



Điều chế tín hiệu

Bởi:

Nguyễn Trung Lập

Điều chế

Biến điệu hay điều chế là quá trình chuyển đổi phổ tần của tín hiệu cần truyền đến một vùng phổ tần khác bằng cách dùng một sóng mang để chuyên chở tín hiệu cần truyền đi; mục đích của việc làm này là chọn một phổ tần thích hợp cho việc truyền thông tin, với các tần số sóng mang khác nhau người ta có thể truyền nhiều tín hiệu có cùng phổ tần trên các kênh truyền khác nhau của cùng một đường truyền.

Một cách tổng quát, phương pháp điều chế là dùng tín hiệu cần truyền làm thay đổi một thông số nào đó của sóng mang (biên độ, tần số, pha...). Tùy theo thông số được lựa chọn mà ta có các phương pháp điều chế khác nhau: điều chế biên độ (AM), điều chế tần số (FM), điều chế pha ΦM , điều chế xung PM

Điều chế biên độ (Amplitude Modulation, AM)

Xét tín hiệu cao tần

$$e(t) = A_c \cos(\omega_c t + \theta) \quad (1)$$

Tín hiệu AM có được bằng cách dùng tín hiệu $g(t)$ làm biến đổi biên độ của $e(t)$.

Biểu thức của tín hiệu AM là:

$$e_{AM}(t) = [(A_c + g(t))\cos\omega_c t] \quad (2)$$

Để đơn giản, ta bỏ qua θ là lượng không đổi trong AM.

Những tính chất cơ bản của AM dễ dàng được xác định nếu ta biết tín hiệu $g(t)$.

Xét $g(t)$ là tín hiệu hạ tần:

$$g(t) = E_m \cos\omega_m t \quad (3)$$

Như vậy:

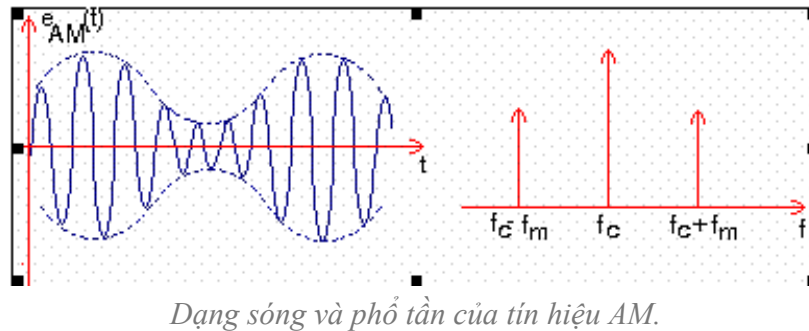
Điều chế tín hiệu

$$e_{AM}(t) = (A_c + E_m \cos \omega_m t) \cos \omega_c t = A_c [1 + (E_m/A_c) \cos \omega_m t] \cos \omega_c t$$

$$= A_c [1 + m_a \cos \omega_m t] \cos \omega_c t \quad (4)$$

Trong đó $m_a = E_m/A_c$ gọi là **chỉ số biến điệu**

(H 2.8) vẽ dạng sóng và phổ tần của tín hiệu AM.



(a) (H 2.8) (b)

Để thấy được phổ tần ta triển khai hệ thức (4)

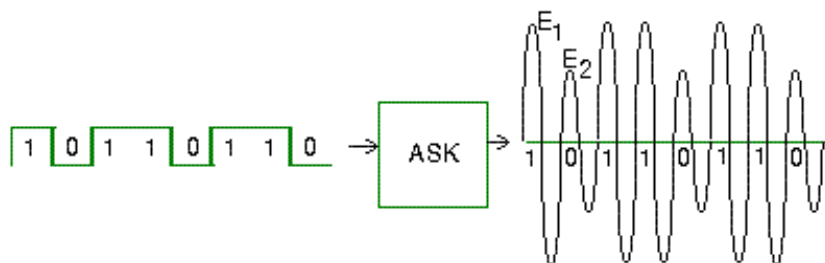
$$e_{AM}(t) = A_c \cos \omega_c t + (m_a A_c / 2) \cos(\omega_c + \omega_m)t + (m_a A_c / 2) \cos(\omega_c - \omega_m)t \quad (5)$$

Từ (H 2.8b) ta thấy băng thông của tín hiệu đã điều chế bằng hai lần tần số của tín hiệu hạ tần và được chia ra làm hai băng cạnh. Điều chế biên độ là một quá trình tuyến tính nên mỗi tần số của tín hiệu hạ tần tạo ra một băng thông và trong trường hợp tín hiệu hạ tần gồm nhiều tần số khác nhau thì băng thông của tín hiệu biến điệu là:

$$BW = 2f_m(\max)$$

$f_m(\max)$ là tần số hạ tần cao nhất.

