

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



سیگنال‌ها و سیستم‌ها

درس ۳

مقدمه‌ای بر سیگنال‌ها و سیستم‌ها (۲)

An Introduction to Signals and Systems (2)

کاظم فولادی قلعه

دانشکده مهندسی، دانشکدگان فارابی

دانشگاه تهران

<http://courses.fouladi.ir/sigsys>

طرح درس

COURSE OUTLINE

عملیات روی سیگنال‌ها

Operation on Signals

سیگنال‌های پایه

Basic Signals

مقدمه‌ای بر سیگنال‌ها و سیستم‌ها (۲)

۱

عملیات روی سیگنال‌ها

انرژی یک سیگنال

انرژی یک سیگنال پیوسته-زمان:

$$E = \int_{t_1}^{t_2} |x(t)|^2 dt$$

$$t_1 \leq t \leq t_2$$

انرژی یک سیگنال گسسته-زمان:

$$E = \sum_{n=n_1}^{n_2} |x[n]|^2$$

$$n_1 \leq n \leq n_2$$

توان یک سیگنال

توان یک سیگنال پیوسته-زمان:

$$P = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} |x(t)|^2 dt$$

$$t_1 \leq t \leq t_2$$

توان یک سیگنال گسسته-زمان:

$$P = \frac{1}{n_2 - n_1 + 1} \sum_{n=n_1}^{n_2} |x[n]|^2$$

$$n_1 \leq n \leq n_2$$

انرژی کل یک سیگنال

انرژی کل یک سیگنال پیوسته-زمان:

$$E_{\infty} = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T}^T |x(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt$$

انرژی کل یک سیگنال گسسته-زمان:

$$E_{\infty} = \lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{-N}^N |x[n]|^2 = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |x[n]|^2$$

توان کل یک سیگنال

توان کل یک سیگنال پیوسته-زمان:

$$P_{\infty} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T |x(t)|^2 dt$$

توان کل یک سیگنال گسسته-زمان:

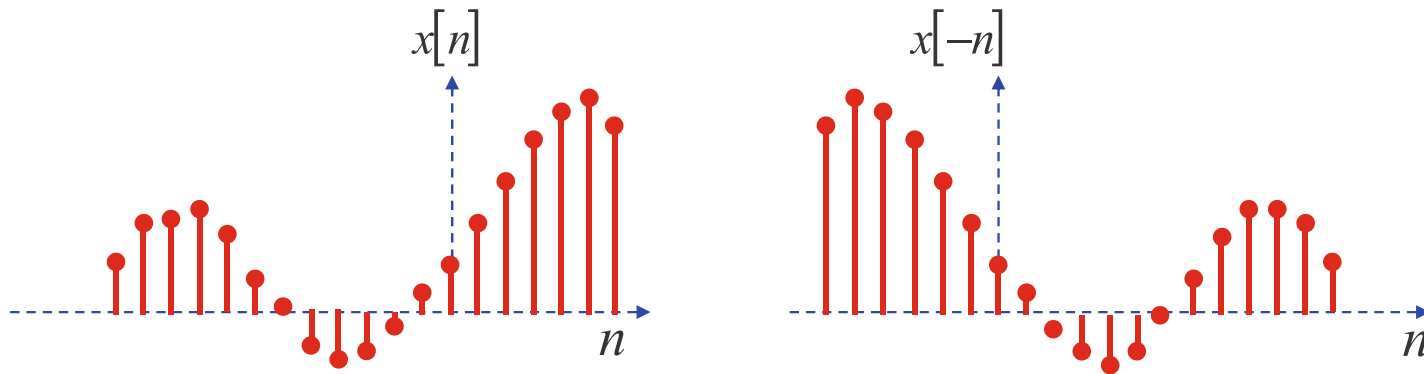
$$P_{\infty} = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N + 1} \sum_{-N}^N |x[n]|^2$$

