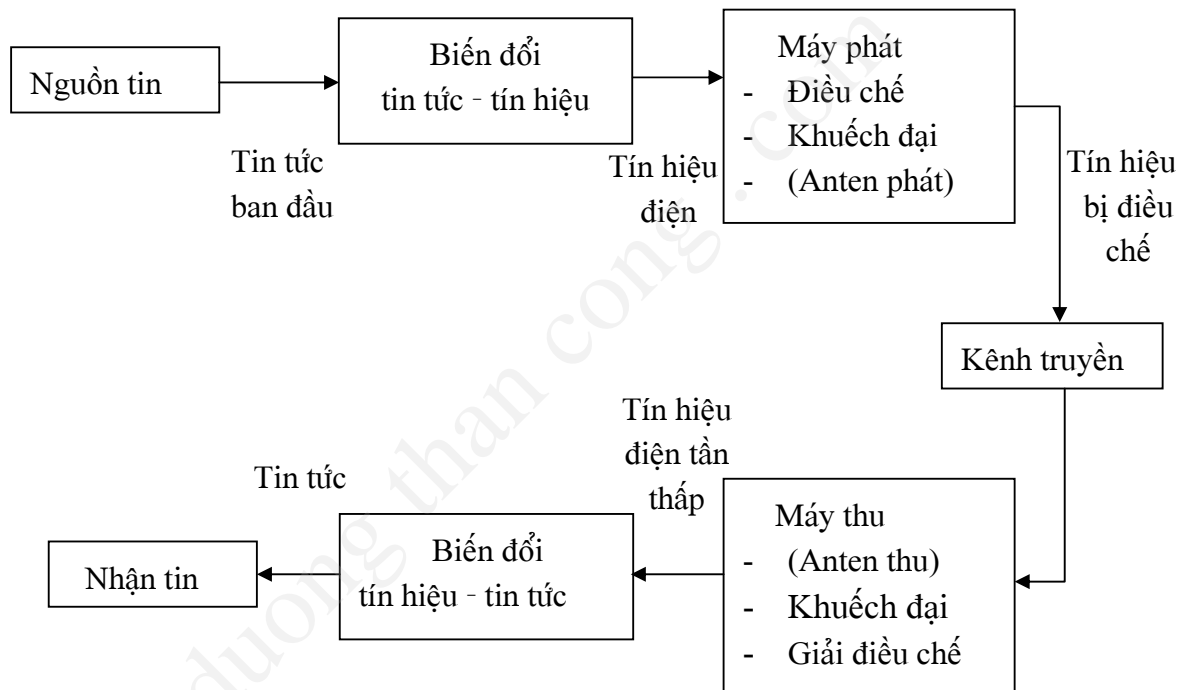


Chương 2

BIẾN ĐỔI TÍN HIỆU

2.1. Sơ đồ nguyên lý chung của một HTTT (Hệ Thống Thông Tin) truyền tín hiệu tương tự :

Mỗi HTTT có nhiệm vụ truyền tin tức từ nơi phát đến nơi nhận tin. Dưới đây là sơ đồ nguyên lý chung của một HTTT truyền tín hiệu tương tự:



Hình 2.1 Sơ đồ nguyên lý chung của 1 HTTT.

- **Nguồn tin** là nơi cung cấp các tin tức ban đầu chưa ở dạng tín hiệu điện, như tiếng nói trong điện thoại; tiếng nói, âm nhạc trong thông tin phát thanh; tiếng nói, âm nhạc và hình ảnh trong truyền hình...

- Để có thể truyền tin tức người ta thường chuyển nó thành tín hiệu điện phù hợp cho các hệ thống thông tin. Ví dụ micro trong thông tin điện thoại và phát thanh, micro và camera đối với truyền hình v.v...

- **Máy phát** là khối bao gồm các chức năng: biến đổi các tín hiệu điện thành dạng tiện lợi cho việc truyền đi xa, có khả năng chống nhiễu cao và không làm méo tín hiệu trong quá trình xử lý. Có thể thực hiện được các

mục tiêu cơ bản này nhờ khâu điều chế tín hiệu. Ngoài ra để đảm bảo công suất phát máy phát phải thực hiện khuếch đại tín hiệu. Đối với các hệ thống thông tin vô tuyến, máy phát phải có anten phát để bức xạ tín hiệu điện thành sóng điện từ lan truyền trong không gian .

- Tín hiệu sau khi qua máy phát được truyền lên kênh truyền để đến máy thu. Có hai loại kênh truyền cơ bản là dây dẫn (cáp điện, cáp quang) và vô tuyến (truyền trong không gian). Các kênh tin được dùng trong thông tin điện thoại, điện báo, truyền hình công nghiệp, phát thanh, truyền hình, thông tin vệ tinh và đo lường, điều khiển từ xa...

- Tín hiệu sau khi qua kênh truyền sẽ đi đến máy thu. Các bộ phận cơ bản của máy thu là anten thu (trong trường hợp kênh truyền vô tuyến), các bộ khuếch đại và giải điều chế. Sau khi qua các thiết bị này tín hiệu sẽ được trả về dạng tín hiệu điện tần thấp ban đầu nhưng vẫn chưa thích hợp cho nơi nhận tin là con người. Vì vậy tín hiệu điện cần phải qua bộ biến đổi tín hiệu-tin tức là các thiết bị như ống nghe trên máy điện thoại, loa trong radio và màn hình với loa trên tivi, màn hình máy tính, máy in v.v..., qua đó con người sẽ nhận được các tín hiệu vật lý ban đầu.

2.2. Mục đích của điều chế tín hiệu :

Định nghĩa: Điều chế tín hiệu là phép toán chuyển đổi từ một tín hiệu mang tin tức sang một tín hiệu khác mà không làm thay đổi về tin tức mang theo.

Tín hiệu ở đầu ra bộ biến đổi tin tức-tín hiệu có tần số rất thấp do đó không thể truyền đi xa vì hiệu suất truyền không cao. Người ta thực hiện điều chế tín hiệu với các mục đích chính sau đây:

- Chuyển phổ của tín hiệu lên phạm vi tần số cao, ở đó ta có thể có kích thước hợp lý của anten phát. Trong trường hợp kênh truyền là dây dẫn dài thông của đa số các cáp cũng nằm trong miền tần số cao, các tín hiệu tần số thấp sẽ bị suy giảm. Do có sự dịch chuyển phổ tín hiệu các hiệu ứng đó sẽ bị mất đi. (Trong lý thuyết trường điện từ người ta chứng minh được kích thước của anten phát phải $\geq 1/10 \lambda$ (độ dài bước sóng phát xạ), phổ của tín hiệu tiếng nói thường vào khoảng 200Hz - 10 kHz , như vậy kích thước của anten phải lớn cỡ hàng chục km nếu phát tín hiệu ở tần số thấp.

