سرفصل مطالب

فصل اول : مقدمه و معرفی سیستم های مخابراتی

فصل دوم : سیگنال و طیف

فصل سوم : انتقال سیگنال در کانال (پیام، نویز، اعوجاج، گین، فیلتر)

فصل چهارم : بررسی انواع مدولاسیون های خطی (AM، DSB، SSB، VSB)

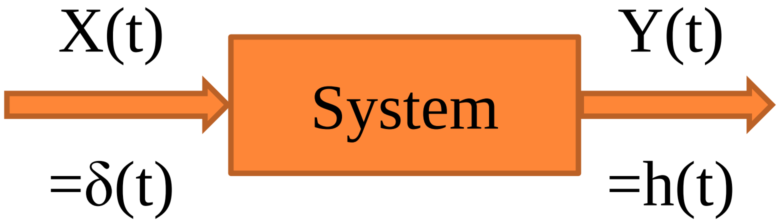
فصل پنجم : بررسی انواع مدولاسیون های فاز و فرکانس (PM، FM)

فصل ششم : معرفی سیستم های مخابرات آنالوگ و مقدمه ای بر مخابرات دیجیتال (گیرنده سوپرهترودین، TDM، FDM)

فصل سوم – مقدمه – سیستم

- <u>سیستم</u> : System
- یک مدل فیزیکی از یک فرآیند که سیگنال ورودی را به خروجی ارتباط میدهد، را سیستم گویند.

- پاسخ ضربه: پاسخ سیستم (سیستم LTI) به ورودی ضربه را پاسخ ضربه گوییم.



فصل سوم – مقدمه – سیستم

- با داشتن پاسخ ضربه، پاسخ به همه ورودی ها را هم خواهیم داشت.

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

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

$$H(f) = \frac{Y(f)}{X(f)}$$

فصل سوم – اعوجاج سیگنال در انتقال

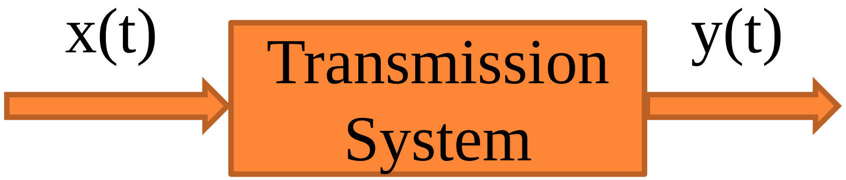
- کانال انتقال بین منبع اطلاعات و مقصد، سیستم انتقال سیگنال نام دارد.
  - یک زوج سیم ساده
  - فیبرنوری
  - کابل کوواکسیال
  - موجبر
  - فضای آزاد
  - ...
- تمام سیستم های انتقال دو اثر فیزیکی مهم از لحاظ مخابراتی دارند:

۱. تلفان توان ← کاهش اندازه سیگنال خروجی
۲. ذخیره انرژی ← تغییر شکل موج خروجی

فصل سوم – انتقال بدون اعوجاج

- در انتقال بدون اعوجاج سیگنال ورودی با سیگنال خروجی هم شکل اند.

$$y(t) = Kx(t - t_0)$$



- با تبدیل فوریه داریم :

$$Y(f) = Ke^{-j2\pi f t_0} X(f)$$

$$H(f) = \frac{Y(f)}{X(f)} = Ke^{-j2\pi f t_0}$$

فصل سوم – انتقال بدون اعوجاج

- سیستمی بدون اعوجاج است که تابع تبدیل آن پاسخ دامنه ثابت و تغییر فاز خطی منفی داشته باشد.

$$H(f) = \frac{Y(f)}{X(f)} = Ke^{-j2\pi f t_0}$$

$$|H(f)| = |K|$$

$$\measuredangle H(f) = \begin{cases} -2\pi f t_0 & k > 0 \\ \pi - 2\pi f t_0 & K < 0 \end{cases}$$

فصل سوم – انتقال بدون اعوجاج

EXAMPLE فرض کنید ورودی کانال $x(t) = \cos 2\pi f_0 t$ باشد. در صورتی که کانال بدون اعوجاج است خروجی را بدست آورید.

