс дельта-функції
28. Що доводить теорема Котельнікова
29. Яким є несучий сигнал при імпульсній модуляції?
30. Характеристики амплітудно- імпульсної модуляції
31. Характеристики широто- імпульсної модуляції
32. Класифікація випадкових сигналів
33. Загальна класифікація електричних сигналів.

## Список літератури

1. Цымбал В.П. Теория информации и кодирование: Учебник. – 4-е изд. – К.:Вища школа, 1992. = 263с. – 45 екз.
2. Игнатов В.А. Теория информации и передачи сигналов: Учебник для ВУ-Зов. – 2-е изд. – М.: Радио и связь, 1991. – 280с. – 5 екз.
3. Сато Ю. Обработка сигналов. - / Под ред. Ёсифуми Амэмия. - М.: ИД «Додэка ХХІ» 2002. – 175с. – 2 екз.
4. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. Учебник для вузов. - СПб: Питер, 2003. - 603 с. – 1 екз.
1. Мандзій Б. А. Основи теорії сигналів. - Львів: Видавничий дім "Ініціатива", 2008. 240 с.
2. Сумик М., Прудіус І., Сумик Р. Теорія сигналів. - Львів: Растр-7, 2008. – 232 с.
3. Применение цифровой обработки сигналов / Под ред. Э.Оппенгейма. - М.: Мир, 1980. – 232 с.
4. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов. - М.: Высшая школа, 1988.- 448 с.
5. Вероятностные методы в вычислительной технике: Учебное пособие для вузов./ А.В.Крайников и др. - М.: Высшая школа, 1986. - 312 с.