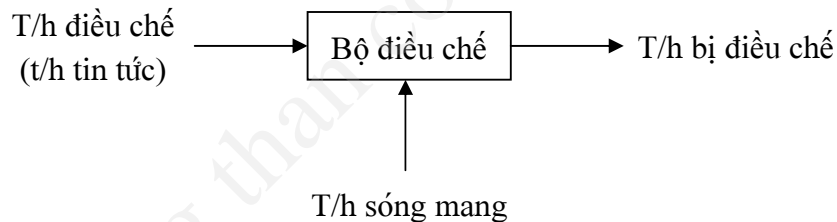
- Điều chế tín hiệu cho phép ta sử dụng hữu hiệu kênh truyền. Nếu không có điều chế thì trên một kênh truyền chỉ truyền đi được một tín hiệu tại mỗi thời điểm. Nếu truyền đồng thời hai hay nhiều tín hiệu cùng một lúc

thì không thể tách riêng chúng ra được ở đầu thu. Điều chế tín hiệu là dịch chuyển phổ của tín hiệu từ tần số thấp lên miền tần số cao khác nhau, ở đầu thu sẽ thu được riêng rẽ từng tín hiệu nhờ những mạch lọc thông dải.

Điều chế tín hiệu tăng khả năng chống nhiễu cho HTTT, bởi vì các tín hiệu điều chế có khả năng chống nhiễu, mức độ tùy thuộc vào các loại điều chế khác nhau.

2.3 Phân loại điều chế :

Điều chế tín hiệu được thực hiện ở bên phát với mục đích là chuyển phổ của tín hiệu từ miền tần số thấp lên miền tần số cao. Việc dịch chuyển phổ của tín hiệu lên tần số cao được thực hiện bằng cách làm thay đổi các thông số của sóng mang có tần số cao. Trong thực tế người ta dùng hai loại sóng mang là các dao động hình sin cao tần hoặc các dãy xung, do đó tương ứng ta sẽ có hai hệ thống điều chế là điều chế liên tục và điều chế xung.



Hình 2.2 Nguyên tắc chung điều chế tín hiệu.

Trong hệ thống điều chế liên tục, tín hiệu điều chế (tín hiệu tin tức) sẽ tác động làm thay đổi các thông số như biên độ, tần số hoặc góc pha của sóng mang là các dao động điều hòa. Sóng mang có thông số thay đổi theo tín hiệu tin tức được gọi là tín hiệu bị điều chế.

Trong hệ thống điều chế xung, sóng mang là các dãy xung vuông góc tuần hoàn, tin tức sẽ làm thay đổi các thông số của nó là biên độ, độ rộng và vị trí xung.

Sự khác nhau căn bản giữa tín hiệu điều chế liên tục và điều chế xung là ở chỗ trong hệ thống điều chế liên tục tín hiệu mang tin tức được truyền đi liên tục theo thời gian. Còn trong hệ thống điều chế xung, tín hiệu mang tin tức chỉ được truyền trong khoảng thời gian có xung.

2.4. Điều chế tín hiệu liên tục (tương tự):

Gọi $\lambda(t)$ là tín hiệu mang tin tức (tần số thấp) và hơn nữa $\lambda(t)$ đã được chuẩn hóa nghĩa là:

$$-1 \leq \lambda(t) \leq 1 \text{ hay } |\lambda(t)| \leq 1 \quad (2.1)$$

(chẳng hạn bằng cách chia $\lambda(t)$ cho λ_{\max})

Khi đó điều chế 1 sóng mang điều hòa hình sin dạng:

$$u(t) = U_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (2.2)$$

có thể được thực hiện theo biên độ U_0 , tần số ω_0 và pha φ_0 . Cũng có thể thực hiện điều chế đồng thời, chẳng hạn như vừa theo tần số lẫn biên độ v.v..

Các biểu thức đối với tín hiệu hình sin bị điều chế bởi tín hiệu mang tin tức $\lambda(t)$ tương ứng với điều biên AM (Amplitude Modulation), điều tần FM (Frequency Modulation) và điều pha PM (Phase Modulation) sẽ có dạng sau đây :

$$u(t)_{AM} = U_0 [1 + m\lambda(t)] \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (2.3)$$

$$u(t)_{FM} = U_0 \sin\left(\omega_0 t + \Delta\omega \int_0^t \lambda(t) dt + \varphi_0\right)$$

(2.4)

$$u(t)_{PM} = U_0 \sin[\omega_0 t + \Delta\varphi \cdot \lambda(t) + \varphi_0], \quad (2.5)$$

trong đó:

m : hệ số điều biên, $m \leq 1$

$\Delta U = mU_0$: số gia cực đại của biên độ điện áp,

$\Delta\omega$: số gia cực đại của tần số,

$\Delta\varphi$: số gia cực đại của góc dịch pha.

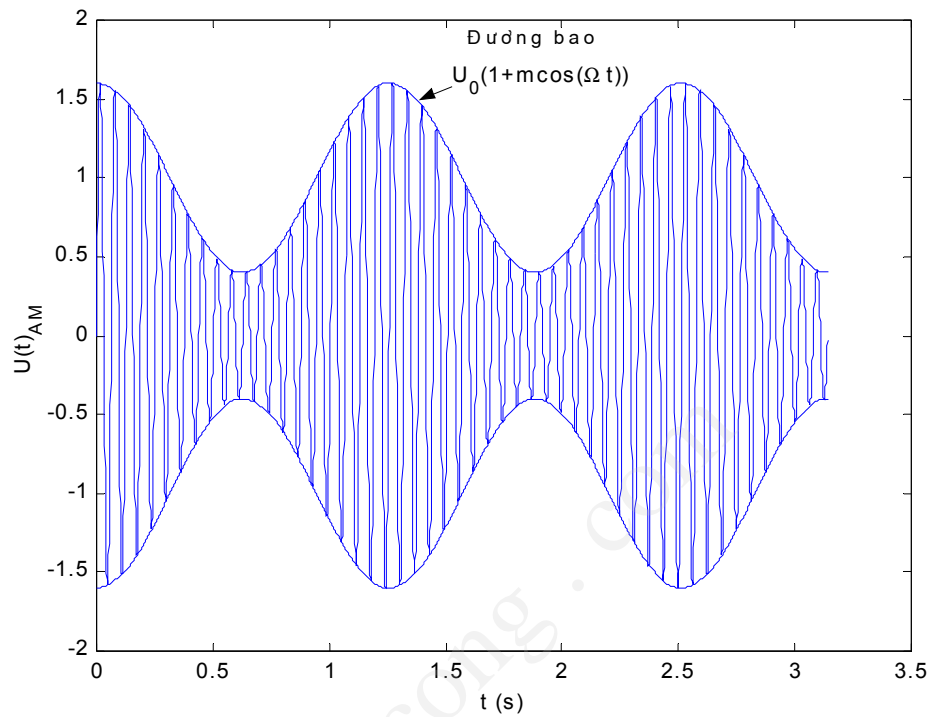
Tín hiệu mang tin tức $\lambda(t)$ nói chung có thể là một hàm bất kỳ, dưới đây ta sẽ giới hạn bởi việc xét trường hợp hay gặp nhất là tín hiệu:

$$\lambda(t) = \cos \Omega t, \quad (2.6)$$

trong đó tần số Ω thấp hơn nhiều so với ω_0 .

2.4.1. Điều biên :

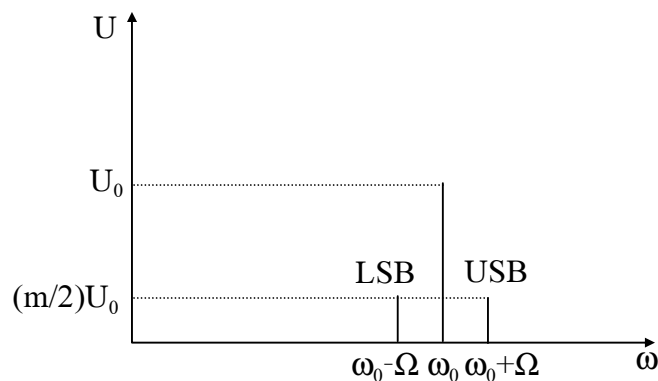
Từ biểu thức (2.3) ta thấy điều biên nghĩa là làm thay đổi biên độ U_0 của sóng mang $U_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$ thành biên độ $U_0 + mU_0 \cos \Omega t$ (đường bao trên hình 2.3) dao động theo sự thay đổi của tín hiệu mang tin tức $\lambda(t) = \cos \Omega t$.



