

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



GHÉP KÊNH TÍN HIỆU SỐ

(Dùng cho sinh viên hệ đào tạo đại học từ xa)

Lưu hành nội bộ

HÀ NỘI - 2007

GHÉP KÊNH TÍN HIỆU SỐ

Biên soạn : TS. CAO PHÁN

THS. CAO HỒNG SƠN

LỜI NÓI ĐẦU

Ghép kênh tín hiệu số là một lĩnh vực rất quan trọng. Khởi đầu của ghép kênh tín hiệu số là điều xung mã (PCM) và điều chế Delta (DM), trong đó PCM được sử dụng rộng rãi hơn. Từ PCM, các nhà chế tạo thiết bị viễn thông đã cho ra đời thiết bị ghép kênh cận đồng bộ (PDH) và sau đó là thiết bị ghép kênh đồng bộ (SDH). Mạng thông tin quang SDH đã mở ra một giai đoạn mới của công nghệ truyền thông nhằm đáp ứng nhu cầu tăng trưởng rất nhanh của các dịch vụ viễn thông, đặc biệt là dịch vụ Internet.

Với tốc độ bit hiện tại của SDH là 10 Gbit/s vẫn chưa đáp ứng một cách đầy đủ cho truyền lưu lượng Internet đã, đang và sẽ phát triển theo cấp số nhân. Vì vậy công nghệ ghép kênh theo bước sóng (WDM) đã xuất hiện. Để có thể tận dụng băng tần truyền dẫn tại miền cửa sổ thứ hai của sợi quang đơn mode, kỹ thuật ghép chặt các bước sóng DWDM đang đóng vai trò quan trọng trên mạng thông tin quang toàn cầu.

Tuy nhiên, thông tin quang SDH là công nghệ ghép kênh cố định. Vì vậy độ rộng băng tần vẫn không được tận dụng triệt để. Theo ước tính thì hiệu suất sử dụng độ rộng băng tần khả dụng của hệ thống thông tin quang SDH mới đạt được 50%. Trước thực tế một mặt độ rộng băng tần đường truyền còn bị lãng phí, mặt khác công nghệ truyền gói IP và ATM đòi hỏi hệ thống thông tin quang SDH phải thoả mãn nhu cầu trước mắt và cả cho tương lai, khi mà các dịch vụ gia tăng phát triển ở trình độ cao. Chỉ có thể thoả mãn nhu cầu về tốc độ truyền dẫn và nâng cao hiệu suất sử dụng băng tần đường truyền bằng cách thay đổi các phương thức truyền tải lưu lượng số liệu.

Vấn đề mấu chốt ứng dụng các phương thức truyền tải tiên tiến là kết chuỗi các các contenơ, sử dụng các phương thức đóng gói số liệu thích hợp, truyền tải gói linh hoạt theo cách tái sử dụng không gian và chuyển mạch bảo vệ thông minh để nâng cao độ tin cậy của mạng và rút ngắn thời gian phục hồi của hệ thống khi có sự cố. Những vấn đề này sẽ được phân tích kỹ trong các chủ đề sau đây:

- 1) Trình bày một số khái niệm cơ bản trong truyền dẫn tín hiệu, đặc biệt là tín hiệu số và các phương pháp ghép kênh số.
- 2) Các phương pháp duy trì mạng. Nội dung chủ yếu của chuyên đề này là các phương pháp chuyển mạch bảo vệ mạng đường thẳng và mạng vòng SDH.
- 3) Các chuẩn Ethernet, mạng vòng thẻ bài và FDDI.
- 4) Các phương thức truyền tải số liệu bao gồm các phương thức đóng khung số liệu, kết chuỗi, điều chỉnh dung lượng tuyến, các giao thức tái sử dụng không gian v.v.

Sau mỗi chương có các bài tập hoặc câu hỏi để sinh viên tự kiểm tra và đánh giá kiến thức của mình khi đối chứng với đáp số và trả lời trong phần phụ lục.