تبدیل متغیر مستقل

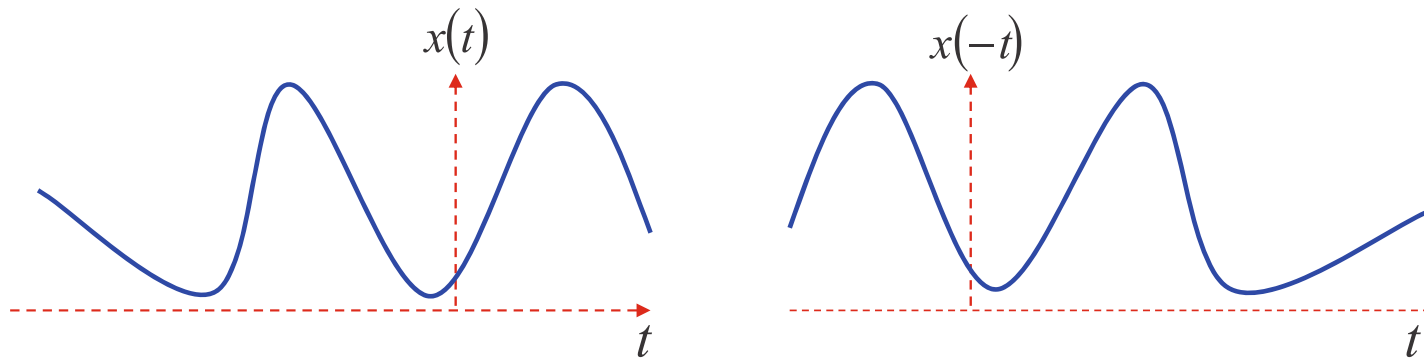
قرینه‌ی زمانی

TIME-REVERSAL

$$x[n] \rightarrow x[-n]$$



$$x(t) \rightarrow x(-t)$$

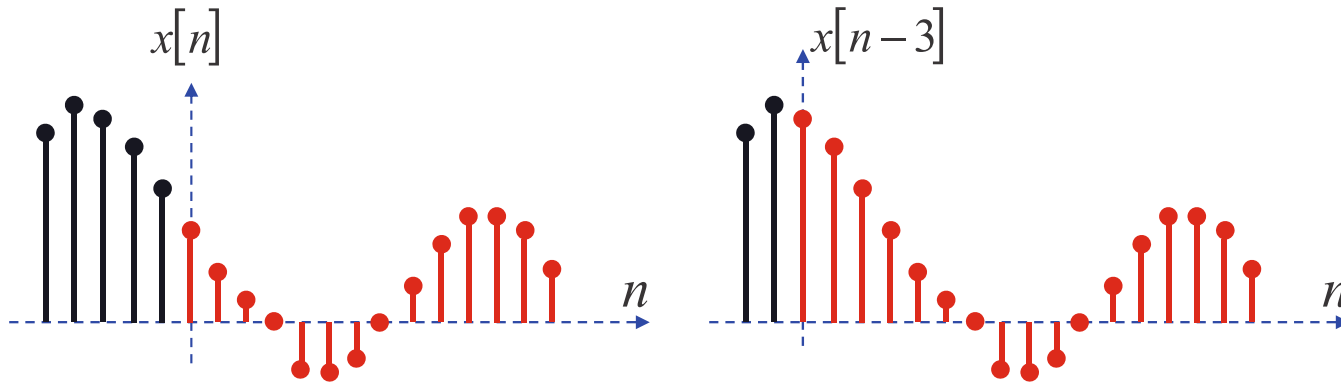


تبدیل متغیر مستقل

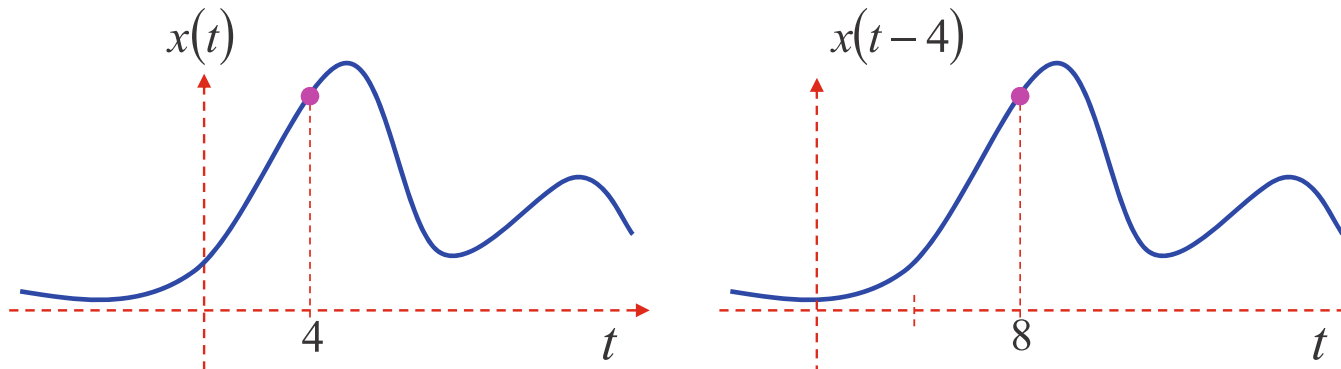
شیفت زمانی

TIME-SHIFT

$$x[n] \rightarrow x[n - \alpha]$$

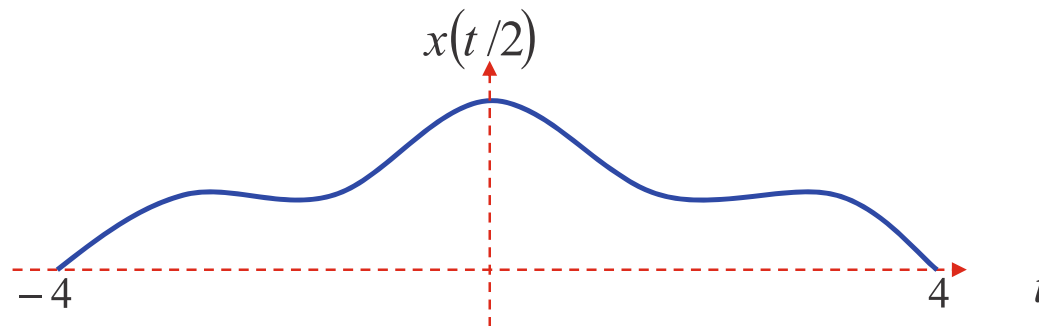
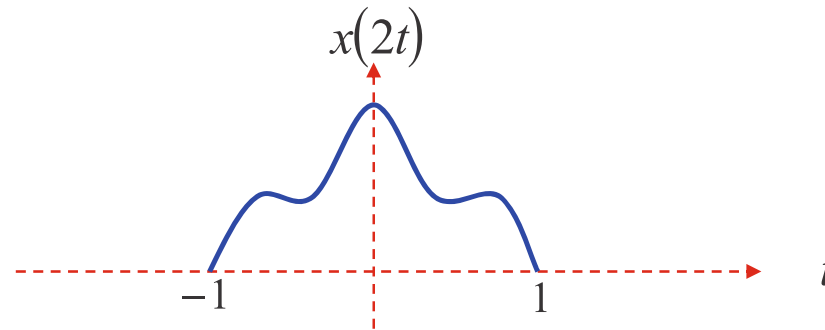
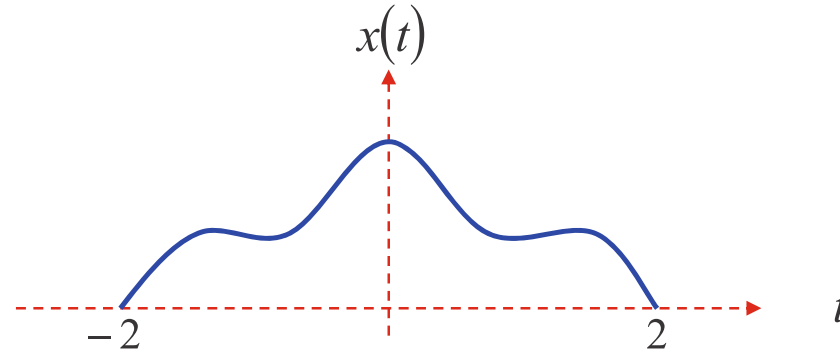


$$x(t) \rightarrow x(t - \alpha)$$



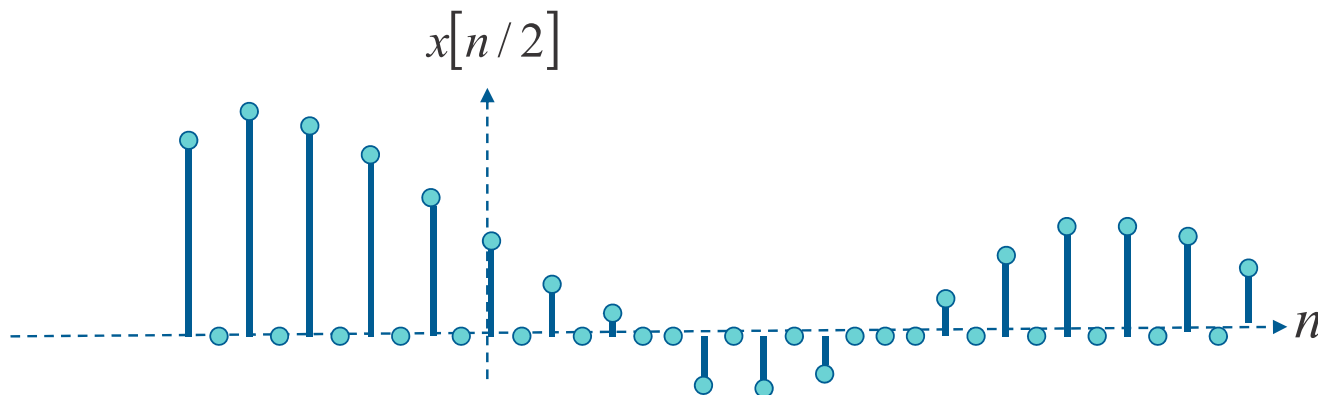
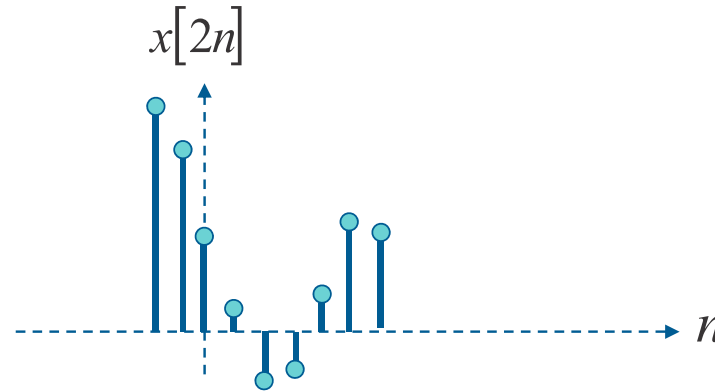
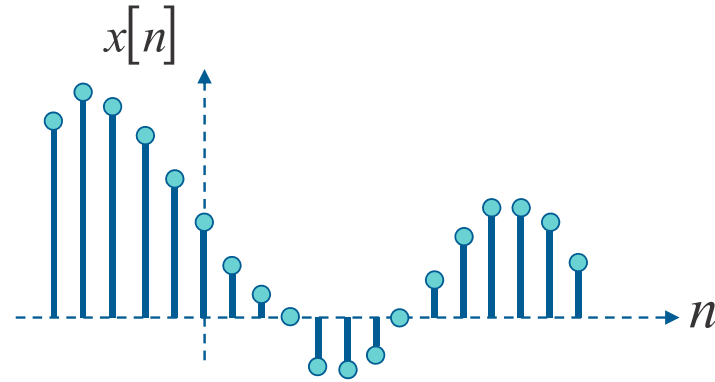
تبدیل متغیر مستقل