SOLUTION $y(t) = K\cos(2\pi f_0(t - t_0))$

فصل سوم – انواع اعوجاج

- در عمل انتقال بدون اعوجاج میسر نیست و همواره سیستم انتقال مقداری اعوجاج ایجاد میکند.
- انواع اعوجاج :

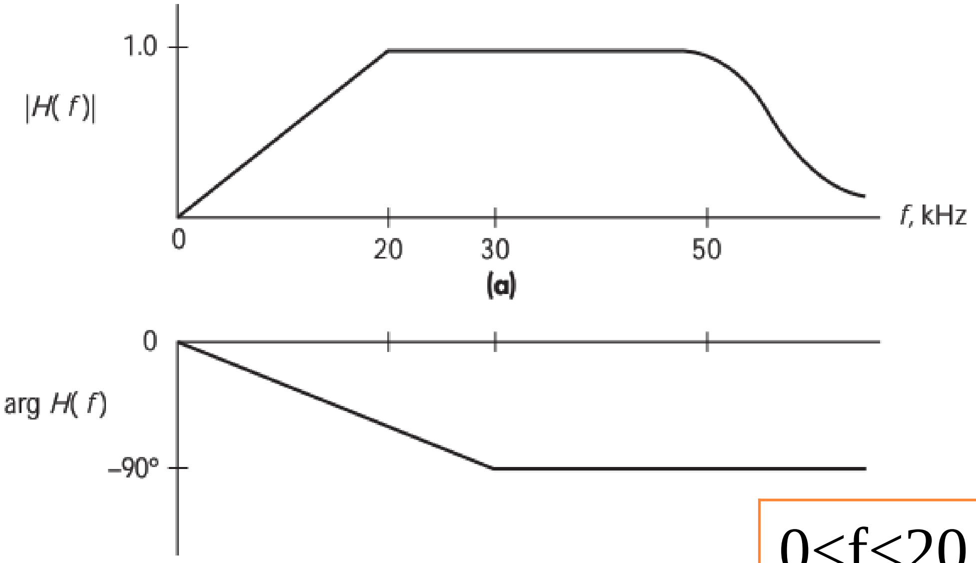
۱. اعوجاج دامنه ← $|H(f)| \neq cte$

۲. اعوجاج فاز (تاخیر) ← فاز $H(f)$ خطی نباشد.

۳. اعوجاج عیر خطی ← در اثر وجود اجزای غیر خطی در سیستم رخ میدهد.

فصل سوم – انواع اعوجاج

EXAMPLE سیستمی با تابع تبدیل H(f) به صورت دامنه و فاز شکل زیر را در نظر بگیرید. وضعیت اعوجاج در بازه های فرکانسی مختلف را بررسی نمایید.