Dữ liệu số có thể được truyền bằng phương pháp điều chế AM, trong trường hợp này gọi là **kỹ thuật dời biên (ASK, Amplitude- Shift Keying)**. Bit 1 được truyền đi bởi sóng mang có biên độ E_1 và bit 0 bởi sóng mang biên độ E_2 . (H 2.9) minh họa tín hiệu ASK



Điều chế tín hiệu

(H 2.9)

Điều chế góc (Angle modulation)

Ta cũng bắt đầu với sóng mang chưa điều chế:

$$e(t) = A_c \cos(\omega_c t + \theta) = A_c \cos \Phi(t) \quad (6)$$

Nếu ω_c thay đổi tương ứng với nguồn thông tin, ta có tín hiệu điều chế tần số (FM) và nếu $\Phi(t)$ thay đổi ta có tín hiệu điều chế pha (ΦM).

Hai kỹ thuật điều chế này cơ bản giống nhau và được gọi chung là điều chế góc.

Điều chế tần số (FM)

Tần số $\omega(t)$ là giá trị biến đổi theo thời gian của $\Phi(t)$, nghĩa là:

$$\omega(t) = \frac{d\Phi(t)}{dt} \quad (7)$$

Vậy tần số của tín hiệu chưa điều chế là:

$$\omega(t) = \frac{d(\omega_c t + \theta)}{dt} = \omega_c \quad (8)$$

Giả sử tín hiệu điều chế là $g(t)$, theo định nghĩa của phép điều chế tần số, tần số tức thời của sóng mang là:

$$\omega(t) = \omega_c [1 + g(t)] \quad (9)$$

Thay (9) vào (7):

$$\Phi(t) = \int \omega_c [1 + g(t)].dt = \omega_c t + \int g(t).dt \quad (10)$$

Thay vào pt (6):

$$e_{FM}(t) = A_c \cos\{\omega_c t + \omega_c \int g(t).dt\} \quad (11)$$

Biểu thức (11) cho thấy tín hiệu $g(t)$ được lấy tích phân trước khi được điều chế.

Xét trường hợp $g(t)$ là tín hiệu hạ tần có dạng hình sin:

$$g(t) = \frac{\Delta\omega}{\omega_x} \cos\omega_m(t) \quad (12) \quad \Delta\omega \text{ là độ di tần và } \omega_m \text{ là tần số của tín hiệu hạ tần}$$

$$\Phi(t) = \omega_c t + \omega_c \int \frac{\Delta\omega}{\omega_x} \cos\omega_m t .dt$$

Điều chế tín hiệu

$$= \omega_{ct} + m_f \sin \omega_m t$$

với $m_f = \Delta\omega / \omega_m$ là chỉ số điều chế. Đó là tỉ số của độ di tần và tần số của tín hiệu điều chế (hạ tần).

$$e_{FM}(t) = A_c \cos\{\omega_{ct} + m_f \sin \omega_m t\} \quad (13)$$

Để thấy phổ tần của sóng FM ta triển khai biểu thức (13):

$$e_{FM}(t) = A_c J_0(m_f) \cos \omega_{ct} + A_c J_{2n}(m_f) [\cos(\omega_{ct} + 2n \cos \omega_m t) + \cos(\omega_{ct} - 2n \cos \omega_m t)]$$

$$A_c J_{2n+1}(m_f) \{ \cos[\omega_c t + (2n+1) \cos \omega_m t] - \cos[\omega_c t - (2n+1) \cos \omega_m t] \} \quad (14)$$

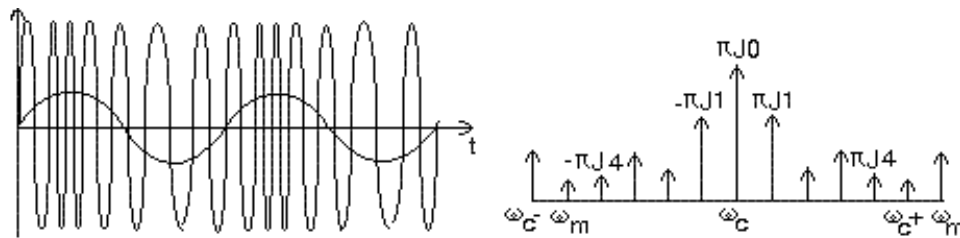
J là hàm Bessel theo m_f và n có mọi trị nguyên từ 0 đến ∞ .

