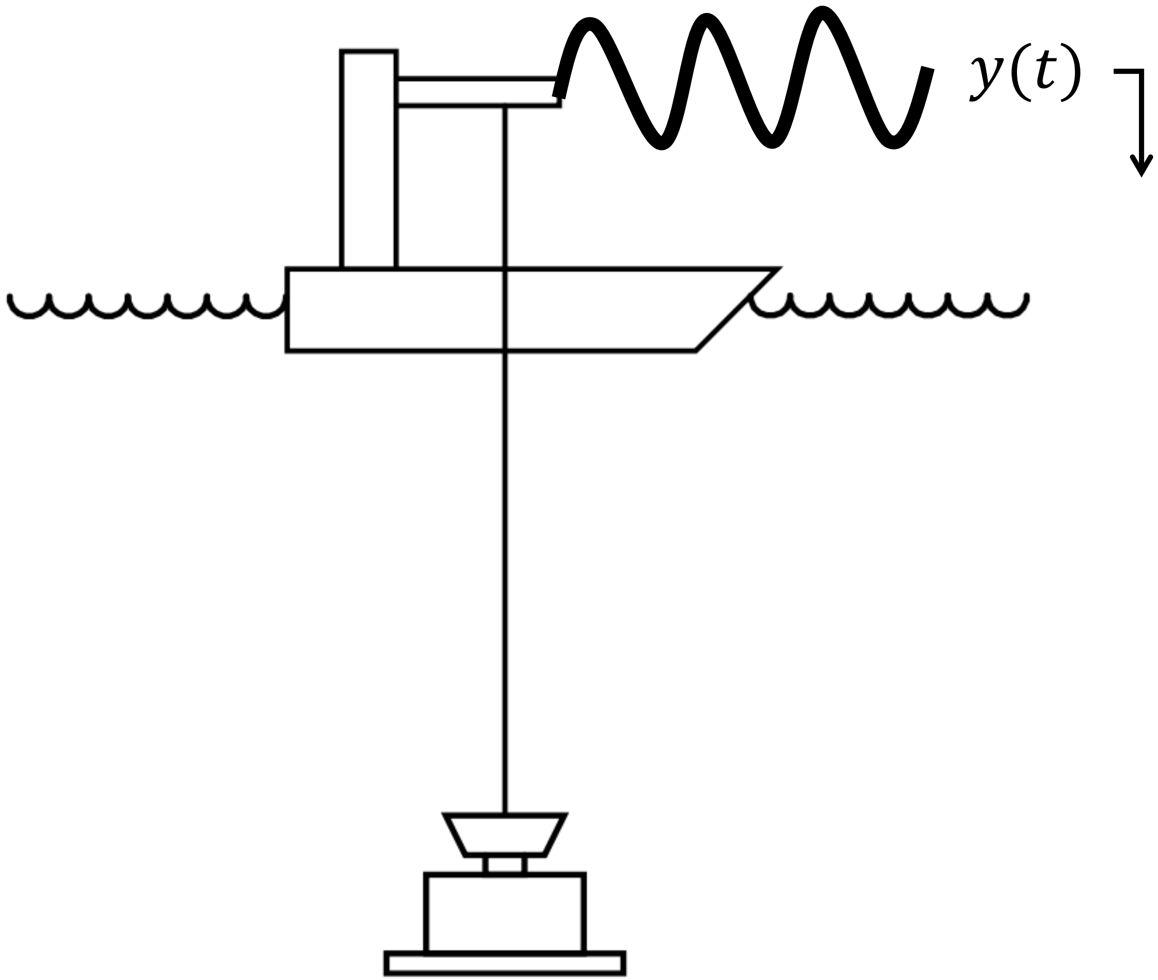
Dinâmica de Sistemas Navais e Oceânicos

PNV3314 Dinâmica de Sistemas

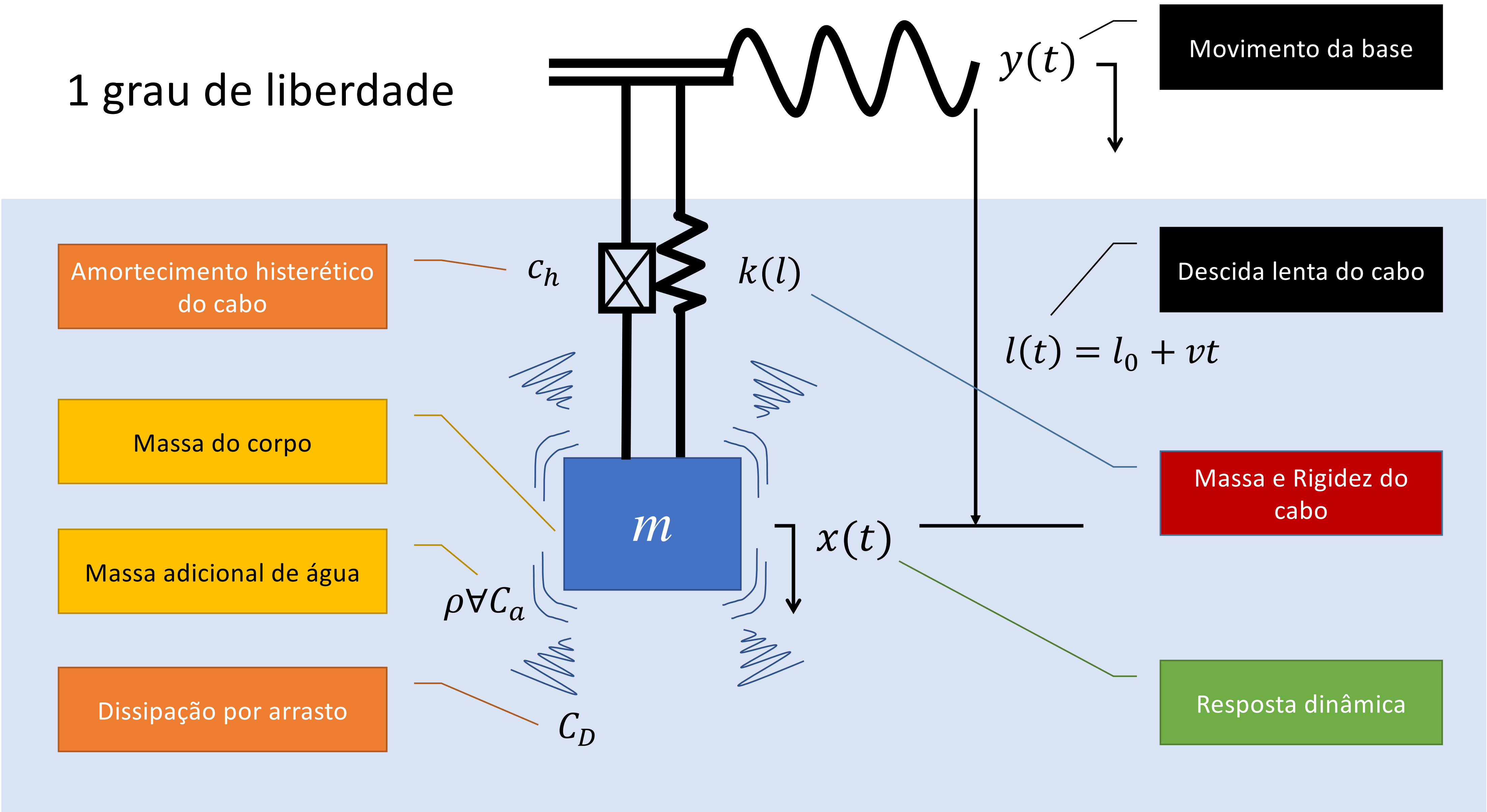
Aula 16

Dinâmica do lançamento do manifold submarino (em água)