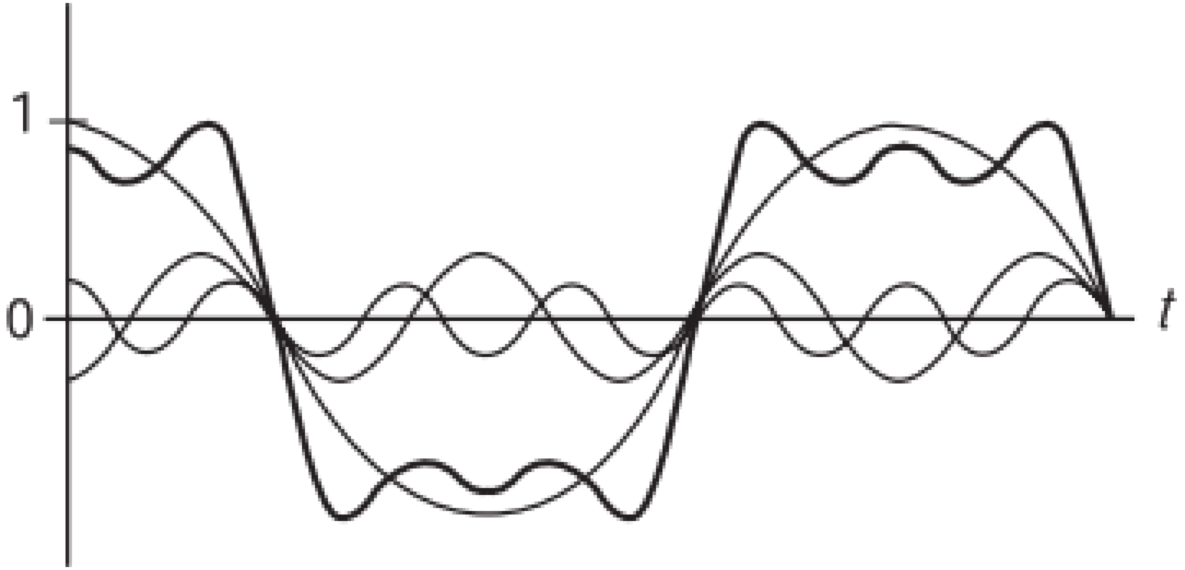
(b)

0<f<20 KHz	اعوجاج دامنه
20<f<30 KHz	بدون اعوجاج
30<f<50 KHz	اعوجاج فاز
f>50 KHz	اعوجاج دامنه + فاز

فصل سوم – اعوجاج دامنه

- در صورتی که اندازه $H(f)$ در پهنای باند مورد نظر ثابت نباشد، اعوجاج دامنه داریم.

تضعیف یا تقویت اضافی برخی از فرکانس ها را به همراه خواهد داشت.



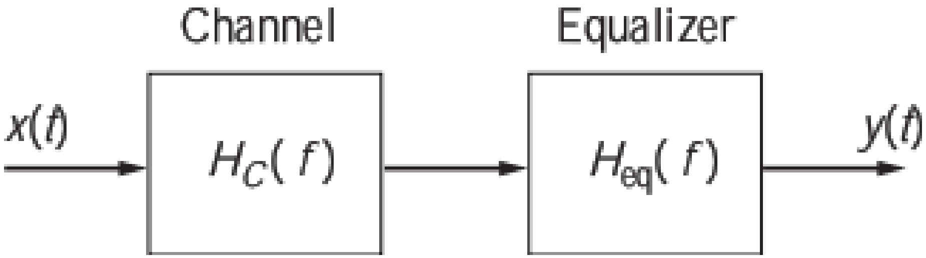
Test signal $x(t) = \cos \omega_0 t - 1/3 \cos 3\omega_0 t + 1/5 \cos 5\omega_0 t.$

فصل سوم – اعوجاج فاز

- هرگاه فاز H(f) فرم خطی مورد نظر در باند فرکانسی x(f) را نداشته باشد، تاخیرات نامناسب در فرکانس های مختلف پیدا میکند، که به آن اعوجاج فاز گویند.

فصل سوم – متعادل کننده (اکولایزر)

- اعوجاج دامنه و فاز را به لحاظ نظری میتوان با استفاده از اکولایزر رفع نمود.