Tài liệu giảng dạy này được biên soạn theo đề cương môn học "Ghép kênh tín hiệu số" của chương trình đào tạo đại học chính quy hiện nay của Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông. Tuy nhiên, đây là lần biên soạn đầu tiên nên không tránh khỏi thiếu sót về nội dung và hình thức. Rất mong các độc giả góp ý để tài liệu ngày càng hoàn thiện hơn.

Ý kiến đóng góp của các độc giả xin vui lòng gửi trực tiếp cho Phòng Đào tạo Đại học từ xa – Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông.

Xin chân thành cảm ơn!

Nhóm tác giả

CHƯƠNG I

MỘT SỐ KHÁI NIỆM CƠ BẢN

TRONG TRUYỀN DẪN TÍN HIỆU

1.1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trong chương này giới thiệu các nội dung chính sau đây:

- Một số khái niệm cơ bản trong truyền dẫn tín hiệu số.
- Các phương pháp số hoá tín hiệu analog như: PCM, DPCM và DM. Trong đó phương pháp PCM được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống ghép kênh PDH.
- Các phương pháp ghép kênh: đã đi qua các phương pháp ghép kênh theo tần số, theo tần số trực giao, theo thời gian, theo mã, ghép kênh thống kê v.v. trong đó ghép kênh theo thời gian được sử dụng trong ghép kênh PDH, SDH.
- Đồng bộ trong viễn thông:

Đã tiến hành phân tích các phương thức đồng bộ như: đồng bộ sóng mang, đồng bộ ký hiệu, đồng bộ bit, đồng bộ khung, đồng bộ gói, đồng bộ mạng, đồng bộ đa phương tiện và đồng bộ đồng hồ thời gian thực. Tùy thuộc vào từng trường hợp cụ thể mà sử dụng một trong các phương thức đồng bộ hoặc sử dụng đồng thời một số phương thức đồng bộ. Chẳng hạn trong mạng thông tin quang SDH sử dụng cả đồng bộ mạng, đồng bộ sóng mang, đồng bộ khung, đồng bộ ký hiệu.

1.2. NHẬP MÔN GHÉP KÊNH SỐ

1.2.1. Tín hiệu và các tham số

1.2.1.1. Các loại tín hiệu

(1) Tín hiệu analog: tín hiệu analog (tương tự) là loại tín hiệu có các giá trị biên độ liên tục theo thời gian, thí dụ tín hiệu thoại analog.

Một dạng điển hình của tín hiệu analog là sóng hình sine, được thể hiện dưới dạng:

$$S(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$$

trong đó: A là biên độ tín hiệu, ω là tần số góc ($\omega = 2\pi f$, f là tần số), φ là pha của tín hiệu.

Nếu tín hiệu là tập hợp của nhiều tần số thì ngoài các tham số trên đây còn có một tham số khác, đó là dải tần của tín hiệu.

(2) Tín hiệu xung: tín hiệu xung là loại tín hiệu có các giá trị biên độ là hàm rời rạc của thời gian. Điển hình của tín hiệu xung là tín hiệu xung lấy mẫu tín hiệu analog dựa vào định lý lấy mẫu.

(3) Tín hiệu số: đây cũng là loại tín hiệu có các giá trị biên độ là hàm rời rạc của thời gian như tín hiệu xung. Tuy nhiên, khác với tín hiệu xung ở chỗ biên độ của các xung bằng 0 hoặc 1, mặt khác tập hợp của một nhóm xung đại diện cho một chữ số, hoặc một ký tự nào đó. Mỗi một xung được gọi là một bit. Một vài loại tín hiệu số điển hình như: tín hiệu 2 mức (0 và 1), còn có tên là tín hiệu xung nhị phân hay tín hiệu xung đơn cực; và tín hiệu ba mức (-1, 0 và +1), còn được gọi là tín hiệu xung tam phân hay tín hiệu xung lưỡng cực.