Hình 2.3 Điều biên (AM).

Từ (2.3) và (2.6) ta có :

$$\begin{aligned}
 u(t)_{AM} &= U_0 [1+m \cos \Omega t] \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \\
 &= U_0 [\sin(\omega_0 t + \varphi_0) + m \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \cdot \cos \Omega t] \\
 &= U_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) + (m/2) \cdot U_0 \cdot \sin[(\omega_0 + \Omega)t + \varphi_0] + (m/2) \cdot U_0 \cdot \sin[(\omega_0 - \Omega)t + \varphi_0] \quad (2.7)
 \end{aligned}$$



Hình 2.4 Phổ biên độ của tín hiệu điều biên AM (3 vạch).

Như vậy ứng với tín hiệu mang tin tức $\lambda(t) = \cos \Omega t$ thì từ biểu thức trên ta rút ra được nhận xét là phổ của tín hiệu điều biên (hình 2.4) là phổ

vạch gồm 3 vạch tạo thành từ 3 tần số: vạch trung tâm ứng với tần số sóng mang ω_0 và 2 vạch nằm đối xứng ở 2 bên vạch trung tâm ứng với các tần số $\omega_0 - \Omega$ và $\omega_0 + \Omega$. Các vạch này còn được gọi là các dải biên dưới (LSB - Lower Side Band) và dải biên trên (USB - Upper Side Band). Dải thông của tín hiệu điều biên $u(t)_{AM}$:

$$BW = [(\omega_0 + \Omega) - (\omega_0 - \Omega)] / (2\pi) = \Omega / \pi. \quad (2.8)$$

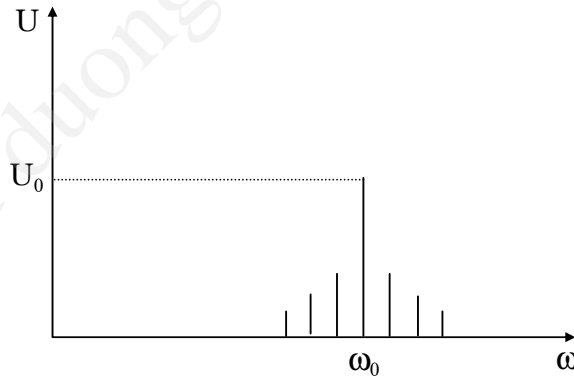
Cả 3 tần số ω_0 , $\omega_0 - \Omega$ và $\omega_0 + \Omega$ đều nằm ở miền tần số cao (do $\omega_0 \gg \Omega$). Như vậy ta đã dịch chuyển được tần số thấp Ω vào miền tần số cao.

Trong trường hợp tín hiệu $\lambda(t)$ tuần hoàn và được biểu diễn dưới dạng tổng của các thành phần điều hòa hình sin:

$$\lambda(t) = \sum_{k=1}^n C_k \sin(k\Omega t + \varphi_k) \quad (2.9)$$

thì:

$$\begin{aligned} u(t)_{AM} &= U_0 [1 + m \sum_{k=1}^n C_k \sin(k\Omega t + \varphi_k)] \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = \\ &= U_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) - \frac{m}{2} \sum_{k=1}^n C_k \cos[(\omega_0 - k\Omega)t + \varphi_0 - \varphi_k] + \\ &+ \frac{m}{2} \sum_{k=1}^n C_k \cos[(\omega_0 + k\Omega)t + \varphi_0 + \varphi_k] \end{aligned} \quad (2.10)$$



Hình 2.5 Phổ biên độ của tín hiệu điều biên AM ($2n+1$ vạch).

Phổ biên độ của tín hiệu điều biên $u(t)_{AM}$ trong trường hợp này (hình 2.5) sẽ gồm $2n+1$ vạch ứng với các tần số ω_0 , $\omega_0 - \Omega$, $\omega_0 + \Omega$, $\omega_0 - 2\Omega$, $\omega_0 + 2\Omega, \dots, \omega_0 - n\Omega$, $\omega_0 + n\Omega$. Dải thông của tín hiệu điều biên $u(t)_{AM}$:

$$BW = [(\omega_0 + n\Omega) - (\omega_0 - n\Omega)] / (2\pi) = n\Omega / \pi. \quad (2.11)$$

Khi truyền các tín hiệu điều biên cần phải chú ý để các anten và các mạch thu phát phải cho qua được tất cả các dải biên.

Xét trường hợp đơn giản khi tín hiệu điều biên chỉ có 2 dải biên. Công suất của tín hiệu điều biên:

$$P_{AM} = P_C + P_{LSB} + P_{USB} \quad (2.12)$$

Trong đó:

P_C : công suất sóng mang (carrier),

P_{LSB} , P_{USB} : công suất của các dải biên.

Công suất của mỗi dải biên:

$$P_{LSB} = P_{USB} = \frac{P_C \cdot m^2}{4} \quad (2.13)$$

Từ (2.12) và (2.13) ta có biểu thức công suất của tín hiệu điều biên:

$$P_{AM} = P_C \cdot \left(1 + \frac{m^2}{2}\right) \quad (2.14)$$

Ví dụ: Giả sử hệ số điều biên $m=1$ và $P_C=100$ W. Ta có:

$$P_{LSB} = P_{USB} = \frac{100}{4} = 25 \text{ W},$$

$$P_{AM} = 100 + 25 + 25 = 150 \text{ W}.$$

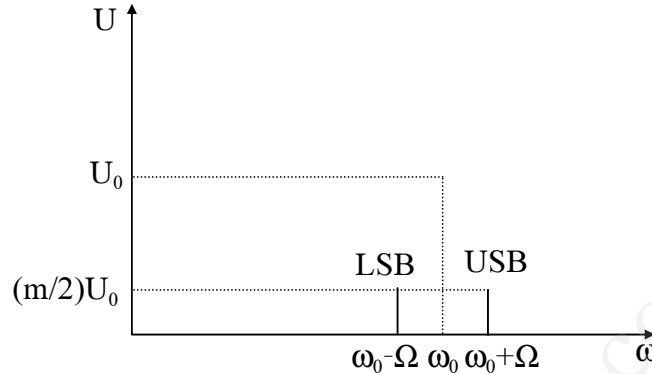
Như vậy trong trường hợp này công suất của các dải biên (50 W) chiếm 1/3 công suất của tín hiệu điều biên, còn lại 2/3 là công suất sóng mang. Tuy nhiên bản thân sóng mang không chứa thông tin truyền đi mà chính các dải biên mới thực hiện nhiệm vụ này. Có nghĩa là 2/3 công suất của tín hiệu điều biên là "thừa", chỉ có 1/3 công suất của các dải biên mới có ích. Vì vậy điều biên AM như trên là phương pháp điều chế chưa hiệu quả.