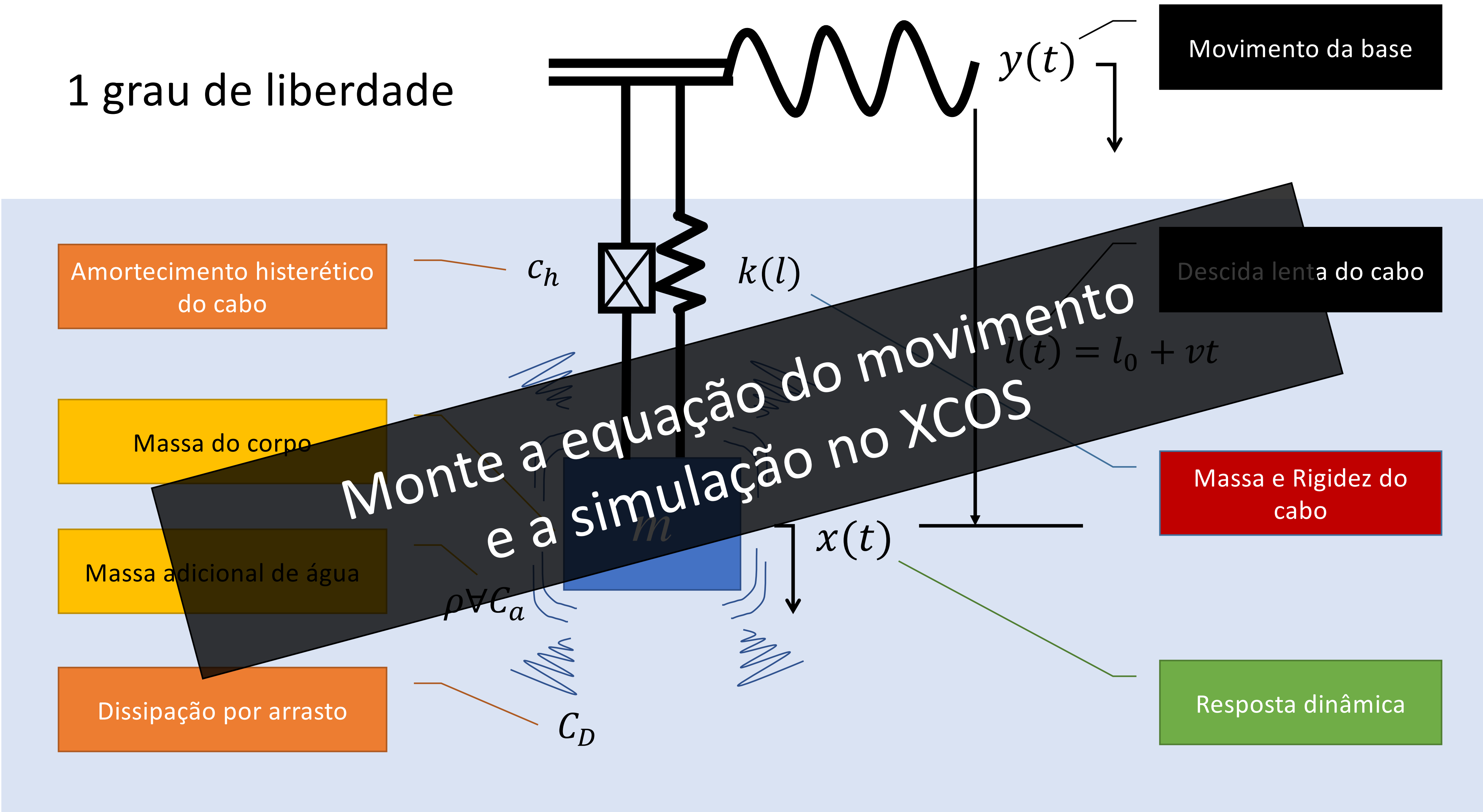
Colocando tudo junto


$y(t)$

1 grau de liberdade



1 grau de liberdade



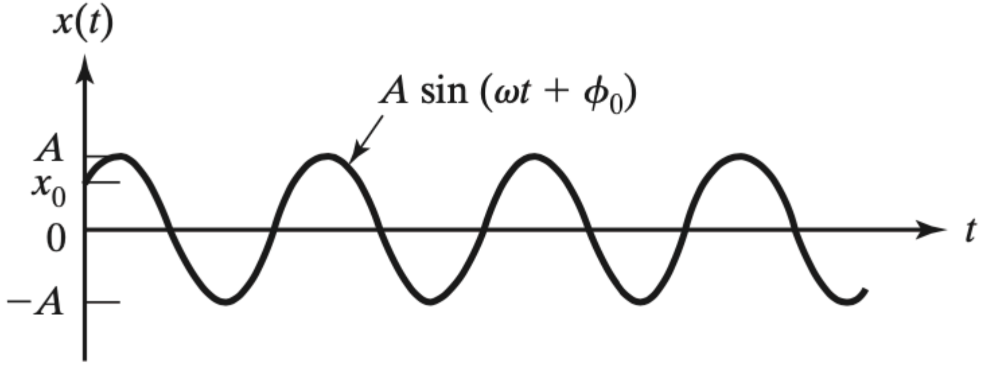
Monte a equação do movimento e a simulação no XCOS

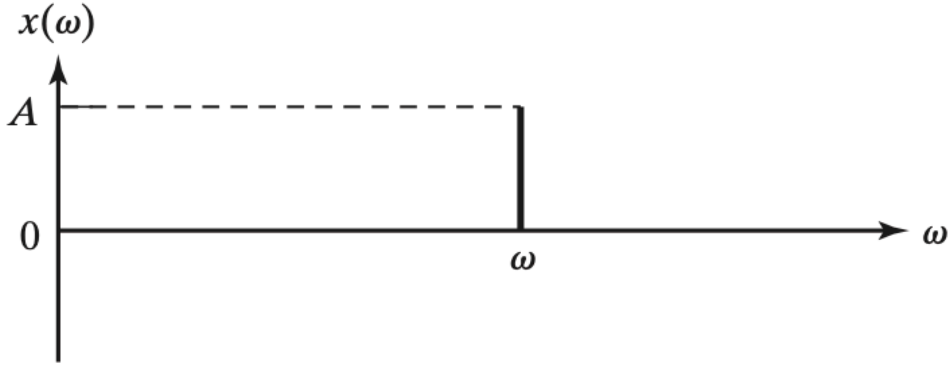
Dados para simulação

- Condição do mar
  - $T = 7\text{s}$
  - $Y = 2\text{m}$, amplitude de heave do navio
  - Profundidade: 3000m
  - $\rho_{mar} = 1030\text{kg/m}^3$
- Dados do manifold
  - $m = 100\text{t}$
  - $C_a = 0{,}8$
  - $C_d = 1{,}2$
  - $\forall = 50\text{m}^3$
  - $L = 8\text{m}$
  - $B = 5\text{m}$
  - $H = 4\text{m}$
- Dados do cabo de aço
  - $d = 40\text{mm}$
  - $\rho_{mar} = 7860\text{kg/m}^3$
  - $E = 150\text{GPa}$
  - Tensão de ruptura: 1,2GPa
  - Fator de histerese: $\Delta U/U = 0{,}2$
- Considere
  - Massa estrutural, massa adicional, massa participativa do cabo.
  - Amortecimento histerético do cabo.
  - Amortecimento hidrodinâmico de arrasto.
  - Movimento de heave imposto no navio.

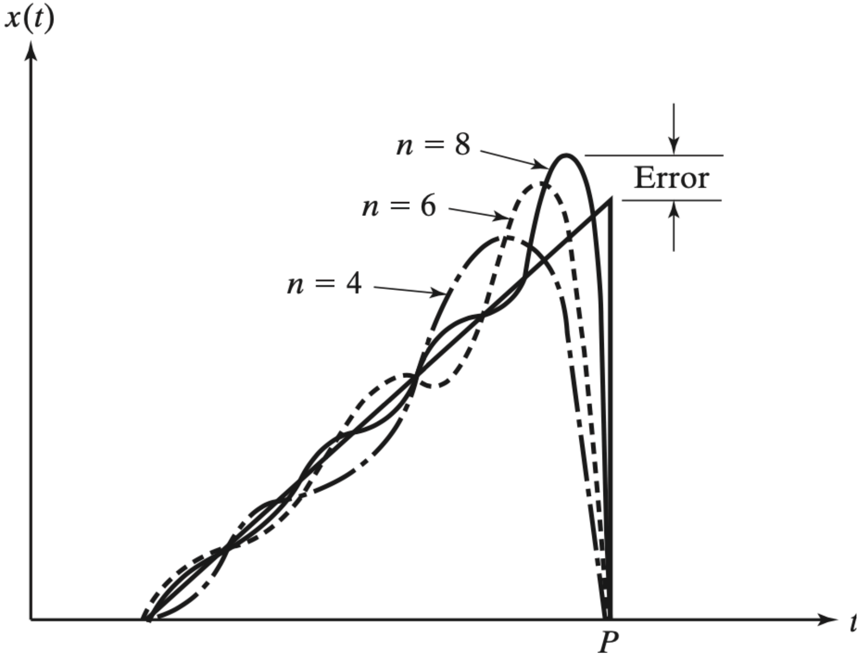
Resposta à excitação periódica

Análise harmônica: exemplo 1





Análise harmônica

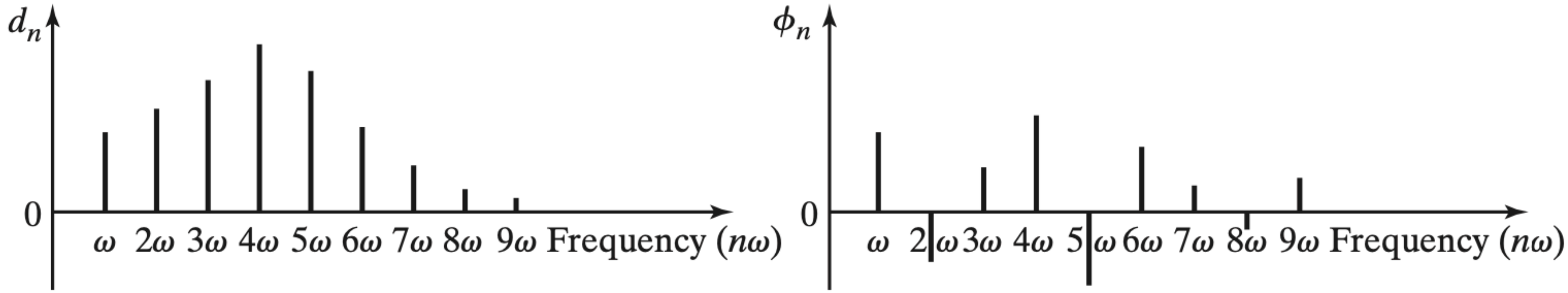


$$x(t) = d_0 + d_1 \cos(\omega t - \phi_1) + d_2 \cos(2\omega t - \phi_2) + \cdots$$