$$y(t) = Kx(t - t_0)$$

$$H_c(f).H_{eq}(f) = Ke^{-j2\pi f t_0}$$

$$H_{eq}(f) = \frac{Ke^{-j2\pi f t_0}}{H_c(f)}$$

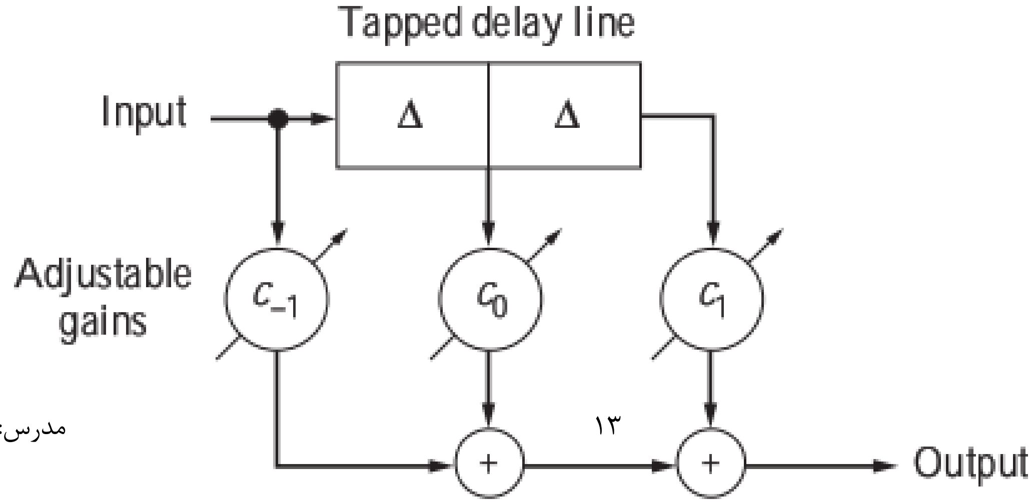
- با ساخت سیستمی که تابع تبدیل آن $H_{eq}(f)$ باشد، و سری کردن آن با کانال (با تابع تبدیل $H_c(f)$) میتوان اعوجاج خطی را حذف کرد.

*** برای ساخت اکولایزر باید $H_c(f)$ را بدانیم !!!!!!!!!

فصل سوم – متعادل کننده (اکولایزر)

- در عمل به دلایل زیر اعوجاج را به وسیله اکولایزر نمیتوان به طور کامل حذف کرد.
  1. تخمینی بودن مدل کانال
  2. تقریب در تحقق اکولایزر
- روش تاخیر با بهره قابل تنظیم برای ساخت اکولایزر

tapped delay line equalizer



فصل سوم – متعادل کننده (اکولایزر)

$$y(t) = C_{-1}x(t) + C_0 x(t-t_0) + C_1 x(t-2t_0)$$
$$Y(f) = C_{-1}X(f) + C_0 e^{-j2\pi f t_0}X(f) + C_1 e^{-j2\pi f 2t_0}X(f)$$

$$H_{eq}(f) = C_{-1} + C_0 e^{-j2\pi f t_0} + C_1 e^{-j2\pi f 2t_0}$$
$$H_{eq}(f) = e^{-j2\pi f t_0}(C_{-1}e^{+j2\pi f t_0} + C_0 + C_1 e^{-j2\pi f t_0})$$

فرض کنید تعداد بلوک تاخیر 2n باشد (تعداد بهره های قابل تنظیم 2n+1 باشد) در این حالت 2n+1 ضریب متغیر خواهیم داشت.

$$H_{eq}(f) = e^{-j2\pi f t_0}\left(\sum_{m=-n}^{n} C_m e^{-j2\pi f m t_0} \right)$$

در حالت کلی میتوان با تغییر در C_m ها رابطه فوق را تخمین خوبی از $H_{eq}(f)$ دانست.

فصل سوم – متعادل کننده (اکولایزر)

EXAMPLE برای سیستم انتقال با رابطه ورودی و خروجی زیر متعادل کننده مورد نیاز را طراحی نمایید.

$$y(t) = K_1 x(t - t_1) + K_2 x(t - t_2) \qquad t_2 > t_1$$

SOLUTION $H_c(f) = K_1 e^{-j\omega t_1} + K_2 e^{-j\omega t_2}$

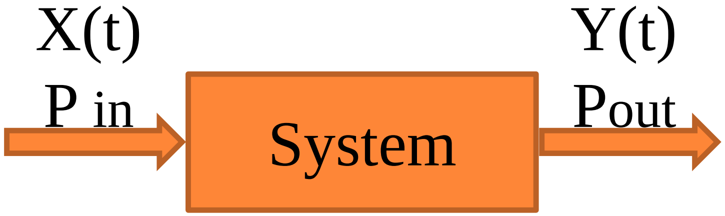
$$H_c(f) = K_1 e^{-j\omega t_1}(1 + K e^{-j\omega t_0})$$

$$K = {}^{K_2}/_{K_1} \qquad t_0 = t_2 - t_1$$

$$H_{eq}(f) = \frac{1}{1 + K e^{-j\omega t_0}}$$

فصل سوم – تضعیف (تلفات انتقال)

