BÀI GIẢNG

CƠ SỞ KỸ THUẬT THÔNG TIN VÔ TUYẾN

Giảng viên:	Nguyễn Việt Hưng
Email:	nvhung_vt1@ptit.edu.vn
Tel:	***
Bộ môn:	Vô tuyến
Khoa:	Viễn Thông 1

2

Các dạng tín hiệu trong truyền dẫn vô tuyến số

Nội dung

2.2. Các dạng hàm tín hiệu

❖ Phân loại trên cơ sở các tiêu chí:

1. Tín hiệu có các giá trị thay đổi theo thời gian => Tín hiệu tương tự, tín hiệu số
2. Mức độ có thể mô tả hoặc dự đoán tính cách của hàm => Tín hiệu tất định hoặc xác suất (tín hiệu ngẫu nhiên.)
3. Thời gian tồn tại tín hiệu (hàm) => hàm quá độ, hàm vô tận (tuần hoàn)
4. Tín hiệu kiểu năng lượng, tín hiệu kiểu công suất

2.2. Tín hiệu và phân loại tín hiệu

(1) Thay đổi các giá trị theo thời gian:

- ✓**Tương tự:** Hàm liên tục theo thời gian, được xác định ở mọi thời điểm, nhận giá trị dương, không hoặc âm (thay đổi từ từ và tốc độ thay đổi hữu hạn).
- ✓**Số:** Hàm nhận tập hữu hạn giá trị dương, không hay âm (thay đổi giá trị tức thì, tại thời điểm thay đối tốc độ thay đổi vô hạn còn ở các thời điểm khác bằng không), điển hình là hàm nhị phân.
- ✓**Rời rạc:** Tín hiệu x(kT) chỉ tồn tại và xác định tại các thời điểm rời rạc, được đặc trưng bởi một chuỗi số.

2.2. Tín hiệu và phân loại tín hiệu

(2) Mức độ mô tả, dự đoán tính cách của tín hiệu:

- ✓Tín hiệu tất định: Xác định được giá trị tại mọi thời điểm và được mô hình hóa bởi các biểu thức toán rõ ràng, VD x(t)=5cos(10t)
- ✓Tín hiệu ngẫu nhiên: Tồn tại mức độ bất định trước khi nó thực sự xảy ra, không thể biểu diễn bằng một biểu thức toán rõ ràng, nhưng khi xét trong khoảng thời gian đủ dài dạng sóng ngẫu nhiên được coi là một quá trình ngẫu nhiên có thể: ***(i)*** biểu lộ một qui tắc nào đó; ***(ii)*** được mô tả ở dạng xác suất và trung bình thống kê. Cách mô tả ở dạng xác suất của quá trình ngẫu nhiên thường rất hữu hiệu để đặc tính hóa tín hiệu, tạp âm, nhiễu,.... trong hệ thống truyền thông.

2.2. Tín hiệu và phân loại tín hiệu

(3) Thời gian tồn tại của tín hiệu:

- ✓Quá độ: là tín hiệu chỉ tồn tại trong một khoảng thời gian hữu hạn
- ✓Vô tận: là tín hiệu tồn tại ở mọi thời điểm, thường dùng để mô tả hoạt động của hệ thống trong trạng thái ổn định (VD:hàm tuần hoàn, là hàm vô tận có các giá trị được lặp ở các khoảng quy định, $x(t) = x(t+T0)$ với $-\infty < t < \infty$).

2.2. Tín hiệu và phân loại tín hiệu

(4) Tín hiệu kiểu năng lượng và kiểu công suất:

- Công suất tức thời p(t) trên điện trở R

$$\underbrace{p(t) = \frac{v^2(t)}{R} = i^2(t).R}_{\substack{R=1\Omega \Rightarrow \text{ công suất chuẩn hóa} \\ \Downarrow \\ \text{x(t) là điện áp hoặc dòng điện}}}$$

$$p(t) = x^2(t)$$

- Năng lượng và công suất trung bình của tín hiệu tiêu tán trong khoảng -T/2 đến T/2

$$E_x^T = \int_{-T/2}^{T/2} x^2(t)dt$$

$$P_x^T = \frac{1}{T}E_x^T = \frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2} x^2(t)dt$$

2.2. Tín hiệu và phân loại tín hiệu

(4) Tín hiệu kiểu năng lượng và kiểu công suất:

❖Tín hiệu năng lượng

$$0 < \underbrace{E_x = \lim_{T\to\infty}\int_{-T/2}^{T/2} x^2(t)dt = \int_{-\infty}^{\infty} x^2(t)dt}_{\text{Năng lượng của tín hiệu trên toàn bộ thời gian}} < \infty$$

Thực tế, thường phát tín hiệu có năng lượng hữu hạn ($0<E_x<\infty$). Tuy nhiên để mô tả: *(i)* tín hiệu tuần hoàn tồn tại ở mọi thời điểm (năng lượng vô hạn); *(ii)* tín hiệu ngẫu nhiên có năng lượng vô hạn => định nghĩa lớp tín hiệu công suất.

2.2. Tín hiệu và phân loại tín hiệu

(4) Tín hiệu kiểu năng lượng và kiểu công suất:

- **Tín hiệu kiểu năng lượng** nếu năng lượng của nó hữu hạn

$$E[\infty]=\int_{-\infty}^{\infty}|s(t)|^2\,dt<\infty, \qquad [J]$$

- **Tín hiệu kiểu công suất** nếu có năng lượng vô hạn nhưng công suất trung bình hữu hạn.

$$\underbrace{P_{tb}=\lim_{t_0\to\infty}\frac{1}{t_0}\int_{-t_0/2}^{t_0/2}|s(t)|^2\,dt<\infty, \qquad [w]}_{\text{Với tín hiệu tuần hoàn, chu kỳ T}}$$

$$P_{tb}=\frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2}|x(t)|^2\,dt<\infty$$

Note:

(1) Hàm tín hiệu kiểu năng lượng sẽ có công suất bằng không

(2) E=PT

2.2. Tín hiệu và phân loại tín hiệu

(4) Tín hiệu kiểu năng lượng và kiểu công suất:

❖ **Tín hiệu công suất**

$$\underbrace{0 < \left[P_x = \lim_{T \to \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x^2(t)dt \right] < \infty}_{\text{Công suất tín hiệu hữu hạn trên toàn bộ thời gian}}$$

- Tín hiệu năng lượng và công suất loại trừ tương hỗ nhau: Tín hiệu năng lượng có năng lượng hữu hạn nhưng công suất trung bình bằng 0; Tín hiệu công suất có công suất trung bình hữu hạn nhưng có năng lượng vô hạn; Các tín hiệu tuần hoàn và ngẫu nhiên thuộc loại tín hiệu công suất;
- Các tín hiệu tất định và không tuần hoàn thuộc loại tín hiệu năng lượng.

2.3. Tự tương quan ACF, mật độ phổ công suất PSD, mật độ phổ năng lượng ESD

❖ Mật độ phổ năng lượng ESD và mật độ phổ sông suất PSD

Mật độ phổ của tín hiệu đặc trưng cho sự phân bố công suất hoặc năng lượng của tín hiệu trong miền tần số. Khái niệm này đặc biệt quan trọng khi ta xét việc lọc trong các hệ thống truyền thông, khi này ta dùng mật độ phổ năng lượng ESD (Energy Spectral Density); mật độ phổ công suất PSD (Power Spectral Density) để ước lượng tín hiệu và tạp âm tại đầu ra bộ lọc.

2.3. Tự tương quan ACF, mật độ phổ công suất PSD, mật độ phổ năng lượng ESD

❖ **Mật độ phổ năng lượng ESD:** là năng lượng tín hiệu trên một độ rộng băng tần đơn vị [J/Hz].

$$\underbrace{E_x = \underbrace{\int_{-\infty}^{\infty} x^2(t)dt}_{\text{Năng lượng trong miền thời gian}} = \underbrace{\int_{-\infty}^{\infty} \underbrace{|X(f)|^2}_{\text{Mật độ phổ năng lượng ESD}} df}_{\text{Năng lượng trong miền tần số}}}_{\text{Năng lượng vùng tần số âm và dương bằng nhau}}$$

(x(t) là thực, |X(f)| là hàm chẵn => ESD đối xứng)

$$\Downarrow$$

$$E_x = 2\int_0^{\infty} \psi_x(f)df$$

2.3. Tự tương quan ACF, mật độ phổ công suất PSD, mật độ phổ năng lượng ESD

Định nghĩa: ACF của một tín hiệu tất định kiểu công suất s(t) chuẩn hóa:

$$\underbrace{\phi(\tau) = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_{\alpha}^{\alpha+T} s(t).s^*(t+\tau).dt}_{\text{Nếu s(t)=s(t+T), T là chu kỳ}}$$

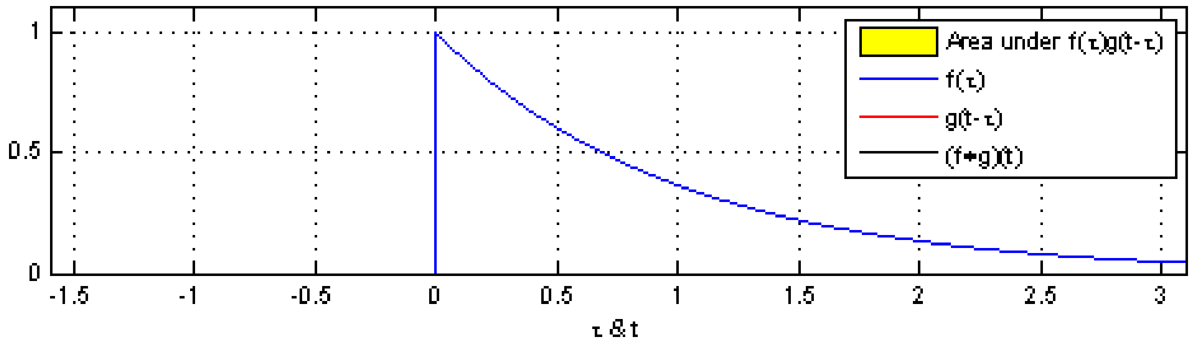
$$\Downarrow$$

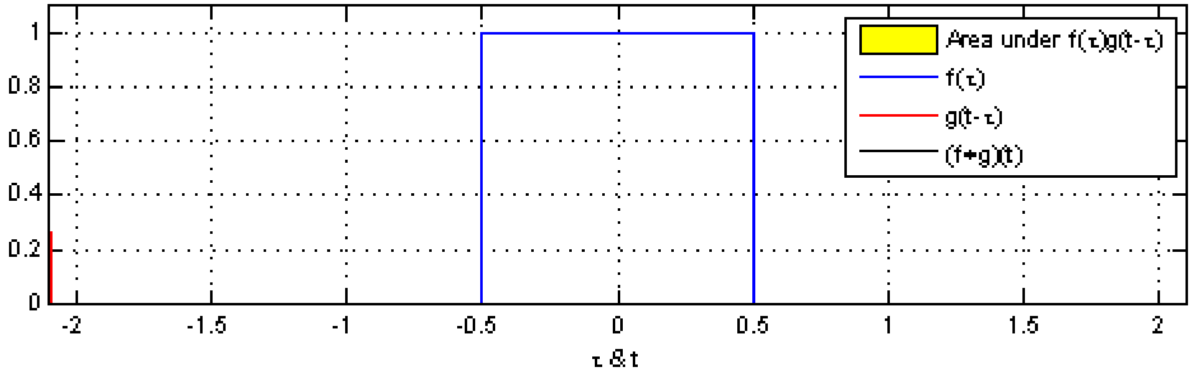
$$\underbrace{\phi(\tau) = \frac{1}{T} \int_{\alpha}^{\alpha+T} s(t).s^*(t+\tau).dt}_{\substack{\text{ACF: đánh giá mức độ giống nhau giữa} \\ \text{tín hiệu s(t) \& phiên bản dịch thời của nó s(t+}\tau\text{)}}}$$

Định nghĩa: PSD của một tín hiệu tất định kiểu công suất s(t) chuẩn hóa:

$$PSD = \Phi(f) = FF[\phi(\tau)] = \int_{-\infty}^{\infty} \phi(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau$$

Tích chập và tự tương quan





2.3. Tự tương quan ACF, mật độ phổ công suất PSD, mật độ phổ năng lượng ESD

Mật độ phổ công suất PSD

Công suất trung bình của tín hiệu kiểu công suất giá trị thực

$$\underbrace{\underbrace{\mathrm{P_x} = \lim_{\mathrm{T}\to\infty} \frac{1}{\mathrm{T}} \int_{\mathrm{-T/2}}^{\mathrm{T/2}} x^2(t)dt}_{\text{Nếu tín hiệu tuần hoàn có chu kỳ } \mathrm{T_0}}}_{P_x = \frac{1}{T_0}\int_{-T_0/2}^{T_0/2} x^2(t)dt}$$