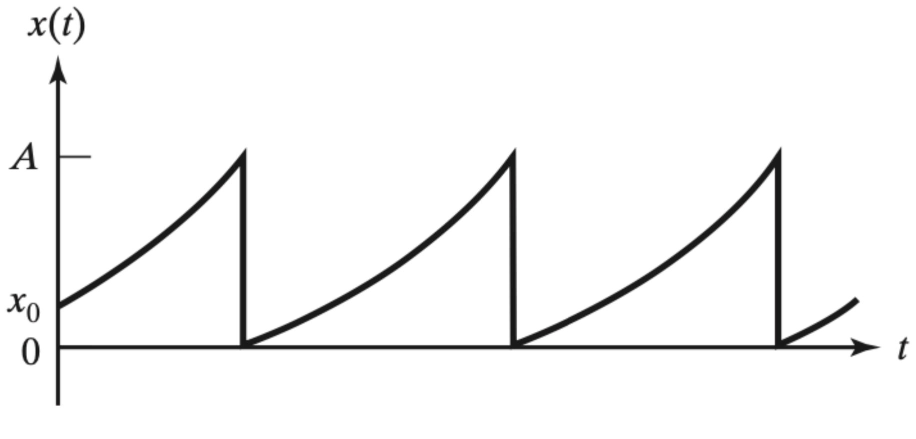
$$d_0 = a_0/2$$
$$d_n = (a_n^2 + b_n^2)^{1/2}$$