Khi hệ số điều biên m càng bé thì công suất của các dải biên sẽ càng bé. Nếu hệ số điều biên m càng lớn thì công suất của các dải biên cũng sẽ càng lớn, nghĩa là tín hiệu sẽ càng mạnh khi được truyền đi. Vì vậy nếu m càng lớn gần bằng 1 thì công suất của tín hiệu điều biên càng mạnh. Tuy nhiên trong thực tế khó lòng thực hiện điều biên với $m=1$ vì các tín hiệu tiếng nói, hình ảnh (video)... không có biên độ cố định mà biên độ và tần số của chúng thay đổi trong một phạm vi rộng. Nếu công suất của các dải biên được truyền đi bị yếu thì tín hiệu nhận được tương ứng cũng yếu và hệ thống thông tin sẽ kém tin cậy.

Ta thấy chỉ có các dải biên mới chứa thông tin cần truyền (chứa tần số tín tức Ω bên trong), trong khi sóng mang thì không, hơn nữa sóng mang lại chiếm công suất quá lớn (2/3 tổng công suất trong trường hợp điều biên

100% ứng với $m=1$). Vì vậy để cải tiến điều biên AM, người ta tìm cách lọc, làm triệt tiêu thành phần phổ ứng với sóng mang.

Nếu trong quá trình điều chế làm triệt tiêu sóng mang, chỉ còn để lại 2 dải biên, ta có cách truyền thông dải biên kép DSB (Double Side Band).



Hình 2.6 Truyền thông dải biên kép DSB (Double Side Band).

Tuy nhiên trong thực tế DSB thường ít được dùng vì nó rất khó giải điều chế ở thiết bị thu. Do thông tin truyền đi ở 2 dải biên thực chất gần giống nhau (1 dải có chứa tần số $\omega_0 - \Omega$, 1 dải chứa tần số $\omega_0 + \Omega$) nên hoàn toàn có thể chỉ cần truyền đi 1 dải biên, còn dải biên kia chặn lại. Khi đó ta có cách truyền thông đơn biên SSB (Single Side Band). Tín hiệu SSB có thể hoặc là dải biên trên (USB) hoặc là dải biên dưới (LSB). Trong thực tế 1 máy phát SSB tạo ra cả 2 dải biên và có 1 bộ chuyển mạch cho phép chọn dải biên trên hoặc dưới để truyền đi.

Khi tín hiệu tiếng nói (hoặc tín hiệu điều chế nói chung) bằng 0 (chẳng hạn khi người nói dừng lại nghỉ một tí) thì tín hiệu SSB sẽ không được tạo ra. Ngược lại trong AM khi không có tín hiệu điều chế, sóng mang vẫn phải được truyền đi. Do đó SSB hiệu quả hơn nhiều so với AM.

Truyền thông đơn biên có các ưu điểm chính sau:

- Tín hiệu SSB chỉ chiếm có 1 nửa không gian phổ so với các tín hiệu AM hay DSB. Điều đó cho phép tiết kiệm không gian phổ và cho phép truyền được nhiều tín hiệu hơn trong cùng 1 dải tần số (so với AM và DSB), đồng thời khi đó khả năng giao thoa giữa các tín hiệu cũng giảm xuống.

- Công suất tín hiệu bây giờ chỉ hoàn toàn tập trung trong 1 dải biên, vì vậy tín hiệu truyền đi sẽ mạnh hơn và có thể truyền đi xa hơn, tin cậy hơn. Hiệu suất truyền cao hơn so với AM và DSB.

- Dải thông của SSB nhỏ hơn so với AM và DSB (và tương ứng dải thông của mạch thu cũng nhỏ hơn). Vì vậy tín hiệu SSB sẽ ít bị tác động của nhiễu hơn. Nhiễu là tín hiệu ngẫu nhiên được hình thành từ 1 số lượng bất định các tần số nào đó. Do đó việc thu hẹp dải thông có tác dụng lọc bớt phần nào các tần số của nhiễu.

- Tín hiệu SSB ít fading hơn so với tín hiệu AM. Fading ở đây nghĩa là tín hiệu tăng hoặc giảm mạnh khi máy thu nhận nó. Fading xuất hiện trong AM vì sóng mang và các dải biên có thể được máy thu được lệch nhau về thời gian và pha với nhau. Lý do là vì sóng mang và các dải biên do nằm ở các tần số khác nhau nên chịu sự tác động của tầng iôn hóa trong khí quyển một cách khác nhau. Tầng iôn hóa này có tác dụng uốn cong các tín hiệu sóng mang và các dải biên xuống mặt đất ở các góc khác nhau một ít, vì vậy các tín hiệu này có thể đi đến thiết bị thu không đồng thời. Đối với tín hiệu SSB chỉ có 1 dải biên, loại fading này sẽ không xuất hiện.

Khi tín hiệu $u(t)_{AM}$ đi đến thiết bị giải điều chế (bộ tách sóng) thì sẽ thực hiện quá trình khôi phục ngược lại tín hiệu $\lambda(t)$, tức là dịch chuyển ngược lại phổ vào miền tần số thấp. Ta xét 1 bộ giải điều chế đơn giản loại tuyến tính 2 nửa chu kỳ, chỉ cho qua thành phần dao động điều biên 1 cực (ví dụ toàn giá trị dương). Không mất tính tổng quát ta giả sử $\varphi_0 = 0$. Khi đó điện áp trên đầu ra của thiết bị giải điều chế tuyến tính 2 nửa chu kỳ nói trên sẽ có dạng :

$$u(t) = U_0 (1 + m \cos \Omega t) |\sin \omega_0 t|. \quad (2.15)$$

Khai triển $|\sin \omega_0 t|$ vào chuỗi Fourier:

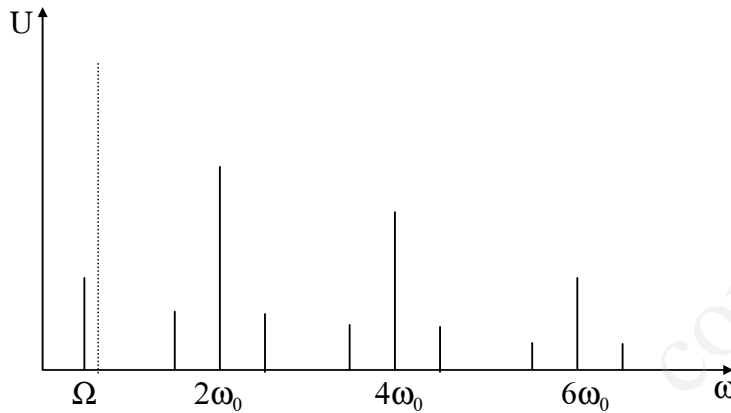
$$|\sin \omega_0 t| = \frac{2}{\pi} \left(1 - 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\cos 2k\omega_0 t}{4k^2 - 1} \right). \quad (2.16)$$

Khi đó:

$$\begin{aligned} u(t) &= \frac{2}{\pi} U_0 \left[1 + m \cos \Omega t - 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\cos 2k\omega_0 t}{4k^2 - 1} - 2m \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\cos 2k\omega_0 t \cos \Omega t}{4k^2 - 1} \right] \\ &= \frac{2}{\pi} U_0 \left[1 + m \cos \Omega t - 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\cos 2k\omega_0 t}{4k^2 - 1} - m \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\cos(2k\omega_0 + \Omega)t}{4k^2 - 1} - m \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\cos(2k\omega_0 - \Omega)t}{4k^2 - 1} \right] \end{aligned} \quad (2.17)$$