- سیستم انتقال علاوه بر ایجاد اعوجاج، توان یا شدت سیگنال را نیز کم میکند.
- بهره توان :



اگر سیستمی، توان متوسط سیگنال ورودی آن Pin و توان متوسط سیگنال خروجی نیز Pout باشد، بهره توان سیستم به صورت زیر تعریف میشود.

$$g \triangleq P_{out}/P_{in}$$

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 \, dt \qquad P = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^{T} |x(t)|^2 \, dt$$

فصل سوم – تضعیف (تلفات انتقال)

- بیان بهره توان بر حسب دسیبل (dB)

$$g_{dB} \triangleq 10 \log_{10} g$$

$$0 < g \leq 1 \quad \rightarrow \quad g_{dB} \leq 0\ dB$$

$$g = 1 \ \rightarrow g_{dB} = 0\ dB$$

$$g = 10^{(g_{dB}/10)}$$

$$P_{dBW} = 10 \log_{10} \frac{P}{1\ W} \qquad P_{dBm} = 10 \log_{10} \frac{P}{1\ mW}$$

$$P_{out_{dBm}} = g_{dB} + P_{in_{dBm}}$$

فصل سوم – تضعیف (تلفات انتقال)

- تلفات : تمام محیط های انتقال، تلفات توان دارند (نه بهره) زیرا

$$P_{out} < P_{in}$$

$$L \triangleq 1/g = P_{in}/P_{out}$$

$$L_{dB} = -g_{dB} = 10 \log_{10} P_{in}/P_{out}$$

$$P_{out_{dBm}} = P_{in_{dBm}} - L_{dB}$$

- اگر l طول مسیر بین مبداء و مقصد (Km) و α ضریب تضعیف برحسب dB بر واحد طول (${}^{dB}/_{Km}$) باشد، داریم.

$$L_{dB} = \alpha\ell$$

فصل سوم – تضعیف (تلفات انتقال)

Table 3.3–1 Typical values of transmission loss

Transmission Medium	Frequency	Loss dB/km
Open-wire pair (0.3 cm diameter)	1 kHz	0.05
Twisted-wire pair (16 gauge)	10 kHz	2
	100 kHz	3
	300 kHz	6
Coaxial cable (1 cm diameter)	100 kHz	1
	1 MHz	2
	3 MHz	4
Coaxial cable (15 cm diameter)	100 MHz	1.5
Rectangular waveguide (5 × 2.5 cm)	10 GHz	5
Helical waveguide (5 cm diameter)	100 GHz	1.5
Fiber-optic cable	3.6×10^{14} Hz	2.5
	2.4×10^{14} Hz	0.5
	1.8×10^{14} Hz	0.2

فصل سوم – تضعیف (تلفات انتقال)

EXAMPLE تلفات انتقال کابلی به طول $l = 30\ Km$ و $\alpha = 3\ {}^{dB}/_{Km}$ را تعیین کنید.

SOLUTION $L_{dB} = \alpha l = 3 * 30 = 90\ dB$

EXAMPLE در این حالت نسبت توان ورودی به خروجی را بدست آورید.

SOLUTION $L_{dB} = 10\ \log_{10} L\ \rightarrow L = 10^{L_{dB}/10} = 10^9$

SOLUTION $L = \frac{Pin}{Pout}\ \rightarrow\ P_{out} = 10^{-9} P_{in}$

EXAMPLE اگر طول مسیر ۲ برابر شود تلفات را محاسبه کنید.