$$\phi_n = \tan^{-1}\left(\frac{b_n}{a_n}\right)$$

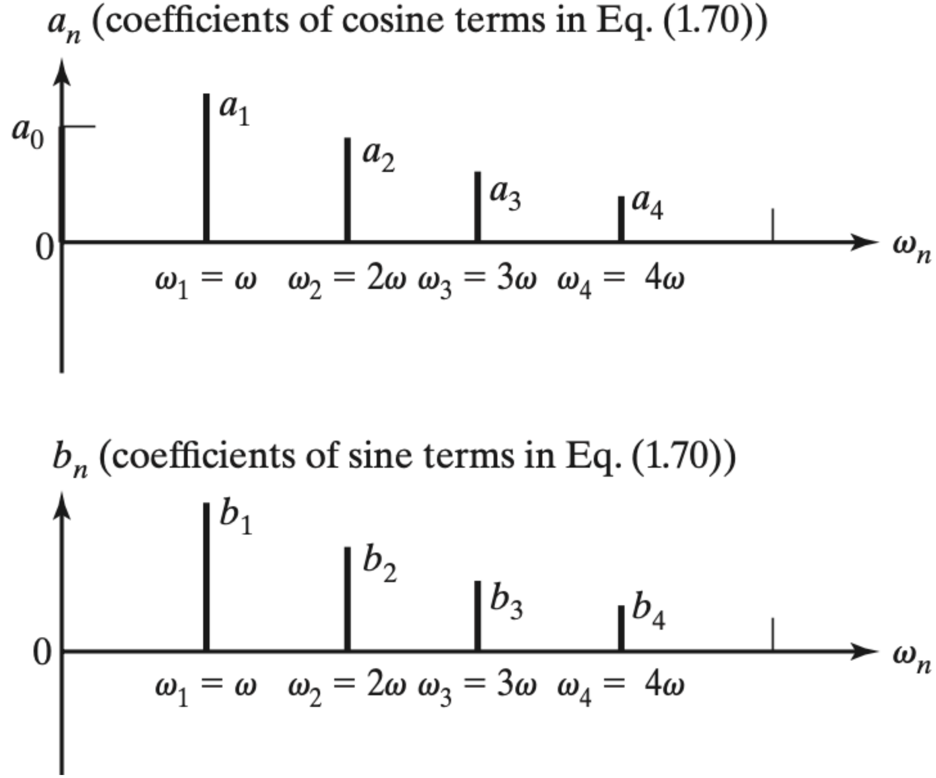
Análise harmônica: uma função qualquer

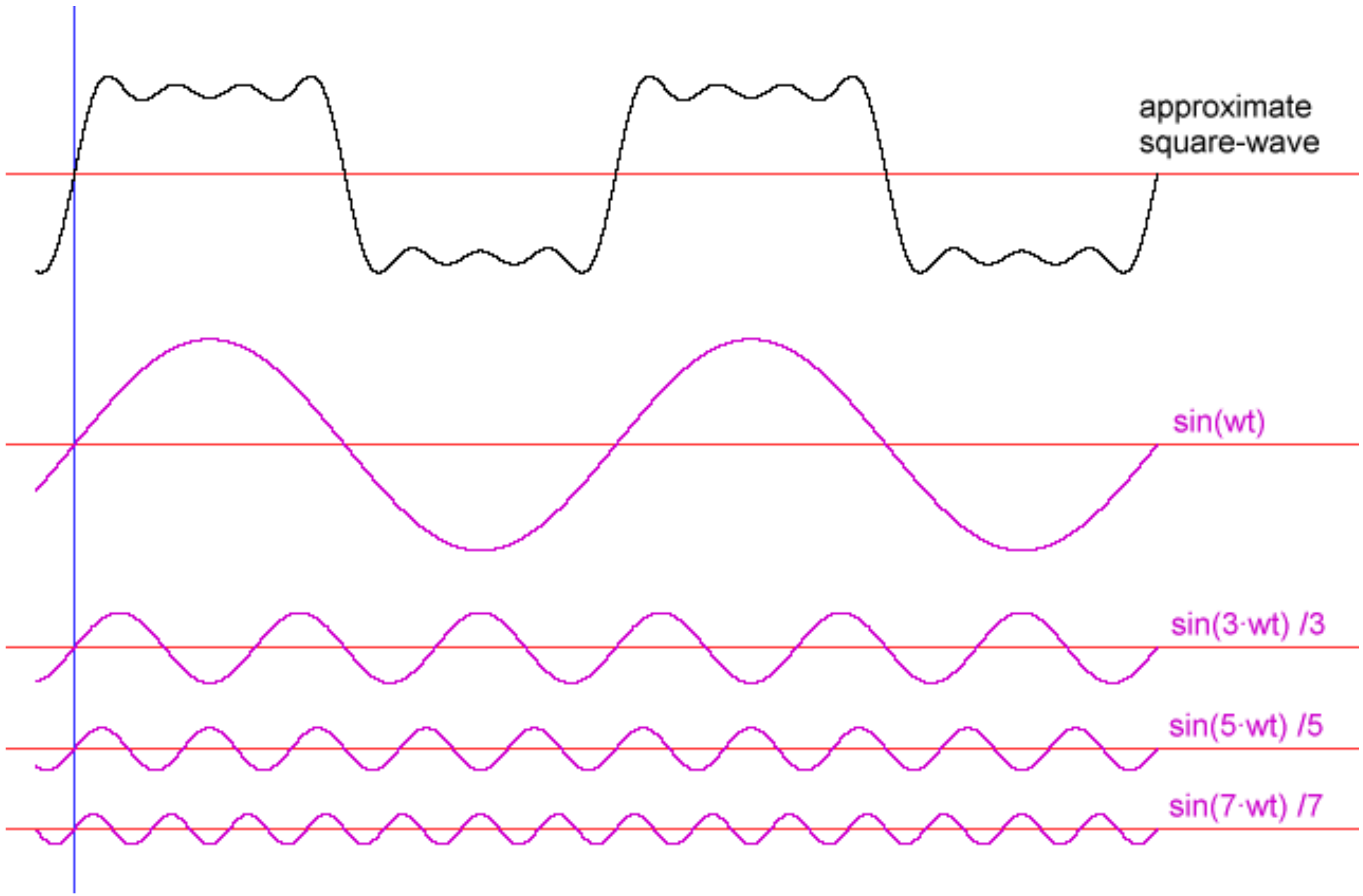


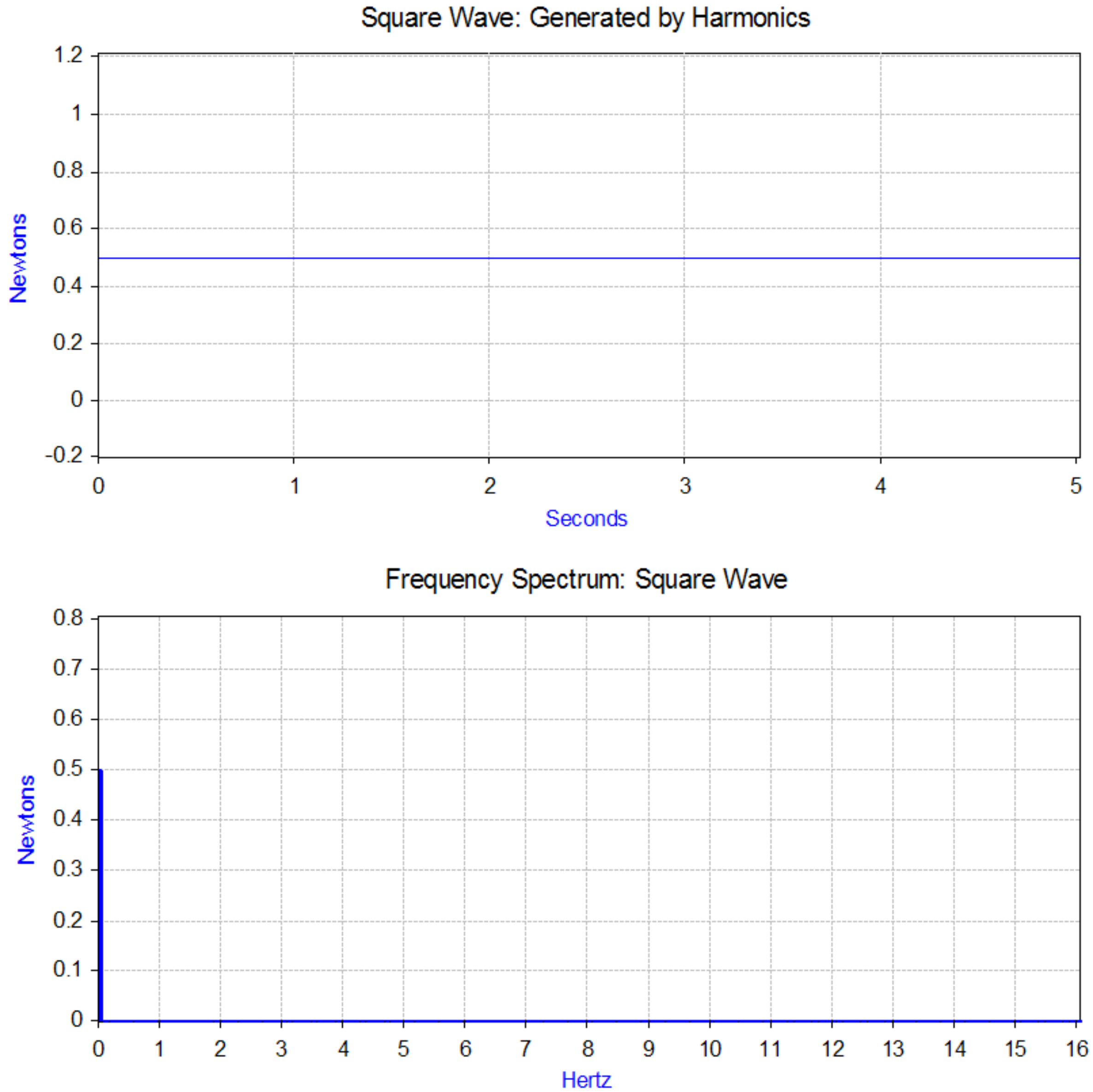
Análise harmônica: exemplo 2



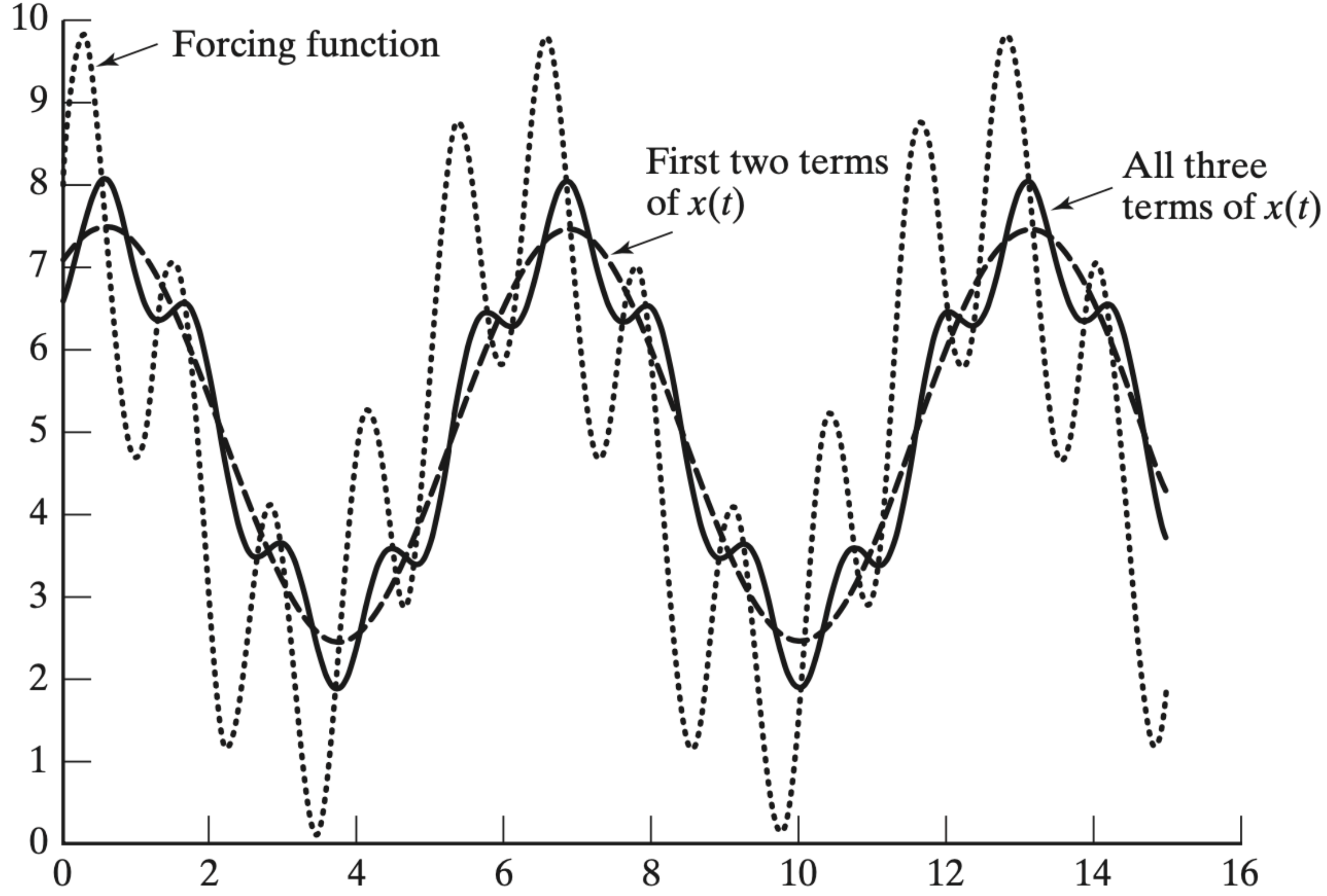
(c)




approximate
square-wave
sin(wt)
sin(3·wt) /3
sin(5·wt) /5
sin(7·wt) /7


Square Wave: Generated by Harmonics
Newtons
Seconds
Frequency Spectrum: Square Wave
Newtons
Hertz

Resposta à excitação periódica


Forcing function
First two terms of $x(t)$
All three terms of $x(t)$
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
0
2
4
6
8
10
12
14
16

Força periódica de excitação

Expressa como uma série de Fourier

$$F(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{j=1}^{\infty} a_j \cos j\omega t + \sum_{j=1}^{\infty} b_j \sin j\omega t$$

$$a_j = \frac{2}{\tau}\int_0^{\tau} F(t) \cos j\omega t\, dt, \qquad j = 0, 1, 2, \ldots$$

$$b_j = \frac{2}{\tau}\int_0^{\tau} F(t) \sin j\omega t\, dt, \qquad j = 1, 2, \ldots$$

A equação do movimento de um Sistema de segunda ordem...

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{j=1}^{\infty} a_j \cos j\omega t + \sum_{j=1}^{\infty} b_j \sin j\omega t$$

O lado direito é uma série de forçantes

O princípio da superposição em sistemas lineares nos permite pensar que...

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = \frac{a_0}{2}$$

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = a_j \cos j\omega t$$

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = b_j \sin j\omega t$$

$$x_p(t) = \frac{a_0}{2k}$$

Sabemos encontrar a resposta em regime permanente (solução particular) para estas equações harmônicas...

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = \frac{a_0}{2} \quad\rightarrow\quad x_p(t) = \frac{a_0}{2k}$$

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = a_j \cos j\omega t \quad\rightarrow\quad x_p(t) = \frac{(a_j/k)}{\sqrt{(1 - j^2r^2)^2 + (2\zeta jr)^2}} \cos(j\omega t - \phi_j)$$

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = b_j \sin j\omega t \quad\rightarrow\quad x_p(t) = \frac{(b_j/k)}{\sqrt{(1 - j^2r^2)^2 + (2\zeta jr)^2}} \sin(j\omega t - \phi_j)$$

onde...

$$\phi_j = \tan^{-1}\left(\frac{2\zeta jr}{1 - j^2r^2}\right) \qquad r = \frac{\omega}{\omega_n}$$

