Môn học

CƠ SỞ TỰ ĐỘNG

Biên soạn: TS. Huỳnh Thái Hoàng

Bộ môn điều khiển tự động

Khoa Điện – Điện Tử

Đại học Bách Khoa TPHCM

Email: hthoang@hcmut.edu.vn

Homepage: www4.hcmut.edu.vn/~hthoang/

Giảng viên: HTHoàng, NVHảo, NĐHoàng, BTHuyền, HHPhương, HMTrí

Chương 3

ĐẶC TÍNH ĐỘNG HỌC CỦA HỆ THỐNG

Nội dung chương 3

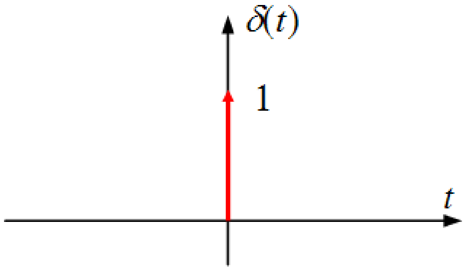
- Khái niệm đặc tính động học
  - Đặc tính thời gian
  - Đặc tính tần số
- Các khâu động học điển hình
- Đặc tính động học của hệ thống tự động

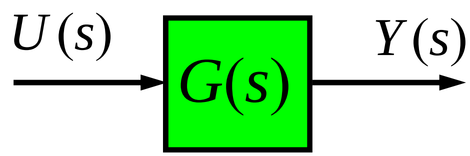
Khái niệm đặc tính động học

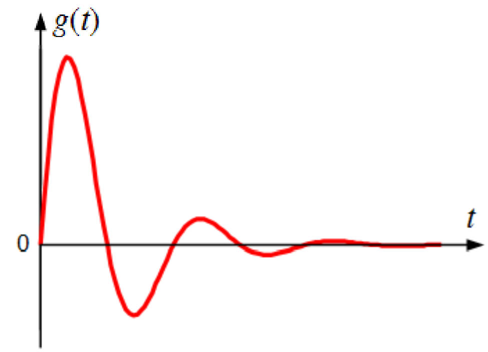
Khái niệm đặc tính động học

- Đặc tính động của hệ thống mô tả sự thay đổi tín hiệu ở đầu ra của hệ thống theo thời gian khi có tác động ở đầu vào.
- Những hệ thống được mô tả bằng mô hình toán học có dạng như nhau sẽ có đặc tính động học như nhau
- Để khảo sát đặc tính động của hệ thống tín hiệu vào thường được chọn là tín hiệu cơ bản như hàm xung đơn vị, hàm nấc đơn vị hay hàm điều hòa.
  - Đặc tính thời gian
    - Đáp ứng xung: tín hiệu vào là hàm dirac
    - Đáp ứng nấc: tín hiệu vào là hàm nấc
  - Đặc tính tần số: tín hiệu vào là hàm sin

Đáp ứng xung







- ✶ Đáp ứng xung: là đáp ứng của hệ thống khi tín hiệu vào là hàm dirac

$$Y(s) = U(s).G(s) = G(s) \qquad (\text{do } U(s) = 1)$$

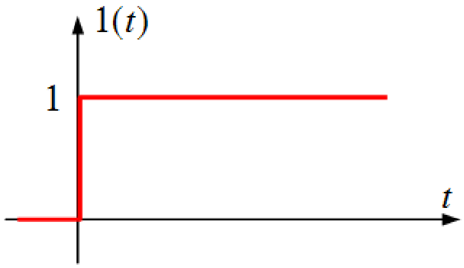
$$y(t) = \mathcal{L}^{-1}\{Y(s)\} = \mathcal{L}^{-1}\{G(s)\} = g(t)$$

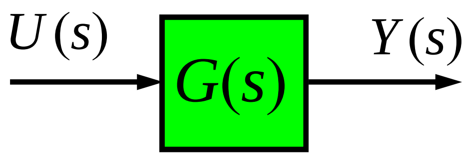
⇒ Đáp ứng xung chính là biến đổi Laplace ngược của hàm truyền

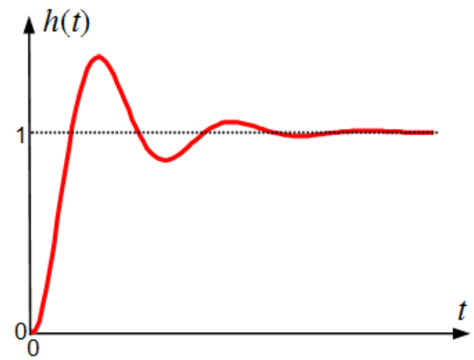
- ✶ Đáp ứng xung còn được gọi là hàm trọng lượng của hệ thống
- ✶ Có thể tính đáp ứng của hệ thống bằng cách lấy tích chập của đáp ứng xung và tín hiệu vào:

$$y(t) = g(t) * u(t) = \int_0^t g(\tau)u(t-\tau)d\tau$$

Đáp ứng nấc







★ Đáp ứng nấc: là đáp ứng của hệ thống khi tín hiệu vào là hàm nấc

$$Y(s) = U(s).G(s) = \frac{G(s)}{s} \qquad (\text{do } U(s) = 1)$$

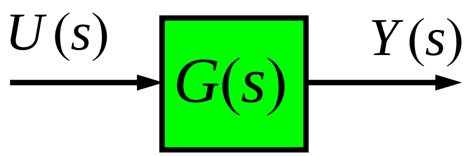
$$y(t) = \mathscr{L}^{-1}\{Y(s)\} = \mathscr{L}^{-1}\left\{\frac{G(s)}{s}\right\} = \int_0^t g(\tau)d\tau$$