Định lý Parseval cho tín hiệu tuần hoàn giá trị thực

$$P_x = \underbrace{\frac{1}{T_0}\int_{-T_0/2}^{T_0/2} x^2(t)dt}_{\text{Miền thời gian}} = \underbrace{\sum_{n=-\infty}^{\infty} |c_n|^2}_{\text{Miền tần số}}$$

Note: $x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{j2\pi n f_0 t}$

Mật độ phổ công suất PSD của tín hiệu tuần hoàn chu kỳ $\mathrm{T_0}$

$$G_x(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |c_n|^2 \delta(f - nf_0)$$

Công suất trung bình chuẩn hóa của tín hiệu giá trị thực

$$P_x = \int_{-\infty}^{\infty} G_x(f)df = 2\int_0^{\infty} G_x(f)df$$

2.3. Tự tương quan ACF, mật độ phổ công suất PSD, mật độ phổ năng lượng ESD

- **Lưu ý**: Nếu x(t) là: (i) không tuần hoàn => không biểu diễn ở dạng chuỗi Fourier được; tín hiệu công suất (có năng lượng vô hạn), thì nó không có biến đổi Fourier. Tuy nhiên, vẫn có thể biểu diễn PSD của tín hiệu này trong giới hạn nhất định. Nếu ta cắt tín hiệu công suất không tuần hoàn x(t) bằng cách quan sát trong khoảng thời gian (−T/2, T/2), thì $x_T(t)$ có năng lượng hữu hạn và có biến đổi Fourier là $X_T(f)$. Khi này, ta có thể biểu diễn mật độ phổ công suất của tín hiệu không tuần hoàn x(t) trong vùng giới hạn theo biểu thức

$$G_x(f) = \lim_{T \to \infty} \frac{1}{T} \left| X_T(f) \right|^2$$

2.4. Các tín hiệu ngẫu nhiên

Khái niệm: Một tín hiệu ngẫu nhiên (quá trình ngẫu nhiên) X(t) là tập hợp các biến ngẫu nhiên được đánh chỉ số theo t. Nếu cố định $t = t_i$, thì $X(t_i)$ là một biến ngẫu nhiên. Sự thể hiện thống kê của các biến ngẫu nhiên có thể được trình bầy bằng hàm mật độ xác suất (***pdf***: Probability density function) liên hợp của chúng. Sự thể hiện của một quá trình ngẫu nhiên có thể được trình bầy bằng các hàm mật độ xác suất (pdf) liên hợp tại các thời điểm khác nhau. Tuy nhiên, trong thực tế ta không cần biết ***pdf*** liên hợp mà chỉ cần biết thống kê bậc 1 (trung bình) và thống kê bậc 2 (hàm tự tương quan là đủ).

2.4. Các tín hiệu ngẫu nhiên

❖Trung bình của một quá trình ngẫu nhiên X(t) là kỳ vọng (trung bình tập hợp) của X(t):

$$\mu_X(t) = E\left[X(t)\right] = \int_{-\infty}^{\infty} X(t) \underbrace{p_{X(t)}(x)}_{pdf \text{ of X(t) at time t}} dx$$

❖ACF của quá trình ngẫu nhiên

$$\phi_X(t, t+\tau) = E[\mathrm{X(t)X(t+}\tau)]$$
$$= \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} p_{X(t)X(t+\tau)}(x_1, x_2) dx_1 dx_2$$

2.4. Các tín hiệu ngẫu nhiên

Nếu trung bình $\mu_X(t)$ và hàm tự tương quan $\phi_X(t,t+\tau)$ không phụ thuộc thời gian, thì X(t) là được coi là quá trình dừng nghĩa rộng (WSS: Wide sense stationary) => có thể bỏ qua biến ngẫu nhiên t và sử dụng $\phi_X(\tau)$ cho hàm ngẫu nhiên.

$$\underbrace{\begin{aligned}&\textbf{PSD}: \quad \Phi_X(f) = F[\phi_X(\tau)] = \int_{-\infty}^{\infty} \phi_X(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \\ &\textbf{ACF}: \quad \phi_X(\tau) = F^{-1}[\Phi_X(f)] = \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_X(f) e^{j2\pi f\tau} df\end{aligned}}$$

$$\overline{\mathrm{P}}[\infty] = \mathrm{E}[\mathrm{X}^2(t)] = \phi(0) = \left[\int_{-\infty}^{\infty} \Phi_X(f) e^{j2\pi f\tau} df\right]_{\tau=0} = \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_X(f) df$$

2.5 Các tín hiệu nhị phân băng gốc

❖ Biểu diễn tín hiệu nhị phân ngẫu nhiên băng gốc

$$X(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} A_K \, p_T\left(t-\gamma-kT\right)$$

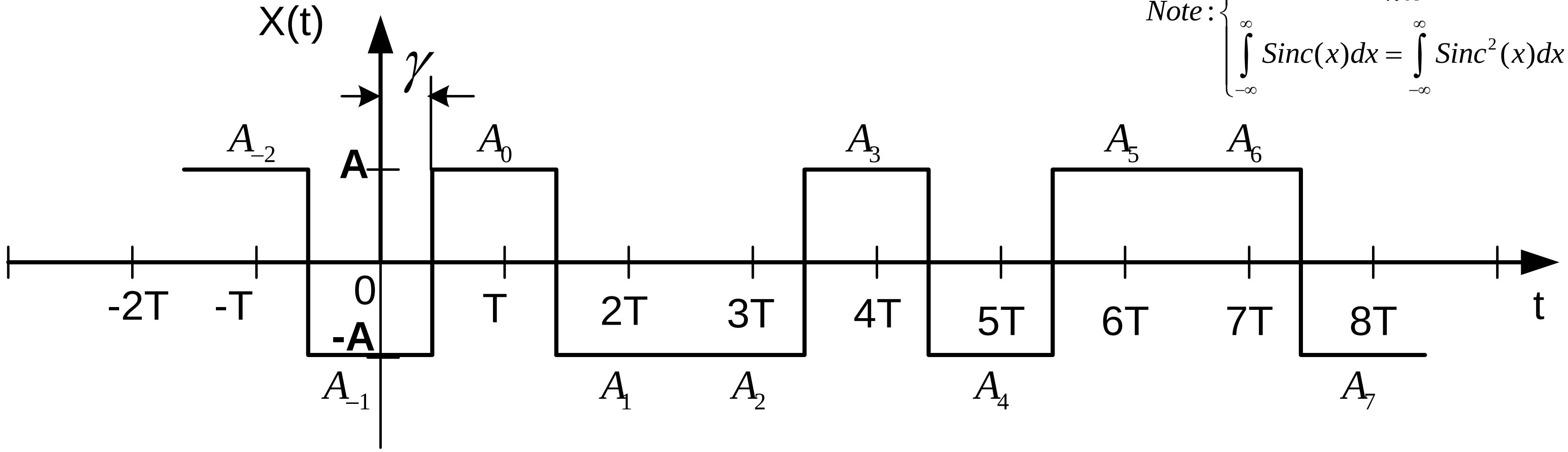
Trong đó:

A_K : là biến NN phân bố đồng nhất độc lập i.d.d, nhận giá trị $\pm$A đồng xác xuất

γ : là biến NN phân bố đều trong khoảng [0 đến T] $\Rightarrow$ X(t) trở thành WSS

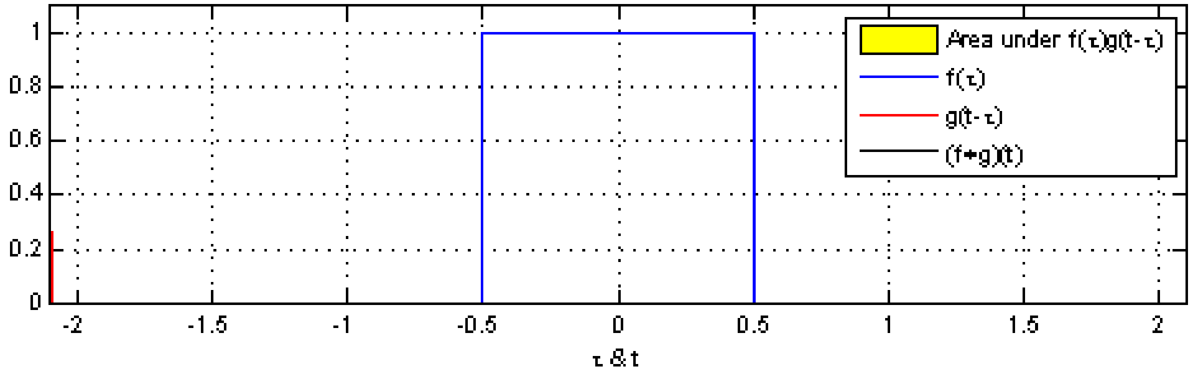
$$p_T(t) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } 0 \le t \le T \\ 0 & \text{nếu khác} \end{cases}$$

$$Note: \begin{cases} Sinc(x) = \dfrac{\sin(\pi x)}{\pi x} \\ \int_{-\infty}^{\infty} Sinc(x)dx = \int_{-\infty}^{\infty} Sinc^2(x)dx = 1 \end{cases}$$



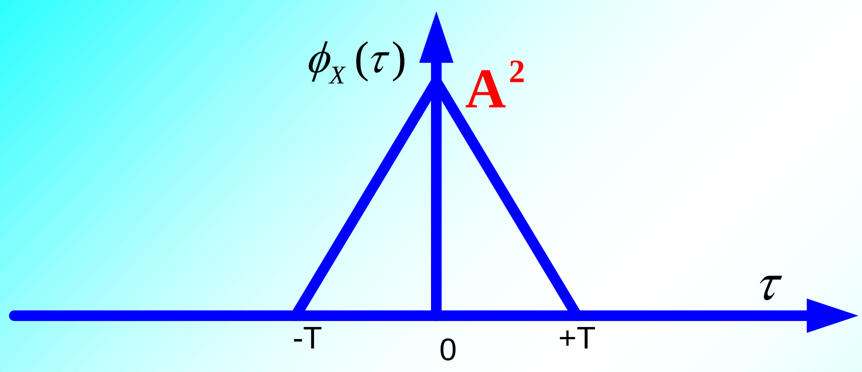
Một thực hiện của tín hiệu nhị phân ngẫu nhiên băng gốc X(t)

Tự tương quan

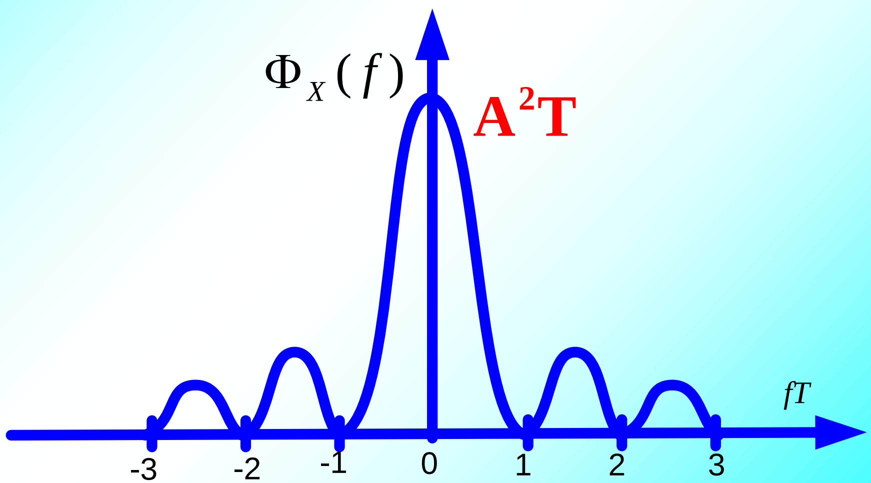


2.5 Các tín hiệu nhị phân băng gốc

❖ **ACF và PSD của tín hiệu nhị phân ngẫu nhiên:**



a) Hàm tương quan AFC



b) Mật độ phổ công suất PSD

ACF :

$$\phi_x(\tau)=E\left[X(t)X(t+\tau)\right]$$
$$=\begin{cases} A^2\left[1-\dfrac{|\tau|}{T}\right], & |\tau|\le T \\ 0 & ,|\tau|>T \end{cases}$$
$$=A^2\Lambda_T(\tau)$$