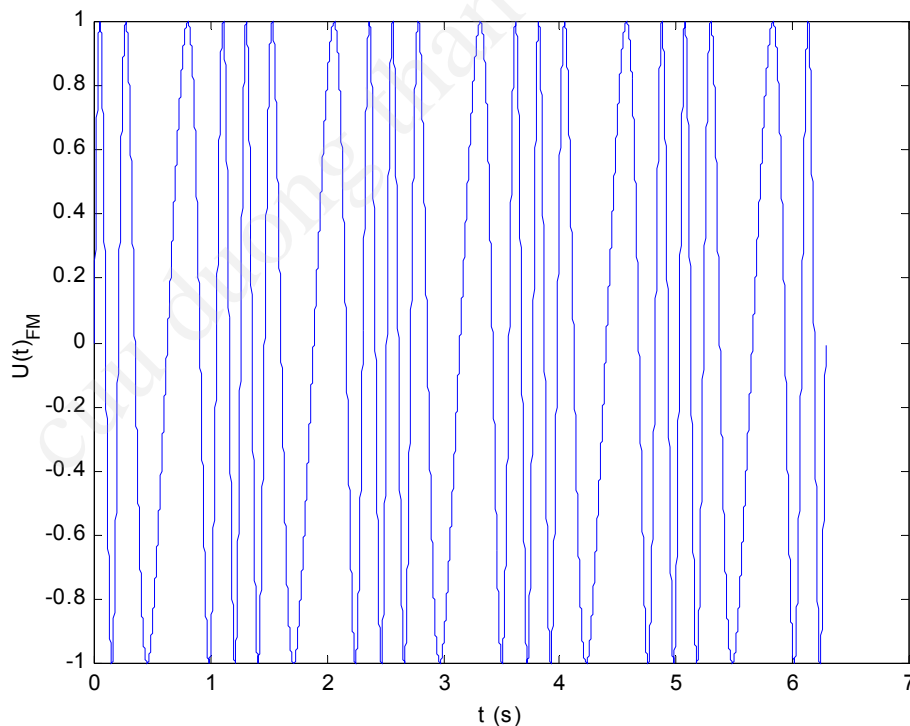
$u(t)$ tạo thành từ tín hiệu có thành phần không đổi $\frac{2}{\pi} U_0 \cdot 1$, thành phần tín hiệu điều chế $\frac{2}{\pi} U_0 m \cos \Omega t$ và các thành phần còn lại có tần số cao $2k\omega_0 - \Omega$, $2k\omega_0$, $2k\omega_0 + \Omega$ ($k=1,2,\dots$). Phổ của tín hiệu $u(t)$ có dạng như ở hình 2.7. Nếu

ở đầu ra của bộ giải điều chế ta đặt bộ lọc thông thấp chỉ cho qua tần số không quá Ω thì tất cả các thành phần có tần số cao sẽ bị giữ lại sau khi qua bộ lọc thông thấp, chỉ có tần số của tín hiệu mang tin tức ban đầu Ω là đi qua được để đến thiết bị thu.



Hình 2.7 Phổ của tín hiệu AM ở đầu ra bộ giải điều chế.

2.4.2. Điều tần và điều pha :



Hình 2.8 Điều tần (FM).

Không mất tính tổng quát, ta giả sử φ_0 ,

$$\lambda(t) = \cos \Omega t, \quad (2.18)$$

trong đó tần số tín hiệu điều chế Ω thấp hơn nhiều so với tần số sóng mang ω_0 .

Khi đó từ (2.4) và (2.18) ta có biểu thức của tín hiệu điều tần:

$$\begin{aligned} u(t)_{\text{FM}} &= U_0 \sin \left[\omega_0 t + \Delta \omega \int_0^t \cos \Omega t dt \right] \\ &= U_0 \sin(\omega_0 t + m \sin \Omega t), \end{aligned} \quad (2.19)$$

trong đó:

$\Delta \omega$: số gia cực đại của tần số,

$m = \frac{\Delta \omega}{\Omega}$: hệ số điều tần.

$$u(t)_{\text{FM}} = U_0 [\cos(m \sin \Omega t) \sin \omega_0 t + \sin(m \sin \Omega t) \cos \omega_0 t] \quad (2.20)$$

Nếu ta chọn hệ số điều tần $m \ll 1$ thì khi đó:

$$m \sin \Omega t \ll 1 \Rightarrow \sin(m \sin \Omega t) \approx m \sin \Omega t \quad (2.21)$$

$$\cos(m \sin \Omega t) \approx 1 \quad (2.22)$$

Thay (2.21) và (2.22) vào (2.20) ta được:

$$\begin{aligned} u_{\text{FM}}(t) &= U_0 [\sin \omega_0 t + m \sin \Omega t \cos \omega_0 t] \\ &= U_0 [\sin \omega_0 t + (m/2) \sin(\omega_0 + \Omega)t - (m/2) \sin(\omega_0 - \Omega)t] \end{aligned} \quad (2.23)$$

Như vậy phổ của tín hiệu điều tần trong trường hợp hệ số điều tần m bé ($m \ll 1$) cũng gồm ba thành phần tương tự như điều biên với các tần số ω_0 , $\omega_0 - \Omega$, $\omega_0 + \Omega$, chỉ có khác là phổ pha ở tần số $\omega_0 - \Omega$ thì ngược lại 1 góc 180° so với điều biên (dấu trừ trước biểu thức $(m/2) \sin(\omega_0 - \Omega)t$).

Trong trường hợp chung khi hệ số điều tần m tăng lên, không thỏa mãn điều kiện $m \ll 1$ nữa thì phổ của tín hiệu điều tần sẽ mở rộng ra, chứ không còn có dạng như trên nữa. Để phân tích phổ của tín hiệu điều tần cần phải khai triển các hàm $\cos(m \sin \Omega t)$ và $\sin(m \sin \Omega t)$ vào chuỗi Fourier nhờ các hàm Bessel $J_k(m)$ loại một bậc k với k là số nguyên:

$$J_k(m) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} (-1)^i \frac{\left(\frac{m}{2}\right)^{2i+k}}{i!(i+k)!}. \quad (2.24)$$

Các hàm Bessel thường được lấy từ bảng số hoặc được tính nhờ một số các phần mềm như MATLAB, MATHCAD.