تغییر مقیاس زمانی

TIME-SCALING

تبدیل متغیر مستقل

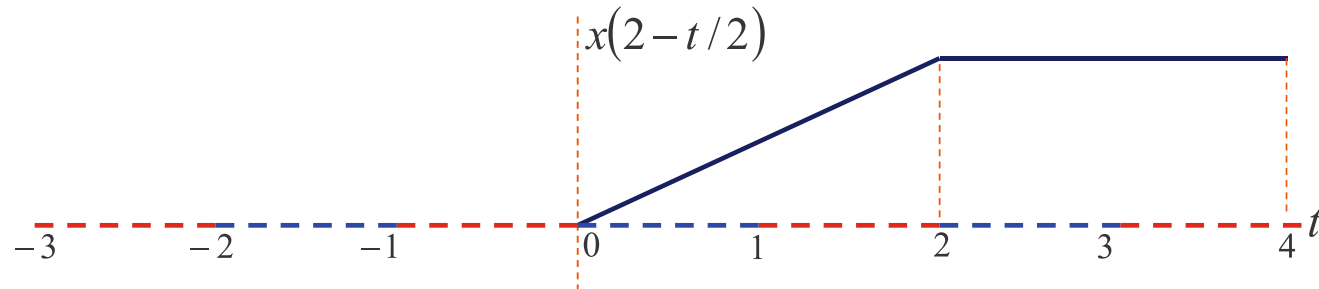
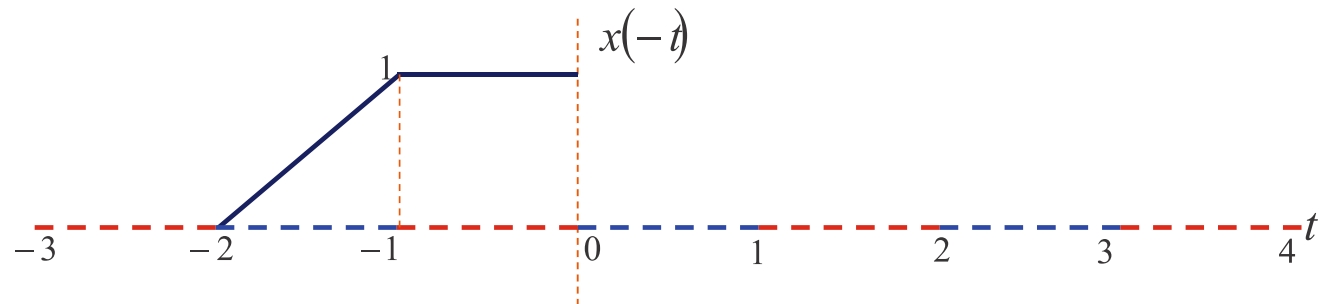
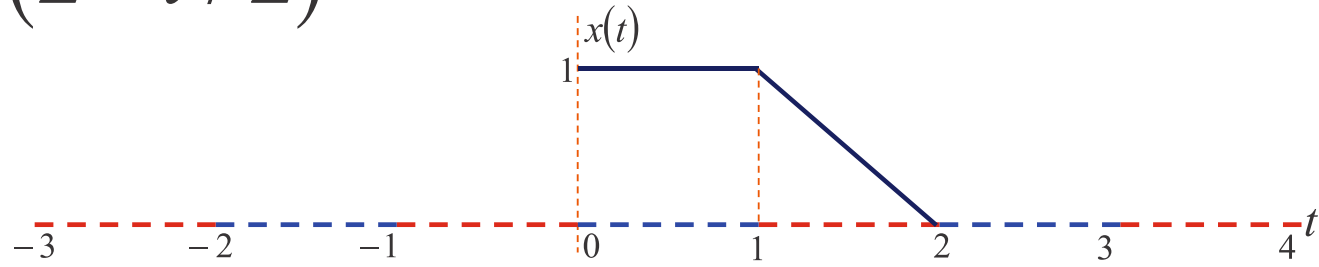
تغییر مقیاس زمانی

TIME-SCALING

تبدیل متغیر مستقل

مثال

$$x(2 - t/2)$$



تبدیل متغیر مستقل

ترکیب تبدیل‌ها

$$y(t) = x(\alpha t + \beta)$$

بررسی برخی نقاط خاص می‌تواند در یافتن تبدیل‌ها کمک کننده باشد:

$$y(0) = x(\beta) \quad y(-\beta/\alpha) = x(0)$$

در تغییر مقیاس زمانی، به جای t عبارت αt را قرار می‌دهیم
در حالی که در شیفت زمانی، به جای t عبارت $t - \beta$ را قرار می‌دهیم
⇐ تغییر مقیاس اولویت دارد:

$$y(t_0) = x(\alpha t_0 + \beta) = x(t_x)$$

$$\alpha t_0 + \beta = t_x$$

$$t_0 = (1/\alpha)(t_x - \beta)$$

سیگنال‌های متناوب

PERIODIC SIGNALS

$$\forall t \quad x(t) = x(t + T_0), \quad \exists T_0 > 0$$

$$\forall n \quad x[n] = x[n + N_0], \quad \exists N_0 > 0$$

دوره‌ی تناوب اصلی: کوچک‌ترین T_0 (یا N_0) ممکن

سیگنال زوج و سیگنال فرد

ODD SIGNAL AND EVEN SIGNAL

سیگنال زوج: سیگنالی که با قرینه‌ی زمانی خود مساوی باشد.

$$x(-t) = x(t)$$

$$x[-n] = x[n]$$

سیگنال فرد: سیگنالی که با منفی قرینه‌ی زمانی خود مساوی باشد.

$$x(-t) = -x(t)$$

$$x[-n] = -x[n]$$

سیگنال زوج و سیگنال فرد

تجزیه‌ی زوج + فرد

ODD SIGNAL AND EVEN SIGNAL

هر سیگنال را می‌توان به صورت یک سیگنال زوج و یک سیگنال فرد نوشت:

$$x(t) = \mathcal{E}v\{x(t)\} + \mathcal{O}d\{x(t)\}$$

$$x[n] = \mathcal{E}v\{x[n]\} + \mathcal{O}d\{x[n]\}$$

قسمت زوج سیگنال:

$$\mathcal{E}v\{x(t)\} = \frac{x(t) + x(-t)}{2}$$

$$\mathcal{E}v\{x[n]\} = \frac{x[n] + x[-n]}{2}$$

قسمت فرد سیگنال:

$$\mathcal{O}d\{x(t)\} = \frac{x(t) - x(-t)}{2}$$

$$\mathcal{O}d\{x[n]\} = \frac{x[n] - x[-n]}{2}$$

مقدمه‌ای بر سیگنال‌ها و سیستم‌ها (۲)

۲

سیگنال‌های پایه

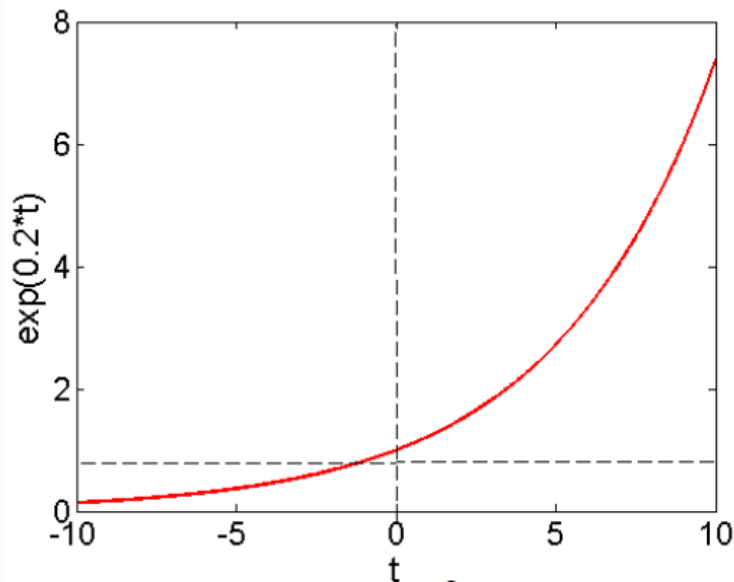
سیگنال‌های نمایی و سینوسی

سیگنال نمایی مختلط پیوسته-زمان

EXPONENTIAL AND SINUSOIDAL SIGNALS

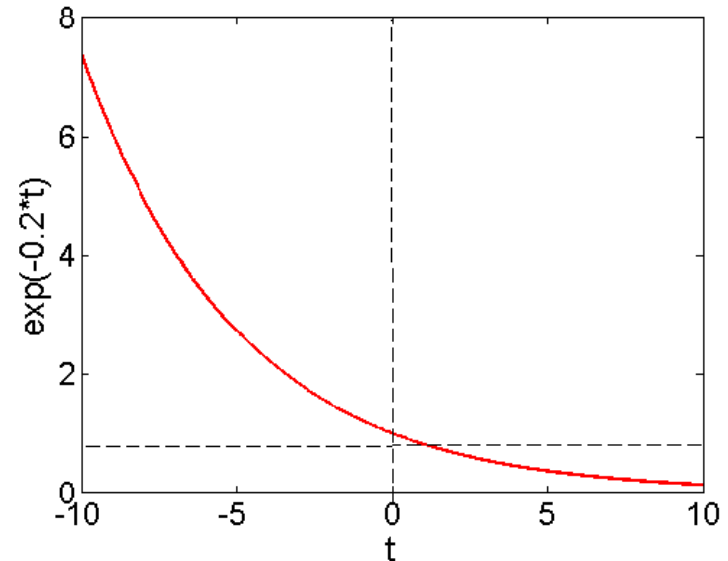
در طبیعت، بسیاری از سیگنال‌ها فرم نمایی دارند:

$$x(t) = Ce^{at}$$



$$a > 0$$

$$C > 0$$



$$a < 0$$

$$C > 0$$

سیگنال‌های نمایی و سینوسی

سیگنال متناوب نمایی مختلط و سینوسی پیوسته-زمان

$$x(t) = e^{j\omega_0 t}$$

رابطه‌ی اویلر:

$$e^{j\omega_0 t} = \cos \omega_0 t + j \sin \omega_0 t$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0}$$

$$e^{j\omega_0(t+T)} = \cos \omega_0(t+T) + j \sin \omega_0(t+T) = \cos \omega_0 t + j \sin \omega_0 t = e^{j\omega_0 t}$$

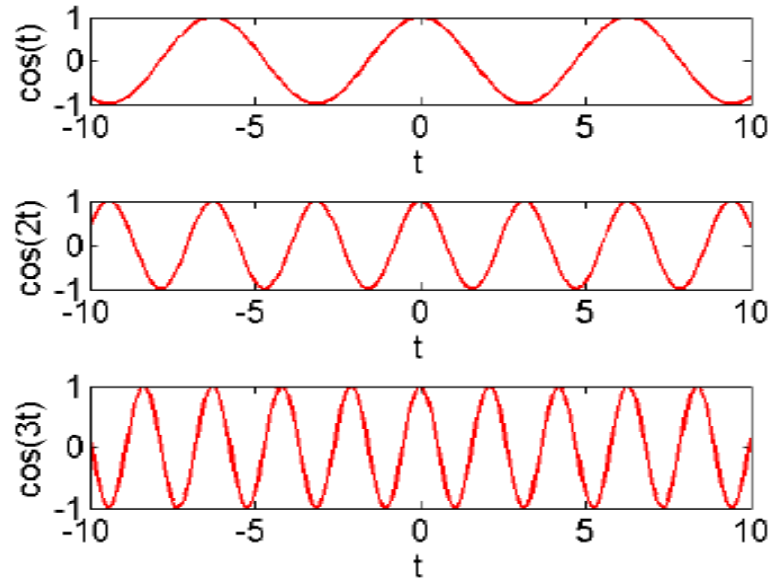
$$\cos(\omega_0 t + \phi) = \mathcal{R}e(e^{j(\omega_0 t + \phi)})$$

$$\sin(\omega_0 t + \phi) = \mathcal{I}m(e^{j(\omega_0 t + \phi)})$$

سیگنال‌های نمایی و سینوسی

هارمونیک‌ها

$$\varphi_k(t) = e^{jk\omega_0 t}, \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$



در تحلیل سیگنال‌ها، این دسته از توابع نقش مهمی بازی می‌کنند. همگی این توابع دارای دوره‌ی تناوب مشترک $2\pi/\omega_0$ هستند.

سیگنال‌های نمایی و سینوسی

سیگنال نمایی مختلط و سینوسی گسسته-زمان

$$x[n] = e^{j\omega_0 n}$$

رابطه‌ی اویلر:

$$e^{j\omega_0 n} = \cos \omega_0 n + j \sin \omega_0 n$$

$$\cos(\omega_0 n + \phi) = \mathcal{R}e(e^{j(\omega_0 n + \phi)})$$

$$\sin(\omega_0 n + \phi) = \mathcal{I}m(e^{j(\omega_0 n + \phi)})$$

سیگنال‌های نمایی و سینوسی

سیگنال نمایی مختلط و سینوسی گسسته-زمان: روابط مهم

$$e^{j\omega_0(n+N)} = e^{j\omega_0 n}$$

$$e^{j\omega_0 N} = 1$$

$$\omega_0 N = 2\pi m \Rightarrow \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{m}{N}$$

$$e^{j\pi n} = (e^{j\pi})^n = (-1)^n$$

$$e^{j2\pi n} = (e^{j2\pi})^n = 1^n = 1$$

سیگنال‌های نمایی و سینوسی

سیگنال نمایی مختلط و سینوسی گسسته-زمان: هارمونیک‌ها

$$\varphi_k[n] = e^{jk(2\pi/N)n}, \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

$$\varphi_{k+N}[n] = e^{j(k+N)(2\pi/N)n} = e^{jk(2\pi/N)n} e^{j2\pi n} = \varphi_k[n]$$

تنها N هارمونیک گسسته‌ی متمایز وجود دارد:

$$\varphi_0[n] = 1$$

$$\varphi_1[n] = e^{j2\pi n/N}$$

$$\varphi_2[n] = e^{j4\pi n/N}$$

...

$$\varphi_{N-1}[n] = e^{j2\pi(N-1)n/N}$$

سیگنال‌های نمایی و سینوسی

سیگنال نمایی مختلط و سینوسی گسسته-زمان و پیوسته-زمان (مقایسه)

$$x(t) = e^{j\omega_0 t}$$

به ازای مقادیر متمایز ω_0
سیگنال‌های متمایزی هستند.

به ازای تمام مقادیر ω_0
متناوب است.

فرکانس پایه: ω_0

دوره‌ی تناوب پایه:
 $\omega_0 = 0$: تعریف نشده
 $\frac{2\pi}{\omega_0}$: $\omega_0 \neq 0$

$$x[n] = e^{j\omega_0 n}$$

به ازای فرکانس‌هایی با اختلاف 2π
سیگنال‌های یکسانی هستند.

تنها زمانی متناوب است که به ازای مقادیر
صحیح m و N مثبت، داشته باشیم $\frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{m}{N}$

فرکانس پایه: $\frac{\omega_0}{m}$

دوره‌ی تناوب پایه:
 $\omega_0 = 0$: تعریف نشده
 $m \left(\frac{2\pi}{\omega_0} \right)$: $\omega_0 \neq 0$

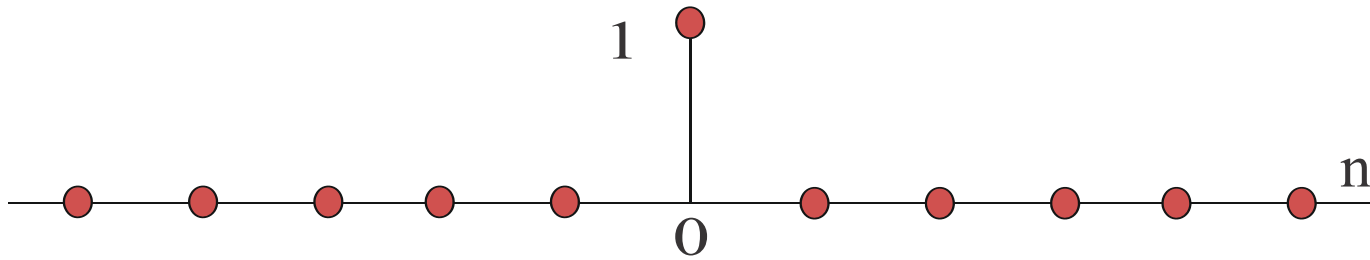
* با فرض اینکه m و N عامل مشترک ندارند.

