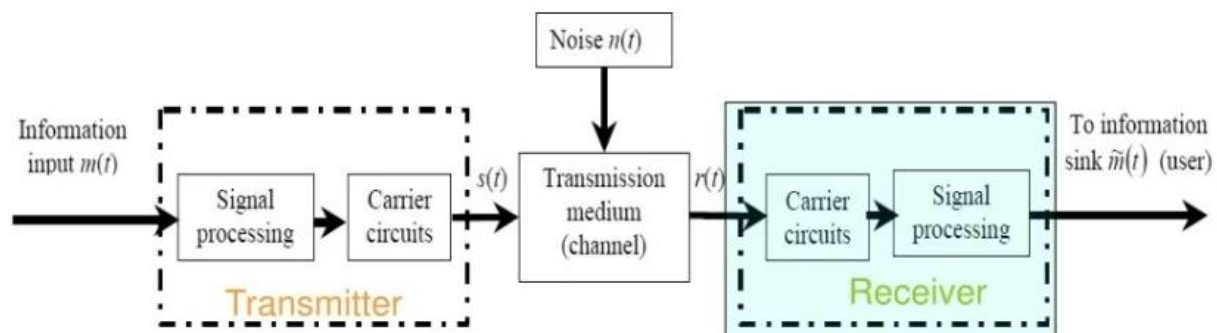


Course Content:

۱. What is communication
۲. Basic elements of a communication system
۳. Different Sources of a Communication system
۴. Signals and Channels
۵. Modulation and Demodulation
۶. Amplitude Modulation (AM)
۷. Frequency Modulation (FM)
۸. Channel Noise Analysis

۱. About the Communication & Basic elements

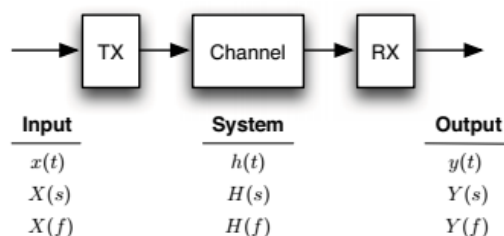
1. بلوک دیاگرام یک سیستم مخابراتی

Radio Spectrum and Frequency bands**Notes**

- a- radio frequency = 3KHz $\rightarrow$ 300GHz and none of the frequency above 300GHz is classified as radio waves.
- b- Sound velocity = 345 m/s .
- c- Human voice 20 $\rightarrow$ 4000 Hz
- d- Audible rang 20 $\rightarrow$ 20 000 Hz

Frequency	Band
10 kHz to 30 kHz	Very Low Frequency (VLF)
30 kHz to 300 kHz	Low Frequency (LF)
300 kHz to 3 MHz	Medium Frequency (MF)
3 MHz to 30 MHz	High Frequency (HF)
30 MHz to 144 MHz 144 MHz to 174 MHz 174 MHz to 328.6 MHz	Very High Frequency (VHF)
328.6 MHz to 450 MHz 450 MHz to 470 MHz 470 MHz to 806 MHz 806 MHz to 960 MHz 960 MHz to 2.3 GHz 2.3 GHz to 2.9 GHz	Ultra High Frequency (UHF)
2.9 GHz to 30 GHz	Super High Frequency (SHF)
30 GHz and above	Extremely High Frequency (EHF)

۲. Signals, messages and channels



دسته بندی سیگنالها:

۱. پیوسته و گسسته ۲. تعینی (یقینی) و تصادفی ۳. متناوب و غیرمتناوب ۴. علی و غیر علی

۵. توان و انرژی ۶. زوج و فرد

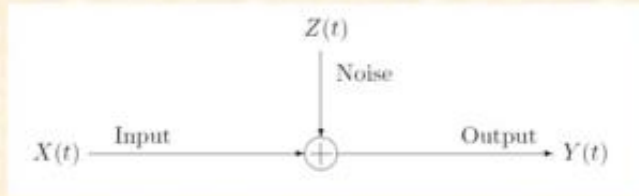
دسته بندی سیستمها:

۱. خطی-غیرخطی و تغییر ناپذیر با زمان (LTI) ۲. خطی-غیرخطی و تغییر پذیر با زمان (LTV)