Từ (14) ta thấy sóng FM gồm thành phần cơ bản có tần số của sóng mang và biên độ cho bởi số hạng thứ I, $J_0(m_f)$, và các băng cạnh cho bởi các số hạng còn lại.

Vì n lấy mọi giá trị từ 0 đến ∞ nên phổ tần của sóng FM rộng vô hạn, tuy nhiên do năng lượng tín hiệu giảm rất nhanh với tần số cao nên người ta xem băng thông trong FM xấp xỉ bằng:

$$BW = 2(m_f \cdot \omega_m + \omega_m) = 2(\Delta\omega + \omega_m) \text{ rad/s}$$

(H 2.10) cho dạng sóng và phổ tần của sóng FM



(H 2.10)

Cũng như trong trường hợp AM, tín hiệu dữ liệu số cũng được truyền bằng phương pháp FM. Kỹ thuật này được gọi là **kỹ thuật dời tần (FSK: Frequency- Shift Keying)**.

FSK được dùng rộng rãi trong truyền số liệu. Trong FSK bit 1 được truyền đi bởi tần số f_m và bit 0 bởi tần số f_s ví dụ, trong hệ thống truyền sử dụng tiêu chuẩn của hãng Bell bit 1 được truyền bởi tần số 1070 Hz (f_m) và bit 0 bởi tần số 1270 Hz (f_s).

(H 2.11) minh họa tín hiệu điều chế FSK



(H 2.11)

Điều chế pha (Φ size 12{ Φ } {}M)

Từ phương trình (6) nếu góc pha $\Phi(t)$ thay đổi theo tín hiệu thông tin ta có điều chế pha. Vậy:

$$e_{PM}(t) = A_c \cos[\omega_c t + m_p g(t)] \quad (15)$$

Trong đó m_p là độ dither pha cực đại

Tần số tức thời cho bởi:

$$\omega_i(t) = d\Phi(t)/dt$$

$$= \omega_c + m_p \frac{dg(t)}{dt}$$

Nếu $g(t)$ có dạng $\cos\omega_m t$ thì:

$$\omega_i(t) = \omega_c - m_p \omega_m \sin\omega_m t \quad (16)$$

$$e_{PM}(t) = A_c \cos[\omega_c t - m_p \omega_m \sin\omega_m t] \quad (17)$$

So sánh (17) và (13), xem m_p là chỉ số điều chế pha, tương đương với m_f trong FM, ta có thể xác định được băng thông của tín hiệu ΦM

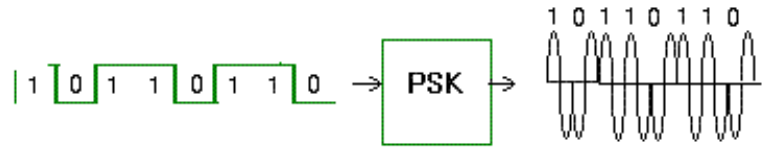
$$BW = 2(\omega_m + m_p \omega_m) \text{ rad/s} \quad (18)$$

$m_p \omega_m = \Delta\omega_{ep}$ là độ di tần tương đương của ΦM

So sánh (11) và (15) ta thấy kỹ thuật của FM và ΦM có cùng cơ sở. Điểm khác biệt là trong FM ta lấy tích phân của tín hiệu hạ tần trước khi điều chế còn trong ΦM thì không.

Điều chế pha là kỹ thuật rất tốt để truyền số liệu. Trong **kỹ thuật dither pha, PSK** (Phase-Shift Keying), các bit 1 và 0 được biểu diễn bởi các tín hiệu có cùng tần số nhưng có pha trái ngược nhau.

(H 2.12) mô tả một tín hiệu PSK.