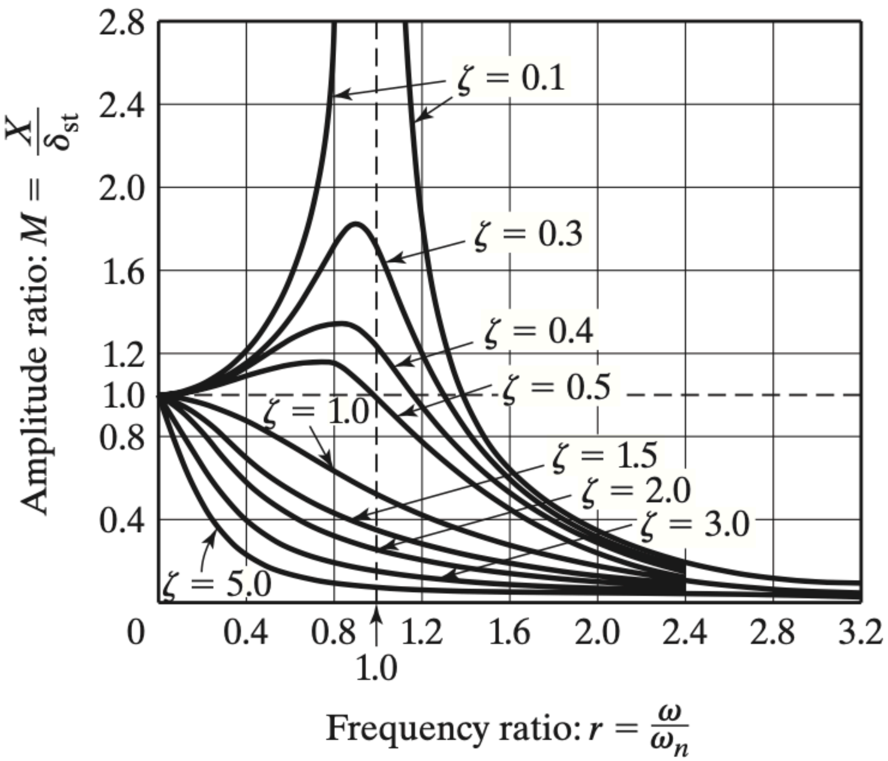
Pela superposição linear, a solução completa em regime permanente (soma das soluções particulares) será...

$$x_p(t) = \frac{a_0}{2k} + \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(a_j/k)}{\sqrt{(1 - j^2r^2)^2 + (2\zeta jr)^2}} \cos(j\omega t - \phi_j)$$
$$+ \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(b_j/k)}{\sqrt{(1 - j^2r^2)^2 + (2\zeta jr)^2}} \sin(j\omega t - \phi_j)$$

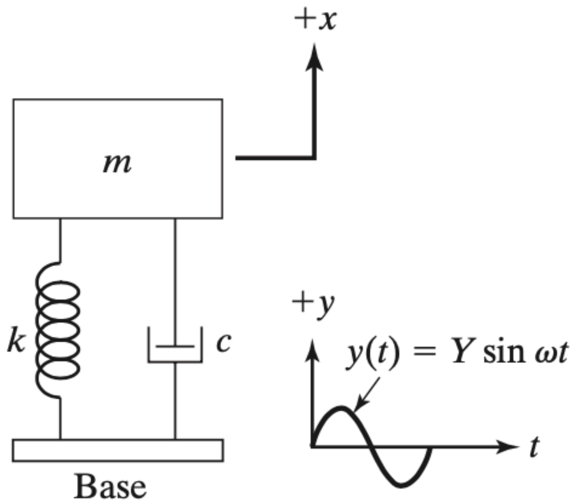
Sabemos como é a resposta de cada componente...

$$x_p(t) = \frac{a_0}{2k} + \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(a_j/k)}{\sqrt{(1 - j^2r^2)^2 + (2\zeta jr)^2}} \cos(j\omega t - \phi_j)$$
$$+ \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(b_j/k)}{\sqrt{(1 - j^2r^2)^2 + (2\zeta jr)^2}} \sin(j\omega t - \phi_j)$$

Conforme $j\omega$ aumenta, a resposta da componente tende a diminuir.
A frequências mais baixas terão contribuição maior na resposta. Por isso, geralmente, as primeiras componentes fornecem uma boa ideia da resposta.



Excitação pelo movimento da base

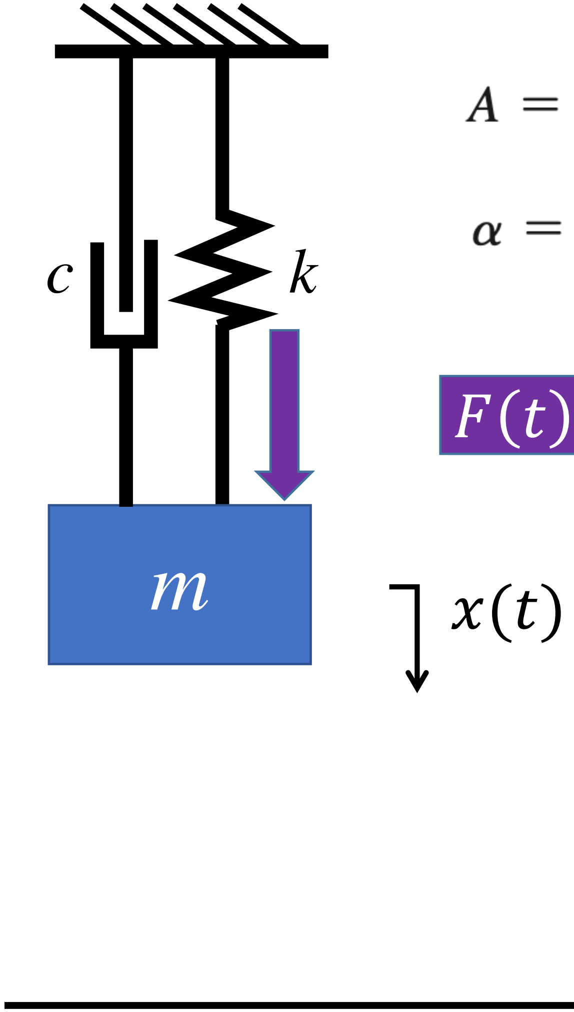


$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = ky + c\dot{y} = \underbrace{kY \sin \omega t + c\omega Y \cos \omega t}$$

Basta expressar o movimento da base por uma série de funções harmônicas.

$$x_p(t) = \frac{1}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}} \left[\frac{a_1}{k} \cos(\omega t - \phi_1) + \frac{b_1}{k} \sin(\omega t - \phi_1) \right] \cdots$$