Khi đó ta có:

$$\begin{aligned} u(t)_{\text{FM}} &= U_0 \sin(\omega_0 t + m \sin \Omega t) \\ &= U_0 \left\{ J_0(m) \sin \omega_0 t + \sum_{k=1}^{\infty} J_k(m) [\sin(\omega_0 + k\Omega)t + (-1)^k \sin(\omega_0 - k\Omega)t] \right\} \end{aligned} \quad (2.25)$$

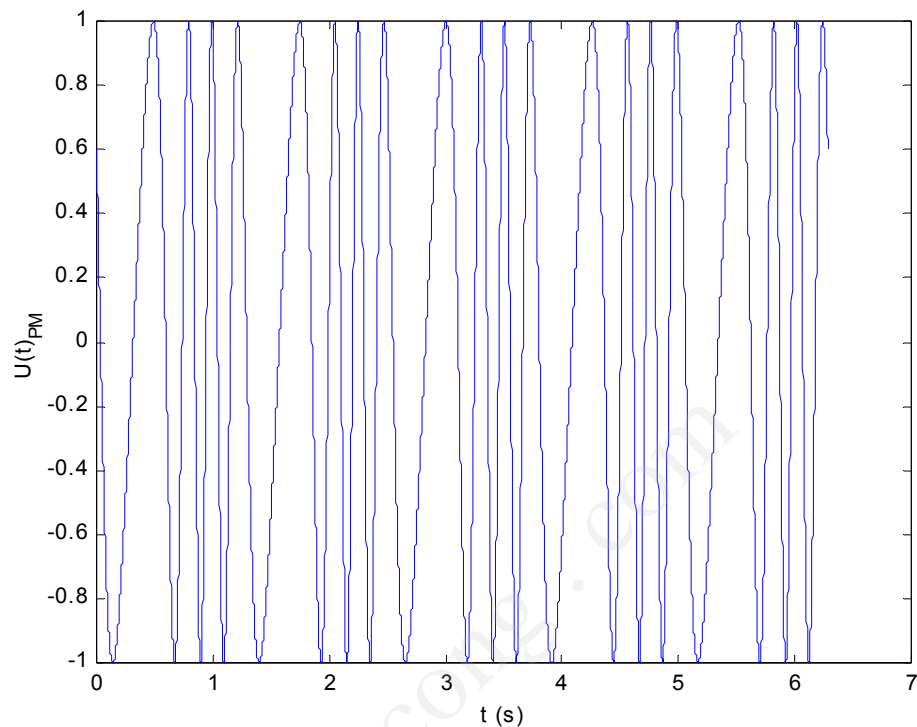
Như vậy $u_{FM}(t)$ là tổng của các dao động gồm thành phần có cùng tần số sóng mang ω_0 ; các thành phần dải biên với tần số $\omega_0 + k\Omega$ và $\omega_0 - k\Omega$ và biên độ được xác định thông qua các hàm Bessel.

Mặc dù quá trình điều tần tạo ra nhiều dải biên trên và dưới, trong thực tế chỉ có những dải biên nào có biên độ lớn mới chứa đựng thông tin. Dải biên nào có biên độ bé hơn 1% U_0 thì được xem như không chứa thông tin tín hiệu điều chế. Vì vậy dải thông của tín hiệu điều tần FM có thể xem như thu hẹp bớt lại.

Có thể xác định gần đúng dải thông của tín hiệu điều tần $u(t)_{FM}$ theo qui tắc Carson: Giả thiết chỉ xét các dải biên của tín hiệu điều tần có biên độ lớn hơn 2% biên độ sóng mang U_0 . Khi đó dải thông của tín hiệu điều tần sẽ là:

$$BW = (\Delta\omega + \Omega) / \pi. \quad (2.26)$$

FM có khả năng chống nhiễu và hiệu suất truyền tin cao hơn so với AM. Đặc biệt FM có hiệu ứng "nuốt kênh": Khi 2 tín hiệu FM cùng tần số cùng đi đến máy thu, nếu tín hiệu nào có biên độ lớn hơn 2 lần so với tín hiệu kia thì nó dường như "nuốt kênh", loại bỏ hoàn toàn tín hiệu yếu hơn và chiếm hết cả kênh. Trong khi đó trong AM ta có thể sẽ thu được cả 2 tín hiệu cùng một lúc. Do đó chất lượng thông tin FM sẽ cao hơn so với AM. Tuy nhiên khi 2 tín hiệu FM ở cùng tần số mạnh gần như nhau thì có thể xuất hiện hiện tượng khi thì tín hiệu này chiếm kênh, khi thì tín hiệu kia.



Hình 2.9 Điều pha (PM).

Ngoài ra FM có nhược điểm là chiếm dụng dải tần số tương đối lớn (so với AM) và các mạch điều chế, giải điều chế phức tạp hơn so với AM.

Biểu thức của tín hiệu điều pha PM (hình 2.9) có cấu trúc tương tự như điều tần FM:

$$\begin{aligned} u(t)_{PM} &= U_0 \sin[\omega_0 t + \Delta\phi \cdot \lambda(t)] \\ &= U_0 \sin[\omega_0 t + \Delta\phi \cdot \cos\Omega t] \end{aligned} \quad (2.27)$$

Điều tần và điều pha còn được gọi chung là điều chế góc.

2.5. Biến đổi tín hiệu liên tục thành tín hiệu rời rạc, điều chế mã xung PCM (Pulse Code Modulation)

Việc truyền đi và nhớ các tín hiệu rời rạc tương ứng với việc truyền và nhớ một tập hợp hữu hạn các ký tự hoặc một dãy các số.

Nếu tín hiệu liên tục có phổ tần số giới hạn thì nó luôn luôn có thể được truyền đi thông qua các giá trị của mình vào những thời điểm rời rạc. Khả năng thay thế tín hiệu liên tục bằng các giá trị rời rạc như thế gọi là sự rời rạc tín hiệu mà cơ sở của nó là định lý Kachennhikov-Shannon hay còn gọi là định lý rời rạc tín hiệu hay định lý lấy mẫu.

2.5.1. Định lý Kachennhikov-Shannon : (K-S)

Định lý: Nếu phổ của tín hiệu $\lambda(t)$ không chứa các tần số vượt quá F_m (Hz) thì nó hoàn toàn được xác định bởi các giá trị của mình vào các thời điểm cách nhau một khoảng Δt , trong đó:

$$\Delta t \leq \frac{1}{2F_m} \quad (2.28)$$

Tín hiệu có phổ giới hạn $\lambda(t)$ có thể biểu diễn dưới dạng chuỗi lượng giác:

$$\lambda(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \lambda(k\Delta t) \frac{\sin 2\pi F_m (t - k\Delta t)}{2\pi F_m (t - k\Delta t)} \quad (2.29)$$

Như vậy tín hiệu $\lambda(t)$ hoàn toàn được xác định bởi các giá trị của mình $\lambda(k\Delta t)$ cách nhau các đoạn Δt trong đó $\Delta t \leq \frac{1}{2F_m}$, Δt còn được gọi là khoảng cách rời rạc tín hiệu.

$$\text{(Lưu ý là: } \frac{\sin 2\pi F_m (t - k\Delta t)}{2\pi F_m (t - k\Delta t)} = \begin{cases} 1 & \text{khi } t = k\Delta t \\ 0 & \text{khi } t = i\Delta t \quad (i \neq k) \end{cases})$$

Theo định lý K-S thì để xác định một tín hiệu có phổ giới hạn trên khoảng thời gian T ta chỉ cần n giá trị của tín hiệu này mà:

$$n = \frac{T}{\Delta t} \geq \frac{T}{\frac{1}{2F_m}} = 2F_m \cdot T. \quad (2.30)$$

Cũng từ định lý K-S ta suy ra được rằng thay vì để truyền đi 1 tín hiệu liên tục thì ta có thể truyền đi tín hiệu rời rạc trong dạng một dãy các xung mà biên độ của nó bằng giá trị của tín hiệu liên tục được truyền đi tại các thời điểm rời rạc $k\Delta t$ và đoạn thời gian giữa chúng $\Delta t \leq \frac{1}{2F_m}$, tần số lấy mẫu $f_{\text{mẫu}} \geq 2F_m$

- Định lý K-S có ý nghĩa rất lớn đối với các HTTT ngày nay bởi vì tín hiệu số là loại tín hiệu dễ tạo mà khả năng chống nhiễu lại rất cao. Do đó các hệ thống thông tin số đang dần dần thay thế các hệ thống thông tin tương tự, nhất là trong lĩnh vực điện thoại, truyền hình...