SOLUTION $L_{dB} = \alpha l = 3 * 60 = 180\ dB$

SOLUTION $L = 10^{L_{dB}/10} = 10^{18}$

SOLUTION $L = \frac{Pin}{Pout}\ \rightarrow\ P_{out} = 10^{-18} P_{in}$

فصل سوم – تضعیف (تلفات انتقال)

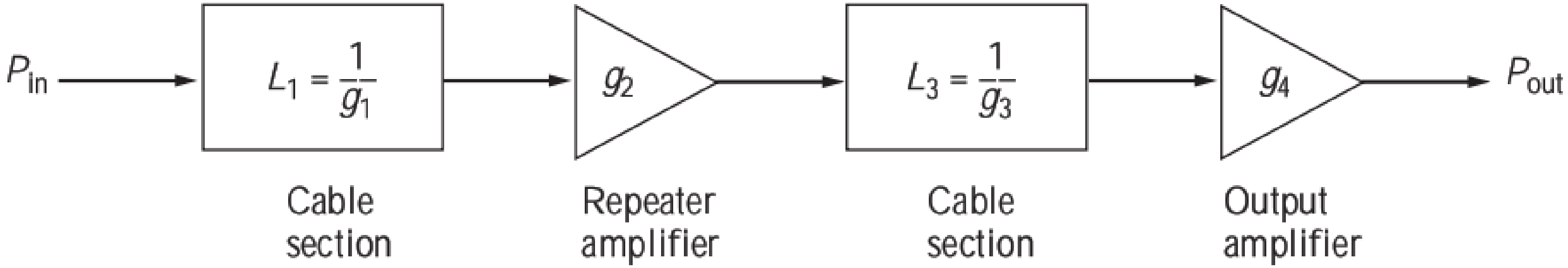
EXAMPLE برای اینکه در خروجی توانی برابر 1 pw داشته باشیم توان ورودی باید چقدر باشد؟

SOLUTION $P_{out} = 1\,pw = 10^{-12}\,w$

SOLUTION $P_{in} = P_{out} * 10^{18} = 10^{-12} * 10^{18} = 10^{6} = 1\,MW$

فصل سوم – تضعیف (تلفات انتقال)

- تلفات مسیر، نیاز به تقویت سیگنال را باعث میشود. از این رو در وسط مسیر و در خروجی نیاز به تکرار کننده و تقویت کننده داریم.



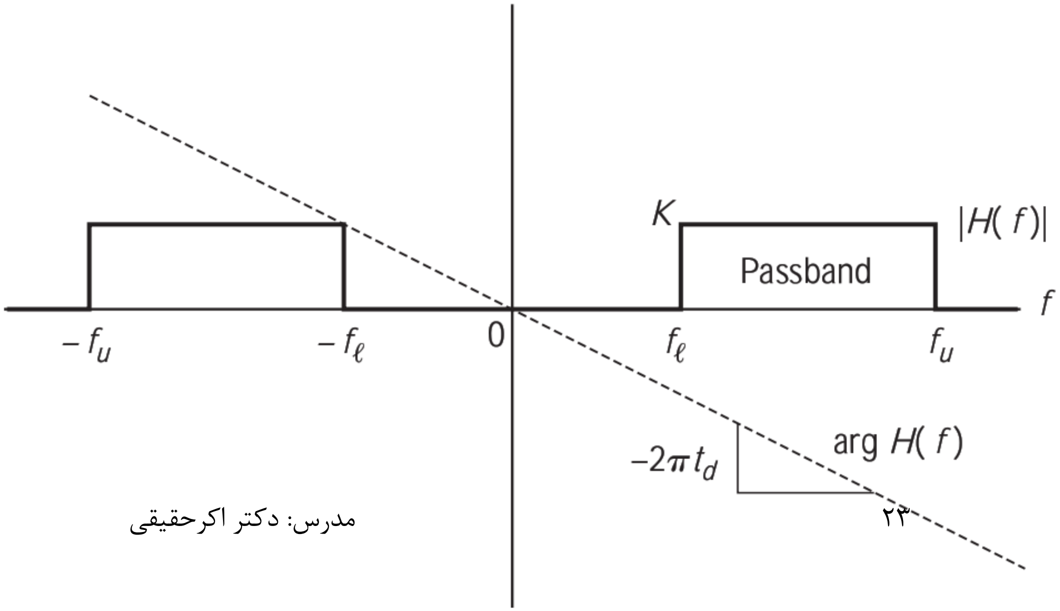
$$P_{out} = (g_1 g_2 g_3 g_4) P_{in} = \frac{g_2 g_4}{L_1 L_3} P_{in}$$