(4) Tín hiệu điều biên xung, điều tần xung hoặc điều pha xung: đây là trường hợp mà sóng mang xung chữ nhật có biên độ, hoặc tần số, hoặc pha biến đổi theo quy luật biến đổi của biên độ tín hiệu điều chế. Ba dạng tín hiệu này thường được sử dụng trong mạng thông tin analog.

1.2.1.2. Các tham số của tín hiệu

(1) Mức điện

- Mức điện tương đối: $L(dB) = 10 \log \frac{P_x}{P_0}$

trong đó: P_x là công suất tín hiệu (mW) tại điểm cần xác định mức điện, P_0 là công suất tín hiệu tại điểm tham khảo (mW).

- Mức điện tuyệt đối: $L(dB_m) = 10 \log \frac{P_x}{1mW}$

$L(dB)_m = 0$ dB_m khi công suất tại điểm x bằng 1 mW, $L(dB)_m > 0$ khi công suất tín hiệu tại điểm x lớn hơn 1 mW, $L(dB)_m < 0$ khi công suất tín hiệu tại điểm x bé hơn 1 mW.

(2) Tỷ số tín hiệu trên nhiễu

$$SNR(dB) = 10 \log \frac{P_s}{P_n} = 20 \log \frac{V_s}{V_n} = 20 \log \frac{I_s}{I_n}$$

trong đó: P_s, V_s, I_s tương ứng là công suất, điện áp và dòng điện tín hiệu; P_n, V_n, I_n tương ứng là công suất, điện áp và dòng điện nhiễu.

1.2.2. Đường truyền và độ rộng băng tần truyền dẫn

1.2.2.1. Đường truyền

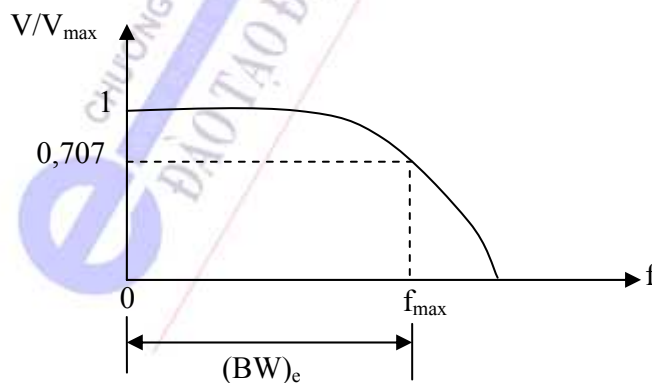
Là môi trường truyền dẫn được sử dụng để truyền tải tín hiệu, thí dụ đường truyền cáp kim loại, đường truyền cáp sợi quang, đường truyền Radio, v.v. Đường truyền còn được phân chia thành tuyến (Path), kênh v.v.

1.2.2.2. Độ rộng băng tần truyền dẫn

Muốn đo độ rộng băng tần truyền dẫn của tín hiệu nào đó phải căn cứ vào các quy định sau đây:

(1) Độ rộng băng tần điện (BW)_e

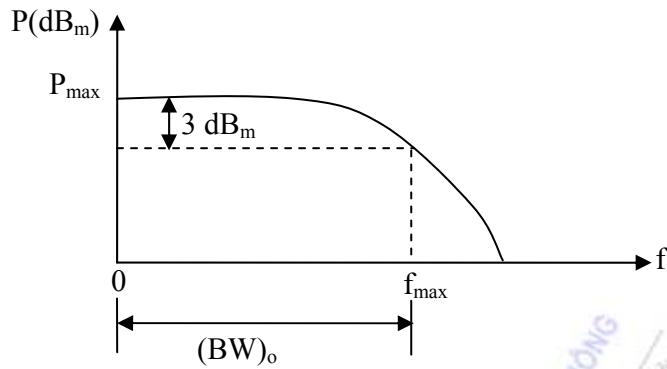
Độ rộng băng tần điện là băng tần từ tần số tín hiệu bằng zero đến tần số tín hiệu mà tại đó đáp ứng của tín hiệu (hệ số khuếch đại, điện áp, dòng điện) giảm còn 0,707 so với giá trị cực đại của đáp ứng tín hiệu (hình 1.1).



