

Лабораторна робота 2

Квадратурний амплітудний змішувач

1 Мета:

Мета – одержати знання і практичний досвід в розробці квадратурного амплітудного змішувача (Quadrature Amplitude Mixer – QAM) для сучасних спеціалізованих ЕОМ, щоб одержати досвід програмування і відлагоджування програм на мові VHDL.

2 Теоретичні відомості

QAM широко використовується в застосуваннях ЦОС для частотного перетворення в цифрових приймачах, фільтрах, модемах, радарях, гідролокаторах, мобільних телефонах, супутникових приймачах і т.і.

Змішування сигналів полягає у множенні вхідного сигналу і сигналу опорного генератора, щоб генерувати спектральні зображення з сумою і різницею частот. Наприклад, розглянемо змішувач радіоприймача: якщо ми “змішуємо” радіосигнал на частоті 90 МГц з сигналом генератора з частотою 89 МГц, вихідний сигнал змішувача буде мати енергію сигналу на частотах 169 МГц (суму частот) і 1 МГц (різницю частот). Сигнал з частотою 1 МГц – це сигнал, що нас цікавить, так як відповідає *проміжній частоті* (ПЧ) в 1 МГц, в той час, коли суму частот легко відфільтрувати. Якщо частота генератора збільшена до 89.1 МГц, приймач буде приймати радіосигнал на частоті 90.1 МГц. Тому частотна селекція сигналу або настроювання приймача може бути реалізоване зміною частоти генератора і настроюванням вихідної ПЧ, використовуючи ПЧ-фільтр з фіксованою частотною смугою.

Але, коли змішується сигнал 90 МГц з сигналом гетеродину 89 МГц, будь-який інтерференсний сигнал з частотою 88 МГц, присутній в ефірі, буде також переходити на різницеву частоту 1 МГц (рис.1). Дійсно, будь-який радіосигнал на “дзеркальній” частоті 88 МГц повинен притискатися сильніше рівня корисного сигналу до того, як він попаде в змішувач. Це є причиною необхідності додаткового фільтра що пропускає 90 МГц і затримує 88 МГц, з шириною перехідної смуги, яка дорівнює подвійній проміжній частоті. Такий фільтр є досить складним у реалізації і суттєво ускладнює конструкцію приймача.

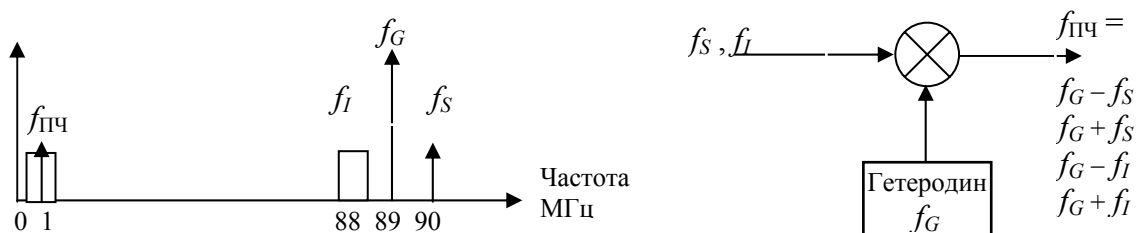


Рис.1.

Це є причиною широкого використання *квадратурного змішувача*. В ньому синфазна і квадратурна складові (коротко – I і Q – складові) представляють вхідний сигнал, вони змішуються окремо і комбінуються в такий спосіб, щоб відокремити інтерференсний сигнал від сигналу, що нас цікавить. Квадратурне змішування потребує два (або більше) каналів обробки сигналів.

Слід відмітити, що сигнал, представлений парою I і Q називається аналітичним сигналом. Змішування вхідного радіосигналу з комплексним виходом гетеродину дає аналітичний сигнал в якому “дзеркальній” сигнал відокремлено (рис.2).

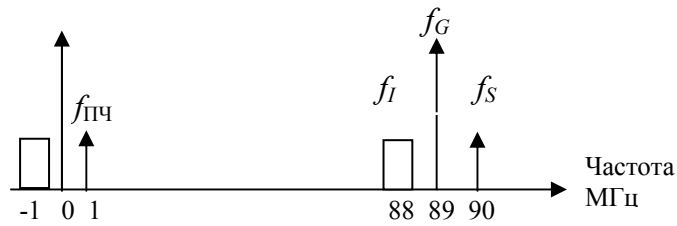


Рис.2.