$$P_{out} = (g_2 + g_4) - (L_1 + L_3) + P_{in}$$

فصل سوم – فیلتر

- تمام سیستم های مخابراتی یک یا چند فیلتر برای جداکردن اطلاعات از آلودگی هایی چون تداخل، نویز و ... دارند.

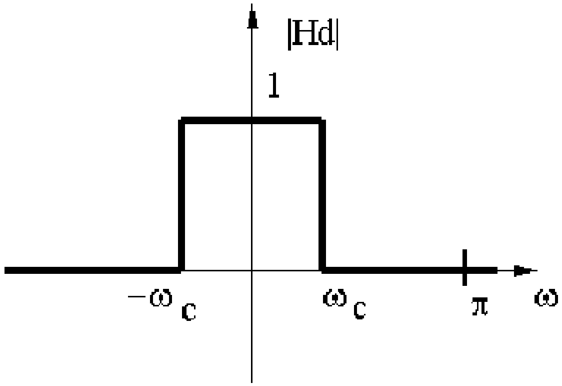
$$H(f) = \begin{cases} Ke^{-j\omega t_d} & f_\ell \le |f| \le f_u \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$



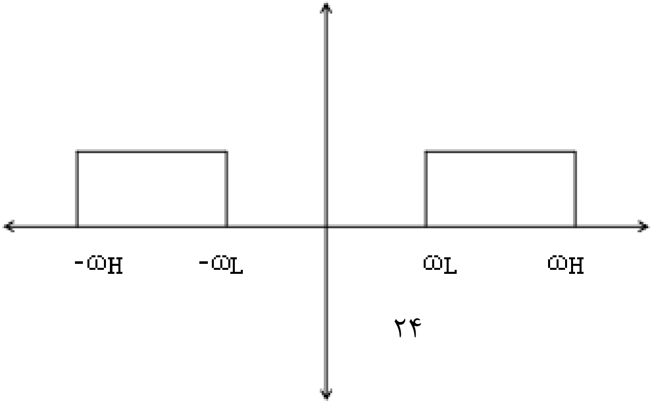
$$B = f_u - f_\ell$$

فصل سوم – فیلتر

- فیلتر پایین گذر ایده ال (Ideal Low Pass Filter)

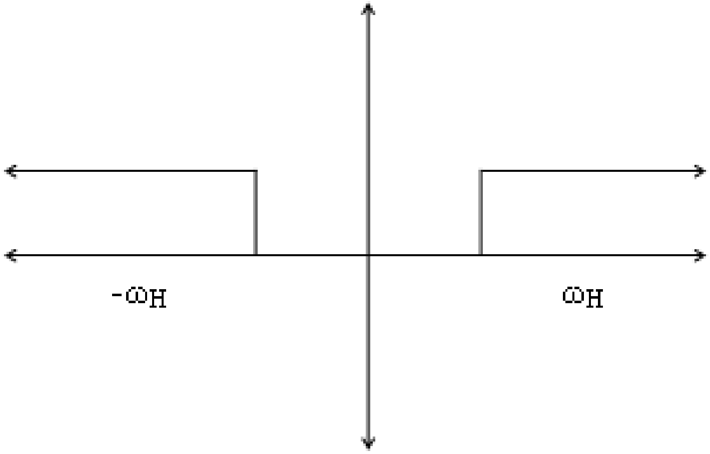


- فیلتر میان گذر ایده ال (Ideal Band Pass Filter)