PSD

$$\Phi_X(f)=A^2T.Sinc^2(fT)$$

$$\underbrace{\underbrace{\Lambda(t)=\begin{cases}1-|t|; & |t|\le 1\\ 0; & |t|>1\end{cases} \quad FT\left[\Lambda(t)\right]=SinC^2(f)}_{\text{Tam giác đơn vị}} \Rightarrow \underbrace{\Lambda_T(t)=\Lambda\left(\frac{t}{T}\right)=\begin{cases}1-\dfrac{|t|}{T}; & |t|\le T\\ 0; & |t|>T\end{cases} \quad FT\left[\Lambda_T(t)\right]=T.SinC^2(Tf)}_{\text{Hàm tam giác đơn vị đáy 2T}}}_{\text{Tính chất tỷ lệ của FT}}$$

2.5 Các tín hiệu nhị phân băng gốc

Nhận xét:

Hàm tự tương quan ACF X(t) và X(t+τ)

- Giống nhau nhất tại $\tau=0$
- Mức độ giống nhau nhất định khi $0<\tau<T$ do một phần của bit X(t) giống X(t+τ). Chẳng hạn khi $\gamma=0$ và $0<\tau<T$ thì $X(t)=X(t+\tau)=A_0$ khi $0<t<T-\tau$
- Hoàn toàn khác nhau khi $\tau>T$, vì tại mọi thời điểm giá trị của X(t) độc lập với X(t+τ) do chúng ở các đoạn bit khác nhau

Mật độ phổ công suất PSD

- Cực trị tại đại là A^2T tại $f=0$ và bằng không đầu tiên tại $f=\pm k/T$.
- Công suất trung bình của X(t)

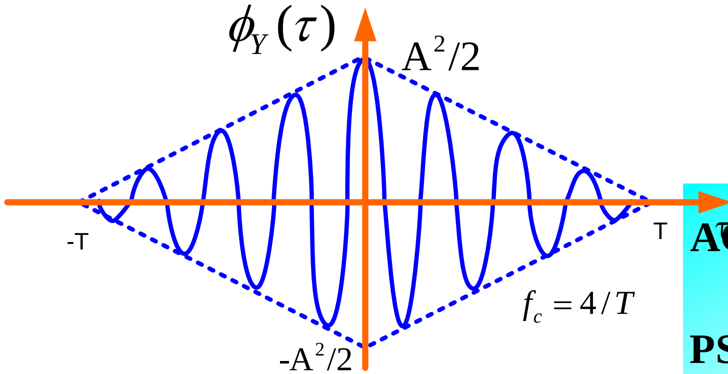
$$\underbrace{\phi_X(0)=\int_{-\infty}^{\infty}\Phi_X(f)df=A^2}_{\text{Không phụ thuộc vào T}}$$

- Từ PSD cho thấy công suất trung bình
  - Trải rộng trên băng tần *rộng* nếu T *nhỏ* (tốc độ bit cao của tín hiệu X(t));
  - Tập trung trên một băng tần *hẹp* nếu T *lớn* (tốc độ bit thấp của tín hiệu X(t)).

2.6 Tín hiệu băng thông (1/2)

$$\underbrace{\mathrm{Y}(t) = \mathrm{X}(t).\cos\left(2\pi f_c t + \theta\right)}$$

f_c: tần số sóng mang
θ: góc pha ngẫu nhiên phân bố đều trong $[0,2\pi]$
không phụ thuộc vào X(t) $\Rightarrow$ Y(t) thành WSS



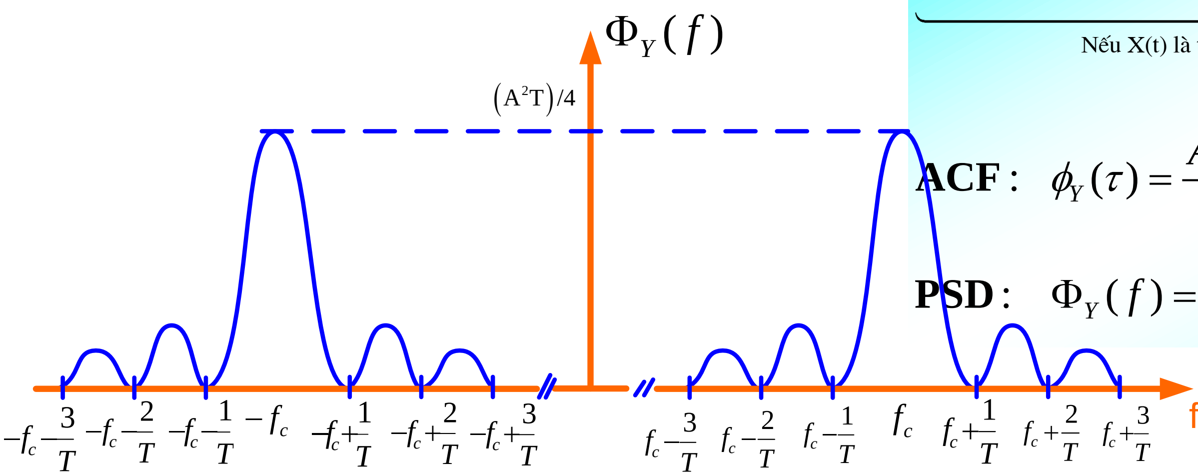
ACF: $\phi_Y(\tau) = \frac{1}{2}\phi_X(\tau)\cos(2\pi f_c \tau)$

PSD: $\Phi_Y(f) = \frac{1}{4}\left\{\Phi_X(f - f_c) + \Phi_X(f + f_c)\right\}$

Nếu X(t) là tín hiệu nhị phân ngẫu nhiên, thì

ACF: $\phi_Y(\tau) = \frac{A^2}{2}\Lambda_T(\tau)\cos(2\pi f_c \tau)$

PSD: $\Phi_Y(f) = \frac{A^2 T}{4}\left\{Sinc^2[(f - f_c)T] + Sinc^2[(f + f_c)T]\right\}$



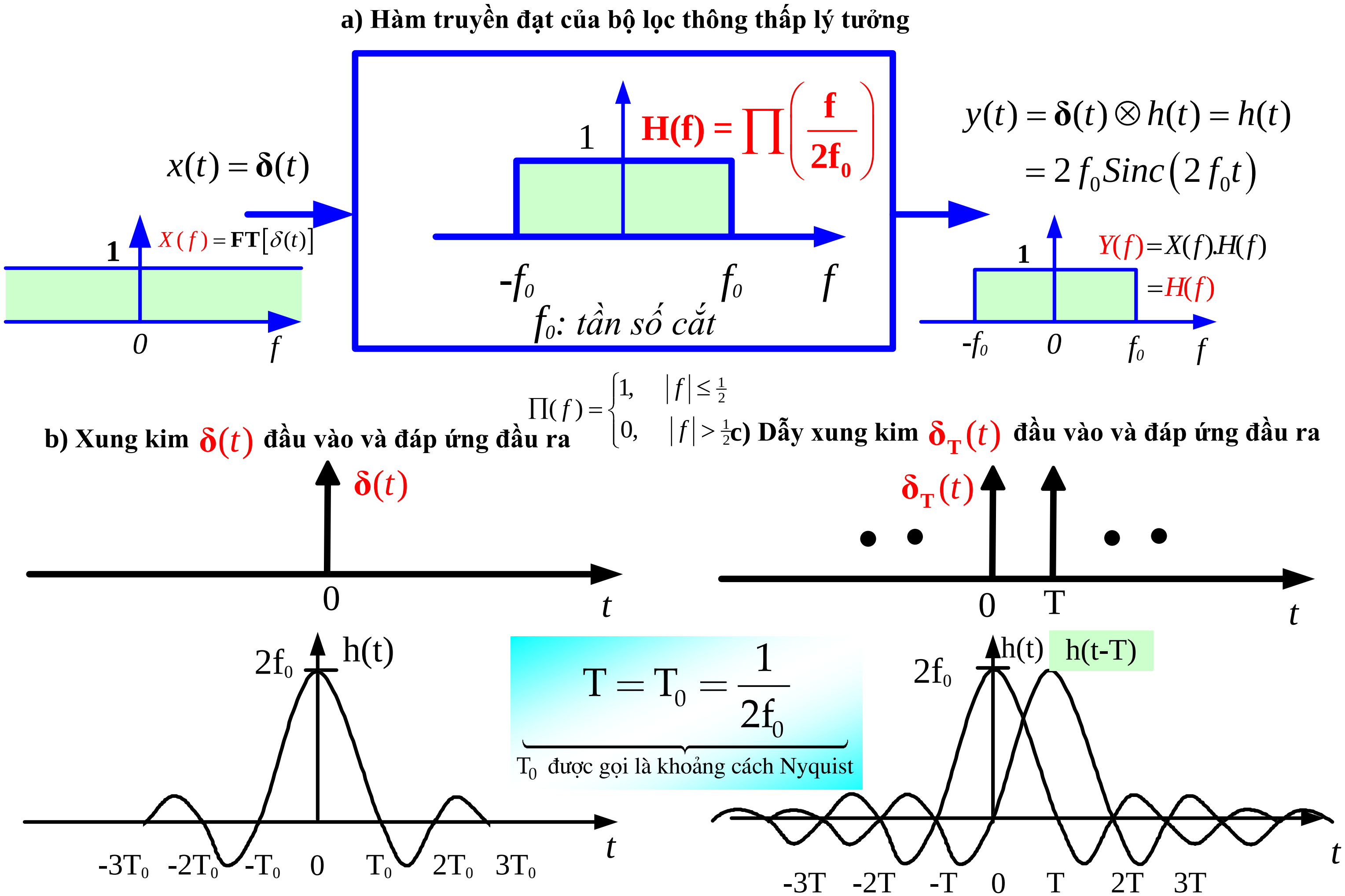
Tự tương quan ACF và PSD của tín hiệu nhi phân X(t) được điều chế

2.6 Tín hiệu băng thông (1/2)

❑ Nhận xét:

- Phổ được tập trung tại lân cận tần số sóng mang $\pm f_c$
- Nếu sử dụng độ rộng băng tần giới hạn tại hai giá trị không đầu tiên của PSD, thì độ rộng phổ của Y(t) bằng 2/T (lưu ý độ rộng băng tần trong vi ba số thường được sử dụng là độ rộng băng Nyquist, trong trường hợp này độ rộng băng Nyquist bằng 1/T).
- Công suất trung bình của Y(t): $\phi_Y(0) = A^2/2$ bằng một nửa công suất trung bình của X(t), trên hình ta sử dụng f_c=4/T.

2.7. Ảnh hưởng của hạn chế băng thông và định lý Nyquist (1/5)



Giảng viên: Nguyễn Việt Hưng
Bộ môn: Vô Tuyến – Khoa Viễn Thông 1

2.7. Ảnh hưởng của hạn chế băng thông và định lý Nyquist (2/5)

- Nếu độ rộng băng tần của đường truyền dẫn bị hạn chế => xung thu mở rộng ở đáy => ISI (InterSymbol Interference).
- Các điểm không xuất hiện tại thời điểm $kT_0 = k/(2f_0)$ với f_0 khác không, T_0 được gọi là khoảng Nyquist.
  - Nếu phát đi một dẫy xung kim $\delta_T(t)$ cách nhau một khoảng Nyquist và tiến hành phân biệt các xung này tại kT_0, thì có thể tránh được ISI (hình c).
  - Nếu $T<T_0$, thì sự chồng lấn của các xung này làm ta không thể phân biệt được chúng. Nói một cách khác độ rộng băng tần cần thiết để phân biệt các xung (các ký hiệu) có tốc độ ký hiệu $R_s=1/T$ phải bằng $2f_0=1/T_0$

$$f_0 = \overbrace{\frac{1}{2T} = \frac{R_s}{2}}^{\text{Giới hạn độ rộng băng tần Nyquist}}$$

2.7. Ảnh hưởng của hạn chế băng thông và định lý Nyquist (3/5)