$\Rightarrow$ Đáp ứng nấc chính là tích phân của đáp ứng xung

★ Đáp ứng nấc còn được gọi là hàm quá độ của hệ thống

Thí dụ tính đáp ứng xung và đáp ứng nấc

- Tính đáp ứng xung và đáp ứng nấc của hệ thống có hàm truyền là:



$$G(s) = \frac{s+1}{s(s+5)}$$

- Đáp ứng xung:

$$g(t) = \mathscr{L}^{-1}\{G(s)\} = \mathscr{L}^{-1}\left\{\frac{s+1}{s(s+5)}\right\} = \mathscr{L}^{-1}\left\{\frac{1}{5s} + \frac{4}{5(s+5)}\right\}$$

$$\Rightarrow \quad g(t) = \frac{1}{5} + \frac{4}{5}e^{-5t}$$

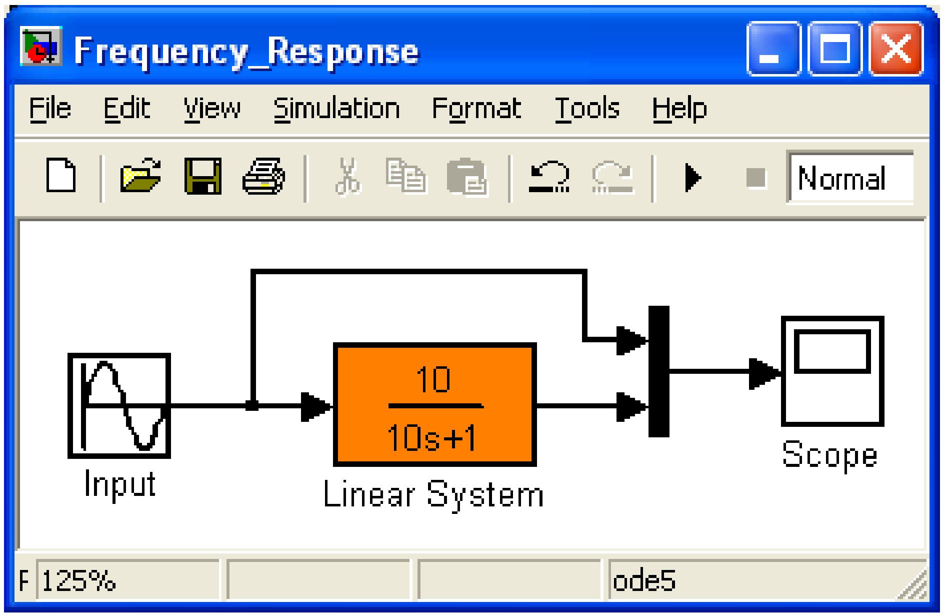
- Đáp ứng nấc:

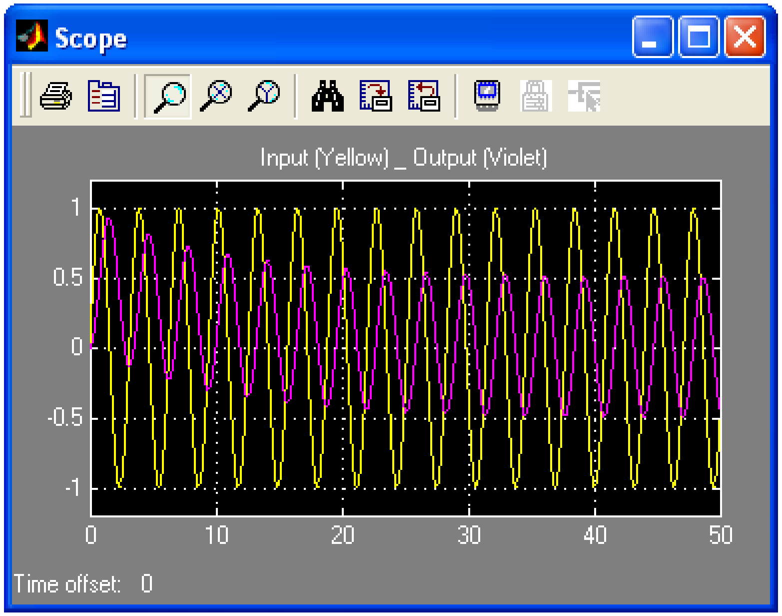
$$h(t) = \mathscr{L}^{-1}\left\{\frac{G(s)}{s}\right\} = \mathscr{L}^{-1}\left\{\frac{s+1}{s^2(s+5)}\right\} = \frac{4}{25s} + \frac{1}{5s^2} - \frac{4}{25(s+5)}$$

$$\Rightarrow \quad h(t) = \frac{1}{5}t - \frac{4}{25}e^{-5t} + \frac{4}{25}$$

Khái niệm đặc tính tần số

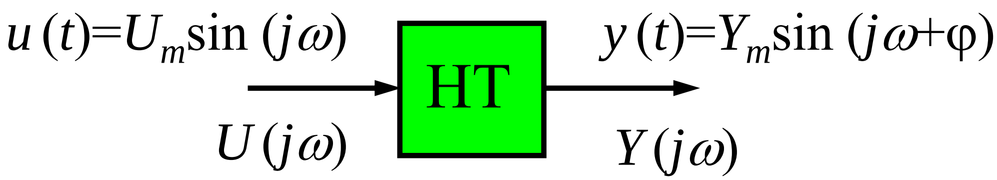
★ Hãy quan sát đáp ứng của hệ thống tuyến tính ở trạng thái xác lập khi tín hiệu vào là tín hiệu hình sin.





Khái niệm đặc tính tần số

- Hệ thống tuyến tính: khi tín hiệu vào là tín hiệu hình sin thì ở trạng thái xác lập tín hiệu ra cũng là tín hiệu hình sin cùng tần số với tín hiệu vào, khác biên độ và pha.



- Định nghĩa: Đặc tính tần số của hệ thống là tỉ số giữa tín hiệu ra ở trạng thái xác lập và tín hiệu vào hình sin .

$$\text{Đặc tính tần số} = \frac{Y(j\omega)}{U(j\omega)}$$

Người ta chứng minh được:

$$\text{Đặc tính tần số} = G(s)\big|_{s=j\omega} = G(j\omega)$$

Đáp ứng biên độ và đáp ứng pha

- Tổng quát $G(j\omega)$ là một hàm phức nên có thể biểu diễn dưới dạng đại số hoặc dạng cực:

$$G(j\omega) = P(\omega) + jQ(\omega) = M(\omega).e^{j\varphi(\omega)}$$

Trong đó:

$$M(\omega) = |G(j\omega)| = \sqrt{P^2(\omega) + Q^2(\omega)}$$

Đáp ứng biên độ

$$\varphi(\omega) = \angle G(j\omega) = tg^{-1}\left[\frac{Q(\omega)}{P(\omega)}\right]$$

Đáp ứng pha

- Ý nghĩa vật lý:
  - Đáp ứng biên độ cho biết tỉ lệ về biên độ (hệ số khuếch đại) giữa tín hiệu ra và tín hiệu vào theo tần số.
  - Đáp ứng pha cho biết độ lệch pha giữa tín hiệu ra và tín hiệu vào theo tần số.