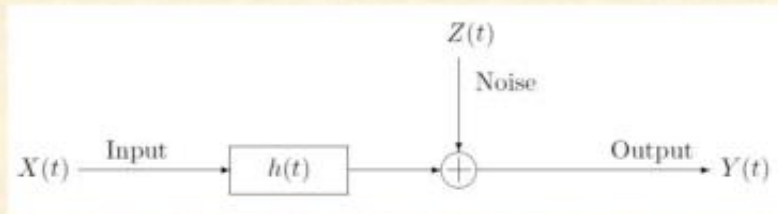
۳. پیوسته و گسسته (Continuous, Discrete) ۴. علی و غیر علی (Causal, Non-causal)

Channel Model

- AWGN channel



- Linear channel



Duplex Transmission

- Simplex
 - one-way transmission only, e.g. broadcast systems
- Half-duplex
 - two-way transmission, but the common channel is alternately used for transmission in opposite direction, e.g. interphone systems installed on taxis
- Full-duplex
 - simultaneous two-way transmission, e.g. public telephone systems



The channel (regardless of the type) degrades the transmitted signal in a number of ways :-

1-Attenuation: it is defined as a reduction of signal strength. (increase with channel length).

2-Distortion: is waveform perturbation caused by imperfect response of the system to the desired signal itself. Distortion may be corrected, or at least reduced with the help of special filters called equalizers.

3-Interference: is contamination by extraneous signals from human source, other transmitters, machinery, switching circuits,,

Filtering removes interference.

4-Noise: it is a random and undesirable signal from external and internal causes. It is defined as the ratio of the signal power to the noise power:

مروری بر سیگنال ها:

سیگنال حقیقی، موهومی و مختلط

سیگنال متناوب: $x(t) = x(t + T)$ با دوره تناوب T .

سیگنال زوج و فرد:
 $x(-t) = x(t)$
 $x(-t) = -x(t)$

سیگنال مختلط: شامل دو مولفه حقیقی و موهومی به شرح زیر است:

$$x_r(t) = A \cos(\omega t + \theta), \quad x_i(t) = A \sin(\omega t + \theta)$$

$$|x(t)| = \sqrt{x_r^2 + x_i^2} = |A|, \quad \angle x(t) = \omega t + \theta$$

تحلیل حوزه زمان:

complex-valued signal $g(t)$

$$|g(t)|^2 = g(t)g^*(t). \quad E_g = \int_{-\infty}^{\infty} |g(t)|^2 dt.$$

If $g(t)$ is real-valued then $g(t) = g^*(t)$. Thus,

$$|g(t)|^2 = g(t)g^*(t) = g^2(t).$$

$$P_g = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} |g(t)|^2 dt.$$

Periodic Signals: The waveform $g(t)$ is periodic with period T_0 if $g(t) = g(t + kT_0)$, for all t and $k \in \mathbb{Z}$ (the set of all integers: $0, \pm 1, \pm 2, \dots$).

Energy Signals: The waveform $g(t)$ is an energy signal if $0 \leq E_g < \infty$.

Power Signals: The waveform $g(t)$ is a power signal if $0 \leq P_g < \infty$. Please note that a signal cannot simultaneously be both an energy and a power signal.

Time Scaling: $g(t) \rightarrow g(\alpha t)$ with $\alpha \in \mathbb{R}$. If $\alpha > 1$, then $g(\alpha t)$ represents a time-compressed (by a factor of α) version of $g(t)$, whereas if $\alpha < 1$, then $g(\alpha t)$ represents a time-stretched (by a factor of α) version of $g(t)$:

Time Reversal: $g(t) \rightarrow g(-t)$ represents a mirror image of $g(t)$ with respect to the vertical axis $t = 0$. Similarly, $g(t_0 - t)$ with $t_0 \in \mathbb{R}$ first takes the mirror image of $g(t)$ with respect to the vertical axis and then shifts the resulting waveform by t_0 units.

مهمترین سیگنال های مورد استفاده:

The unit impulse signal $\delta(t)$ is defined as:

$$\delta(t) = 0, \text{ if } t \neq 0; \quad \text{and} \quad \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1$$

For an arbitrary function $x(t)$ and constant $K \in \mathbb{R}$ we have:

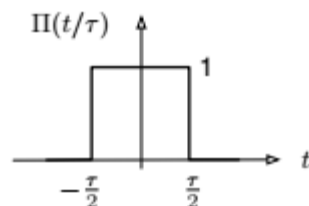
$$\begin{aligned} \int \delta(t)x(t)dt &= x(0); \\ \int \delta(t - t_0)x(t)dt &= x(t_0), \quad (\text{the sifting property}); \\ \int K\delta(t)dt &= K. \end{aligned}$$