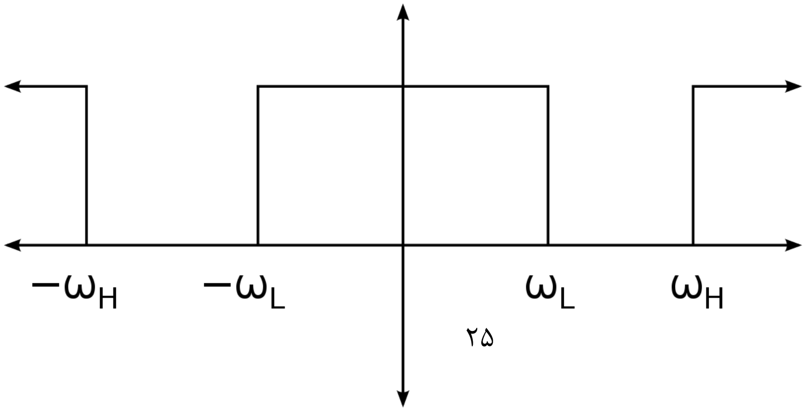
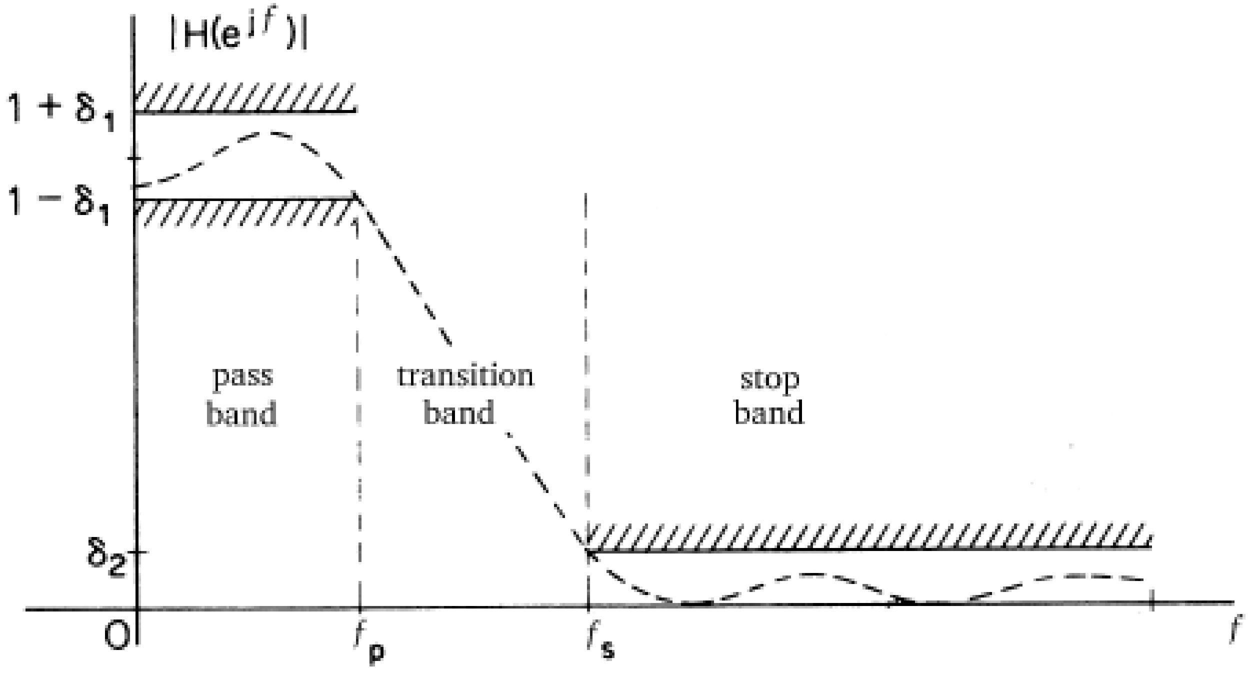


فصل سوم – فیلتر

- فیلتر بالا گذر ایده ال (Ideal High Pass Filter)



- فیلتر میان نگذر ایده ال (Ideal Band Reject Filter)



- فیلتر واقعی