Hình 1.1- Độ rộng băng tần điện

(2) Độ rộng băng tần quang (BW)_o

Độ rộng băng tần quang là băng tần từ tần số điều chế bằng zero đến tần số điều chế mà tại đó mức công suất quang giảm 50% (3dB_m) so với công suất quang cực đại, như minh họa ở hình 1.2.



Hình 1.2. Độ rộng băng tần quang

1.2.3. Truyền dẫn đơn kênh và đa kênh

Truyền dẫn đơn kênh và đa kênh có ngụ ý là hệ thống truyền dẫn quang có một hay nhiều bước sóng. Thí dụ: hệ thống thông tin quang thông thường chỉ có một bước sóng tại 1310 nm hoặc 1550 nm; trong khi đó, hệ thống thông tin quang ghép bước sóng (WDM) có thể truyền đồng thời hàng chục bước sóng khác nhau nằm trong miền cửa sổ thứ hai (1300 nm) hoặc cửa sổ thứ ba (1550 nm) của sợi quang đơn mode.

1.2.4. Hệ thống truyền dẫn số và các tham số

1.2.4.1. Hệ thống truyền dẫn số

Hệ thống truyền dẫn số bao gồm hệ thống truyền dẫn cáp sợi quang và hệ thống truyền dẫn vi ba số. Hệ thống truyền dẫn vi ba số là hệ thống đa điểm đường thẳng. Hệ thống truyền dẫn số cáp sợi quang có thể sử dụng cấu trúc đường thẳng, vòng hoặc hỗn hợp. Các cấu hình này sẽ được trình bày chi tiết trong chương III. Dưới đây chỉ giới thiệu khái quát một vài cấu trúc cơ bản của hệ thống.

(1) Hệ thống truyền dẫn đường thẳng

Các cấu hình của hệ thống truyền dẫn đường thẳng như hình 1.3.



a) Cấu hình điểm nối điểm



b) Cấu hình đa điểm, xen/ rẽ

Chú thích: TRM- Bộ ghép đầu cuối, ADM- Bộ ghép xen/ rẽ, REG - Bộ tái sinh (bộ lặp).

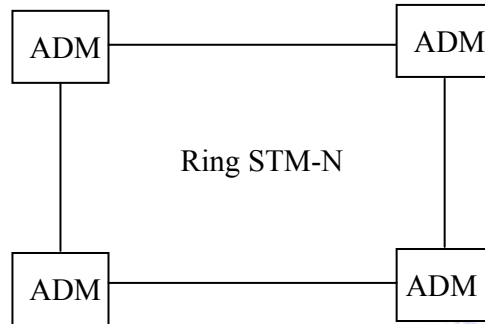
Hình 1.3. Các cấu hình đường thẳng

Trong cấu hình điểm nối điểm chỉ có hai bộ ghép đầu cuối kết nối trực tiếp với nhau hoặc qua bộ lặp bằng đường truyền số, tạo thành một đường thẳng, vì vậy gọi là hệ thống đường thẳng. Ngoài ra còn có tên gọi khác là hệ thống hở. Cấu hình đa điểm, xen/ rẽ ngoài hai bộ ghép đầu cuối còn có thêm một hoặc nhiều bộ ghép xen rẽ được kết nối với nhau bởi đường truyền số thành một đường thẳng. Cấu hình đa điểm, rẽ nhánh cũng là hệ thống hở. Tại địa điểm xen/ rẽ, các luồng số được tiếp tục truyền tới một bộ ghép đầu cuối khác để tạo thành một nhánh của hệ thống chính. Các cấu hình đường thẳng áp dụng cho vi ba số và thông tin cáp sợi quang PDH hoặc SDH.