سیگنال‌های ضربی واحد و پله‌ی واحد

ضربی واحد (نمونه‌ی واحد) گسسته-زمان

DISCRETE-TIME UNIT IMPULSE (UNIT SAMPLE)

$$\delta[n] = \begin{cases} 0 & , n \neq 0 \\ 1 & , n = 0 \end{cases}$$

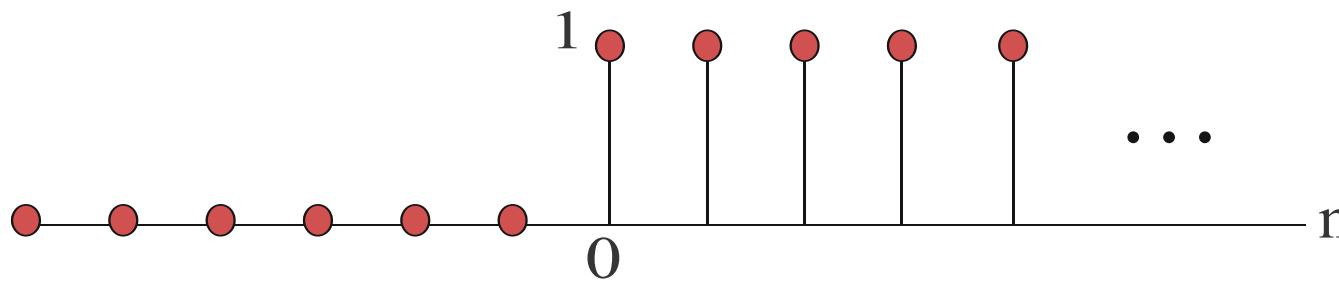


سیگنال‌های ضربی واحد و پله‌ی واحد

پله‌ی واحد گسسته-زمان

DISCRETE-TIME UNIT STEP

$$u[n] = \begin{cases} 0 & , n < 0 \\ 1 & , n \geq 0 \end{cases}$$

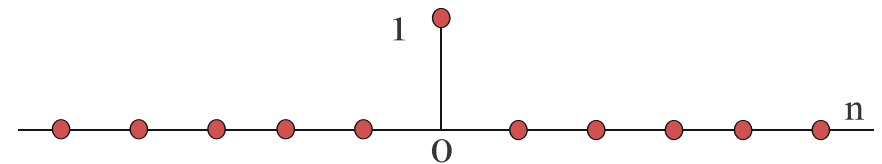
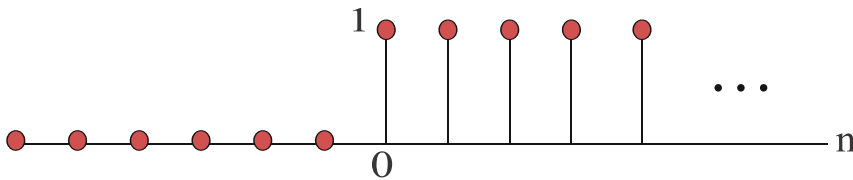