Convolution with the δ -function:

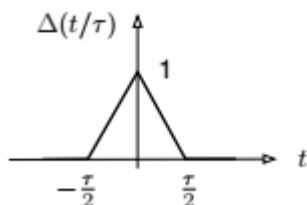
$$\begin{aligned} \delta(t - t_0) * x(t) &= \int \delta(\lambda - t_0)x(t - \lambda)d\lambda \\ &= x(t - \lambda)|_{\lambda=t_0}, \\ &= x(t - t_0). \end{aligned}$$

unit rectangular pulse function

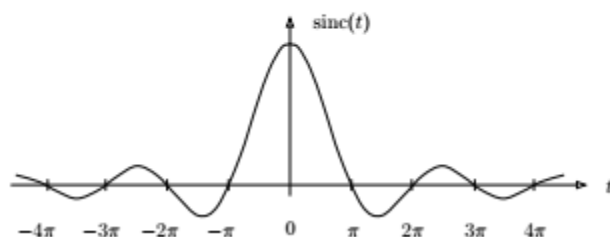
$$\Pi(t) = \begin{cases} 1, & |t| < \frac{1}{2}; \\ \frac{1}{2}, & |t| = \frac{1}{2}; \\ 0, & |t| > \frac{1}{2}. \end{cases}$$



$$\Delta(t) = \begin{cases} 1 - 2|t|, & |t| \leq \frac{1}{2}; \\ 0, & |t| > \frac{1}{2}. \end{cases}$$



$$\text{sinc}(t) = \frac{\sin(t)}{t}.$$



سیستم خطی تغییر ناپذیر با زمان

این سیستم با پاسخ ضربه $\delta(t)$ معرفی و رابطه میان ورودی و خروجی آن انتگرال کانولوشن هست.

$$y(t) = x(t) * h(t)$$

$$y(t) = x(t) * h(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\lambda)h(t - \lambda)d\lambda$$

تحلیل حوزه فرکانس

Given a periodic waveform $x_p(t)$ with period T_0

$$x_p(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} D_n e^{jn\omega_0 t} \quad x_p(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t),$$

$$D_n = \frac{1}{T_0} \int_{T_0} x_p(t) e^{-jn\omega_0 t} dt.$$

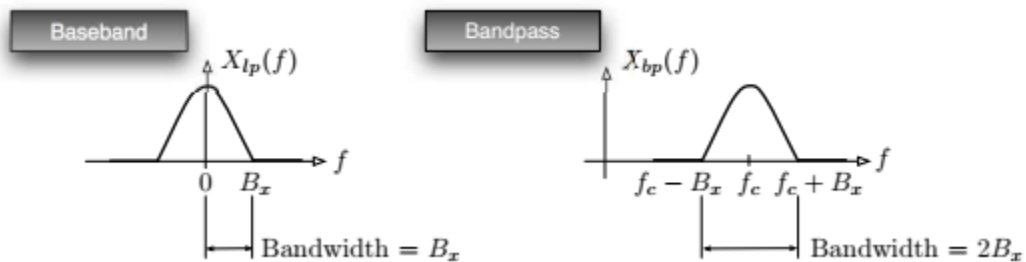
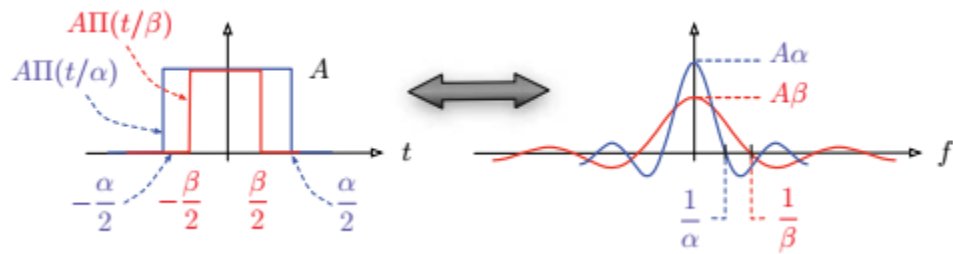
$$a_0 = \frac{1}{T_0} \int_{T_0} x_p(t) dt,$$

$$a_n = \frac{2}{T_0} \int_{T_0} x_p(t) \cos n\omega_0 t dt, \quad n = 1, 2, \dots$$