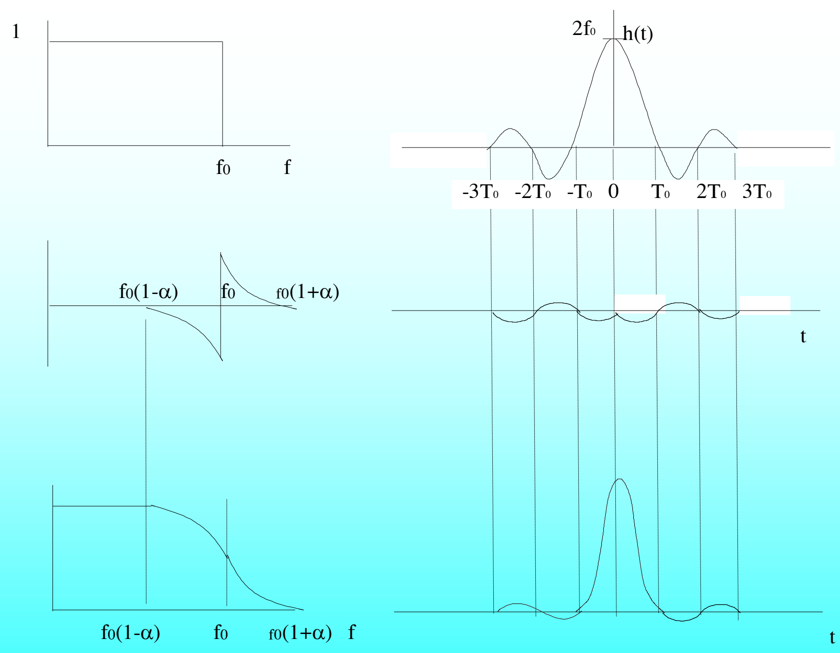
❖**Định lý Nyquist**: Ngay cả khi xếp chồng đặc tính đối xứng kiểu hàm lẻ ứng với tần số cắt f_0 với đặc tính của bộ lọc thông thấp lý tưởng, thì điểm cắt (điểm 0) với trục của đáp ứng xung kim vẫn không thay đổi.

$$\underbrace{\mathrm{Roll(f)} = \begin{cases} 1, & khi\ |f| \le f_0(1-\alpha) \\ \frac{1}{2}\left[1 - \sin\left(\frac{\pi}{2\alpha f_0}(|f| - f_0)\right)\right], & khi\ f_0(1-\alpha) \le |f| \le f_o(1+\alpha) \\ 0, & khi\ |f| \ge f_0(1+\alpha) \end{cases}}_{\text{Phần nghiêng được chuyển thành đặc tính Cosin bình phương sau:}}$$

$$\Downarrow$$

$$\underbrace{\mathrm{Roll(f)} = \cos^2\left\{\frac{\pi}{4\alpha f_0}(|f| - f_0) + \frac{\pi}{4}\right\}}_{\text{được gọi là đặc tính dốc Cosin}}$$

$$\underbrace{\mathrm{Roll(f)} = \begin{cases} 1, & khi\ |f| \le f_0(1-\alpha) \\ \frac{1}{2}\left[1 + \cos\left(\frac{\pi}{2\alpha f_0}(|f| - f_0(1-\alpha))\right)\right], & khi\ f_0(1-\alpha) \le |f| \le f_0(1+\alpha) \\ 0, & khi\ |f| \ge f_0(1+\alpha) \end{cases}}_{\text{được gọi đặc tính dốc Cosin tăng}}$$



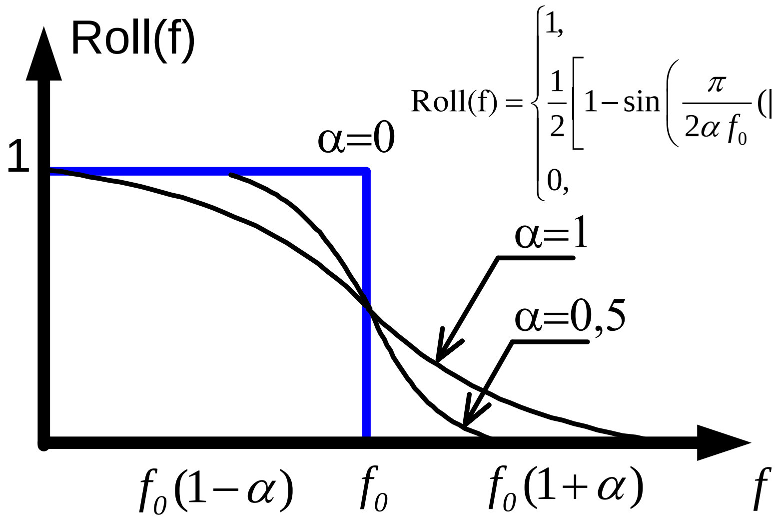
Hình 2.9. Các đặc tính và đáp ứng xung kim của bộ lọc thoả mãn định lý Nyquist.

2.7. Ảnh hưởng của hạn chế băng thông và định lý Nyquist (4/5)

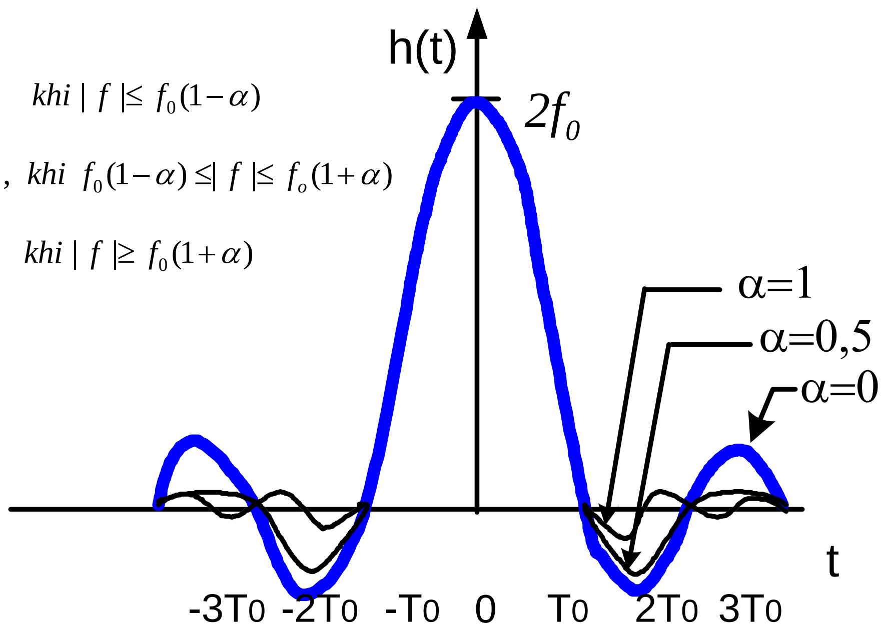
❖Đặc tính của bộ lọc dốc cosin

$$h(t) = 2f_0 Sinc(2f_0 t)\frac{\cos(2\pi\alpha f_0 t)}{1-(4\alpha f_0 t)^2}$$

$$\mathrm{Roll(f)} = \begin{cases} 1, & khi\ |f| \le f_0(1-\alpha) \\ \frac{1}{2}\left[1-\sin\left(\frac{\pi}{2\alpha f_0}(|f|-f_0)\right)\right], & khi\ f_0(1-\alpha) \le |f| \le f_o(1+\alpha) \\ 0, & khi\ |f| \ge f_0(1+\alpha) \end{cases}$$



a) Đặc tính dốc cosin



b) Đáp ứng xung kim

2.7. Ảnh hưởng của hạn chế băng thông và định lý Nyquist (5/5)

❖Băng thông tối thiểu cần thiết

- Đối với truyền dẫn băng gốc: Băng thông tối thiểu cần hiết để phân biệt các xung, hay băng thông Nyquist:

$$B_N = f_0(1+\alpha) = R_s(1+\alpha)/2$$

- Đối với đường truyền dẫn băng thông: Băng thông Nyquist:

$$B_N = 2.f_0(1+\alpha) = R_s(1+\alpha)$$

trong đó R_s là tốc độ truyền dẫn hay tốc độ ký hiệu.

Quan hệ giữa tốc độ ký hiệu và tốc độ bit

$$R_s=R_b/k$$

trong đó k là số bit trên một ký hiệu.

2.8. Ảnh hưởng của các đặc tính đường truyền

- **Nhiễu, tạp âm, tỷ số tín hiệu trên tạp âm, tỷ số bit lỗi**
  - Nguồn nhiễu và tạp âm
  - Tỷ số tín hiệu trên tạp âm
  - Tạp âm trắng
  - Tạp âm Gauss trắng cộng (AWGN)
- **Tạp âm và các quyết định nhị phân**
- **Méo dạng sóng do đặc tuyến tần số của đường truyền**
  - Đặc tính pha tần
  - Đặc tính biên tần
  - Mẫu hình mắt (Biểu đồ hình mắt)

2.8. Ảnh hưởng của các đặc tính đường truyền

❑ Nhiễu, tạp âm, SNR, BER (1/5)

❖ Các nguồn nhiễu và tạp âm

➢ **Các nguồn nhiễu:**

✓ Các tín hiệu thu được ở máy thu:

- Sóng điều chế khác gây nhiễu với tín hiệu hữu ích
- Các tín hiệu do các hiện tượng thiên nhiên hoặc xung tạo ra như: tia chớp, hay các nguồn xung nhân tạo....
- Truyền sóng nhiều tia ở vi ba số

✓ Các tín hiệu thể hiện xử lý bị lỗi hay xấp xỉ hoá như:

- Các tín hiệu sinh ra khi xử lý tín hiệu để truyền dẫn dẫn đến phát đi một tín hiệu khác với tín hiệu mà người phát định phát
- Các tín hiệu sinh ra khi tách sóng và kết cấu lại tín hiệu ở phía thu.

➢ **Các nguồn tạp âm:**

- Chuyển động ngẫu nhiên của các điện tử, ion, hay các lỗ trong các vật liệu cấu thành thiết bị thu
- Phát xạ ngân hà

2.8. Ảnh hưởng của các đặc tính đường truyền

❖ Tỷ số tín hiệu trên tạp âm SNR

$$\underbrace{\text{SNR} = \frac{\text{Công suất tín hiệu (S)}}{\text{Công suất tạp âm (N)}}}$$

$$\Updownarrow$$

$$(\text{SNR})_{\text{dB}} = 10\log_{10}\left(\frac{S}{N}\right), \qquad [\text{dB}]$$

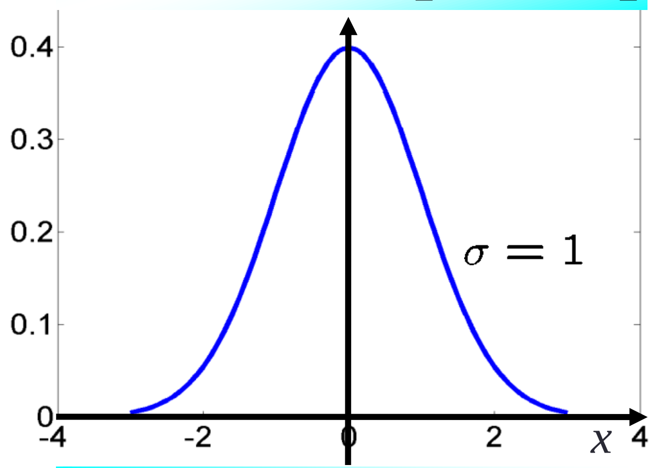
Giảng viên: Nguyễn Việt Hưng
Bộ môn: Vô Tuyến – Khoa Viễn Thông 1

❑ Nhiễu, tạp âm, SNR, BER (2/5)

❖Tạp âm trắng

- Tạp âm nhiệt được mô tả bởi quá trình ngẫu nhiên Gaussian X(t) trung bình không.
- Mật độ phổ công suất của X(t) là phẳng =>được gọi là tạp âm trắng.