Các cấu hình trên đây không có khả năng tự duy trì khi đường truyền có sự cố, chẳng hạn đứt cáp hoặc hỏng nút.

(2) Hệ thống truyền dẫn vòng (ring)

Trong cấu hình này chỉ có các ADM và có thể có các REG. Các nút được kết nối với nhau bởi hai hoặc bốn sợi quang tạo thành một vòng kín, như trên hình 1.4.



Hình 1.4. Cấu hình vòng của hệ thống truyền dẫn số

1.2.4.2. Các tham số

(1) Tốc độ bit: số bit phát đi trong một giây.

Các đơn vị đo tốc độ bit: bit/s, kbit/s ($1\text{kbit/s} = 10^3 \text{ bit/s}$), Mbit/s ($1\text{Mbit/s} = 10^3 \text{ kbit/s} = 10^6 \text{ bit/s}$), Gbit/s ($1\text{Gbit/s} = 10^3 \text{ Mbit/s} = 10^6 \text{ kbit/s} = 10^9 \text{ bit/s}$), Tbit/s ($1\text{Tbit/s} = 10^3 \text{ Gbit/s} = 10^6 \text{ Mbit/s} = 10^9 \text{ kbit/s} = 10^{12} \text{ bit/s}$). Tín hiệu số được sử dụng trong các mạng thông tin số.

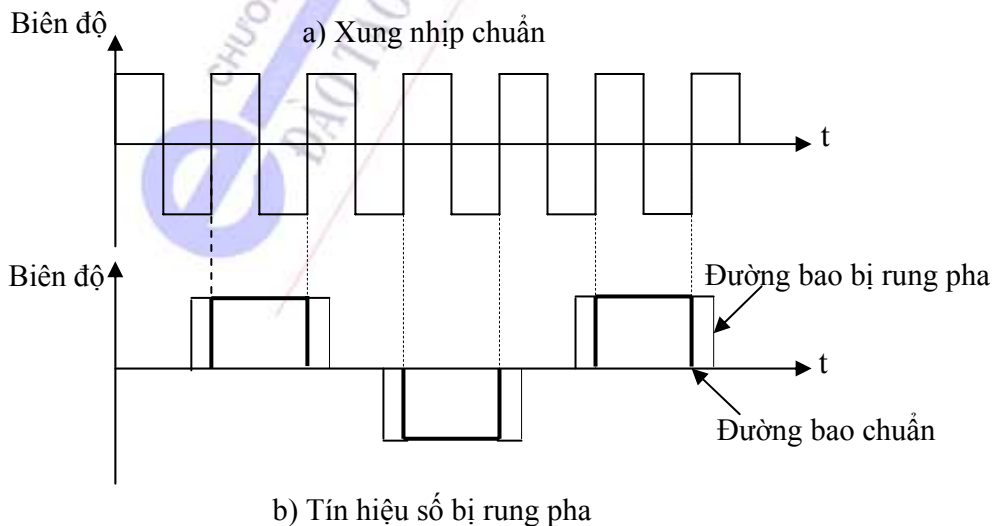
(2) Tỷ số lỗi bit BER: số bit bị lỗi chia cho tổng số bit truyền.

- PDH: $BER \leq 10^{-6}$ chất lượng đường truyền bình thường, $10^{-6} < BER < 10^{-3}$ chất lượng đường truyền giảm sút (cảnh báo vàng), $BER \geq 10^{-3}$ chất lượng đường truyền rất xấu (cảnh báo đỏ).

- SDH: $BER \leq 10^{-9}$ chất lượng đường truyền bình thường, $BER = 10^{-6}$ chất lượng đường truyền giảm sút (cảnh báo vàng), $BER = 10^{-3}$ chất lượng đường truyền rất xấu (cảnh báo đỏ).