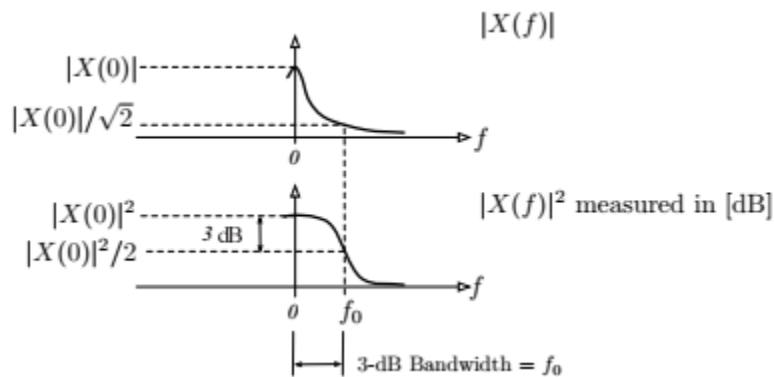
$$b_n = \frac{2}{T_0} \int_{T_0} x_p(t) \sin n\omega_0 t dt, \quad n = 1, 2, \dots$$

Fourier Transform

$$\begin{aligned} X(f) &= \mathcal{F}[x(t)], \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt, \end{aligned} \quad \begin{aligned} x(t) &= \mathcal{F}^{-1}[X(f)], \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} X(f) e^{j2\pi ft} df. \end{aligned}$$



the measurement of the 3-dB bandwidth for baseband signals.



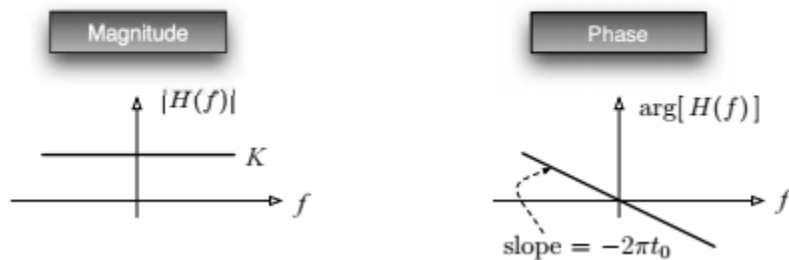
A **distortionless system** with input $x(t)$ and $y(t)$ satisfies the input-output relation:

$$y(t) = K x(t - t_0), \quad (3.56)$$

$$Y(f) = H(f)X(f),$$

$$\begin{aligned} Y(f) &= \mathcal{F}[y(t)], \\ &= \mathcal{F}[Kx(t - t_0)], \\ &= K \mathcal{F}[x(t - t_0)], \\ &= KX(f)e^{-j2\pi ft_0}, \end{aligned}$$

$$H(f) = \frac{Y(f)}{X(f)} = K e^{-j2\pi ft_0}.$$



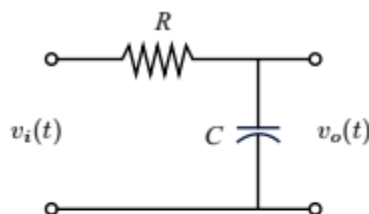


Figure 3.26: The RC-lowpass system.

$$H_{rc}(f) = \frac{1}{1 + j2\pi fRC}$$

$$|H_{rc}(f)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi fRC)^2}}, \quad \text{and} \quad \arg[H_{rc}(f)] = -\tan^{-1}(2\pi fRC).$$

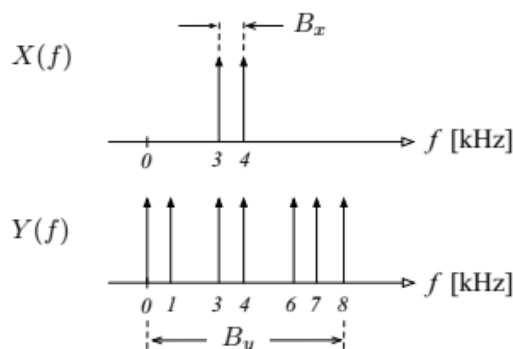
$$|H_{rc}(f_0)|^2 = \frac{|H_{rc}(0)|^2}{2} \implies \frac{1}{2} = \frac{1}{1 + (2\pi f_0 RC)^2} \implies f_0 = \frac{1}{2\pi RC}.$$

