

Bài 3: Điều chế và giải điều chế FM

Mục đích:

- Thực hiện điều chế FM bằng VCO
- Thực hiện bộ giải điều chế FM bằng PLL

A. Điều chế FM

1.1 Lý thuyết

Tín hiệu thông tin: $m(t)$

Tín hiệu sóng cao tần: $x_c(t) = V_c \cos(2\pi f_c t + \varphi_0)$. Pha tức thời của tín hiệu cao tần được cho bởi $\varphi(t) = 2\pi f_c t + \varphi_0 = \omega_c t + \varphi_0$. Nếu tín hiệu $m(t)$ thay đổi pha tức thời $\varphi(t)$ của tín hiệu sóng cao tần, thì ta được **điều chế góc**. Điều chế góc chia làm hai trường hợp sau:

a) Điều chế FM: Nếu tín hiệu $m(t)$ thay đổi tần số góc ω_c của tín hiệu cao tần, thì ta được điều chế FM. Tần số góc của tín hiệu FM là

$$\omega_c(t) = \omega_c + 2\pi k_f m(t), \quad (1)$$

trong đó k_f là độ nhạy tần số. Mối quan hệ giữa $\varphi(t)$ và $\omega_c(t)$ là $\omega_c(t) = \frac{d}{dt} \varphi(t)$

$$\begin{aligned} \varphi(t) &= \int_0^t \omega_c(\tau) d\tau \\ &= \omega_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau. \end{aligned} \quad (2)$$

Tín hiệu FM được cho bởi

$$y_{FM}(t) = V_c \cos \left[\omega_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau \right] \quad (3)$$

b) Điều chế PM: Nếu tín hiệu $m(t)$ thay đổi pha ban đầu φ_0 , thì ta đạt được điều chế PM. Pha ban đầu của tín hiệu PM là

$$\varphi_0(t) = \varphi_0 + k_p m(t). \quad (4)$$

Pha tức thời của tín hiệu PM là

$$\varphi(t) = \omega_c t + \varphi_0 + k_p m(t). \quad (5)$$

Tín hiệu PM là

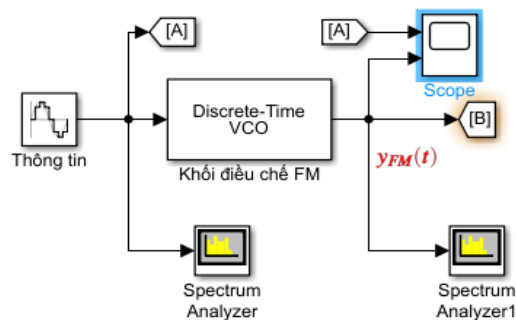
$$y_{PM}(t) = V_c \cos [\omega_c t + \varphi_0 + k_p m(t)], \quad (6)$$

ở đây, k_p là độ nhạy pha.

1.2 Thực hành phần điều chế FM

Câu 1: Thiết lập sơ đồ khối điều chế FM với bộ VCO

- Tín hiệu thông tin: Sóng sin 1 V, 500 Hz.
- Bộ Discrete-Time VCO:
 - + Output amplitude (V): $V_c = 5V$
 - + Quiescent frequency (Hz): $f_c = 3000$ Hz
 - + Input sensitivity (Hz/V): 2000
 - + Sample Time: 1/20000



Câu 2: Viết phương trình ngõ ra của $y_{FM}(t)$, cho tín hiệu Sine ngõ vào ở Câu 1