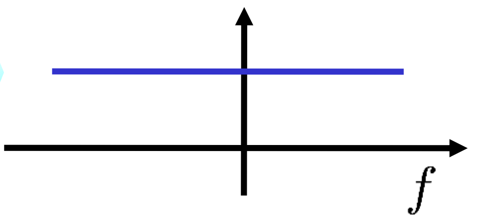
$$f_X(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x}{\sigma}\right)^2\right]$$



Hàm mật độ xác suất

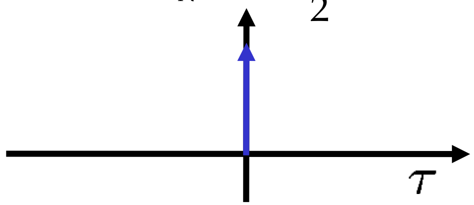
$$\Phi_N(f) = \frac{N_0}{2} \quad [\text{w/Hz}]$$

Mật độ phổ công suất

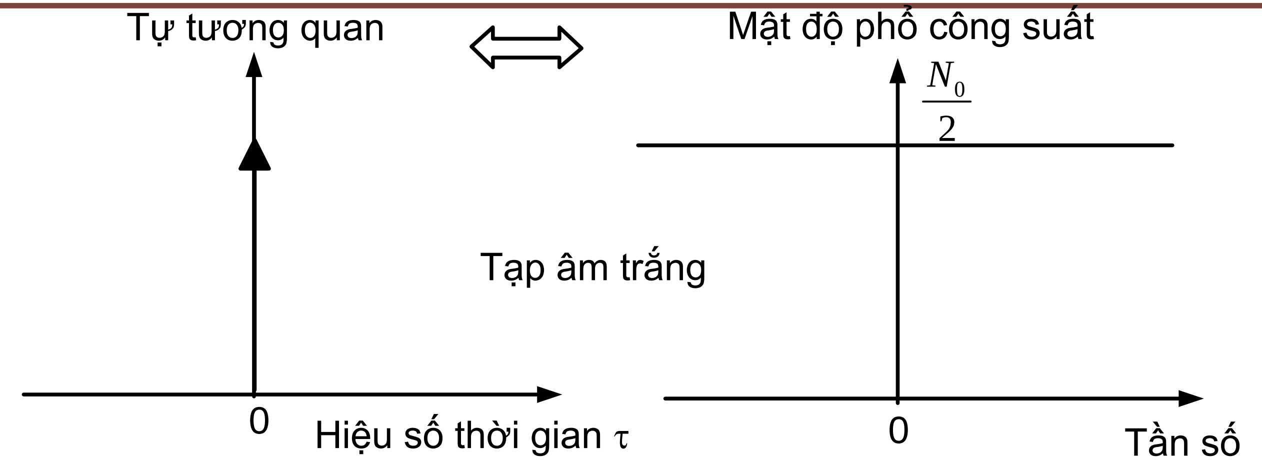


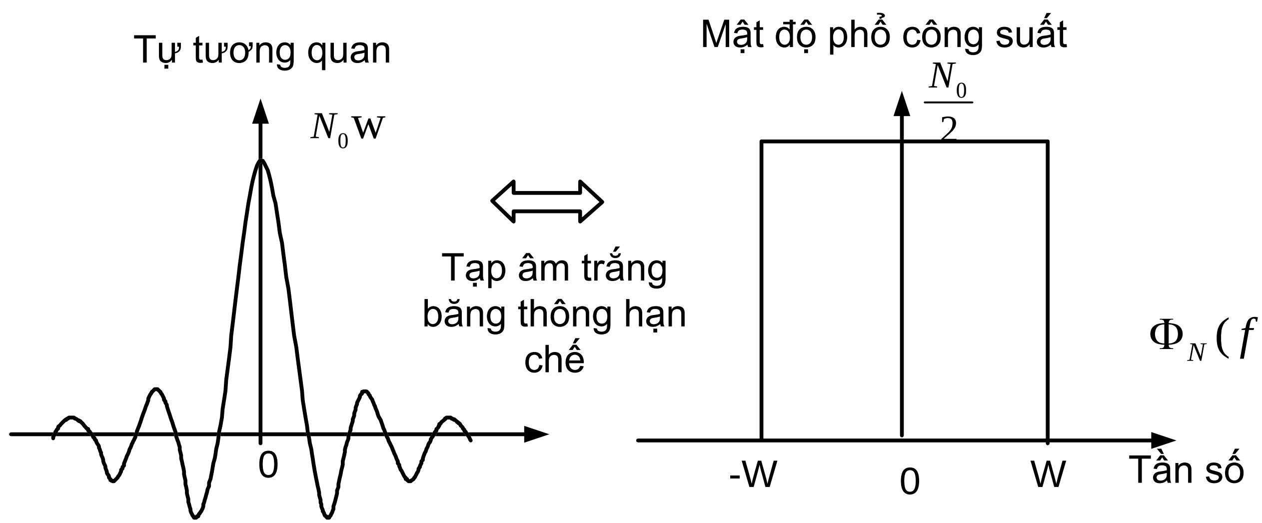
$$\phi_N(\tau) = \frac{N_0}{2}\delta(\tau)$$

Hàm tự tương quan



❖ Tạp âm trắng





$$\Phi_N(f)=\begin{cases} N_0/2, & |f|<W \\ 0, & |f|\ge W \end{cases}$$

❖Tạp âm Gausơ trắng cộng AWGN

➢ Phân bố Gausian

$$\underbrace{f_X(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-E[X]}{\sigma}\right)^2\right]}_{\text{Nếu E[x]=0}}$$

$$\Downarrow$$

$$f_X(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x}{\sigma}\right)^2\right]$$

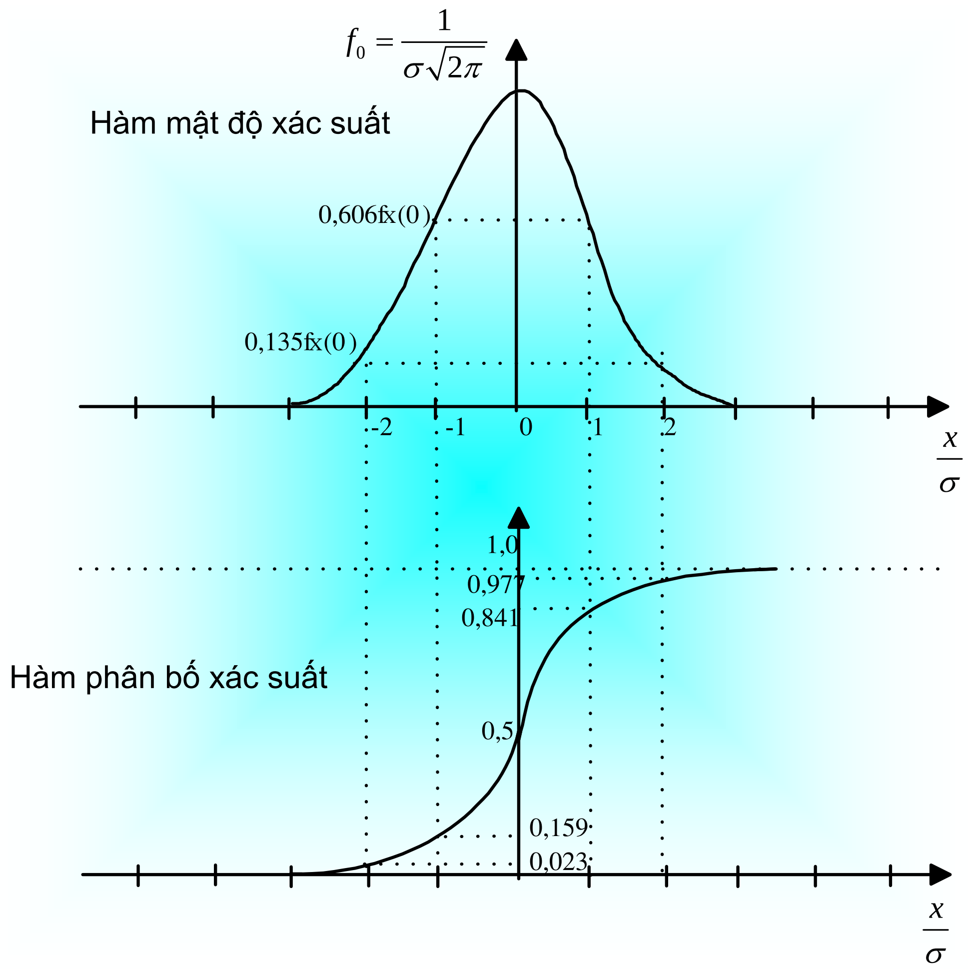
➢ Hàm $F_X(x)$ cho biết xác suất điện áp tạp âm thấp hơn mức x

$$F_X(x)=P(X\le x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{x}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{u}{\sigma}\right)^2\right]du$$

$$=\frac{1}{2}\left[1+erf\left(\frac{x}{\sqrt{2}\,\sigma}\right)\right]$$

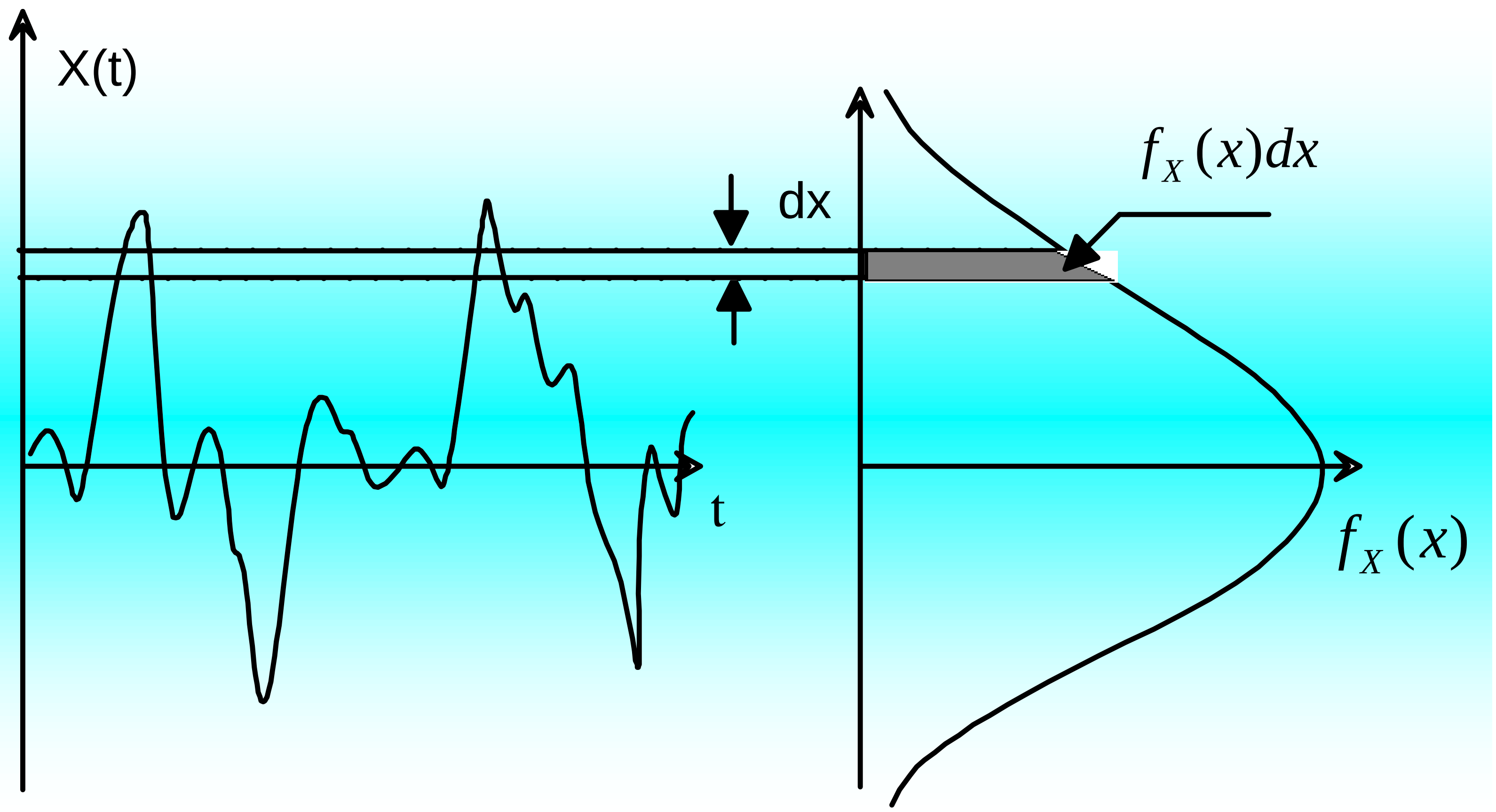
$$\text{trongđó: } Erf(z)=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^z\exp\{-u^2\}du;\ \text{với } z=\frac{1}{\sigma\sqrt{2}}$$