Нехай маємо вхідний сигнал

$$x(i) = A \cos(2\pi f_G i T + \phi),$$

де f_{HG} – частота гетеродину, T – період дискретизації, ϕ – деякий кут. Операція множення цього сигналу на синусоїдальний і косинусоїдальний сигнали гетеродину дає наступні вирази:

$$\begin{aligned} I(i) &= A \cos(2\pi f_G i T + \phi) \cdot \cos(2\pi f_G i T) = 0.5A(\cos(4\pi f_G i T + \phi) + \cos\phi), \\ Q(i) &= A \cos(2\pi f_G i T + \phi) \cdot \sin(2\pi f_G i T) = 0.5A(\sin(4\pi f_G i T + \phi) - \sin\phi). \end{aligned} \quad (1)$$

Бачимо, що результуючий сигнал – це синусоїдальний і косинусоїдальний сигнали подвійної частоти і деяка постійна складова, яка залежить від фази вхідного сигналу. Звичайно нас цікавлять параметри результуючого сигналу – фази $\cos\phi$, і $\sin\phi$. Вони, як правило, одержуються з квадратур I і Q їхньою низькочастотною фільтрацією. Обчислення (1) реалізуються схемою на рис.3.:

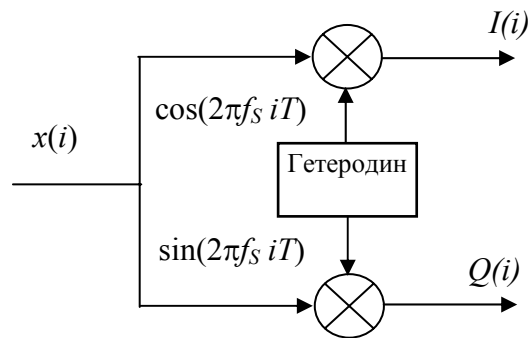


Рис.3.

3. Приклад розробки QAM - змішувача

QAM має структуру, яка показана на Рис.3. Він побудований на основі генератора – гетеродину, який був розроблений в попередній лабораторній роботі. Його параметри:

- частота $f_X = 0,01f_S$,
 - вхідна і вихідна розрядність –16,
 - розрядність синусоїдального сигналу – 16 біт.
- Результуючий QAM - змішувач описаний наступним VHDL-кодом.

```

library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.all;
use IEEE.STD_LOGIC_SIGNED.all;
entity QAM
  port( CLK : in STD_LOGIC;
        RST : in STD_LOGIC;
        X : in STD_LOGIC_VECTOR(15 downto 0);
        F : in STD_LOGIC_VECTOR(15 downto 0);
        Q : out STD_LOGIC_VECTOR(15 downto 0);
        I : out STD_LOGIC_VECTOR(15 downto 0) );
end QAM;

architecture QAM of QAM is
  component SIN_GEN
    port(CLK : in STD_LOGIC;
         RST : in STD_LOGIC;
         F : in STD_LOGIC_VECTOR(15 downto 0);
         SIN_0 : out STD_LOGIC_VECTOR(15 downto 0);
         COS_0 : out STD_LOGIC_VECTOR(15 downto 0));
  end component ;
  signal sini, cosi : STD_LOGIC_VECTOR(15 downto 0);
  signal ii, qi : STD_LOGIC_VECTOR(31 downto 0);
begin
  U_LO: SIN_GEN port map(CLK, RST, F,
                        SIN_0=>sini,
                        COS_0=>cosi);

  R_IQ: process(CLK, RST) begin --
    if RST='1' then
      ii <= (others=>'0');
      qi <= (others=>'0');
    elsif CLK='1' and CLK' event then
      ii <= X*cosi;
      qi <= X*sini;
    end if;
  end process;
  I <= ii (30 downto 15);
  Q <= qi (30 downto 15);
end QAM;

```

Тут процес R_IQ представляє блоки множення і відповідні регістри результату. Ці регістри потрібні для конвейрного обчислення і для відповідного підключення цього QAM – змішувача до інших компонентів системи де він може бути вбудований.

Щоб перевірити проєкт QAM–змішувача, розроблено відповідний стенд для іспитів. В цьому стенді для іспитів встановленні QAM–змішувач і джерело синусоїдального сигналу. Таким джерелом може бути інший встановлений генератор синусоїдального сигналу, який був розроблений в першій лабораторній роботі. Слід відмітити, що сигнали reset цього генератора і гетеродину QAM–змішувача повинні відбуватись різні моменти часу, щоб зробити деякий зсув фази ϕ .

Розглянемо вхідний сигнал частоти $f_x = 0,01f_s$. Тоді графіки результуючих сигналів будуть такі, як на рис. 4.:

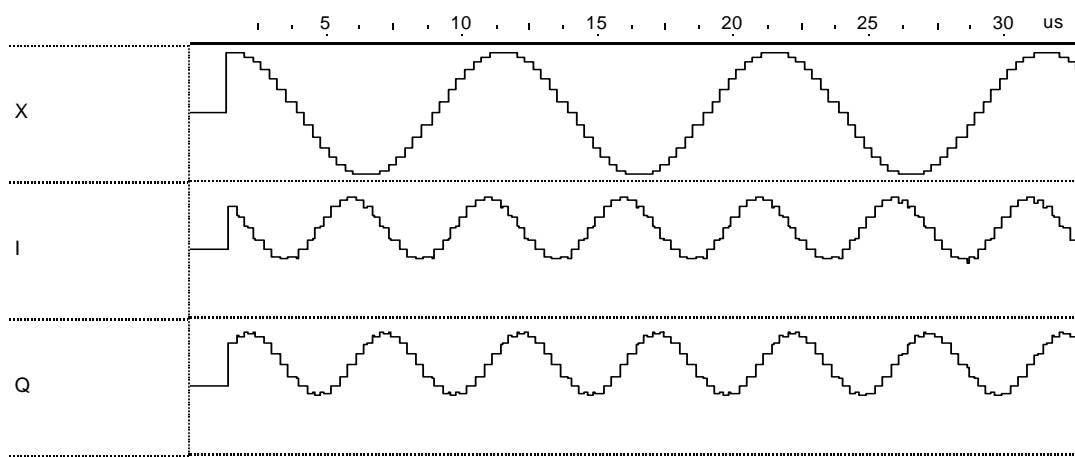


Рис.4.