(3) Rung pha (Jitter)

Rung pha là sự điều chế pha không mong muốn của tín hiệu xung xuất hiện trong truyền dẫn số và là sự biến đổi nhỏ các thời điểm có ý nghĩa của tín hiệu so với các thời điểm lý tưởng. Khi rung pha xuất hiện thì thời điểm chuyển mức của tín hiệu số sẽ sớm hơn hoặc muộn hơn so với tín hiệu chuẩn, như minh họa trên hình 1.5.



Hình 1.5. Tín hiệu số bị rung pha

Rung pha xuất hiện là do cự ly đường truyền khác nhau nên trễ khác nhau, lệch tần số đồng hồ nguồn và đồng hồ thiết bị thu trong cùng một mạng, lệch tần số giữa đồng hồ của thiết bị SDH và tần số của luồng nhánh PDH.

1.3. SỐ HOÁ TÍN HIỆU ANALOG

Số hoá tín hiệu analog là chuyển đổi tín hiệu analog thành tín hiệu số. Muốn vậy có thể sử dụng một trong các phương pháp sau đây:

- Điều xung mã (PCM)
- Điều xung mã vi sai (DPCM)
- Điều chế Delta (DM)

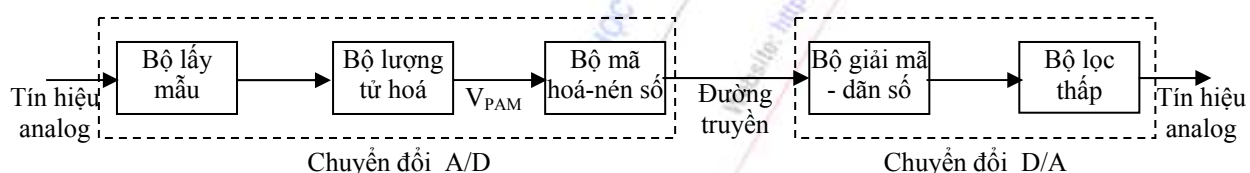
Sau đây trình bày các phương pháp số hoá tín hiệu analog.

1.3.1. Điều xung mã PCM

PCM được đặc trưng bởi ba quá trình. Đó là lấy mẫu, lượng tử hoá và mã hoá. Ba quá trình này gọi là chuyển đổi A/D.

Muốn khôi phục lại tín hiệu analog từ tín hiệu số phải trải qua hai quá trình: giải mã và lọc. Hai quá trình này gọi là chuyển đổi D/A.

Sơ đồ khối của các quá trình chuyển đổi A/D và D/A như hình 1.6.



Hình 1.6- Sơ đồ khối quá trình chuyển đổi A/D và D/A trong hệ thống PCM

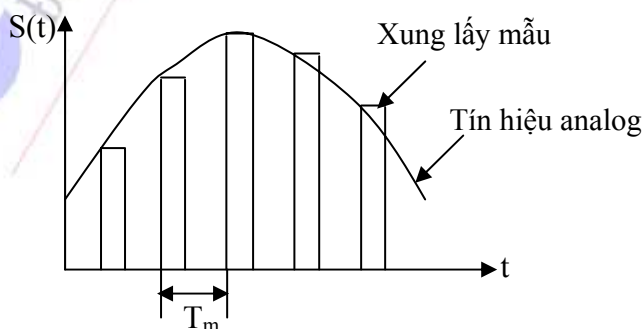
1.3.1.1. Chuyển đổi A/D

(1) Lấy mẫu

Hình 1.7 thể hiện lấy mẫu tín hiệu analog. Đây là quá trình chuyển đổi tín hiệu analog thành dãy xung điều biên (V_{PAM}). Chu kỳ của dãy xung lấy mẫu (T_m) được xác định theo định lý lấy mẫu của Nyquist:

$$T_m \leq \frac{1}{2f_{\max}} \quad (1.1)$$

trong đó f_{\max} là tần số lớn nhất của tín hiệu analog.