❖Tạp âm Gausơ trắng cộng AWGN



Hàm phân bố xác suất và mật độ xác suất của tạp âm Gauss

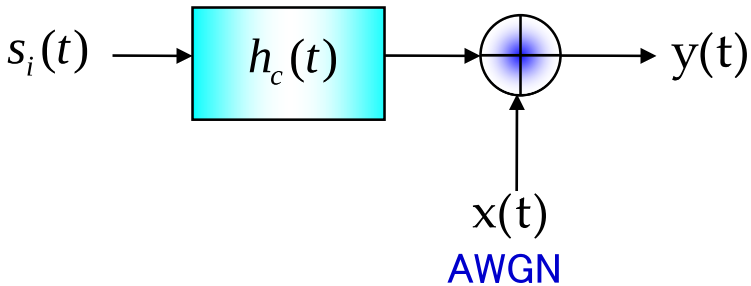
❖Tạp âm Gauso trắng cộng AWGN



Điện áp tạp âm Gauss và hàm mật độ xác suất

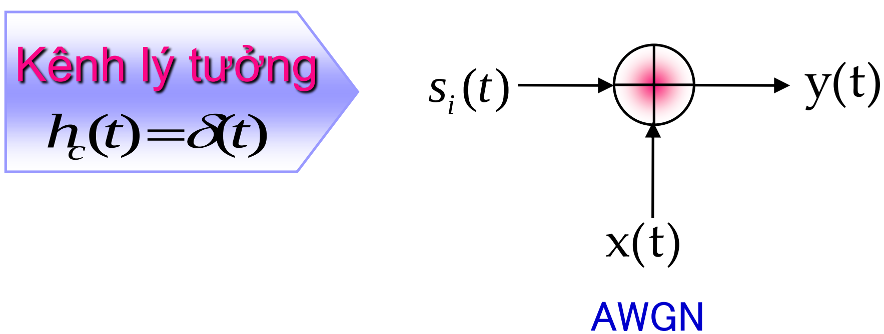
❖ Tạp âm và các quyết định nhị phân

- Mô hình tín hiệu thu



$$y(t) = s_i(t) * h_c(t) + x(t)$$

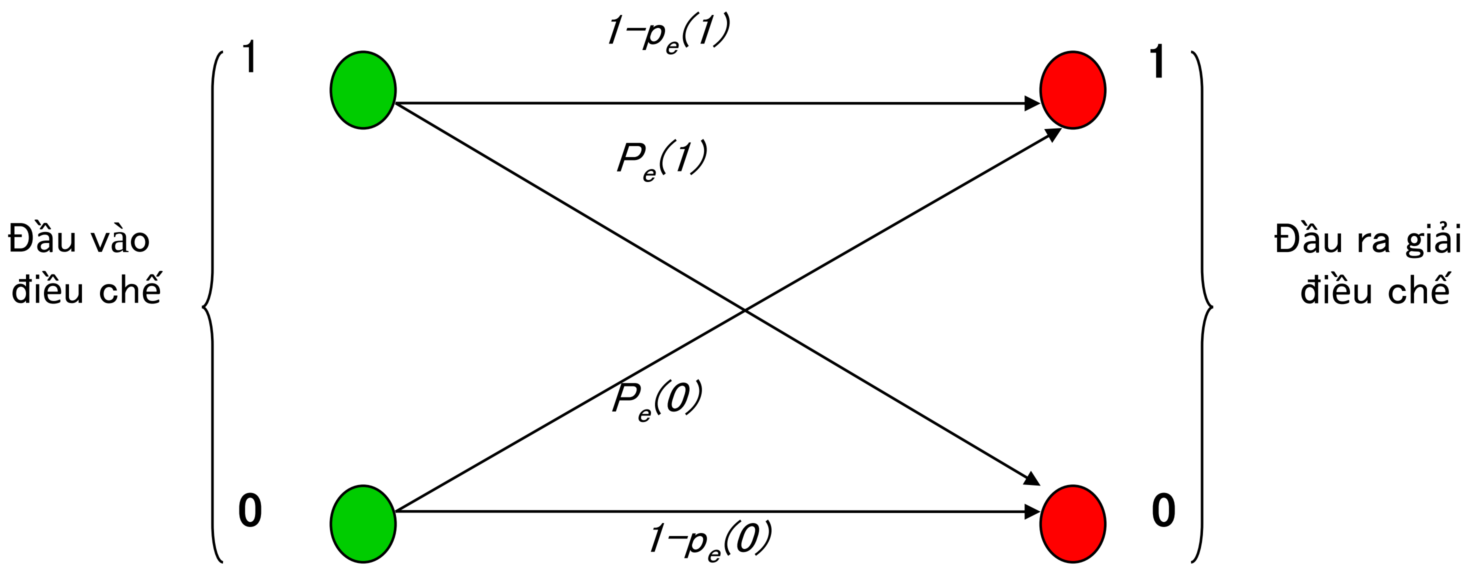
  - Mô hình đơn giản: Tín hiệu thu trong kênh AWGN



$$y(t) = S_i(t) + x(t) = \begin{cases} A + x(t), & \text{khi phát tín hiệu 0} \\ -A + x(t), & \text{khi phát tín hiệu 1} \end{cases}$$

$$\text{Quyết định: } y(t) \begin{cases} > u, & \text{quyết định "0"} \\ < u, & \text{quyết định "1"} \\ = u, & \text{không biết} \end{cases}$$

❖Kênh nhị phân đối xứng (BSC)

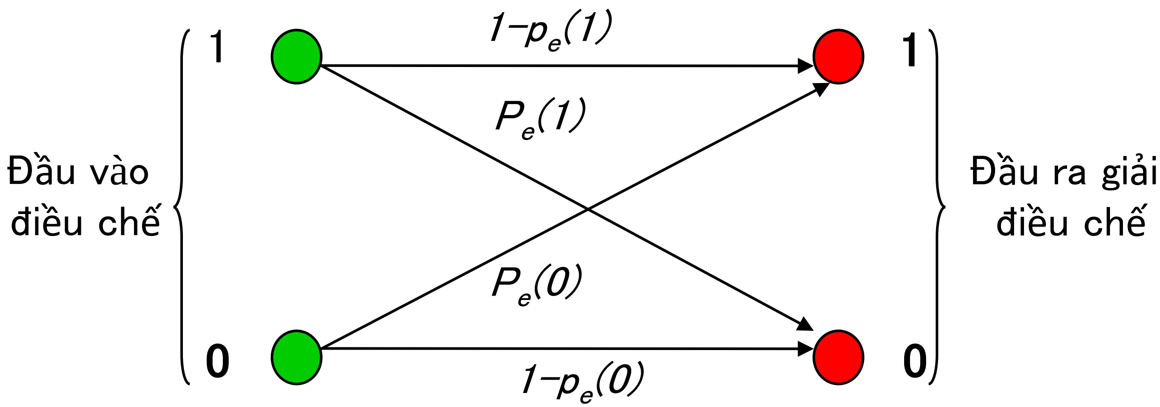


$$\underbrace{p(1\,|\,0)}_{p_e(0)} = \underbrace{p(0\,|\,1)}_{p_e(1)}$$

$$1 - p_e(1) = p(1\,|\,1) = p(0\,|\,0)$$

$$p_e = p(0)p_e(0) + p(1)p_e(1) = \frac{1}{2}\, p_e(0) + p_e(1)$$

❖Kênh nhị phân đối xứng (BSC)



$$\underbrace{p(1|0)}_{p_e(0)} = \underbrace{p(0|1)}_{p_e(1)}$$

$$1-p_e(1) = p(1|1) = p(0|0)$$

$$\begin{aligned}
p_e &= p(0)p_e(0) + p(1)p_e(1) \\
&= \frac{1}{2}\, p_e(0) + p_e(1) \\
&= \frac{1}{2}\left[\int_{-\infty}^{u} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y-A}{\sigma}\right)^2} dy + \int_{u}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y+A}{\sigma}\right)^2} dy\right] \\
&= \int_{u}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y+A}{\sigma}\right)^2} dy = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{A}{\sigma}}^{\infty} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \\
&= Q\left(\frac{A}{\sigma}\right)
\end{aligned}$$

$$erfc(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_u^{\infty} e^{-z^2} dz$$

$$\underbrace{Q(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_u^{\infty} e^{\frac{-z^2}{2}} dz}$$

$$Q(u) = \frac{1}{2} erfc\left(\frac{u}{\sqrt{2}}\right)$$

$$erfc(u) = 2Q\left(u\sqrt{2}\right)$$

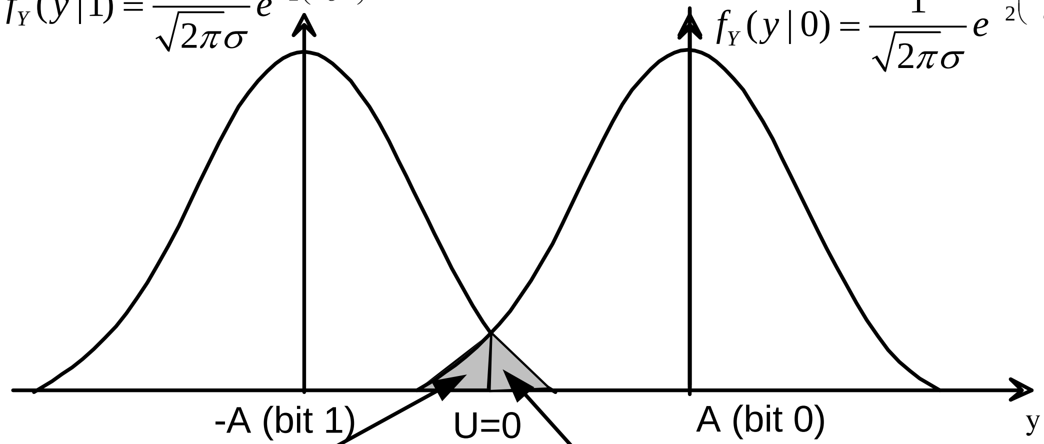
$$erfc(-x) = 2 - erfc(x)$$

❖ Tạp âm và các quyết định nhị phân

Các hàm mật độ xác suất tín hiệu thu có điều kiện khi phát bit 0 (A) và bit 1 (−A) với quyết định tại u

$$f_Y(y|1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y+A}{\sigma}\right)^2}$$

$$f_Y(y|0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y-A}{\sigma}\right)^2}$$



$$P_e(0) = \int_{-\infty}^{u} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y-A}{\sigma}\right)^2} dy$$

$$P_e(1) = \int_{u}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y+A}{\sigma}\right)^2} dy$$

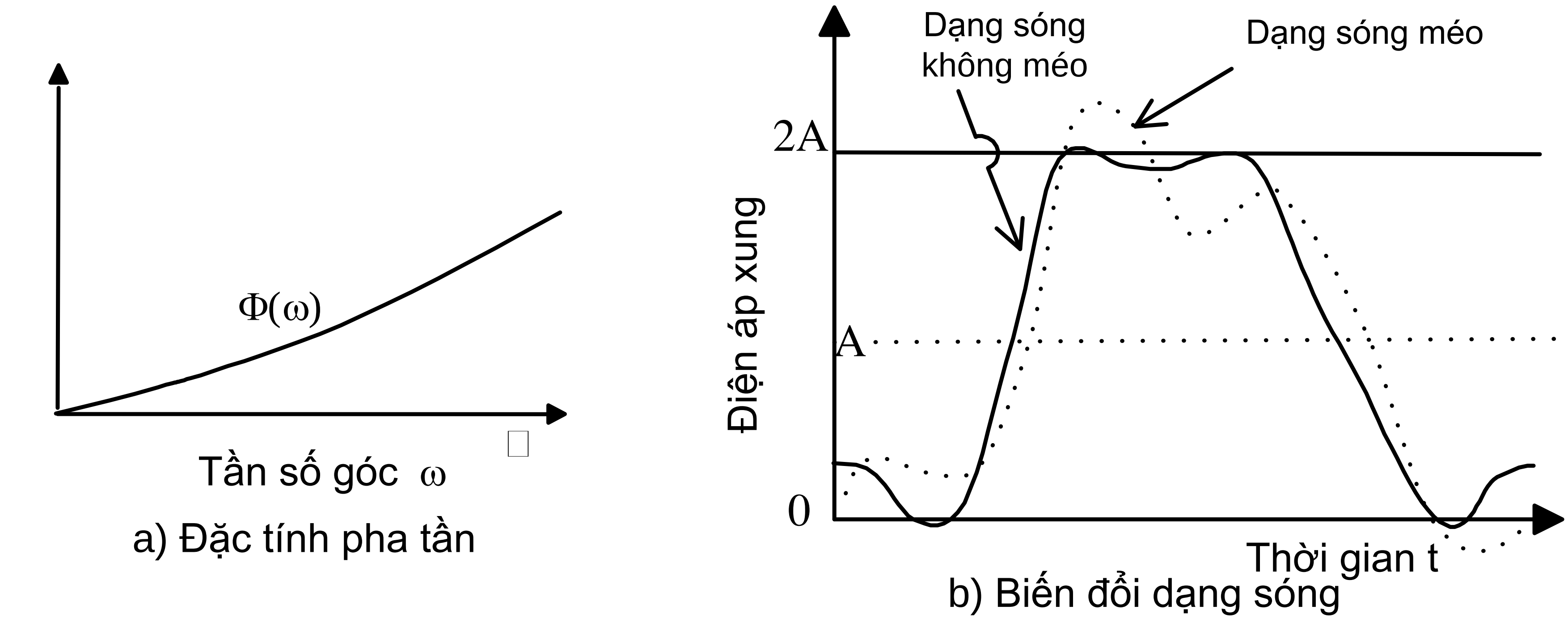
$$p_e = \frac{1}{2}\left[p_e(0) + p_e(1) \right]$$

$$= \frac{1}{2}\left[\int_{-\infty}^{u} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y-A}{\sigma}\right)^2} dy + \int_{u}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y+A}{\sigma}\right)^2} dy \right]$$

$$= \int_{u}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y+A}{\sigma}\right)^2} dy = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{A}{\sigma}}^{\infty} e^{-\frac{z^2}{2}} dz = Q\left(\frac{A}{\sigma}\right)$$