З цих графіків ми можемо бачити, що

- 1) частота результуючого сигналу дорівнює подвійній частоті вхідного сигналу;
- 2) амплітуда результуючого сигналу дорівнює половині амплітуди вхідного сигналу (приймаючи до уваги масштабний коефіцієнт операції множення) ;
- 3) постійна складова вихідного сигналу розраховується як $I_D = 24890$; $Q_D = 23168$; це означає, що зсув фази дорівнює $\arctg(Q_D/I_D) = 43,5^\circ$. Це число приблизно дорівнює зсуву фази $\phi = 43,2^\circ$, який представляє задану затримку 12 тактів між сигналами reset ($360^\circ \cdot 12/100 = 43,2^\circ$).

Розглянемо вхідний сигнал з частотою $f_x = 0,009f_s$. Тоді форма результуючого сигналу буде як на рис.5:

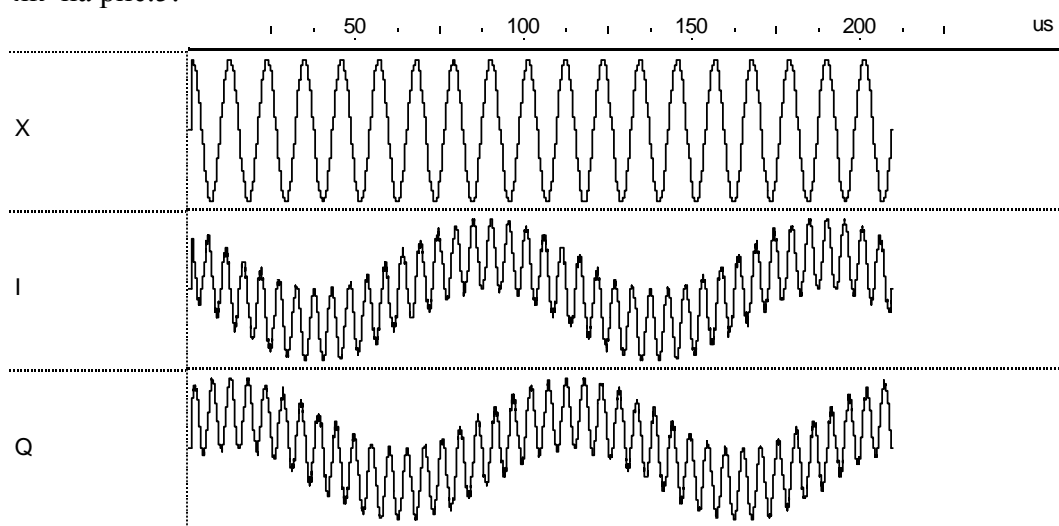


Рис.5

Аналіз графіків показує, що постійна складова компонентів змінилась на компоненту синусоїдального сигналу з частотою $0,001f_s = 0,01f_s - 0,009f_s$. Це доводить правильне функціонування QAM-змішувача.

4. Виконання лабораторної роботи

QAM повинен будуватися і тестуватися аналогічно, як в попередній лабораторній роботі.

Кожен варіант роботи має множину параметрів, які нумеруються цілими числами. Їх одержують за номером залікової книжки студента. Розглянемо 3 останні цифри a_2, a_1, a_0 , номеру залікової книжки. Тоді номер варіанту:

$$N = 100a_2 + 10a_1 + a_0 = 2^9b_9 + 2^8b_8 + 2^7b_7 + 2^6b_6 + 2^5b_5 + 2^4b_4 + 2^3b_3 + 2^2b_2 + 2^1b_1 + b_0,$$

де b_i - це біти номеру N в двійковому представленні.

Параметри QAM-змішувача – це розрядність N_i вхідного сигналу і розрядність вихідного сигналу N_o – вибирається з Таблиці 1.

Таблиця 1

b_2, b_1, b_0	N_i	N_o
000	10	12
001	10	13
010	12	14
011	12	15
100	14	14
101	14	15
110	16	15
111	16	16

5. Звіт про лабораторну роботу

Звіт про лабораторну роботу повинен вміщувати:

- Мету роботи,
- опис QAM- змішувача,
- VHDL - програму,
- графіки тестування,
- висновки.

Література

1. Отнес Р., Эноксон Л. Прикладной анализ временных рядов. –М.:Мир. –1982. – 428 с.
2. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. –М.:Мир. –1978. – 848 с.