Câu 3: Nhận xét phổ của tín hiệu $y_{FM}(t)$

Câu 4: Hoàn thành đoạn code sau để vẽ tín hiệu điều chế FM $y_{FM}(t)$

```
clc; clear; close all;

ts = ???; % Thời gian lấy mẫu
t = 0:ts:0.2;

% ===== Thông tin =====
Vm = ???; fm = 500;
mt = ???;

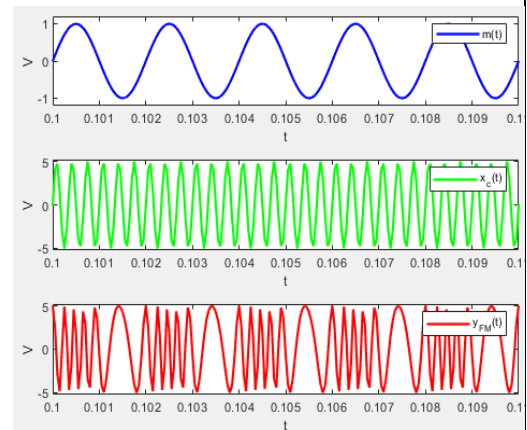
% ===== Sóng mang =====
Vc = ???; fc = ???; omegac = 2*pi*fc;
xct = ???;

% ===== Độ nhảy tần số =====
kf = 2000;

% ===== ĐIỀU CHẾ FM =====
yFM = zeros(1,length(t));
for i = 1:length(t)

    to = 0:ts:t(i);
    mtt = ???;
    TP = ???; % Tính tích phân
    yFM(i) = ???; % Tín hiệu FM

end
```



```

% ===== Do thi =====
startp = 50;
endp = 300;

figure(1)
subplot(3,1,1)
plot(t(startp:endp),mt(startp:endp), '
b-', 'linewidth',1.6); hold on;
legend('m(t)');
xlabel('t'); ylabel('V');

subplot(3,1,2)
plot(t(startp:endp),xct(startp:endp),
'g-', 'linewidth',1.6); hold on;
legend('x_c(t)');
xlabel('t'); ylabel('V');

subplot(3,1,3)
plot(t(startp:endp),yFM(startp:endp),
'r-', 'linewidth',1.6); hold on;
legend('y_{FM}(t)');
xlabel('t'); ylabel('V');

```

1.3 Thực hành phân giải điều chế FM

❖ Phương pháp tách sóng đường bao

Tín hiệu FM nhận tại đầu thu là

$$y_{FM}(t) = V_c \cos \left[\omega_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau \right] \quad (7)$$

Tính đạo hàm $y_{FM}(t)$

$$z_{FM}(t) = y'_{FM}(t) = - \underbrace{\left[\omega_c + 2\pi k_f m(t) \right]}_{Envelope} V_c \sin \left[\omega_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau \right], \quad (8)$$

Bình phương hai vế

$$\begin{aligned}
z_{FM}^2(t) &= V_c^2 \left[\omega_c + 2\pi k_f m(t) \right]^2 \sin^2 \left[\omega_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau \right] \\
&= V_c^2 \left[\omega_c + 2\pi k_f m(t) \right]^2 \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos \left(2\omega_c t + 4\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau \right) \right] \\
&= \underbrace{\frac{V_c^2}{2} \left[\omega_c + 2\pi k_f m(t) \right]^2}_{\text{message}} - \underbrace{\frac{V_c^2}{2} \left[\omega_c + 2\pi k_f m(t) \right]^2 \cos \left(2\omega_c t + 4\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau \right)}_{\text{High frequency}},
\end{aligned} \quad (9)$$

Để cho đơn giản trong phân tích, ta đặt $HF(x) = \frac{V_c^2}{2} \left[\omega_c + 2\pi k_f m(t) \right]^2 \cos \left(2\omega_c t + 4\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau \right)$

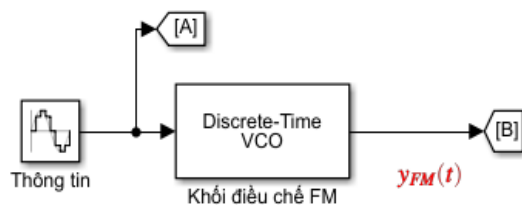
Tín hiệu đầu vào có dạng: $m(t) = V_m \sin(2\pi f_m t)$. Biểu thức (9) được viết lại

$$\begin{aligned} z_{FM}^2(t) &= V_c^2 \left[\omega_c + 2\pi k_f m(t) \right]^2 \sin^2 \left[\omega_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau \right] \\ &= V_c^2 \left[\omega_c + 2\pi k_f m(t) \right]^2 \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos \left(2\omega_c t + 4\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau \right) \right] \\ &= \frac{V_c^2}{2} \omega_c^2 + \pi^2 k_f^2 V_c^2 V_m^2 + \underbrace{2\pi k_f \omega_c V_c^2 V_m \sin(2\pi f_m t)}_{\text{Message}} - \pi^2 k_f^2 V_c^2 V_m^2 \cos(2f_m t) - \underbrace{HF(t)}_{\text{High frequency}}, \end{aligned} \quad (10)$$

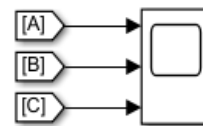
Sử dụng lọc thấp qua để loại bỏ **cao tần** và $2f_m$ và căn chỉnh biên độ để thu lại $m(t) = V_m \sin(2\pi f_m t)$