Biểu đồ Bode và biểu đồ Nyquist

- ***Biểu đồ Bode:*** là hình vẽ gồm 2 thành phần:
  - ***Biểu đồ Bode về biên độ***: là đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa logarith của đáp ứng biên độ $L(\omega)$ theo tần số ω

$$L(\omega) = 20\lg M(\omega) \qquad [\text{dB}]$$

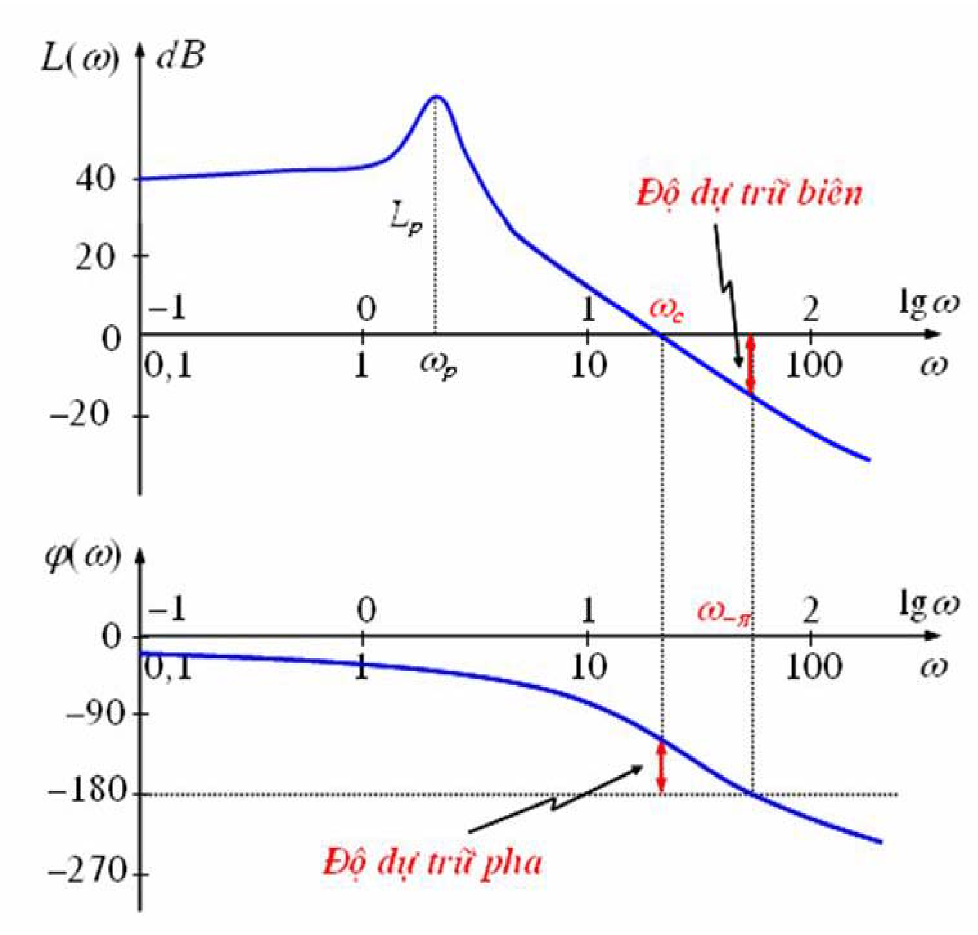
  - ***Biểu đồ Bode về pha***: là đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa đáp ứng pha $\varphi(\omega)$ theo tần số ω.

  Cả hai đồ thị trên đều được vẽ trong hệ tọa độ vuông góc với trục hoành ω được chia theo thang logarith cơ số 10.

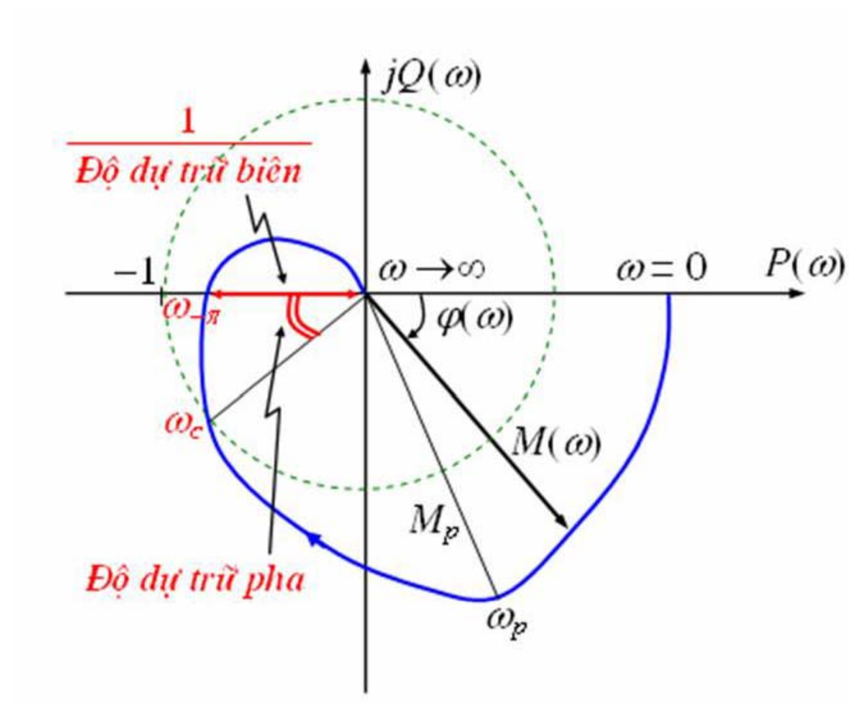
- ***Biểu đồ Nyquist:*** (đường cong Nyquist) là đồ thị biểu diễn đặc tính tần số $G(j\omega)$ trong hệ tọa độ cực khi ω thay đổi từ $0 \rightarrow \infty$.