$$a_1 = c\omega Y, \qquad b_1 = kY,$$

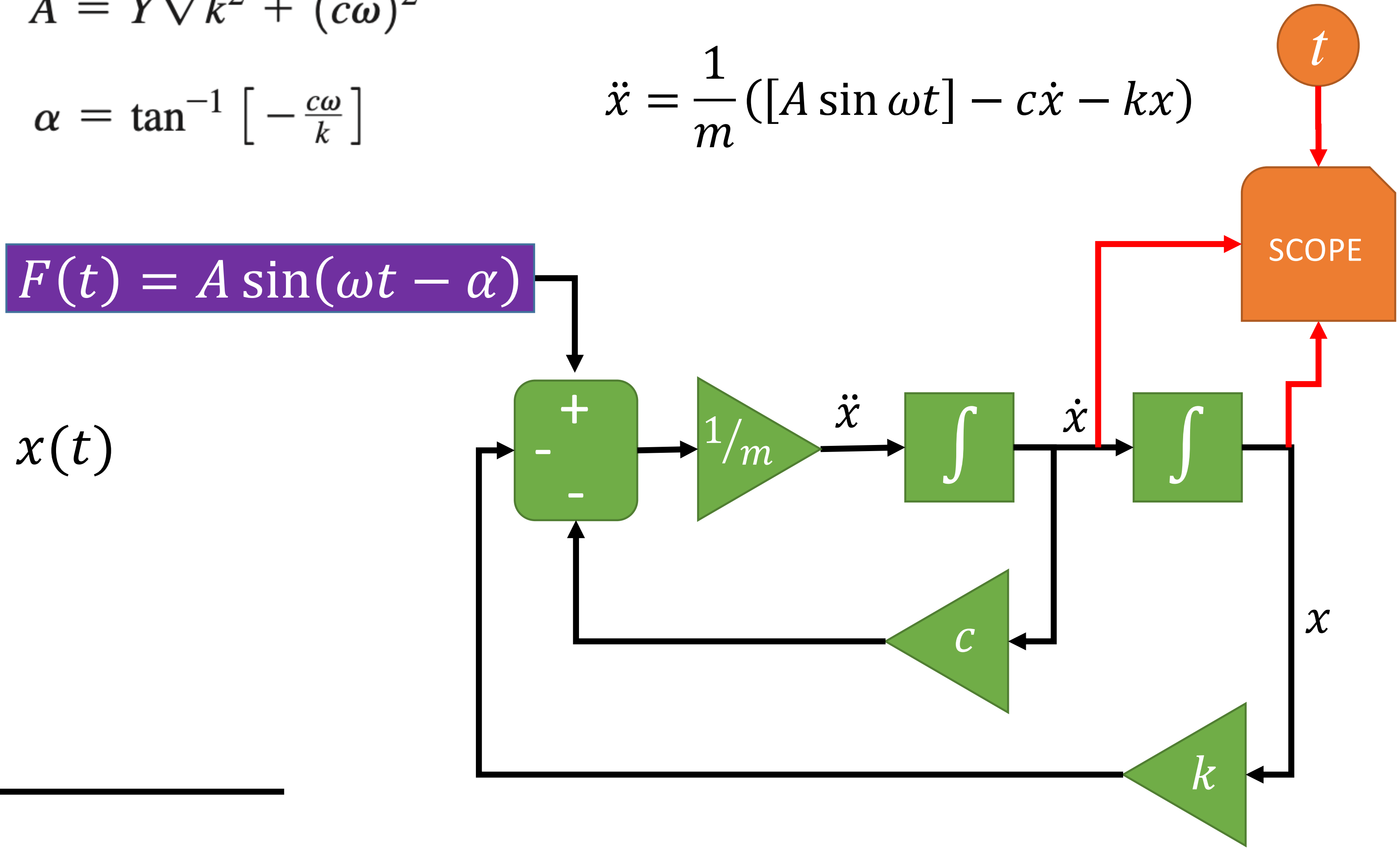


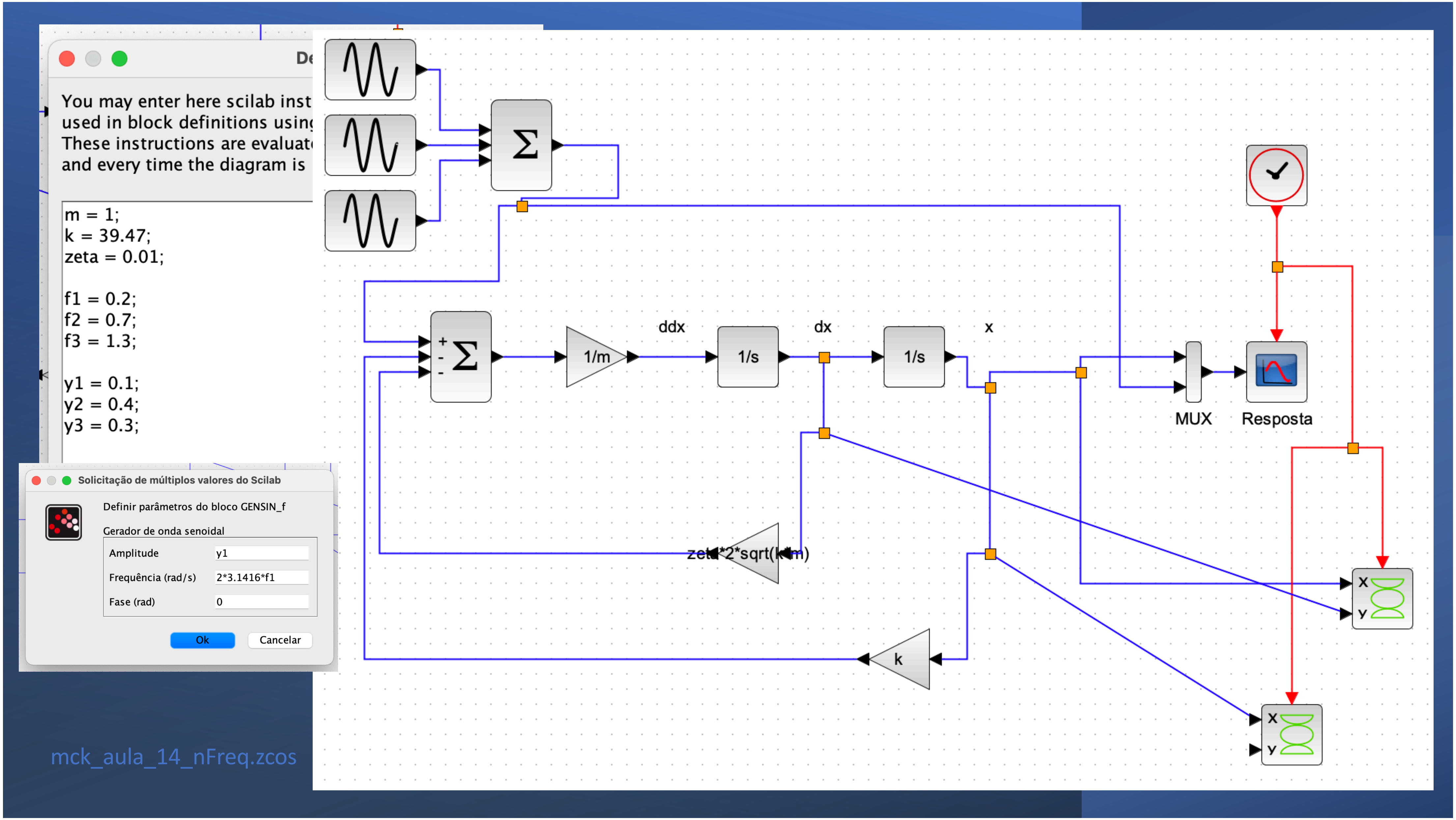
$$A = Y\sqrt{k^2 + (c\omega)^2}$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left[-\frac{c\omega}{k}\right]$$

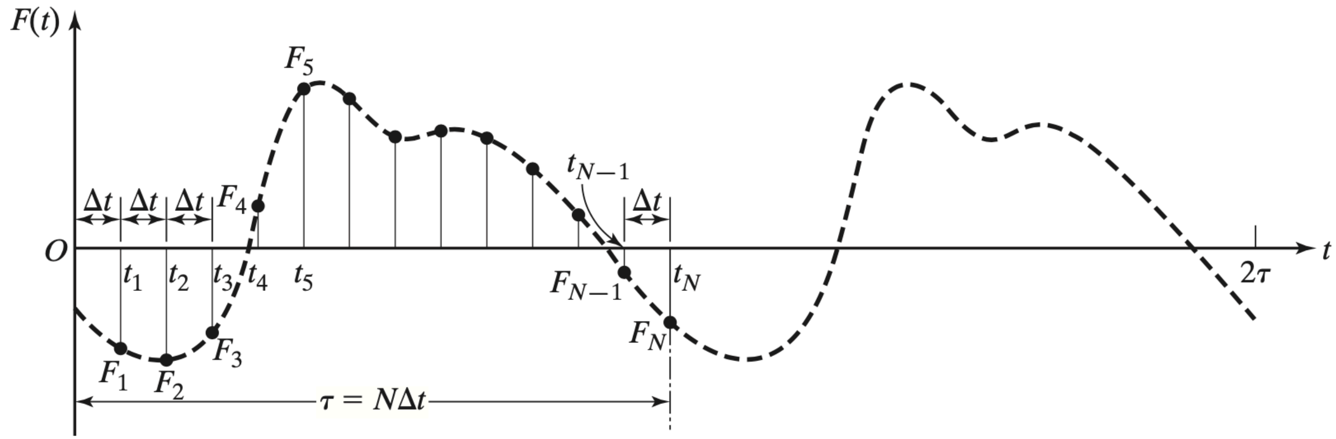
$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = A\sin(\omega t - \alpha)$$

$$\ddot{x} = \frac{1}{m}([A\sin\omega t] - c\dot{x} - kx)$$




You may enter here scilab inst
used in block definitions usin
These instructions are evaluat
and every time the diagram is
m = 1;
k = 39.47;
zeta = 0.01;
f1 = 0.2;
f2 = 0.7;
f3 = 1.3;
y1 = 0.1;
y2 = 0.4;
y3 = 0.3;
Solicitação de múltiplos valores do Scilab
Definir parâmetros do bloco GENSIN_f
Gerador de onda senoidal
Amplitude
y1
Frequência (rad/s)
2*3.1416*f1
Fase (rad)
0
Ok
Cancelar
ddx
dx
x
1/m
1/s
1/s
zeta*2*sqrt(k*m)
k
MUX
Resposta
mck_aula_14_nFreq.zcos

Força periódica de forma irregular (genérica)