Câu 5: Thiết lập sơ đồ khối giải điều chế tín hiệu FM từ **Câu 1**

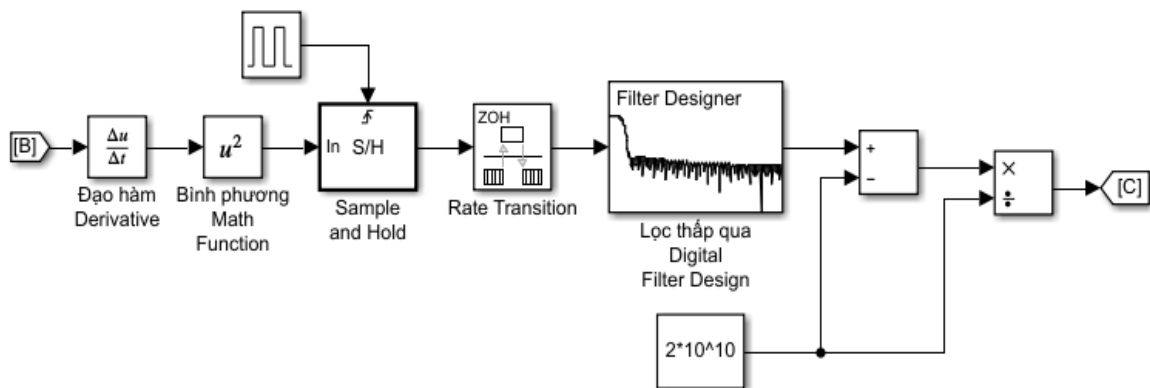
ĐIỀU CHẾ FM



HIỂN THỊ



GIẢI ĐIỀU CHẾ FM



Câu 6: Hoàn thành đoạn code sau để khôi phục tín hiệu $m(t) = 1 \sin(2\pi 500t)$, từ tín hiệu FM

được điều chế trong **Câu 4**

```
clc; clear; close all;

ts = 1/20000; % Thời gian lấy mẫu
fs = 1/ts;
t = 0:ts:0.2;

% ===== Thông tin =====
Vm = ???; fm = ???;
mt = ???;
```

```

% ===== Sóng mang =====
Vc = ???; fc = ???; omegac = ???;
xct = ???;

% ===== Độ nhạy tần số =====
kf = 2000;

% ===== Điều chế FM =====
yFM = zeros(1,length(t));
for i = 1:length(t)

    to = 0:ts:t(i);
    mtt = ???;
    TP = ???;
    yFM(i) = ???;

end
yFM;

% ===== Giải điều chế FM =====
yFM_dh = ???; % Đạo hàm

yFM_bp = ???; % Bình phương

fc = ???; % Tần số cắt
[b,a] = butter(12, ???);

mDem = filter(??,??,??); % Lọc thấp qua
mDem = ???; % Căn chỉnh biên độ

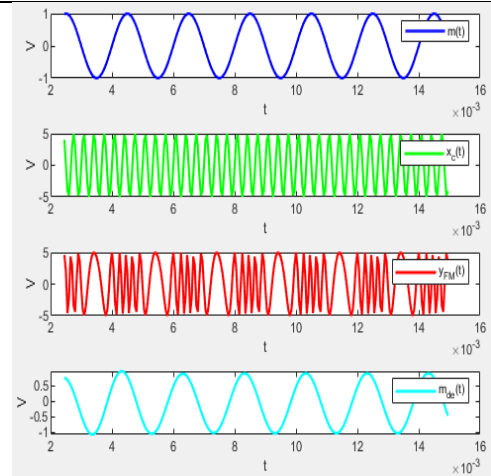
% ===== Đồ thị =====
startp = 50;
endp = 300;

figure(1)
subplot(4,1,1)
plot(t(startp:endp),mt(startp:endp),
'b-','linewidth',1.6); hold on;
legend('m(t)');
xlabel('t'); ylabel('V');

subplot(4,1,2)
plot(t(startp:endp),xct(startp:endp),
'g-','linewidth',1.6); hold on;
legend('x_c(t)');
xlabel('t'); ylabel('V');

subplot(4,1,3)
plot(t(startp:endp),yFM(startp:endp),
'r-','linewidth',1.6); hold on;
legend('y_{FM}(t)');

```



```
xlabel('t'); ylabel('V');  
  
subplot(4,1,4)  
plot(t(startp:endp),mDem(startp:endp),  
'c-','linewidth',1.6); hold on;  
legend('m_{de}(t)');  
xlabel('t'); ylabel('V');
```