Biểu đồ Bode và biểu đồ Nyquist

Biểu đồ Bode



Biểu đồ Nyquist



Các thông số quan trọng của đặc tính tần số

- Tần số cắt biên (ω_c): là tần số mà tại đó biên độ của đặc tính tần số bằng 1 (hay bằng 0 dB).

$$M(\omega_c) = 1 \quad \Leftrightarrow \quad L(\omega_c) = 0$$

- Tần số cắt pha ($\omega_{-\pi}$): là tần số mà tại đó pha của đặc tính tần số bằng -180^0 (hay bằng $-\pi$ radian).

$$\varphi(\omega_{-\pi}) = -180^0 \quad \Leftrightarrow \quad \varphi(\omega_{-\pi}) = -\pi \text{ rad}$$

- Độ dự trữ biên (GM – Gain Margin):

$$GM = \frac{1}{M(\omega_{-\pi})} \quad \Leftrightarrow \quad GM = -L(\omega_{-\pi}) \quad [\text{dB}]$$

- Độ dự trữ pha (ΦM – Phase Margin):

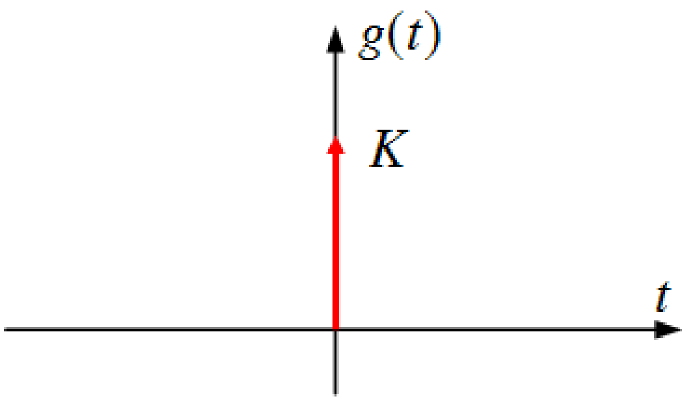
$$\Phi M = 180^0 + \varphi(\omega_c)$$

Đặc tính động học các khâu điển hình

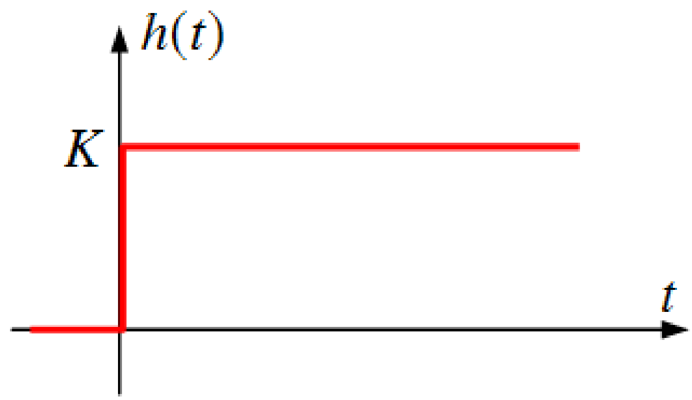
Khâu tỉ lệ

- Hàm truyền: $G(s) = K$
- Đặc tính thời gian:
  - Đáp ứng xung: $g(t) = K\delta(t)$
  - Đáp ứng nấc: $h(t) = K\,1(t)$
- Đặc tính tần số: $G(j\omega) = K$
  - Biên độ: $M(\omega) = K \quad \Rightarrow \quad L(\omega) = 20\lg K$
  - Pha: $\varphi(\omega) = 0$