(H 2.12)

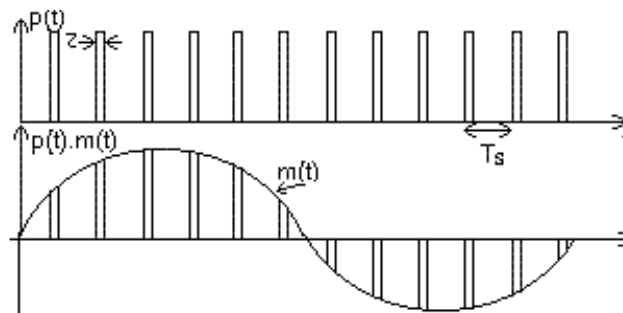
Điều chế xung (Pulse modulation)

Đây là phương pháp dùng tín hiệu hạ tần điều chế sóng mang là tín hiệu xung (có tần số cao hơn), còn gọi là phương pháp lấy mẫu tín hiệu hạ tần. Mặc dù các tín hiệu tương tự được lấy mẫu bởi các giá trị rời rạc, nhưng các mẫu này có thể có bất cứ giá trị nào trong khoảng biến đổi của tín hiệu hạ tần nên hệ thống truyền tín hiệu này là hệ thống truyền tương tự chứ không phải hệ thống truyền số.

Tùy theo thông số nào của xung thay đổi theo tín hiệu hạ tần, ta có : Điều chế biên độ xung (pulse amplitude modulation, PAM), điều chế vị trí xung (pulse position modulation, PPM), điều chế độ rộng xung (pulse width modulation, PWM)

Điều chế biên độ xung (PAM)

Khi một chuỗi xung hẹp với tần số lặp lại cao $p(t)$ được điều chế biên độ bởi tín hiệu sin tần số thấp $m(t)$, ta có sự điều chế biên độ xung. Tín hiệu sau khi điều chế là tích của hai tín hiệu $m(t).p(t)$ có dạng sóng là các xung với biên độ thay đổi theo dạng sóng hạ tần $m(t)$ (H 2.13).



(H 2.13)

a-/ Mẫu PAM tự nhiên (Natural PAM sampling)

Điều chế tín hiệu

Khi biên độ xung đã điều chế có đỉnh theo dạng của tín hiệu $m(t)$, ta có mẫu PAM tự nhiên (H 2.13).

Kết quả của phần 2.1.1 cho thấy tín hiệu $p(t)$ có thể phân tích thành các thành phần:

$$V_0 + \sum V_n \cos(n\omega_s t)$$

với $V_0 = V\tau/T_s$ là thành phần DC và $\omega_s = 2\pi/T_s$ là tần số của $p(t)$.

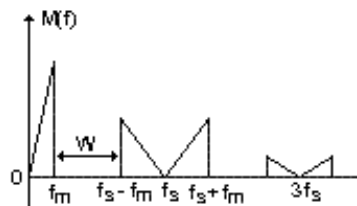
Như vậy, $m(t).p(t)$ bao gồm:

$$m(t).V_0 = m(t).V\tau/T_s \text{ và } m(t).\sum V_n \cos(n\omega_s t)$$

Tóm lại, tích $m(t).p(t)$ có chứa dạng sóng của tín hiệu điều chế (tín hiệu cần truyền) trong thành phần tần số thấp $m(t).V_0$ và có thể phục hồi bằng cách cho sóng mang đã điều chế qua một mạch lọc hạ thông.

Thành phần hạ tần có dạng $V_n m(t) \cos(n\omega_s t)$ tương tự như tín hiệu điều chế 2 băng cạnh triệt sóng mang (Double Sideband Suppressed Carrier, DSBSC).

Phổ tần của tín hiệu PAM với hạ tần là $m(t) = \sin\omega_m t$ có dạng như (H 2.14)



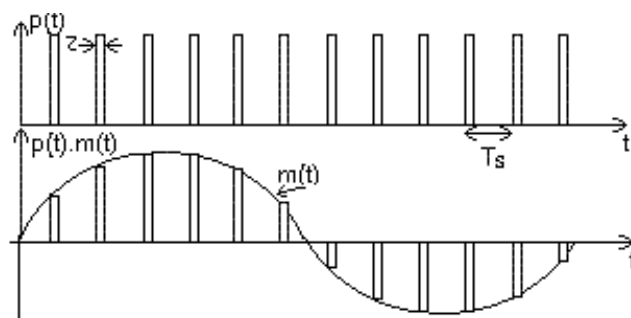
(H 2.14)

Trong (H 2.14) $M(f)$ là phổ tần của tín hiệu dải nền và f_m là tần số cao nhất của tín hiệu này. Từ (H 2.14) ta cũng thấy tại sao tần số xung lấy mẫu f_s phải ít nhất hai lần lớn hơn f_m . Nếu $M(f)$ được phục hồi từ mạch lọc hạ thông, độ phân cách từ $M(f)$ tới dải tần kế cận phải lớn hơn 0, nghĩa là $W > 0$

$$W = f_s - f_m - f_m > 0 \text{ hay } f_s > 2 f_m$$

b-/ Mẫu PAM đỉnh phẳng (Flat-top PAM)

Đây là mẫu PAM được dùng rộng rãi do dễ tạo ra sóng điều chế. Dạng sóng cho ở (H 2.15) các xung sau khi điều chế có đỉnh phẳng chứ không theo dạng của hạ tần.