سیگنال‌های ضربی واحد و پله‌ی واحد

رابطه‌ی ضربی و پله‌ی گسسته-زمان

$$u[n] = \begin{cases} 0 & , n < 0 \\ 1 & , n \geq 0 \end{cases}$$

$$\delta[n] = \begin{cases} 0 & , n \neq 0 \\ 1 & , n = 0 \end{cases}$$



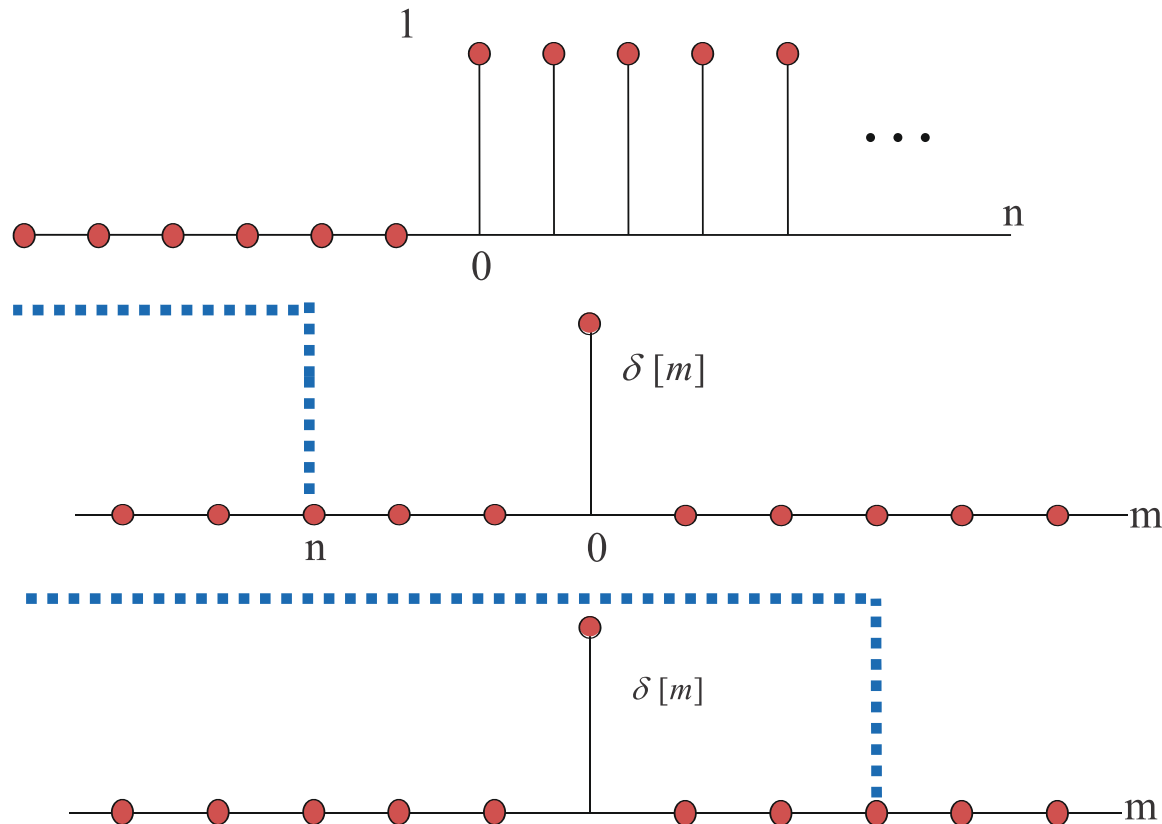
$$\delta[n] = u[n] - u[n - 1]$$

$$u[n] = \sum_{m=-\infty}^n \delta[m]$$

سیگنال‌های ضربی واحد و پله‌ی واحد

رابطه‌ی ضربی و پله‌ی گسسته-زمان

$$u[n] = \sum_{m=-\infty}^n \delta[m]$$



سیگنال‌های ضربی واحد و پله‌ی واحد

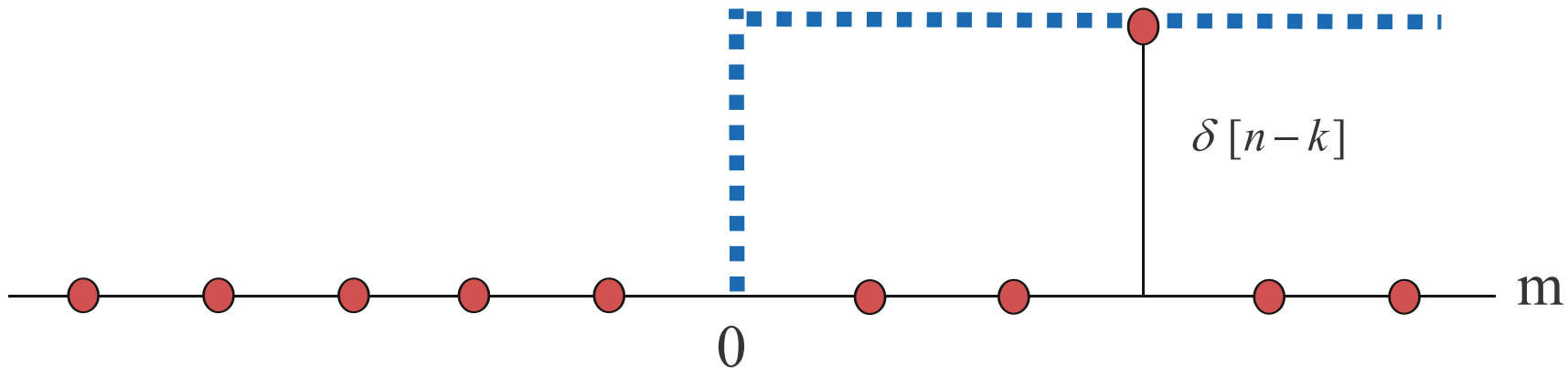
رابطه‌ی ضربی و پله‌ی گسسته-زمان

$$k = n - m$$

$$u[n] = \sum_{k=-\infty}^0 \delta[n - k]$$

$$m = n - k$$

$$u[n] = \sum_{k=0}^{+\infty} \delta[n - k]$$



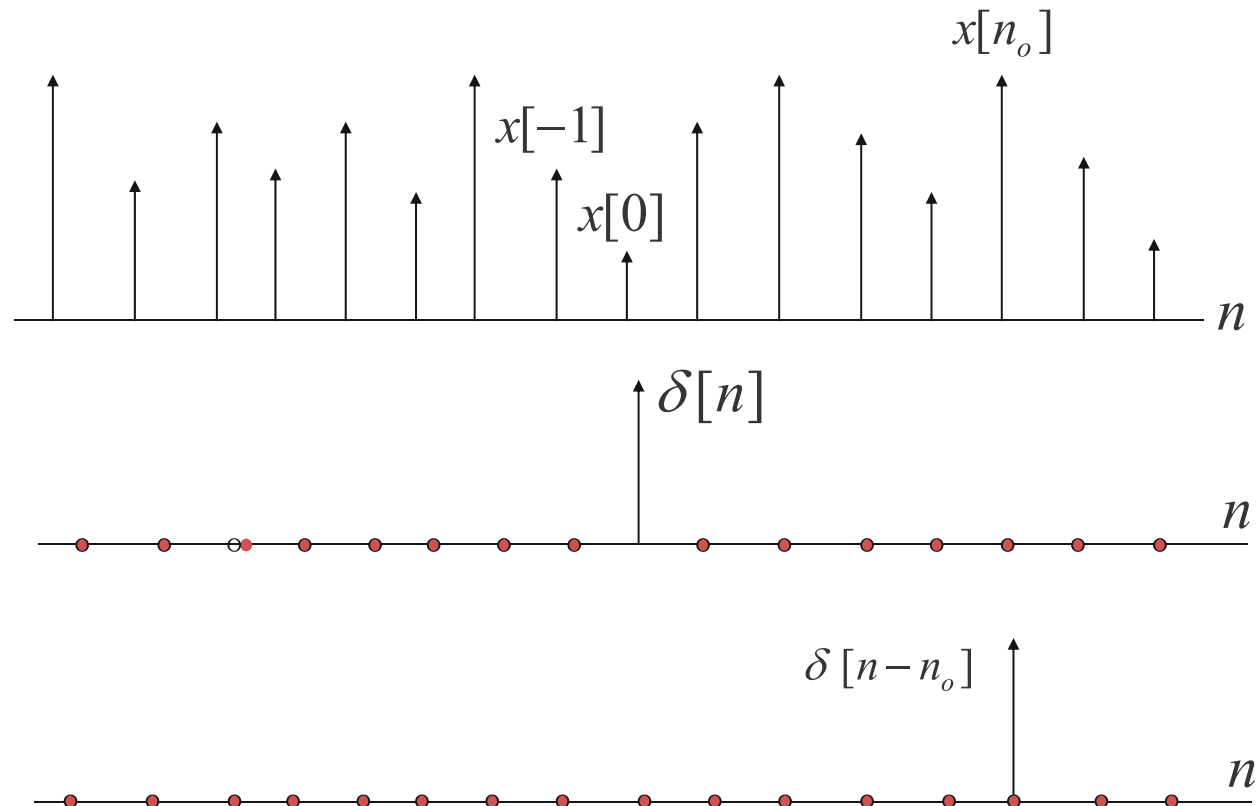
سیگنال‌های ضربی واحد و پله‌ی واحد

خاصیت غربالی (نمونه‌برداری)

SIFTING PROPERTY (SAMPLING)

$$x[n]\delta[n] = x[0]\delta[n]$$

$$x[n]\delta[n - n_0] = x[n_0]\delta[n - n_0]$$

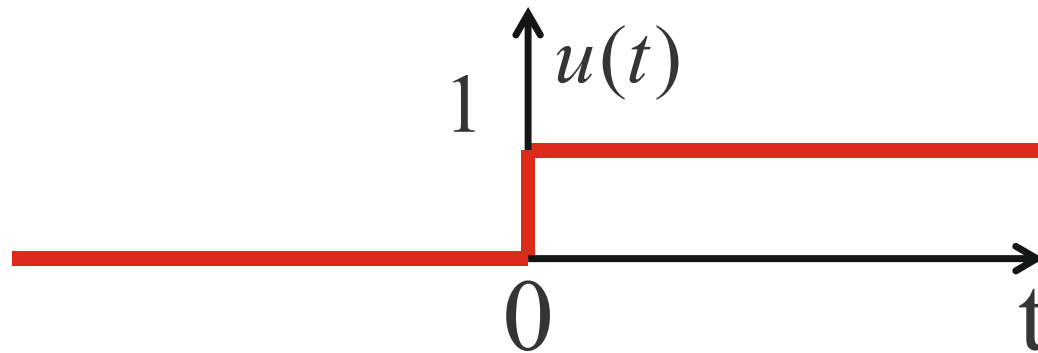


سیگنال‌های ضربیهی واحد و پله‌ی واحد

سیگنال پله‌ی واحد پیوسته-زمان

CONTINUOUS-TIME UNIT STEP

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



در صفر ناپیوستگی وجود دارد.

سیگنال‌های ضربه‌ی واحد و پله‌ی واحد

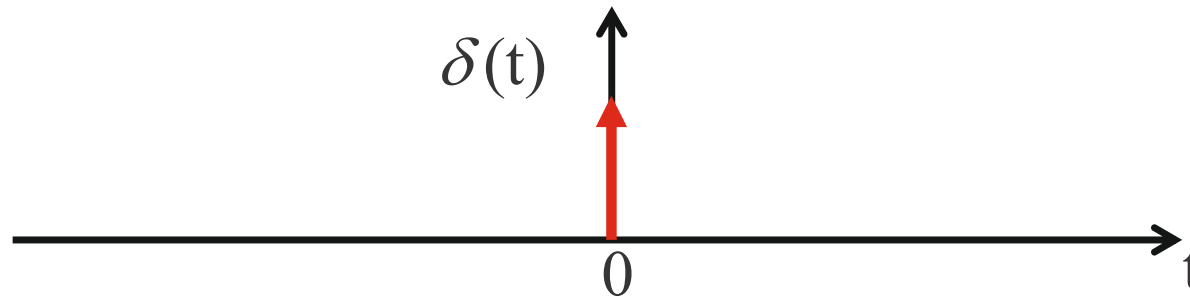
سیگنال ضربه‌ی واحد پیوسته-زمان

CONTINUOUS-TIME UNIT IMPULSE

$$\delta(t) = \frac{du(t)}{dt}$$

$$\delta(t) = \begin{cases} 0 & , t \neq 0 \\ \text{undef.} & , t = 0 \end{cases}$$