Khâu tỉ lệ

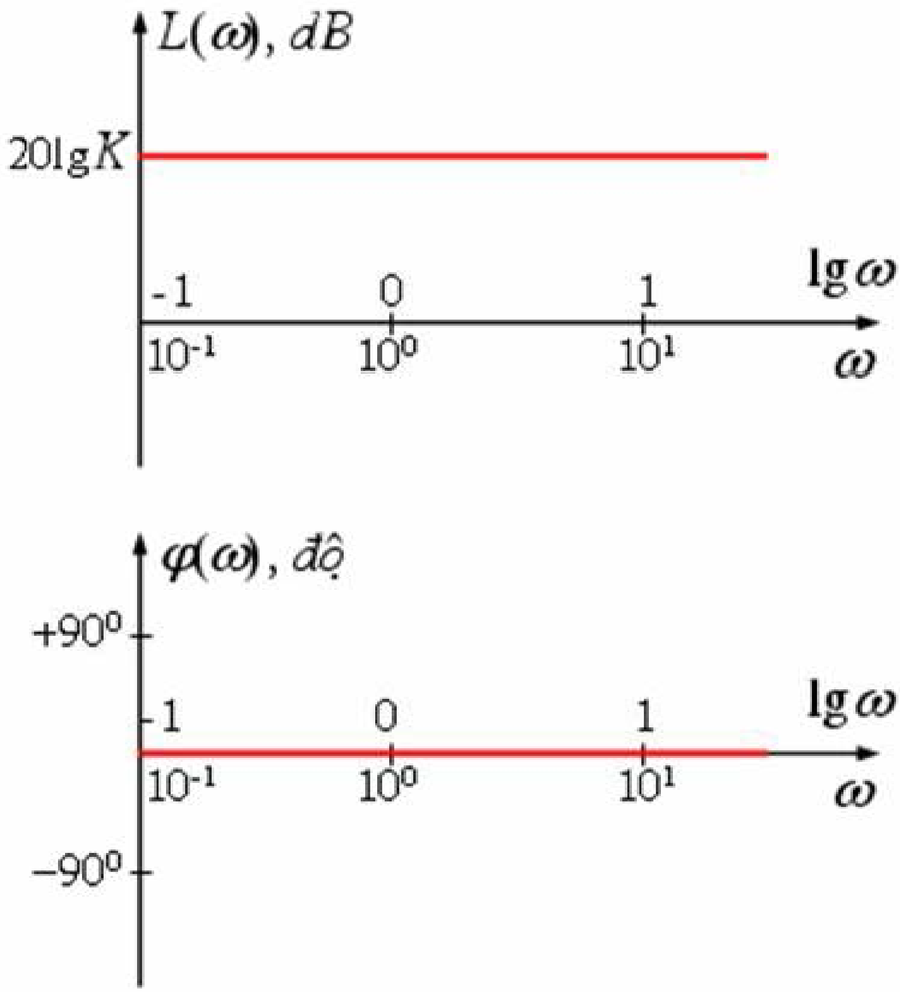


(a) *Hàm trọng lượng*

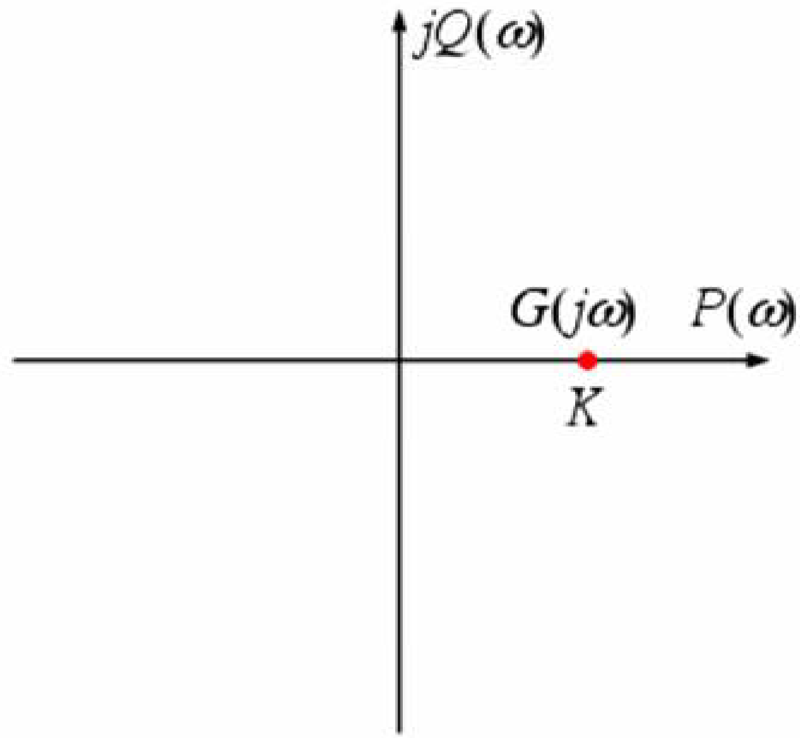


(b) *Hàm quá độ*

Khâu tỉ lệ



Biểu đồ Bode

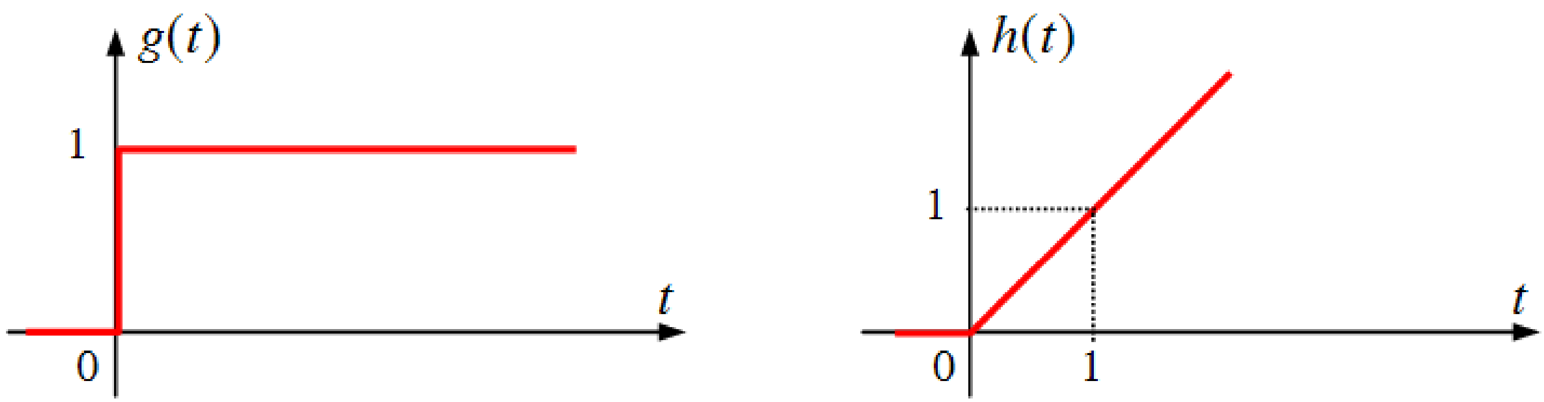


Biểu đồ Nyquist

Khâu tích phân lý tưởng

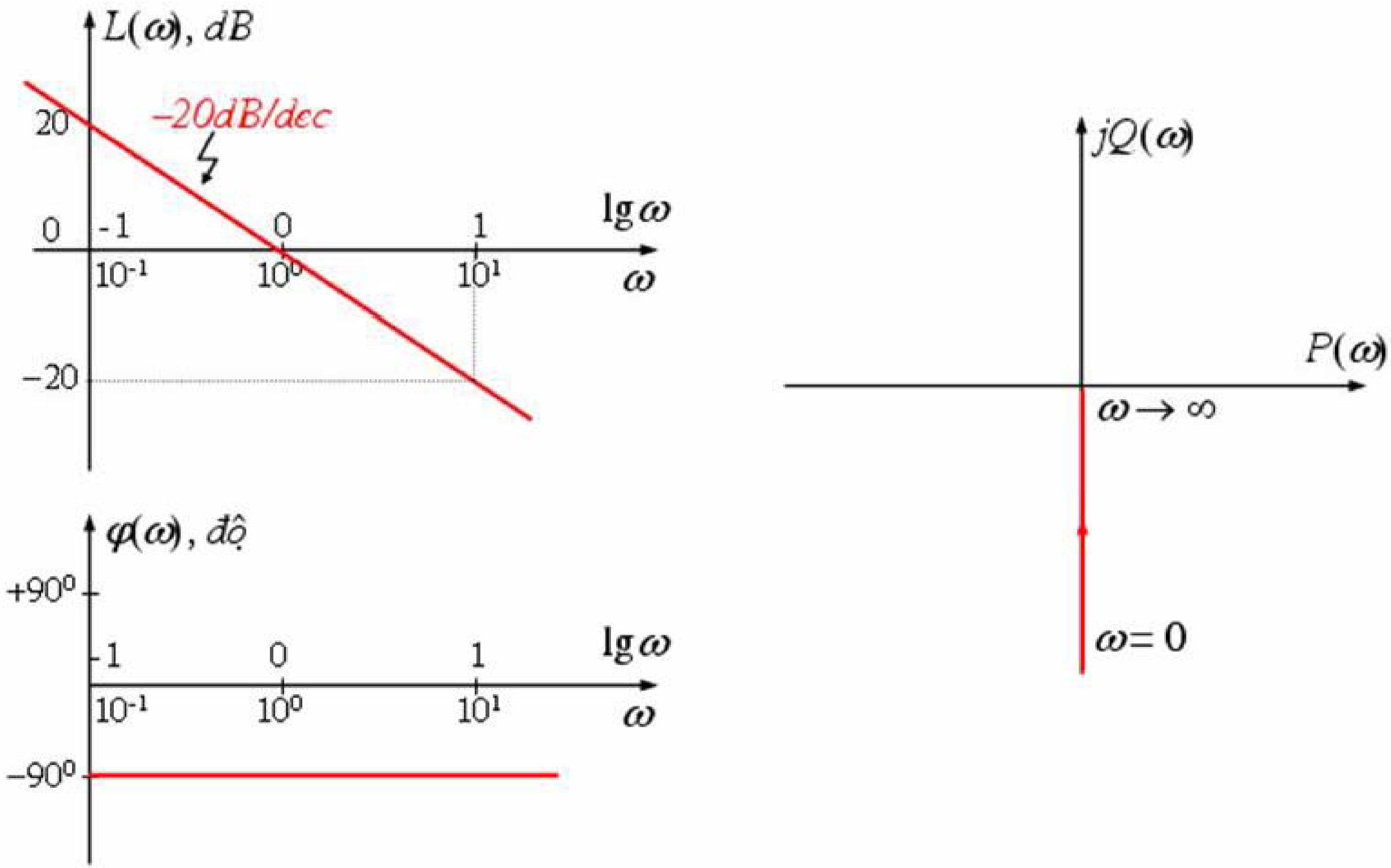
- Hàm truyền: $G(s) = \dfrac{1}{s}$
- Đặc tính thời gian:
  - Đáp ứng xung: $g(t) = K1(t)$
  - Đáp ứng nấc: $h(t) = Kt\,1(t)$
- Đặc tính tần số: $G(j\omega) = \dfrac{1}{j\omega} = -j\dfrac{1}{\omega}$
  - Biên độ: $M(\omega) = \dfrac{1}{\omega} \quad \Rightarrow \quad L(\omega) = -20\lg\omega$