2.8.3. Méo dạng sóng do đặc tuyến tần số của đường truyền

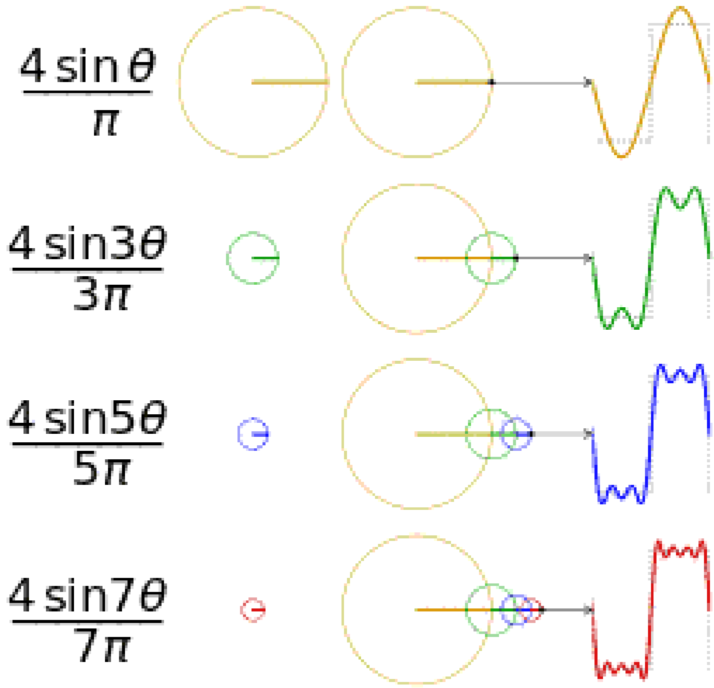
❖**Đặc tính pha tần**

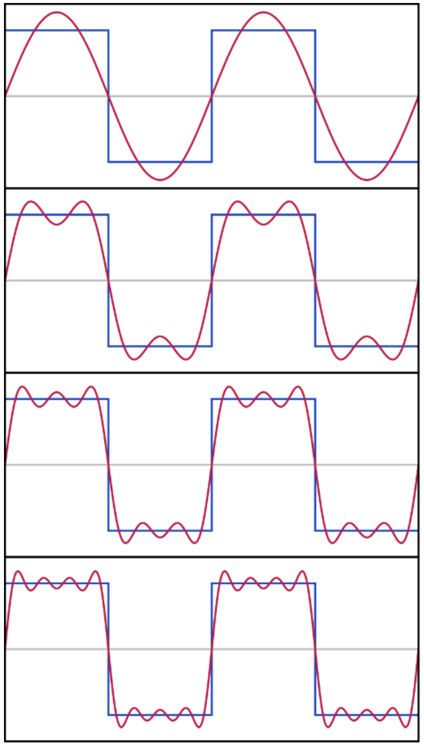


Hình 2.14. *Méo dạng sóng xung do đặc tính pha*

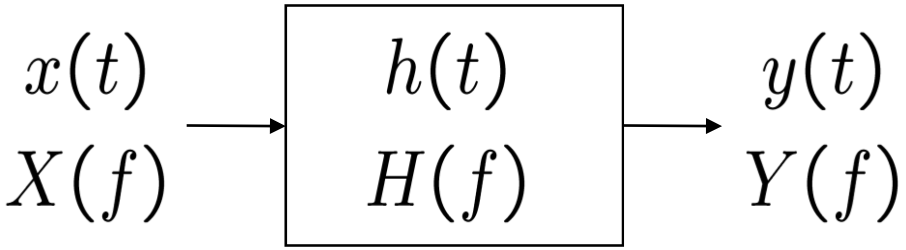
2.8.3. Méo dạng sóng do đặc tuyến tần số của đường truyền

$$S(t) = A\left(\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi}\sin\omega t + \frac{2}{3\pi}\sin 3\omega t + \frac{2}{5\pi}\sin 5\omega t + \ldots\right)$$





❖Truyền dẫn tín hiệu qua hệ thống tuyến tính



- Tín hiệu tất định: $Y(f) = X(f)H(f)$
- Tín hiệu ngẫu nhiên: $\Phi_Y(f) = \Phi_X(f)\left|H(f)\right|^2$

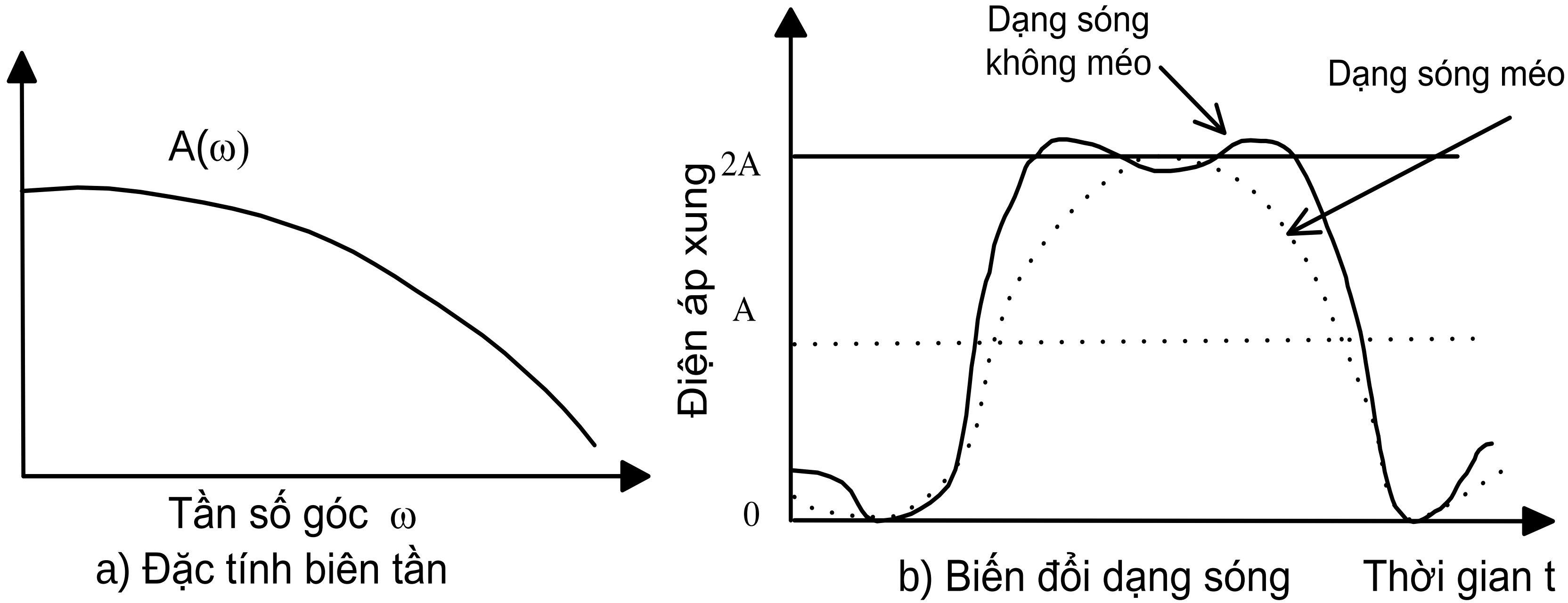
- Truyền dẫn không méo (lý tưởng):

Mọi thành phần tần số của tín hiệu không chỉ đến với cùng trễ thời gian, mà còn được khuyếch đại hoặc suy hao như nhau.

$$y(t) = Kx(t - t_0) \text{ or } H(f) = Ke^{-j2\pi f t_0}$$

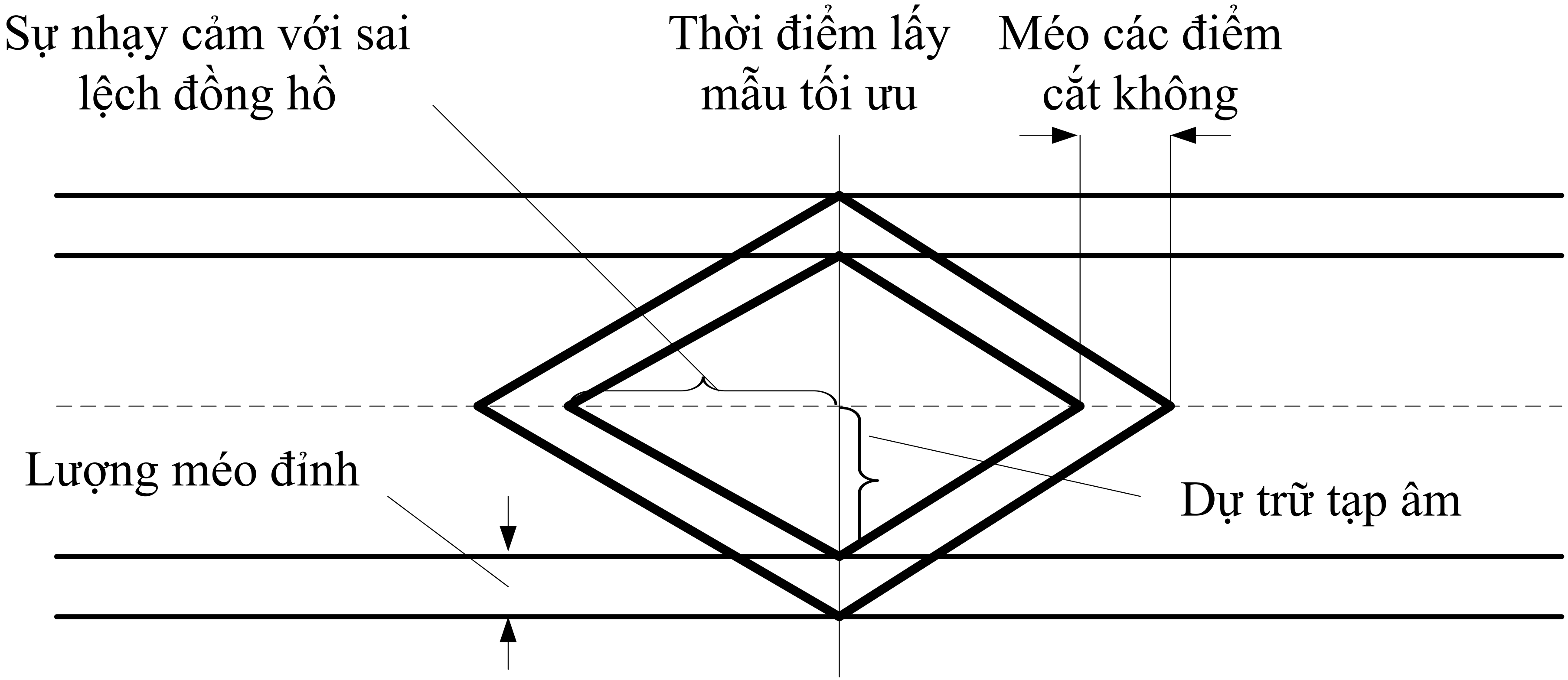
2.8.3. Méo dạng sóng do đặc tuyến tần số của đường truyền