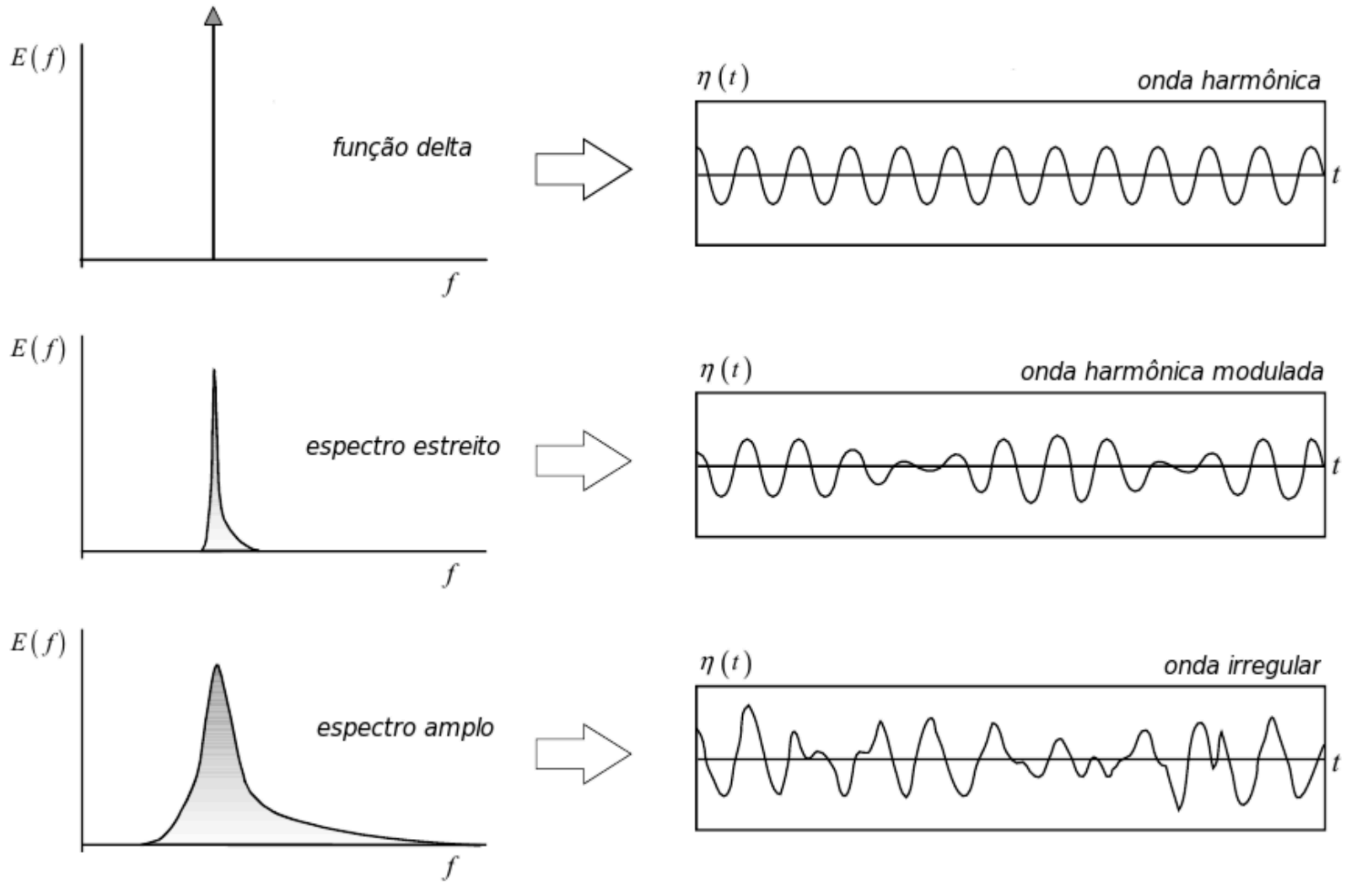
$$a_0 = \frac{2}{N}\sum_{i=1}^{N} F_i$$

$$a_j = \frac{2}{N}\sum_{i=1}^{N} F_i \cos\frac{2j\pi t_i}{\tau}, \qquad j = 1, 2, \ldots$$

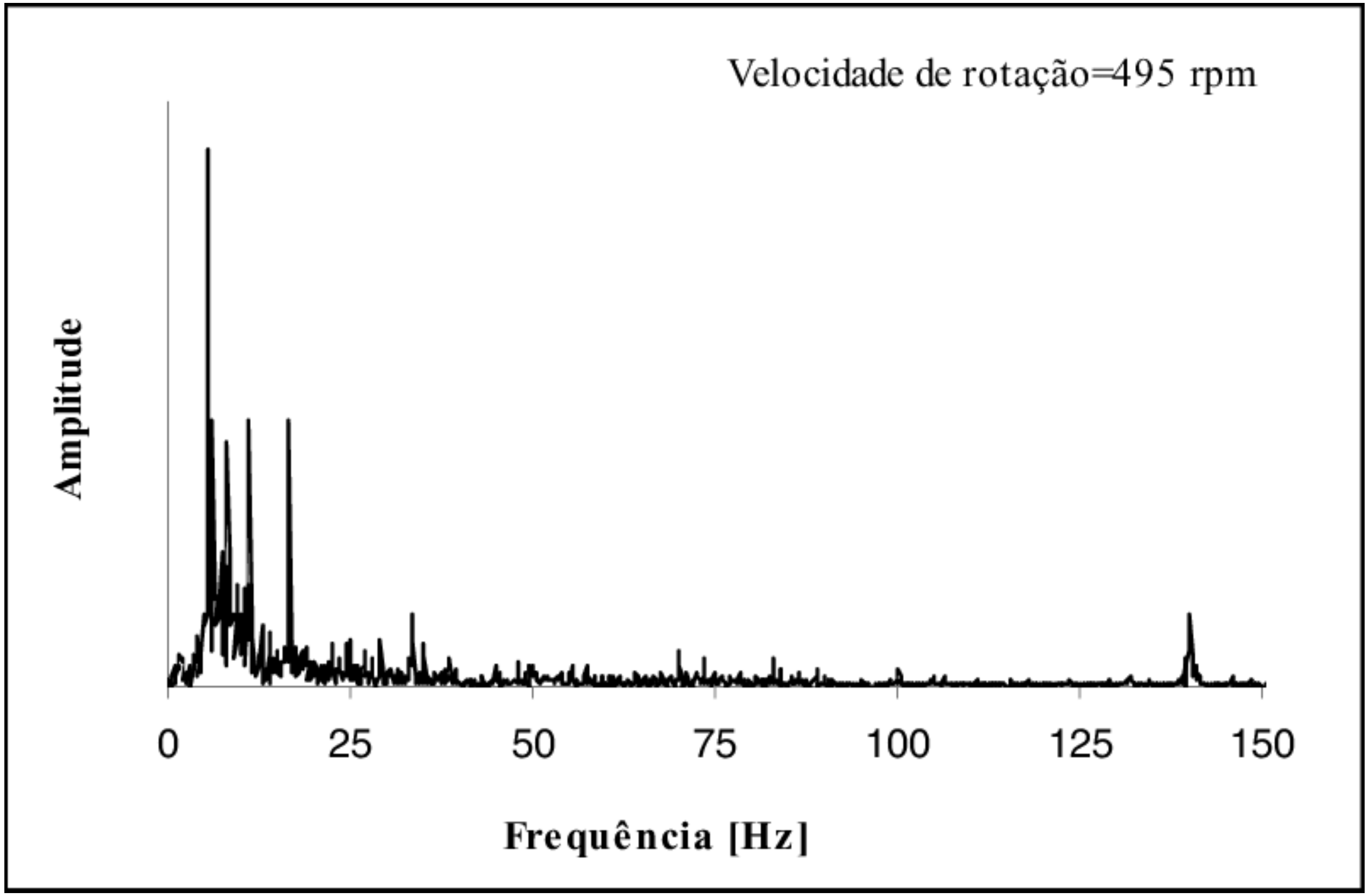
$$b_j = \frac{2}{N}\sum_{i=1}^{N} F_i \sin\frac{2j\pi t_i}{\tau}, \qquad j = 1, 2, \ldots$$