  - Pha: $\varphi(\omega) = -90^0$

Khâu tích phân lý tưởng



(a) *Hàm trọng lượng* (b) *Hàm quá độ*

Khâu tích phân lý tưởng

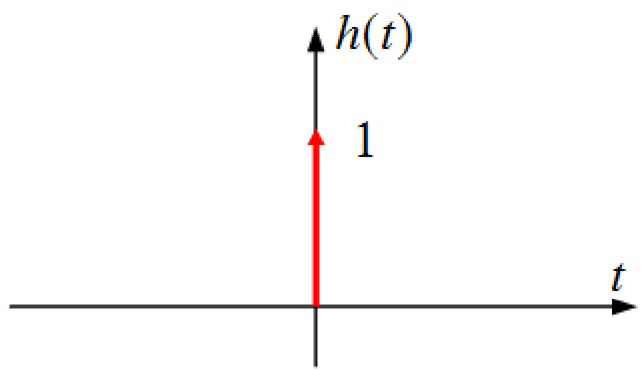


Biểu đồ Bode *Biểu đồ Nyquist*

Khâu vi phân lý tưởng

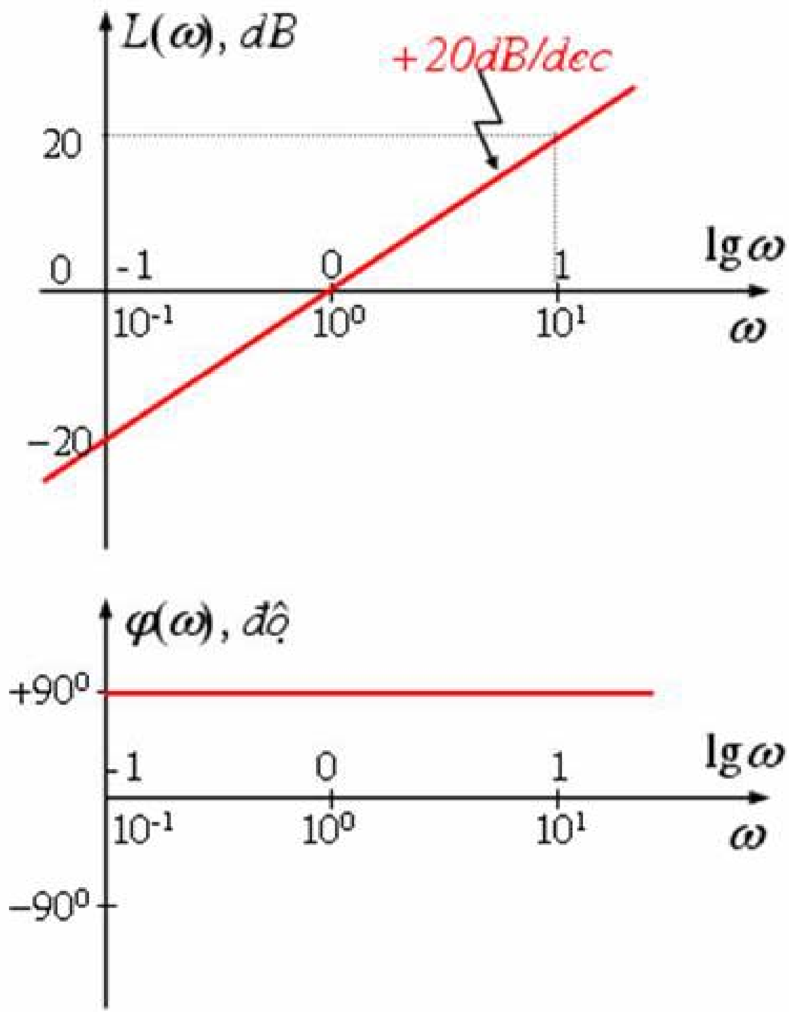
- Hàm truyền: $G(s) = s$
- Đặc tính thời gian:
  - Đáp ứng xung: $g(t) = K\dot{\delta}(t)$
  - Đáp ứng nấc: $h(t) = K\,\delta(t)$
- Đặc tính tần số: $G(j\omega) = j\omega$
  - Biên độ: $M(\omega) = \omega \quad \Rightarrow \quad L(\omega) = 20\lg\omega$
  - Pha: $\varphi(\omega) = 90^0$