Hình 1.7- Lấy mẫu tín hiệu analog

Tín hiệu thoại có băng tần hữu hiệu từ 0,3 đến 3,4 kHz. Từ biểu thức (1.1), có thể lấy giá trị $f_{\max} = 4000$ Hz. Do đó chu kỳ lấy mẫu tín hiệu thoại là:

$$T_m = \frac{1}{2 \times 4000 \text{ Hz}} = 125 \mu\text{s} \quad (1.2)$$

Hoặc tần số lấy mẫu tín hiệu thoại:

$$f_m = 2f_{\max} = 8 \text{ kHz} \quad (1.3)$$

(2) Lượng tử hoá

Lượng tử hoá là làm tròn biên độ xung lấy mẫu tới mức lượng tử gần nhất. Có nghĩa là gán cho mỗi xung lấy mẫu một số nguyên phù hợp. Mục đích của lượng tử hoá để mã hoá giá trị mỗi xung lấy mẫu thành một từ mã có số lượng bit ít nhất.

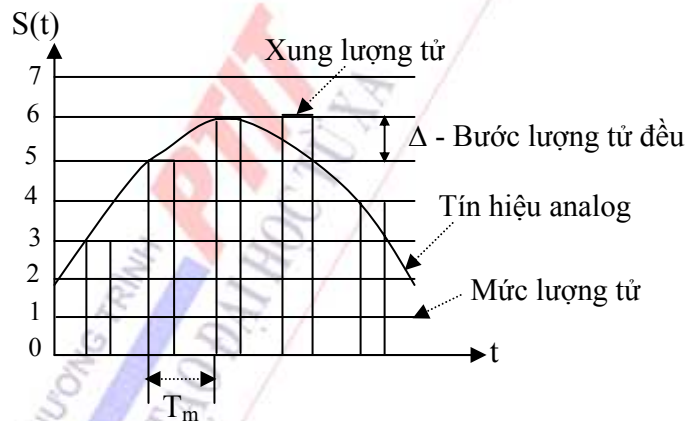
Có hai phương pháp lượng tử hoá: đều và không đều.

• Lượng tử hoá đều

Hình 1.8 minh họa lượng tử hoá đều. Lượng tử hoá đều là chia biên độ các xung lấy mẫu thành các khoảng đều nhau, mỗi khoảng là một bước lượng tử đều, ký hiệu là Δ . Các đường song song với trục thời gian là các mức lượng tử. Sau đó làm tròn biên độ xung lấy mẫu tới mức lượng tử gần nhất sẽ nhận được xung lượng tử.

Nếu biên độ của tín hiệu analog biến thiên trong khoảng từ $-a$ đến a thì số lượng mức lượng tử Q và Δ có mối quan hệ sau đây:

$$\frac{2a}{Q} = \Delta \quad (1.4)$$



Hình 1.8- Lượng tử hoá đều

Làm tròn biên độ xung lấy mẫu gây ra méo lượng tử. Biên độ xung méo lượng tử nằm trong giới hạn từ $-\Delta/2$ đến $+\Delta/2$. Công suất méo lượng tử P_{MLT} được xác định theo biểu thức sau đây:

$$P_{MLT} = \int_{-\Delta/2}^{+\Delta/2} a^2 W_{LT}(a) da \quad (1.5)$$

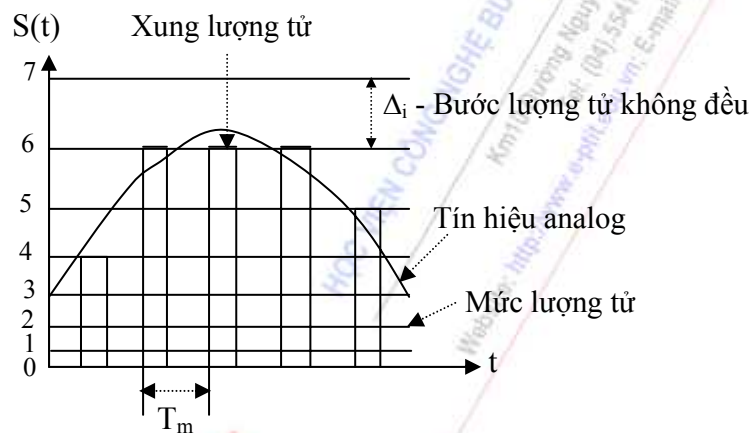
trong đó: a là biên độ của tín hiệu analog, $W_{LT}(a)$ là xác suất phân bố giá trị tức thời của biên độ xung lấy mẫu trong một bước lượng tử. $W_{LT}(a) = 1/\Delta$. Thay biểu thức (1.4) vào kết quả lấy tích phân nhận được:

$$P_{MLT} = \frac{\Delta^2}{12} \quad (1.6)$$

Từ biểu thức (1.6) thấy rằng công suất méo lượng tử chỉ phụ thuộc vào Δ , không phụ thuộc vào biên độ tín hiệu. Như vậy tỷ số công suất tín hiệu có biên độ lớn trên công suất nhiễu lượng tử sẽ lớn hơn tỷ số công suất tín hiệu có biên độ yếu trên công suất méo lượng tử. Theo phân tích phổ thì tín hiệu thoại chủ yếu do các thành phần tín hiệu có cường độ yếu tạo thành. Vì thế nếu sử dụng lượng tử hoá đều sẽ làm giảm chất lượng tín hiệu thoại tại đầu thu. Muốn khắc phục nhược điểm này, trong thiết bị ghép kênh PCM chỉ sử dụng lượng tử hoá không đều.

- Lượng tử hoá không đều

Trái với lượng tử hoá đều, lượng tử hoá không đều chia biên độ xung lấy mẫu thành các khoảng không đều theo nguyên tắc khi biên độ xung lấy mẫu càng lớn thì độ dài bước lượng tử càng lớn, như trên hình 1.9. Lượng tử hoá không đều được thực hiện bằng cách sử dụng bộ nén.



Hình 1.9- Lượng tử hoá không đều

(3) Mã hoá - nén số

- Đặc tính biên độ bộ mã hoá - nén số

Chức năng của mã hoá là chuyển đổi biên độ xung lượng tử thành một từ mã gồm một số bit nhất định. Theo kết quả nghiên cứu và tính toán của nhiều tác giả thì trong trường hợp lượng tử hoá đều, biên độ cực đại của xung lấy mẫu tín hiệu thoại bằng 4096Δ . Do đó mỗi từ mã phải chứa 12 bit, dẫn tới hậu quả là tốc độ bit mỗi kênh thoại lớn gấp 1,5 lần tốc độ bit tiêu chuẩn 64 kbit/s. Muốn nhận được tốc độ bit tiêu chuẩn, thường sử dụng bộ nén có đặc tính biên độ dạng logarit, còn được gọi là bộ nén analog. Biểu thức toán học của bộ nén analog theo tiêu chuẩn châu Âu có dạng:

$$y = \begin{cases} \frac{Ax}{1 + \ln A} & \text{khi } 0 \leq x \leq \frac{1}{A} \\ \frac{1 + \ln Ax}{1 + \ln A} & \text{khi } \frac{1}{A} < x \leq 1 \end{cases} \quad (1.7)$$

trong đó: $A = 87,6$ đặc trưng cho mức độ nén, $x = V_{\text{vào}} / V_{\text{vào max}}$ và $y = V_{\text{ra}} / V_{\text{ra max}}$.

Tuy nhiên, do bộ nén analog tại phía mã hoá và bộ giải analog tại phía giải mã chứa các diode bán dẫn nên gây ra méo phi tuyến. Trong PCM sử dụng bộ mã hoá - nén số và bộ giải mã - dẫn số để loại trừ méo phi tuyến. Tóm lại, sử dụng mã hoá- nén số vừa đạt được mục tiêu lượng tử hoá không đều, vừa đạt được mục tiêu mỗi từ mã chỉ có 8 bit.