$$u(t) = \int_{-\infty}^t \delta(\tau) d\tau$$

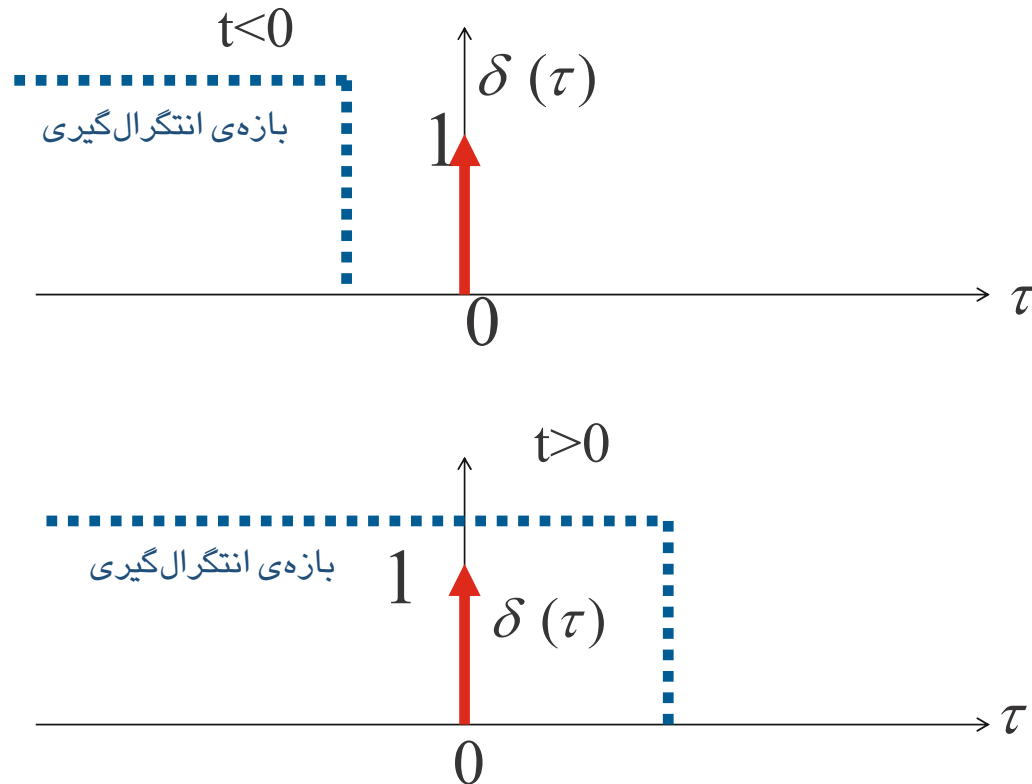


ضربه، مشتق پله است \Leftrightarrow پله، انتگرال ضربه است

سیگنال‌های ضربی واحد و پله‌ی واحد

رابطه‌ی ضربی و پله‌ی پیوسته-زمان

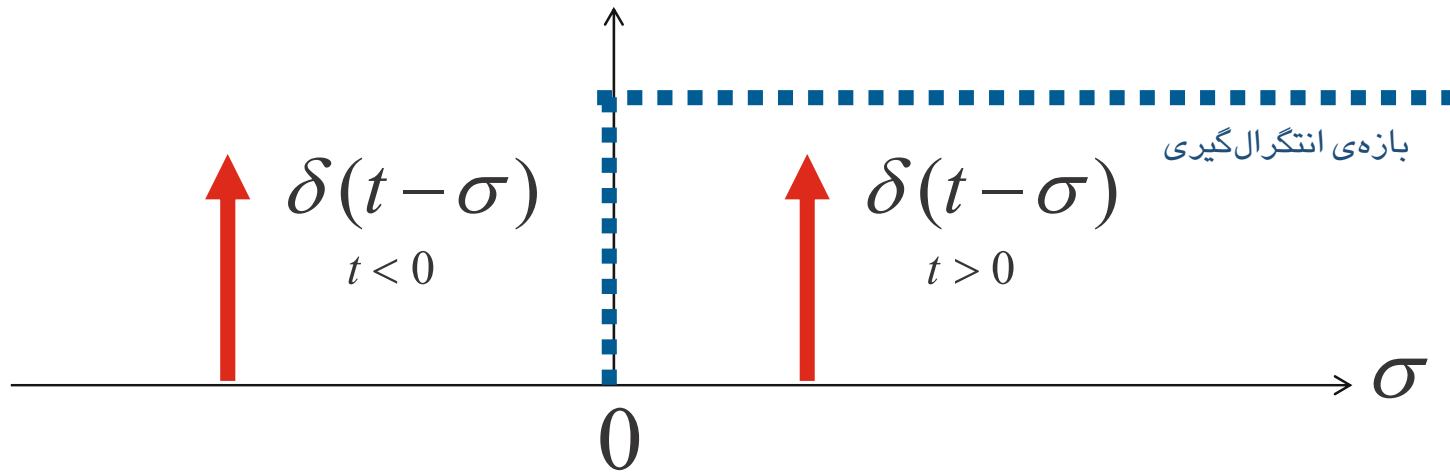
$$u(t) = \int_{-\infty}^t \delta(\tau) d\tau$$



سیگنال‌های ضربه‌ی واحد و پله‌ی واحد

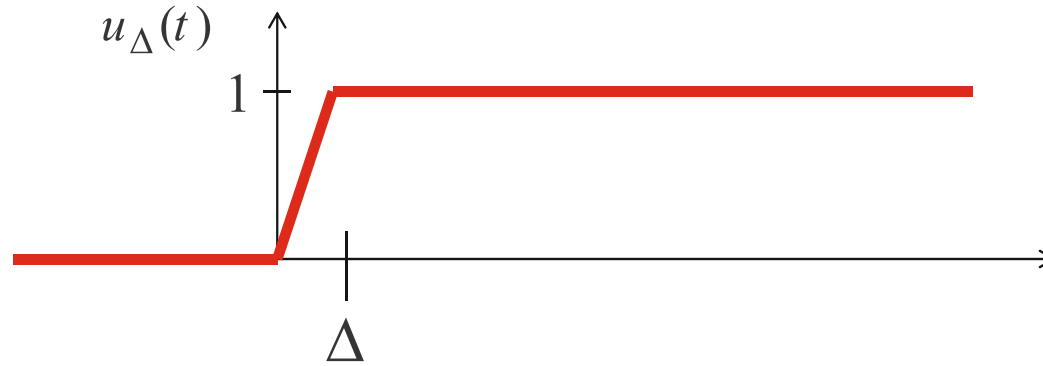
رابطه‌ی ضربه و پله‌ی پیوسته-زمان

$$u(t) = \int_{-\infty}^t \delta(\tau) d\tau = \int_{+\infty}^0 \delta(t - \sigma) (-d\sigma) = \int_0^{+\infty} \delta(t - \sigma) d\sigma$$