Khâu vi phân lý tưởng

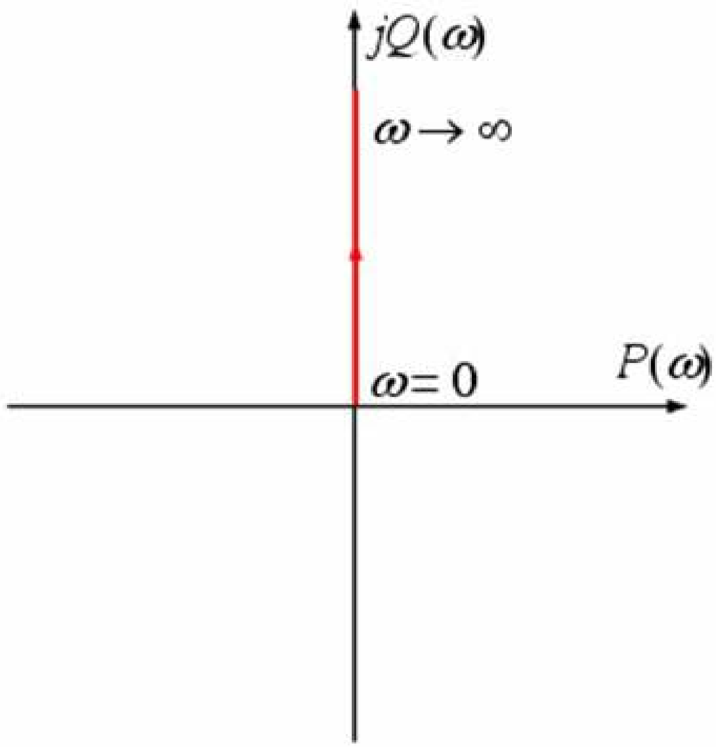


Hàm quá độ

Khâu vi phân lý tưởng



Biểu đồ Bode

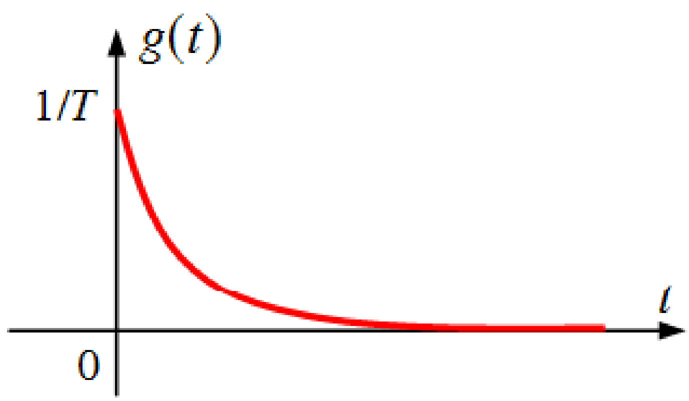


Biểu đồ Nyquist

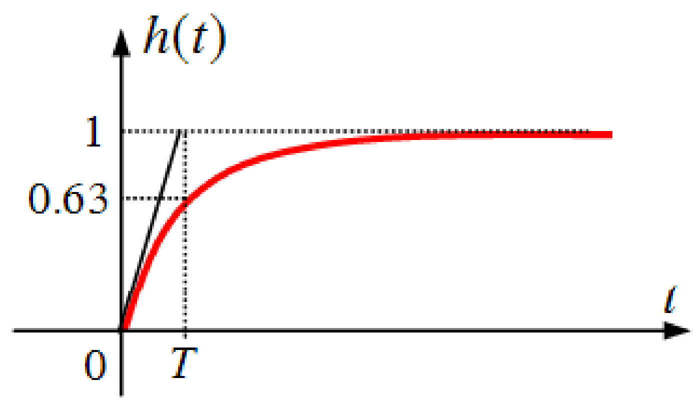
Khâu quán tính bậc 1

- Hàm truyền: $$G(s) = \frac{1}{Ts+1}$$
- Đặc tính thời gian:
  - Đáp ứng xung: $$g(t) = \mathscr{L}^{-1}\left\{\frac{1}{Ts+1}\right\} = \frac{1}{T}e^{-\frac{t}{T}}1(t)$$
  - Đáp ứng nấc: $$h(t) = \mathscr{L}^{-1}\left\{\frac{1}{s(Ts+1)}\right\} = (1-e^{-\frac{t}{T}})1(t)$$