Example 3.6: Let $x(t) = A \cos \omega_1 t + B \cos \omega_2 t$ with

$$y(t) = g[x(t)] = x(t) + 2x^2(t).$$

$$\begin{aligned} y(t) &= [A \cos \omega_1 t + B \cos \omega_2 t] + 2[A \cos \omega_1 t + B \cos \omega_2 t]^2, \\ &= A \cos \omega_1 t + B \cos \omega_2 t + 2A^2 \cos^2 \omega_1 t + 2B^2 \cos^2 \omega_2 t + 4AB \cos \omega_1 t \cos \omega_2 t, \\ &= A \cos \omega_1 t + B \cos \omega_2 t + A^2 + A^2 \cos 2\omega_1 t + B^2 + B^2 \cos 2\omega_2 t \\ &\quad + 2AB \cos(\omega_1 + \omega_2)t + 2AB \cos(\omega_1 - \omega_2)t. \end{aligned}$$

If $f_1 = 4$ kHz and $f_2 = 3$ kHz, the input and output spectra will be as shown: Observe that



Parseval's Theorem

$$\int_{-\infty}^{\infty} |f(t)|^2 dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |F(\omega)|^2 d\omega$$

$$P = |v(t)|^2 = \frac{1}{T_o} \int_{T_o} |v(t)|^2 dt$$

$$\therefore P = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |C_n|^2$$

Example:

If $C_n = [1 \quad 3-j4 \quad 2+j \quad 2 \quad 2-j \quad 3+j4 \quad 1]$, find P , an energy, the instantaneous power.

Solution: $P = 1^2 + (3^2 + 4^2) + (2^2 + 1^2) + 2^2 + (2^2 + 1^2) + (3^2 + 4^2) + 1^2 = 66 \text{ wat}$

Energy = $P \cdot T$ T : period

$$P = v^2(t) / R$$

مروری بر احتمالات

اگر X یک متغیر تصادفی پیوسته باشد، آنگاه تابع تجمعی (cdf) آن چنین تعریف می شود:

$$P(X \leq x) = F_X(x), \quad 0 \leq F_X(x) \leq 1$$

$$P(a < X \leq b) = F_X(b) - F_X(a)$$

و مشتق تابع تجمعی را تابع چگالی احتمال (pdf) می نامند به صورت زیر:

$$f_X(x) = \frac{dF_X(x)}{dx}$$

که دارای خواص زیر است:

$$f_X(x) \geq 0$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f_X(x) dx = 1$$

$$\int_a^b f_X(x) dx = P(a < X \leq b)$$

$$F_X(x) = \int_{-\infty}^x f_X(\lambda) d\lambda$$

برخی متغیرهای تصادفی پیوسته:

متغیر تصادفی یکنواخت - فرض کنید داشته باشیم

$$f_X(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & a < x < b \\ 0 & \text{o.w} \end{cases}$$

متغیر تصادفی گوسی - اگر داشته باشیم:

$$f_X(x) = \frac{1}{\sqrt{\gamma}\pi a} e^{-\frac{(x-m)^2}{\gamma a^2}} \quad -\infty < x < +\infty$$

که m را میانگین و a^2 واریانس و a را انحراف معیار می نامند و به صورت $N(m, a^2)$ نشان می دهند. اگر میانگین صفر و واریانس یک باشد آن را نرمال استاندارد گویند.

برای یک متغیر نرمال استاندارد، تابع Q چنین تعریف می شود:

$$Q(k) = P(X > k) = \int_k^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\gamma}\pi} e^{-\frac{\lambda^2}{\gamma}} d\lambda$$

از این تابع در تحلیل عملکرد نویز سیستم های مخابراتی استفاده می شود.

توجه کنی که در حالت کلی، یعنی m را میانگین و a^2 واریانس، داریم:

$$P(X > k) = Q\left(\frac{k-m}{a}\right)$$

متوسط های آماری (آمارگان)

برای تعیین خصوصیات از متغیر تصادفی به آمارگان آن که به صورت زیر تعریف می شوند، مراجعه می کنیم.

میانگین یا امید ریاضی:

$$EX = \bar{X} = \int x f_X(x) dx$$

$$m_X^n = \int x^n f_X(x) dx$$

که به طور کلی میانگین مرتبه n ام یا گشتاور مرتبه n از روی تعمیم این تعریف به دست می آید. امید ریاضی هر تابعی از x مانند $y=g(x)$ هم به همین ترتیب تعریف می شود.

واریانس

بنا به تعریف، واریانس یک متغیر تصادفی چنین است:

$$Var(X) = E(X^2) - (EX)^2$$

که اگر میانگین متغیر صفر باشد، آنگاه واریانس، میانگین مجذور متغیر خواهد شد.