سیگنال‌های ضربه‌ی واحد و پله‌ی واحد

رابطه‌ی ضربه و پله‌ی پیوسته-زمان



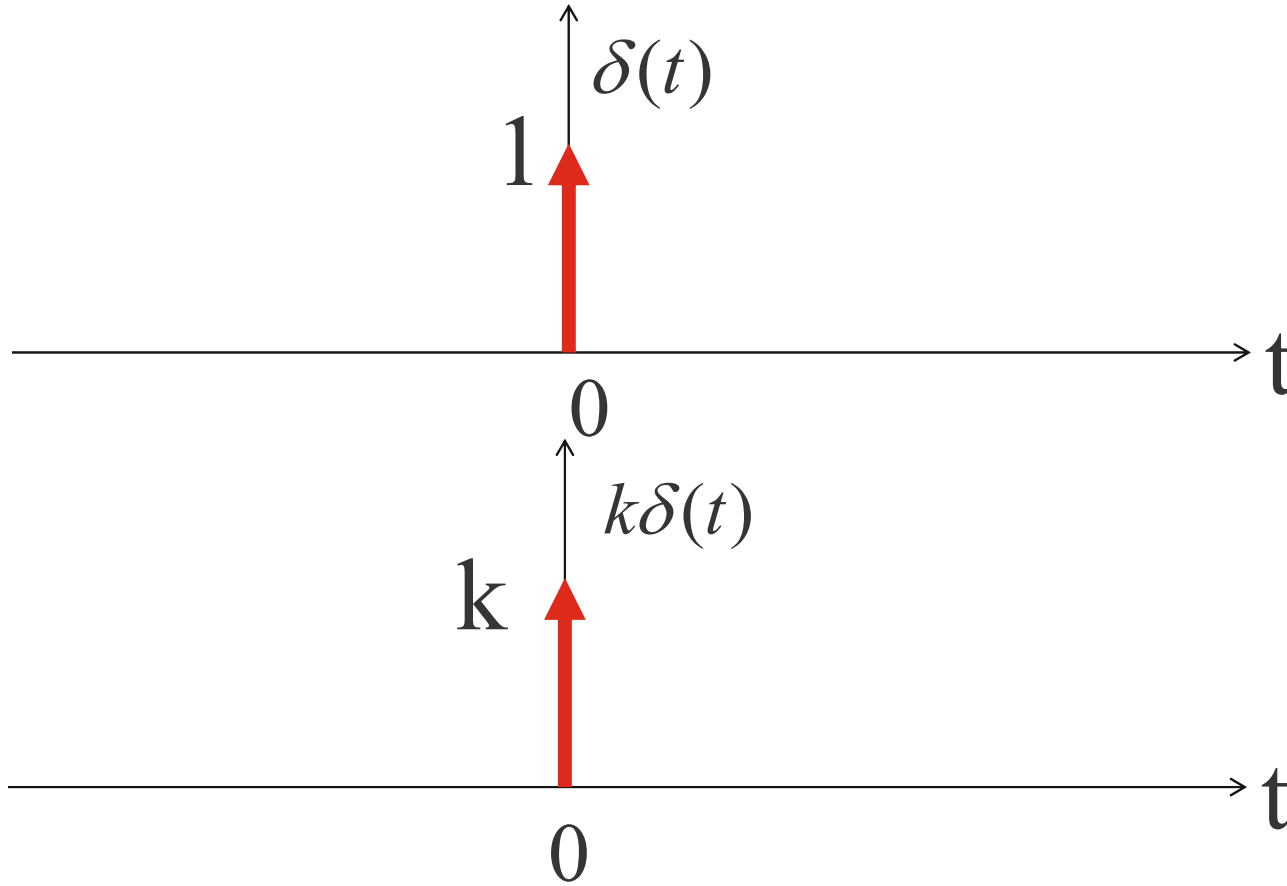
$$u(t) = \lim_{\Delta \rightarrow 0} u_{\Delta}(t)$$

$$\delta_{\Delta}(t) = \frac{du_{\Delta}(t)}{dt}, \quad \delta(t) = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \delta_{\Delta}(t)$$



سیگنال‌های ضربی واحد و پله‌ی واحد

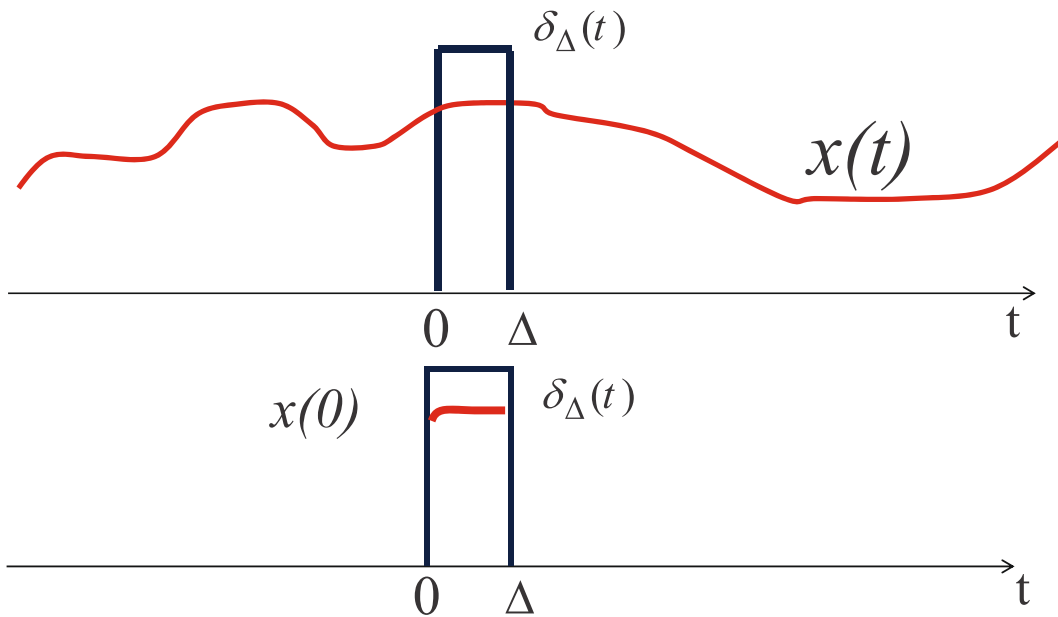
تغییر مقیاس ضربه

SCALED IMPULSE

$$\int_{-\infty}^t k\delta(\tau)d\tau = k \cdot u(t)$$

سیگنال‌های ضربی واحد و پله‌ی واحد

خاصیت غربالی

SIFTING PROPERTY

این عبارت را در نظر می‌گیریم:

$$x_1(t) = x(t)\delta_{\Delta}(t)$$

اگر Δ به حد کافی کوچک در نظر گرفته شود:

$$x(t)\delta_{\Delta}(t) \approx x(0)\delta_{\Delta}(t)$$

از آنجا که داریم:

$$\delta(t) = \delta_{\Delta}(t) \quad \text{as } \Delta \rightarrow 0$$

پس:

$$x(t)\delta(t) = x(0)\delta(t)$$

به‌طور مشابه:

$$x(t)\delta(t - t_0) = x(t_0)\delta(t - t_0)$$

سیگنال شیب واحد

UNIT RAMP SIGNAL

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

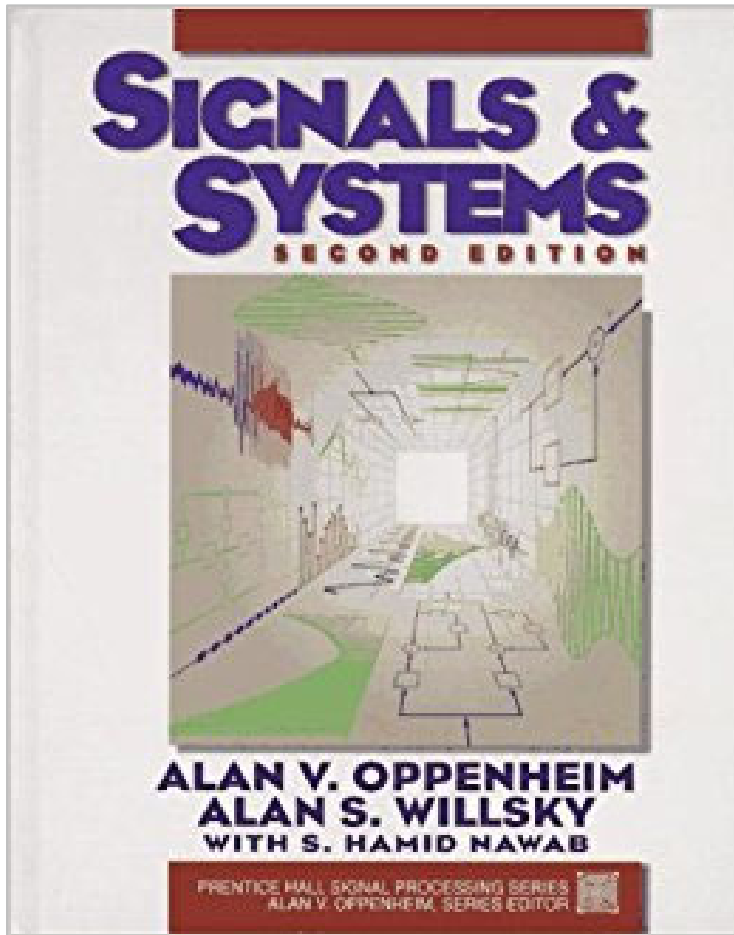
$$r(t) = \int_{-\infty}^t u(\tau) d\tau = tu(t)$$

مقدمه‌ای بر سیگنال‌ها و سیستم‌ها (۲)

۳

منابع

منبع اصلی



A.V. Oppenheim, A.S. Willsky, S.H. Nawab,
Signals and Systems,
Second Edition, Prentice Hall, 1997.

Chapter 1