2.5.2. Điều chế mã xung PCM: (Pulse Code Modulation):

Định nghĩa: Điều chế mã xung PCM về cơ bản là sự chuyển đổi tương tự - số thuộc một kiểu đặc biệt trong đó tín tức chứa trong các mẫu tức thời của một tín hiệu tương tự được biểu diễn bằng các từ số trong một chuỗi bit nối tiếp. (Một từ số bao gồm n chữ số nhị phân)

Trong thực tế mã nhị phân dễ tạo, dễ truyền, dễ xử lý...nên PCM được ứng dụng rất rộng rãi. Ngoài ra PCM còn có tỷ số S/N rất cao.

Tín hiệu PCM được tạo ra bằng cách thực hiện ba quá trình cơ bản:

- Lấy mẫu (còn gọi là điều chế biên độ xung PAM (Pulse-Amplitude Modulation)).

- Lượng tử hóa.

- Mã hóa.

Nếu sau đó tín hiệu PCM được truyền đi trong các hệ thống viễn thông làm việc chủ yếu ở phổ tần số cao thì trước khi truyền đi xa nó phải được điều chế cao tần còn khi truyền trực tiếp trong dây dẫn dài thông rộng thì không cần thiết phải điều chế cao tần tín hiệu PCM.

Sau đây ta sẽ xét lần lượt từng quá trình nêu trên:

2.5.2.1. Rời rạc hóa tín hiệu (hay lấy mẫu):

Là quá trình lấy mẫu định kỳ tín hiệu tương tự để thu được giá trị biên độ tức thời cho từng lần lấy mẫu, sau đó chỉ có những thông tin của các mẫu này được truyền đi. Như vậy các mẫu là rời rạc, nhưng tại đầu thu người ta sẽ khôi phục lại được tín hiệu ban đầu nếu quá trình điều chế đảm bảo các điều kiện sau:

- Tín hiệu điều chế có phổ tần hữu hạn.

- Quá trình lấy mẫu thực hiện đúng theo định lý K-S, tức là tần số lấy mẫu:

$$f_{\text{mẫu}} \geq 2F_m \quad (2.31)$$

Việc rời rạc hoá tín hiệu có nhiều tác dụng:

- Nâng cao chất lượng làm việc, đảm bảo độ tin cậy, chống nhiễu tốt, cho phép sử dụng kỹ thuật số.

- Sử dụng rộng rãi trong các hệ thống thông tin số để lưu trữ, điều chế và truyền dữ liệu...

Nói cách khác quá trình rời rạc hóa tín hiệu có thể xem như là quá trình thay thế tín hiệu liên tục bằng một dãy tín hiệu xung rời rạc. Dãy tín hiệu xung này phải đặc trưng, mô tả được dạng tín hiệu liên tục, và nó được lấy tại các thời điểm mở xung.

Dãy xung này có tần số càng cao càng tốt vì sẽ không làm biến dạng phổ tín hiệu liên tục. Nhưng thực tế không thể tăng dần tần số đến vô hạn, vì sẽ làm mất đi độ rộng xung, tức không còn ý nghĩa rời rạc hóa tín hiệu. Có nghĩa là về mặt lý tưởng thì xung lấy mẫu có độ rộng vô cùng nhỏ,

nhưng trong thực tế thì độ rộng xung có giới hạn và thường nhỏ hơn nhiều so với chu kỳ của tín hiệu lấy mẫu.

Như vậy sau khi lấy mẫu ta được tín hiệu là dãy xung có biên độ thay đổi (còn gọi là tín hiệu điều biên xung PAM - Pulse Amplitude Modulation).

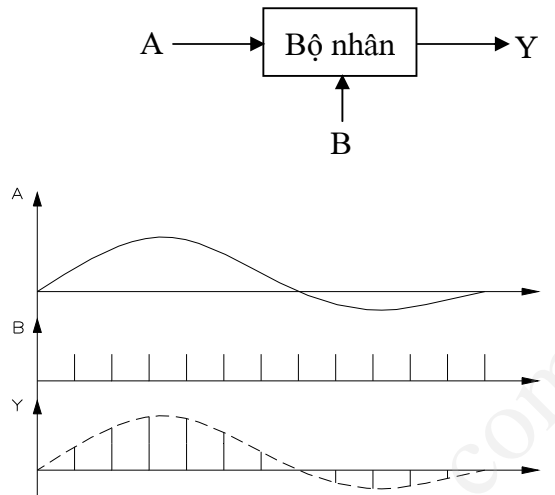
Ví dụ: Tín hiệu điện thoại có giới hạn tần số trong khoảng 300 - 3400 Hz. Vậy tần số lấy mẫu là $f \geq 2 \cdot 3400 = 6800$ Hz. Tốc độ lấy mẫu được khuyến nghị là 8000 xung/s, tức là tần số lấy mẫu lớn hơn 2 lần tần số 3400 Hz một ít. Tương ứng ta có chu kỳ lấy mẫu là:

$$T = 1/8000 = 125 \cdot 10^{-6} \text{ s} = 125 \text{ } \mu\text{s}.$$

Còn độ rộng xung thường nhỏ hơn nhiều (có trường hợp lấy 0,9-1 μs).

Việc rời rạc hóa tín hiệu có thể thực hiện nhờ các bộ nhân.

Tín hiệu đến ngõ vào A, tần số lấy mẫu vào từ ngõ B, ngõ ra Y nhận được tín hiệu điều biên xung PAM (hình 2.10).

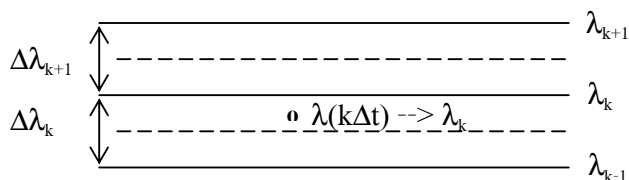


Hình 2.10. Rời rạc hoá tín hiệu

2.5.2.2. Lượng tử hóa và mã hóa tín hiệu:

ĐN : Lượng tử hóa tín hiệu là sự thay thế các mẫu đã được lấy từ tín hiệu tương tự bằng một tập hợp hữu hạn có mức biên độ đã được ấn định của bộ lượng tử. Giá trị biên độ của các mẫu từ nhỏ nhất đến lớn nhất được chia thành các khoảng gọi là bước lượng tử.

Thông qua lượng tử hóa, tín hiệu $\lambda(t)$ sẽ được biểu diễn bằng một tập hợp các số nguyên và việc truyền tin tức liên tục $\lambda(t)$ bây giờ được thay bằng sự truyền đi tập hợp các số nguyên đó. Như vậy lượng tử hóa gần giống như sự quy tròn số, mức độ quy tròn càng nhỏ thì độ chính xác càng cao. Độ chính xác của việc lượng tử hóa phụ thuộc vào việc chọn khoảng chia $\Delta\lambda$ trên trục tung hay còn gọi là các bước lượng tử hóa.