❖ **Các đặc tính biên tần**



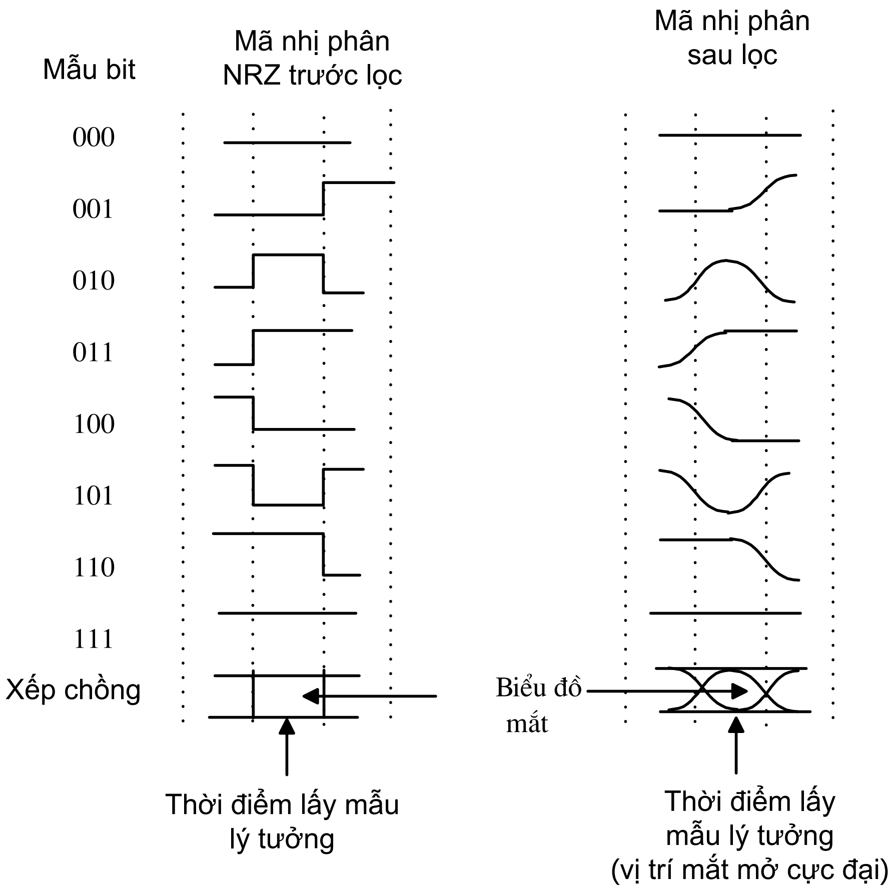
Hình 2.15. *Méo dạng sóng xung do các ký hiệu ảnh hưởng trực tiếp đến tỷ số bit lỗi BER*

2.8.3. Méo dạng sóng do đặc tuyến tần số của đường truyền

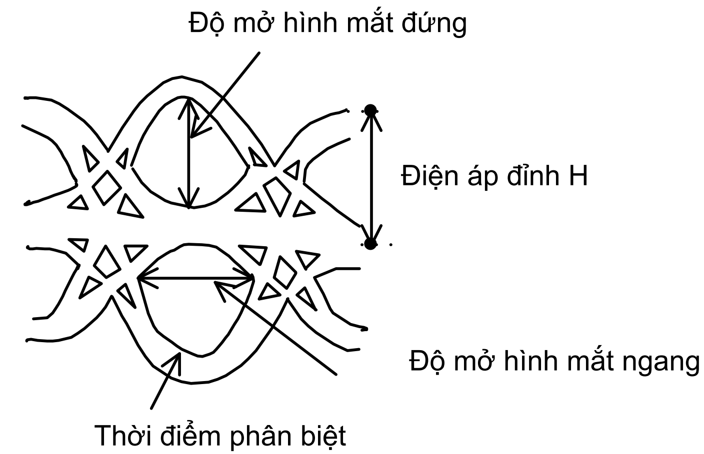


Hình 2.16. *Ảnh hưởng của ISI lên độ mở mẫu mắt*

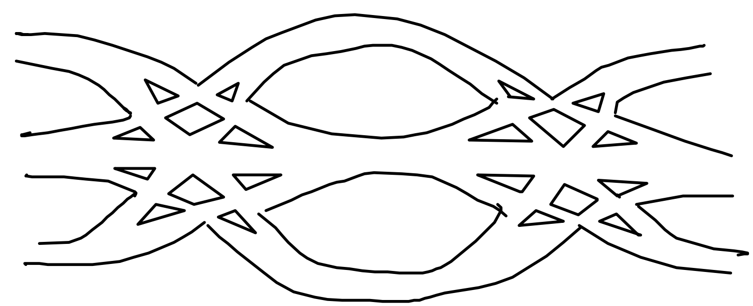
2.9. PHƯƠNG PHÁP BIỂU DIỄN VÀ PHÂN TÍCH ĐÁNH GIÁ TÍN HIỆU ĐIỂN HÌNH



Hình 2.17. *Biểu đồ mắt đối với tín hiệu trước và sau bộ lọc*

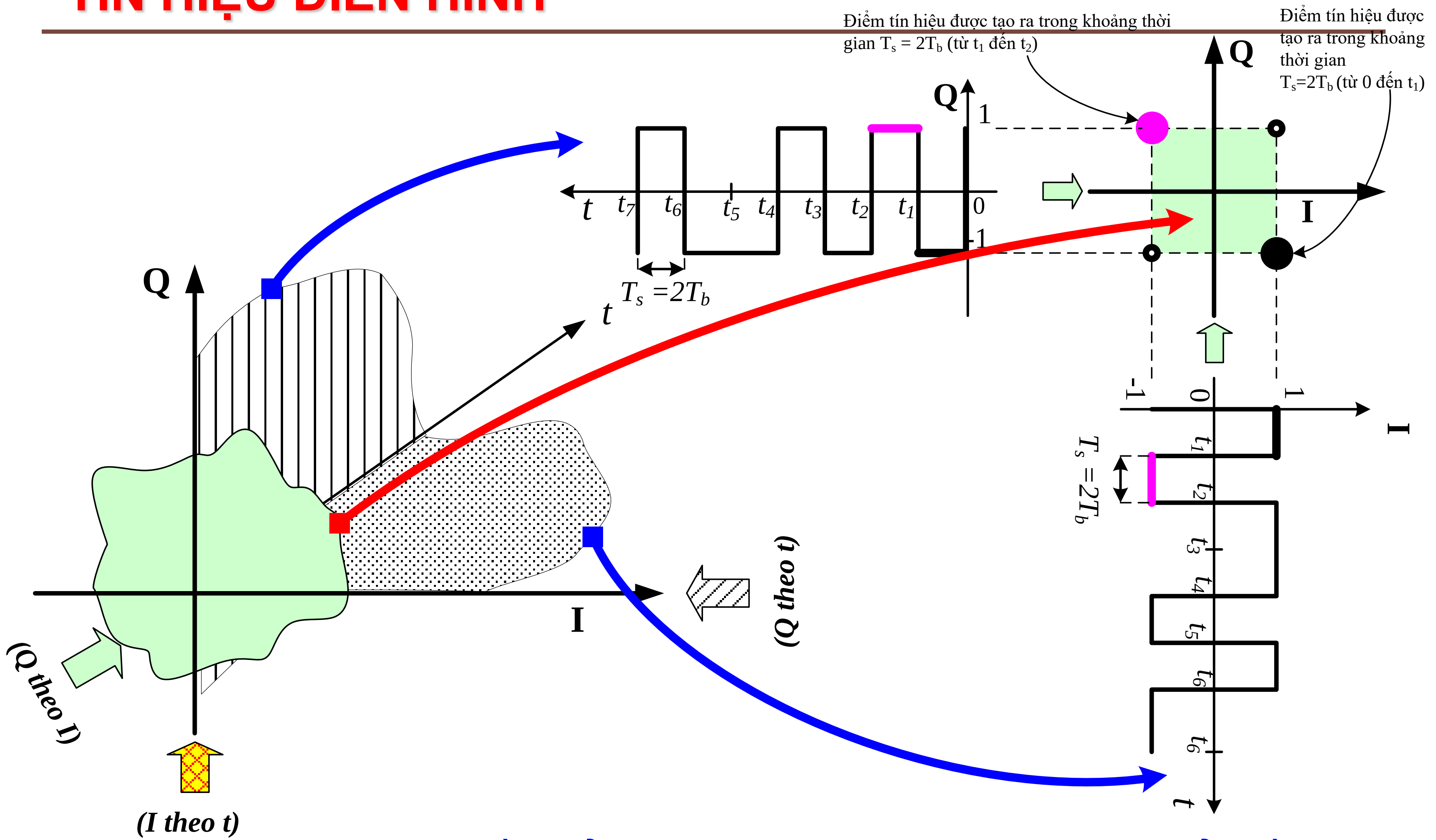


Hình 2.18a *Biểu đồ mắt thực tế*



Hình 2.18b. *Mẫu hình mắt bị giảm chất lượng*

2.9. PHƯƠNG PHÁP BIỂU DIỄN VÀ PHÂN TÍCH ĐÁNH GIÁ TÍN HIỆU ĐIỂN HÌNH



Hình 2.19. *Hệ toạ độ ba chiều thể hiện quan hệ giữa: dạng sóng và biểu đồ tán xạ*

Bài tập

1. Cho một dẫy xung chữ nhật biên độ A, chu kỳ T và thời gian xung T_1 (T_1<T).
Tìm năng lượng xung
Tìm công suất trung bình của xung
2. Hàm bậc thang

$$s(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1, & t \geq 0 \end{cases}$$

là hàm kiểu gì?
3. Hàm mũ

$$s(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ \exp(-t), & t \geq 0 \end{cases}$$

là hàm kiểu gì?
4. Hàm

$$g(t) = 1/\sqrt{1+t}$$

là hàm kiểu gì?

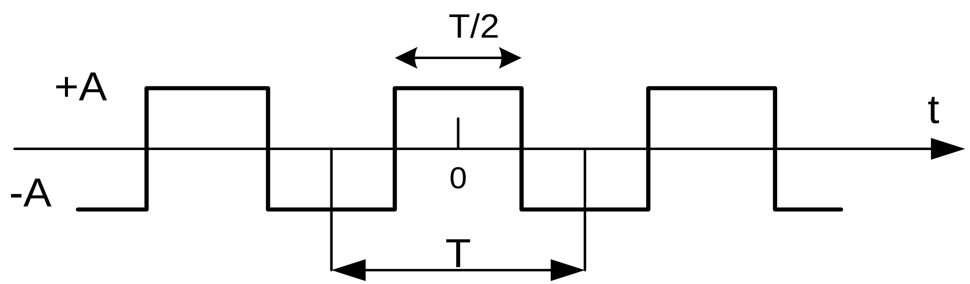
Bài tập

5. Tìm ACF và PSD của hàm cosin dưới đây

$$s(t)=A\cos(2\pi ft+\theta)$$

tìm ACF và PSD.

6. Cho dẫy xung chữ nhật biên độ $\pm A$, chu kỳ T như ở hình vẽ dưới đây



Tìm:

a) Biến đổi Fourier
b) PSD
c) ACF
d) Công suất trung bình

Bài tập

7. Cho dẫy xung trong là quá trình ngẫu nhiên được biểu diễn theo công thức sau:

$$X(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} A_K\, p_T\left(t + \frac{T}{2} - kT\right)$$

trong đó A_k={+A,-A} với xác xuất xuất hiện +A và -A bằng nhau và bằng 1/2. Tìm:

a) ACF
b) PSD
c) Công suất trung bình

8. Một đường truyền dẫn băng gốc trong đó mỗi ký hiệu truyền được 2 bit có thừa số dốc α=1 hoặc α=0.2 . Nếu tốc độ số liệu cần truyền là 9600 bps , tìm:

a) Tốc độ truyền dẫn
b) Băng thông Nyquist.

9. Một đường truyền dẫn băng thông có dữ liệu như ở bài 8. Tìm:

a) Tốc độ truyền dẫn
b) Băng thông Nyquist

Bài tập

10. Một tín hiệu được đo tại đầu ra của bộ lọc băng thông lý lưởng với băng thông là B Hz. Khi không có tín hiệu tại đầu vào bộ lọc, công suất đo được là $1x10^{-6}$W. Khi có tín hiệu NRZ lưỡng cực công suất đo được là $1{,}1x10^{-5}$W. Tạp âm có dạng tạp âm trắng.

a) Hãy biểu diễn tỷ số tín hiệu trên tạp âm theo dB
b) Tìm xác suất máy thu nhận biết sai xung NRZ.

11. Nếu băng thông bộ lọc trong bài 10 tăng gấp đôi và giữ nguyên mức công suất tín hiệu. Hỏi:

a) Khi không có tín hiệu thì công suất đo được tại đầu ra cuả bộ lọc bằng bao nhiêu
b) Tỷ số tín hiệu trên tạp âm bằng bao nhiêu
c) Xác suất lỗi xung NRZ bằng bao nhiêu.

12. Cho một chuỗi nhị phân dài vô tận có phân bố 1 và 0 ngẫu nhiên đi qua kênh AWGN. Tìm xác suất lỗi xung khi:

a) Các xung là RZ đơn cực với SNR=10dB
b) Các xung là NRZ lưỡng cực với SNR=5dB