$$r = \left(\frac{2\pi}{\tau\omega_n}\right)$$

Espectro de frequência: exemplos



Espectro de frequência: exemplos



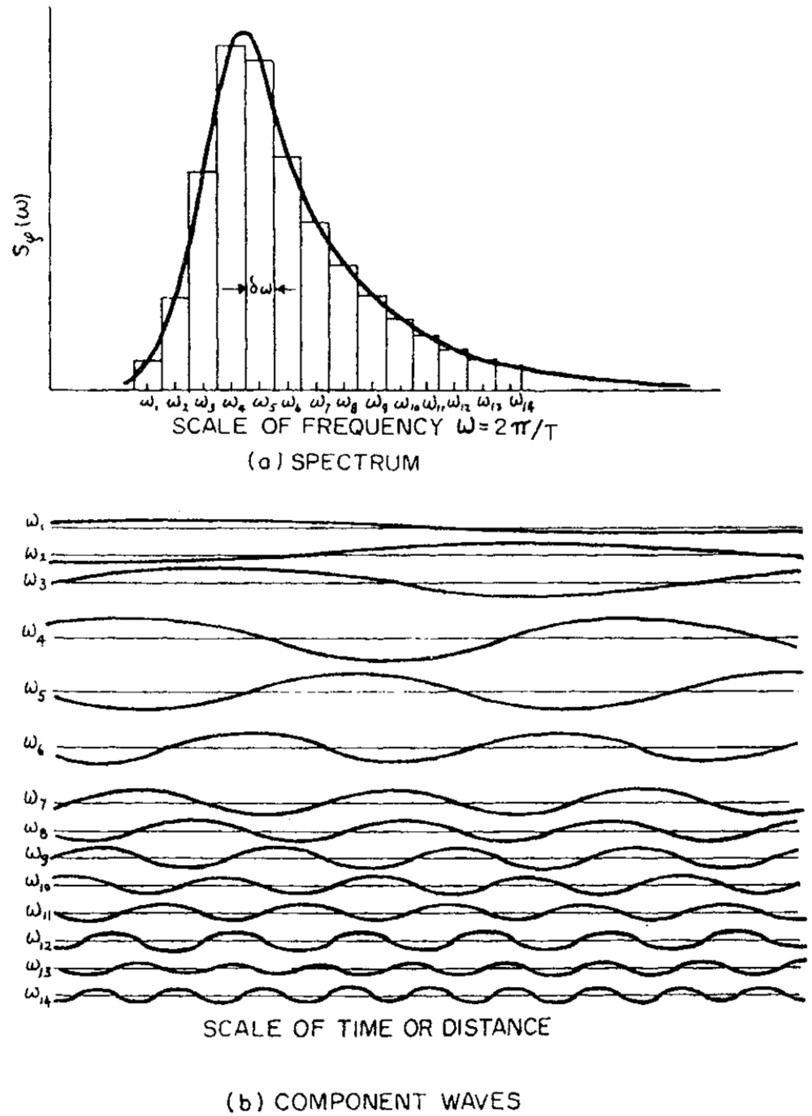
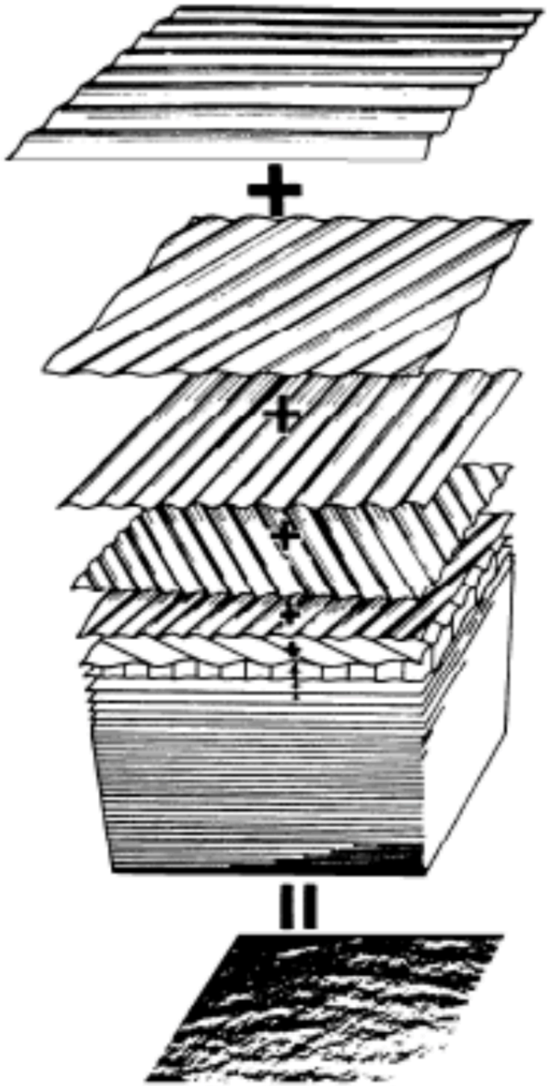
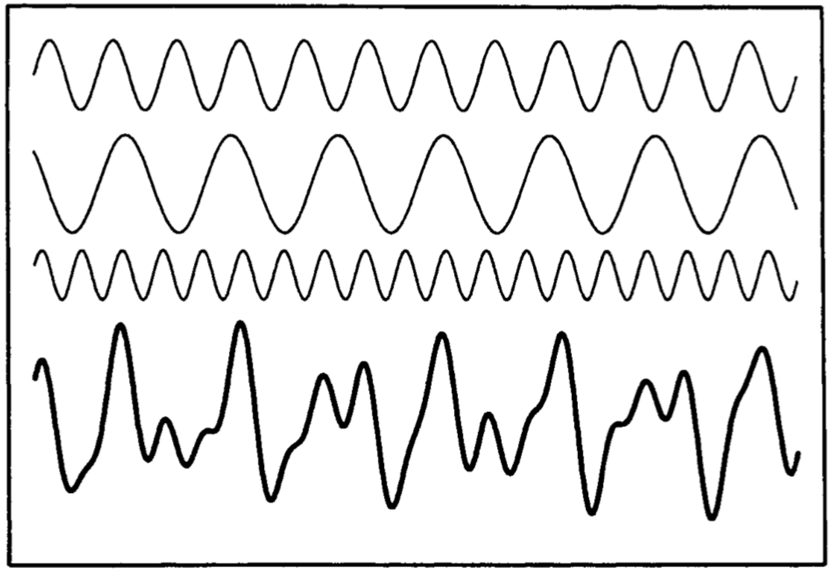
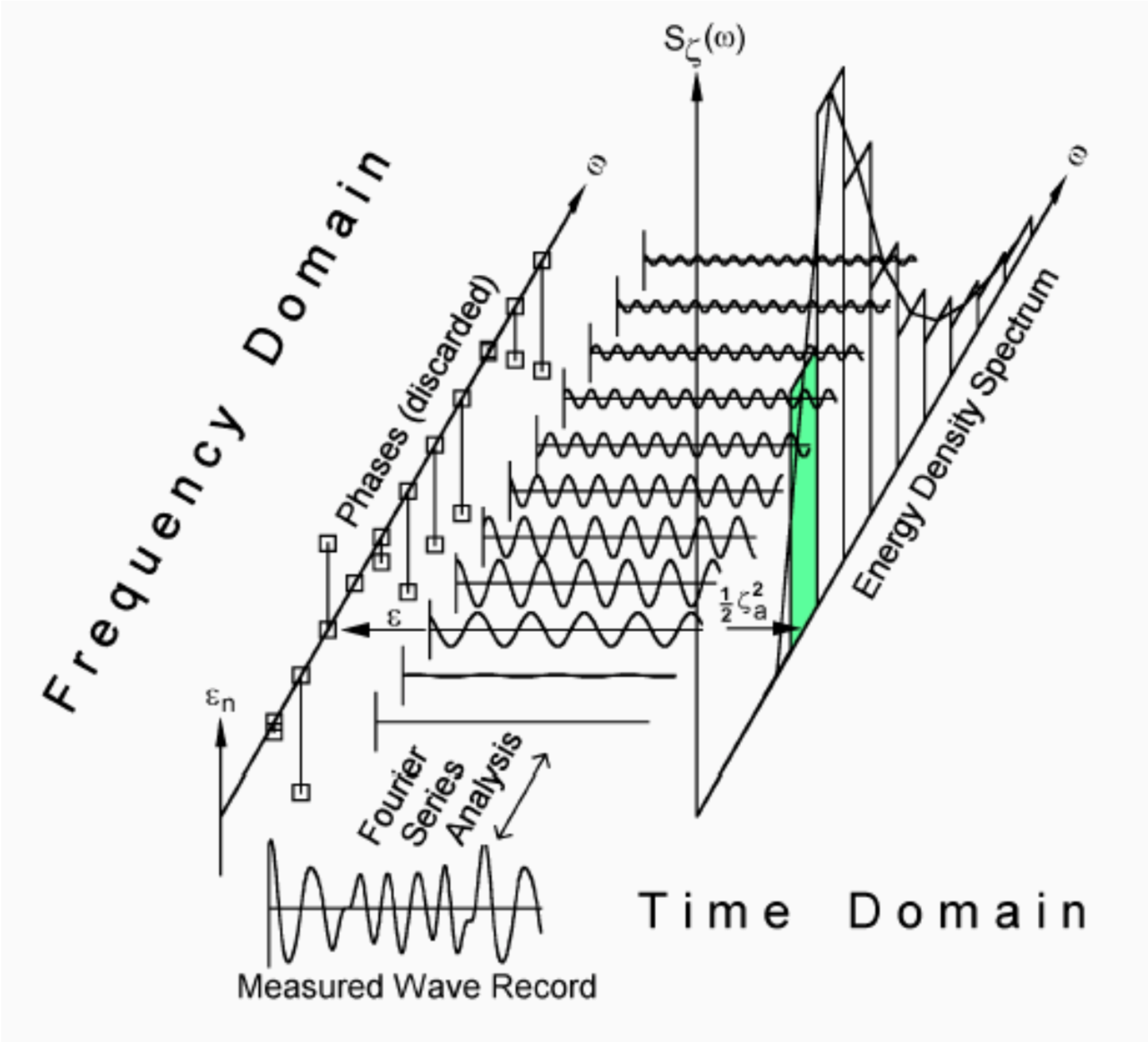


Fig. 8 Typical variance spectrum of waves, showing approximation by a finite sum of components



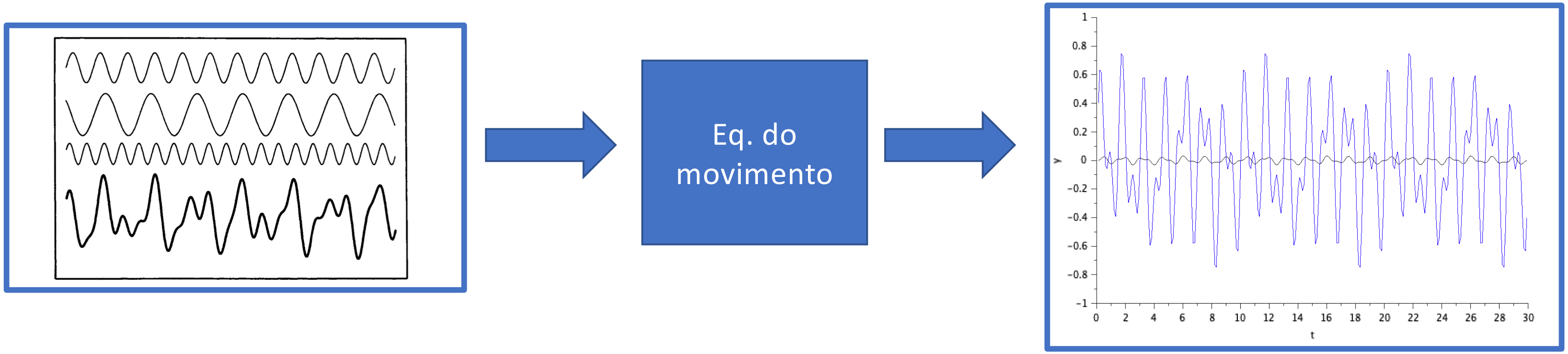
(Source: Pierson, Neuman and James)





Frequency Domain
Time Domain
$S_\zeta(\omega)$
ω
ω
Phases (discarded)
Energy Density Spectrum
ε
ε_n
$\frac{1}{2}\zeta_a^2$
Fourier Series Analysis
Measured Wave Record

Domínio do tempo...



Domínio da frequência...