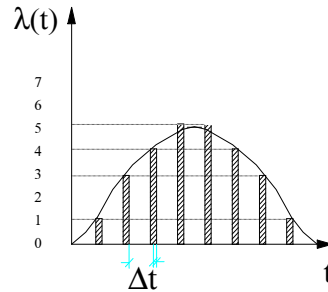


Hình 2.11. Điều kiện lượng tử hoá

$$\text{Nếu: } \lambda_{k-1} + 1/2 \Delta\lambda_k \leq \lambda(k\Delta t) < \lambda_{k+1} - 1/2 \Delta\lambda_{k+1} \quad (2.32)$$

Thì lượng tử hóa tín hiệu sẽ xấp xỉ giá trị $\lambda(k\Delta t)$ thành λ_k .

Lượng tử hóa tín hiệu cho phép làm giảm đi ảnh hưởng của các nhiễu yếu.



Hình 2.12. Ví dụ về lượng tử hoá.

Ví dụ về lượng tử hoá được minh hoạ trên hình 2.12. Trên hình vẽ thể hiện 8 mức lượng tử qua bộ 8 số nguyên từ 0 đến 7 trên trục tung. Đường cong $\lambda(t)$ được rời rạc hoá qua 8 mẫu (8 hình chữ nhật có gạch chéo) tính từ trái sang phải. Khi lượng tử hoá, các mẫu 1 và 8 nhận giá trị là 1, các mẫu 2 và 7 nhận giá trị là 3, các mẫu 3 và 6 nhận giá trị là 4, các mẫu 4 và 5 nhận giá trị là 5.

Số mức lượng tử M tương ứng với số tổ hợp mã nhị phân trong thiết bị mã hóa sau này, nên ta có biểu thức sau:

$$M = 2^m, \quad (2.33)$$

với M : số mức lượng tử hóa;

m : số bit dùng trong tổ hợp mã nhị phân.

Nếu các bước lượng tử hóa là đều nhau trên suốt trục tung ta có lượng tử hóa đều, nếu nó thay đổi ta có lượng tử hóa không đều.

Đặc điểm của lượng tử hóa đều :

- Các bước lượng tử hóa đều bằng nhau .
- Gây sai số trong giống nhau cho các tín hiệu có biên độ khác nhau.

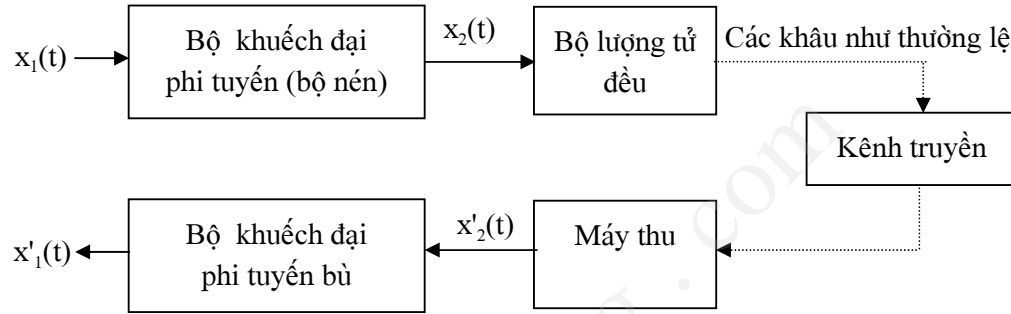
- Tỷ số tín hiệu trên nhiễu (S/N) sẽ rất kém đối với tín hiệu yếu .

Để đảm bảo tỷ số S/N đối với các mức tín hiệu yếu phải giảm bước lượng tử xuống hay nghĩa là tăng số mức lượng tử . Điều đó sẽ đồng nghĩa với việc tăng số bit của tổ hợp mã truyền đi; thiết bị mã hóa sẽ rất cồng kềnh, phức tạp và tốn kém.

Trong một số trường hợp ví dụ như tín hiệu thoại có xác suất tín hiệu yếu khá lớn. Để giảm số bit trong tổ hợp mã (tương ứng giảm số mức

lượng tử) mà vẫn đảm bảo số S/N lượng tử hóa cần thiết, ta có thể dùng phương pháp lượng tử hóa không đều hay còn gọi là lượng tử hóa phi tuyến.

Để thực hiện lượng tử hóa không đều người ta đặt một bộ khuếch đại phi tuyến (còn gọi là bộ nén) trước bộ lượng tử đều. còn ở phía thu để khôi phục lại tín hiệu người ta sử dụng dân bằng cách dùng bộ khuếch đại phi tuyến bù (còn gọi là bộ dẫn) có đặc tính đối xứng với phía phát.



Hình 2.13. Sơ đồ lượng tử hoá không đều.

Quá trình nén dân các biên độ của tín hiệu được gọi là companding. Luật nén giãn tín hiệu có tác dụng làm tăng giá trị tức thời của tín hiệu yếu và giảm giá trị tức thời của tín hiệu mạnh. Đặc tính nén dân xây dựng trên yêu cầu bước lượng tử có giá trị min đối với tín hiệu yếu và tăng dần theo mức biên độ tín hiệu sao cho tỷ số S/N luôn luôn cố định và cao hơn so với lượng tử hoá đều trực tiếp.

Trong các bộ khuếch đại phi tuyến người ta hay dùng các luật nén μ (ở Mỹ, Canada, Nhật) và luật nén A (ở Châu Âu) như sau:

* Luật nén μ cho tín hiệu $x_1(t)$ đã được chuẩn hoá ($|x_1(t)| \leq 1$):

$$|x_2(t)| = \frac{\ln(1 + \mu|x_1(t)|)}{\ln(1 + \mu)} \quad (2.34)$$

trong đó μ là một hằng số dương, thông thường người ta dùng $\mu=255$ hoặc $\mu=100$.

* Luật nén A cho tín hiệu $x_1(t)$ đã được chuẩn hoá ($|x_1(t)| \leq 1$):

$$|x_2(t)| = \begin{cases} \frac{A|x_1(t)|}{1 + \ln A} & \text{khi } 0 \leq |x_1(t)| \leq \frac{1}{A} \\ \frac{1 + \ln(A|x_1(t)|)}{1 + \ln A} & \text{khi } \frac{1}{A} \leq |x_1(t)| \leq 1 \end{cases} \quad (2.35)$$

trong đó A là một hằng số dương, người ta thường dùng $A=87,6$.

Các luật dẫn tại các bộ khuếch đại phi tuyến bù (bộ dẫn) hoàn toàn đối xứng lại với các luật nén (xem hình 2.13):

* Luật dẫn μ :

$$|x_1'(t)| = \frac{(1 + \mu)e^{|x_2'(t)|} - 1}{\mu}. \quad (2.36)$$

* Luật dẫn A:

$$|x_1'(t)| = \begin{cases} \frac{1 + \ln A}{A} |x_2'(t)| & \text{khi } 0 \leq |x_2'(t)| \leq \frac{1}{1 + \ln A} \\ \frac{1}{A} \exp[(1 + \ln A)|x_2'(t)| - 1] & \text{khi } \frac{1}{1 + \ln A} \leq |x_2'(t)| \leq 1 \end{cases} \quad (2.37)$$

Sau khi rời rạc hoá và lượng tử hoá, tín hiệu được đưa vào bộ mã hoá. Thiết bị này biến đổi các giá trị ở đầu ra của bộ lượng tử thành các xung nhị phân hoặc các từ mã (gồm nhóm các xung nhị phân). Việc thay đổi một giá trị thập phân bằng một dãy xung nhị phân gọi là mã hóa.