(H 2.15)

Mặc dù khi phục hồi tín hiệu từ mạch lọc hạ thông sẽ có biến dạng do đoạn đỉnh phẳng nhưng vì bề rộng xung thường rất nhỏ so với chu kỳ T_s nên biến dạng không đáng kể. Nếu sự biến dạng là đáng kể thì cũng có thể loại bỏ bằng cách cho tín hiệu đi qua một mạch bù trừ.

Tín hiệu PAM ít được dùng để phát trực tiếp do lượng thông tin cần truyền chứa trong biên độ của xung nên dễ bị ảnh hưởng của nhiễu. PAM thường được dùng như là một bước trung gian trong một phương pháp điều chế khác, gọi là **điều mã xung** (pulse code modulation, **PCM**) và được dùng trong đa hợp thời gian để truyền (TDM).

Điều chế thời gian xung (Pulse -time Modulation, PTM)

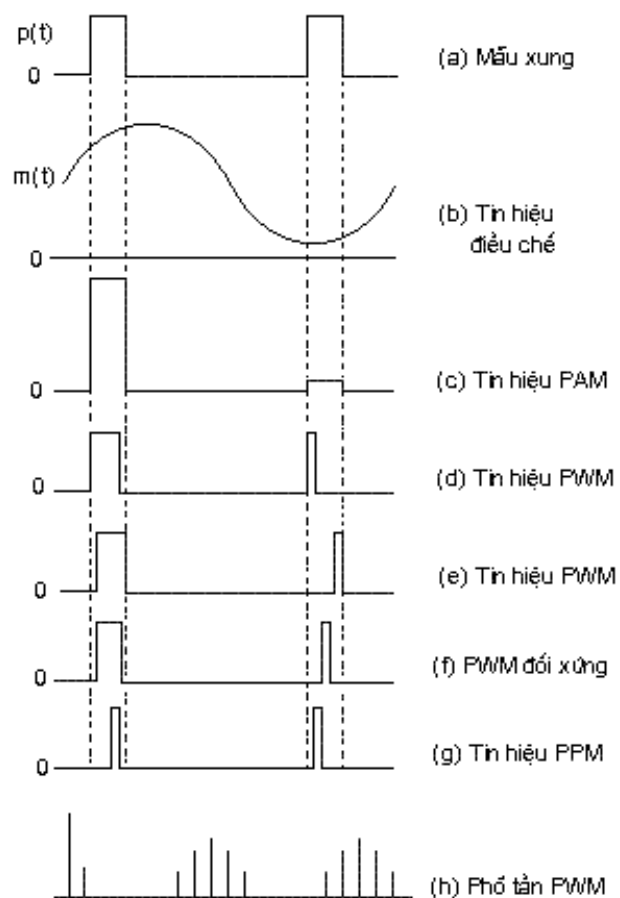
Điều chế thời gian xung bao gồm bốn phương pháp (H 2.16). Ba phương pháp đầu tập trung trong một nhóm gọi là điều chế độ rộng xung (Pulse-width modulation, PWM) (H 2.16d, e, f), phương pháp thứ tư là điều chế vị trí xung (Pulse-position modulation, PPM) (H 2.16g).

Ba phương pháp điều chế độ rộng xung khác nhau ở điểm cạnh lên, cạnh xuống hay điểm giữa xung được giữ cố định trong khi độ rộng xung thay đổi theo tín hiệu điều chế.

Phương pháp thứ tư, PPM là thay đổi vị trí xung theo tín hiệu điều chế trong khi bề rộng xung không đổi. (H 2.16) minh họa cho các cách điều chế này.

Lưu ý là kỹ thuật PTM tương tự với điều chế FM và ΦM , tín hiệu có biên độ không đổi nên ít bị ảnh hưởng bởi nhiễu.

Phổ tần của tín hiệu đã điều chế bằng phương pháp PWM, PPM giống như phổ tần của tín hiệu điều chế FM (H 2.16h), nghĩa là có nhiều họa tần nên khi sử dụng PWM và PPM người ta phải gia tăng tần số xung lấy mẫu hoặc giảm độ di tần (để giới hạn băng thông của tín hiệu và tăng số kênh truyền).



(H 2.16)