Khâu quán tính bậc 1



(a) *Hàm trọng lượng*

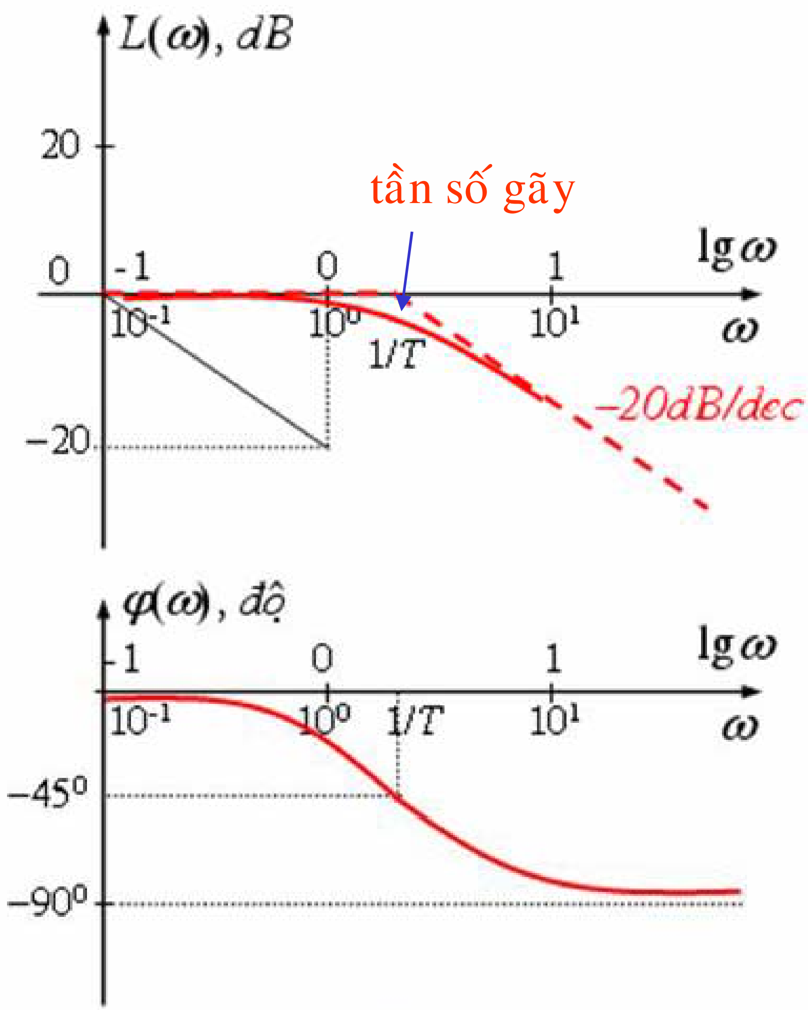


(b) *Hàm quá độ*

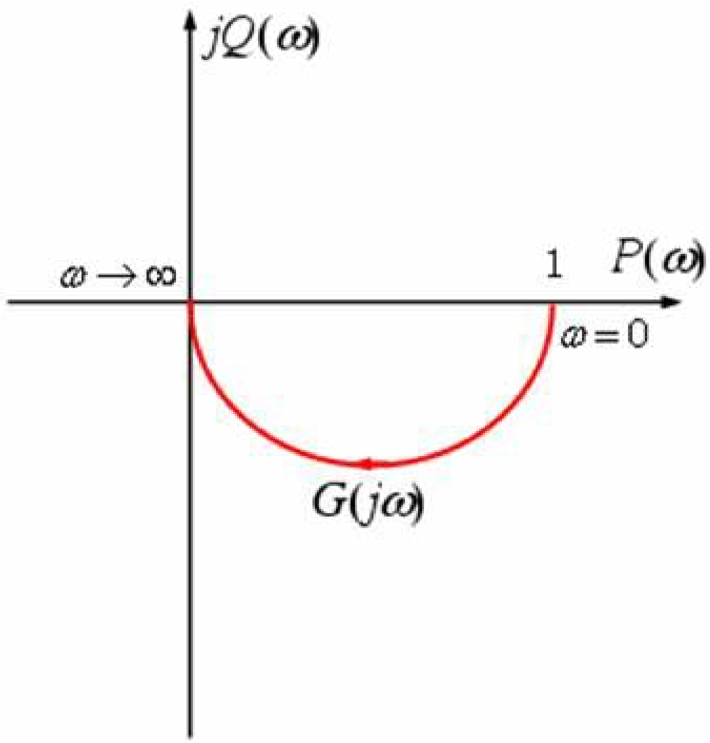
Khâu quán tính bậc 1

- Đặc tính tần số: $G(j\omega) = \dfrac{1}{Tj\omega + 1}$
  - Biên độ: $M(\omega) = \dfrac{1}{\sqrt{1+T^2\omega^2}} \quad \Rightarrow \quad L(\omega) = -20\lg\sqrt{1+T^2\omega^2}$
  - Pha: $\varphi(\omega) = -tg^{-1}(T\omega)$
- Vẽ gần đúng biểu đồ Bode biên độ:
  - $\omega < \dfrac{1}{T}$: đường thẳng nằm ngang trùng trục hoành
  - $\omega > \dfrac{1}{T}$: đường thẳng có độ dốc –20dB/dec

Khâu quán tính bậc 1



Biểu đồ Bode



Biểu đồ Nyquist

Khâu sớm pha bậc 1

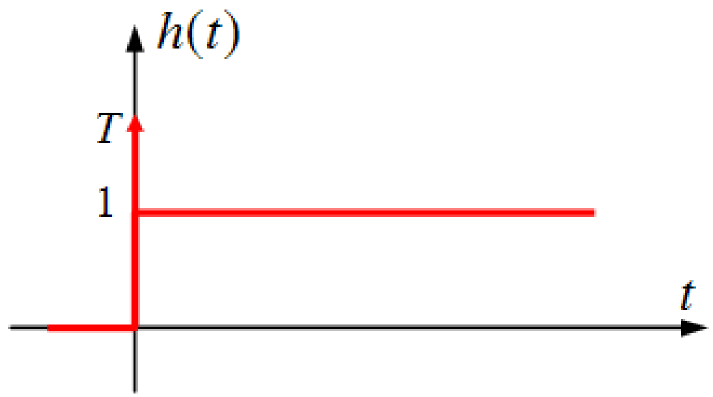
- Hàm truyền: $G(s) = Ts + 1$

- Đặc tính thời gian:

  - Đáp ứng nấc
  $$h(t) = \mathscr{L}^{-1}\left\{\frac{(Ts+1)}{s}\right\} = T\delta(t) + 1(t)$$

  - Đáp ứng xung
  $$g(t) = \dot{h}(t) = T\dot{\delta}(t) + \delta(t)$$

Khâu sớm pha bậc 1

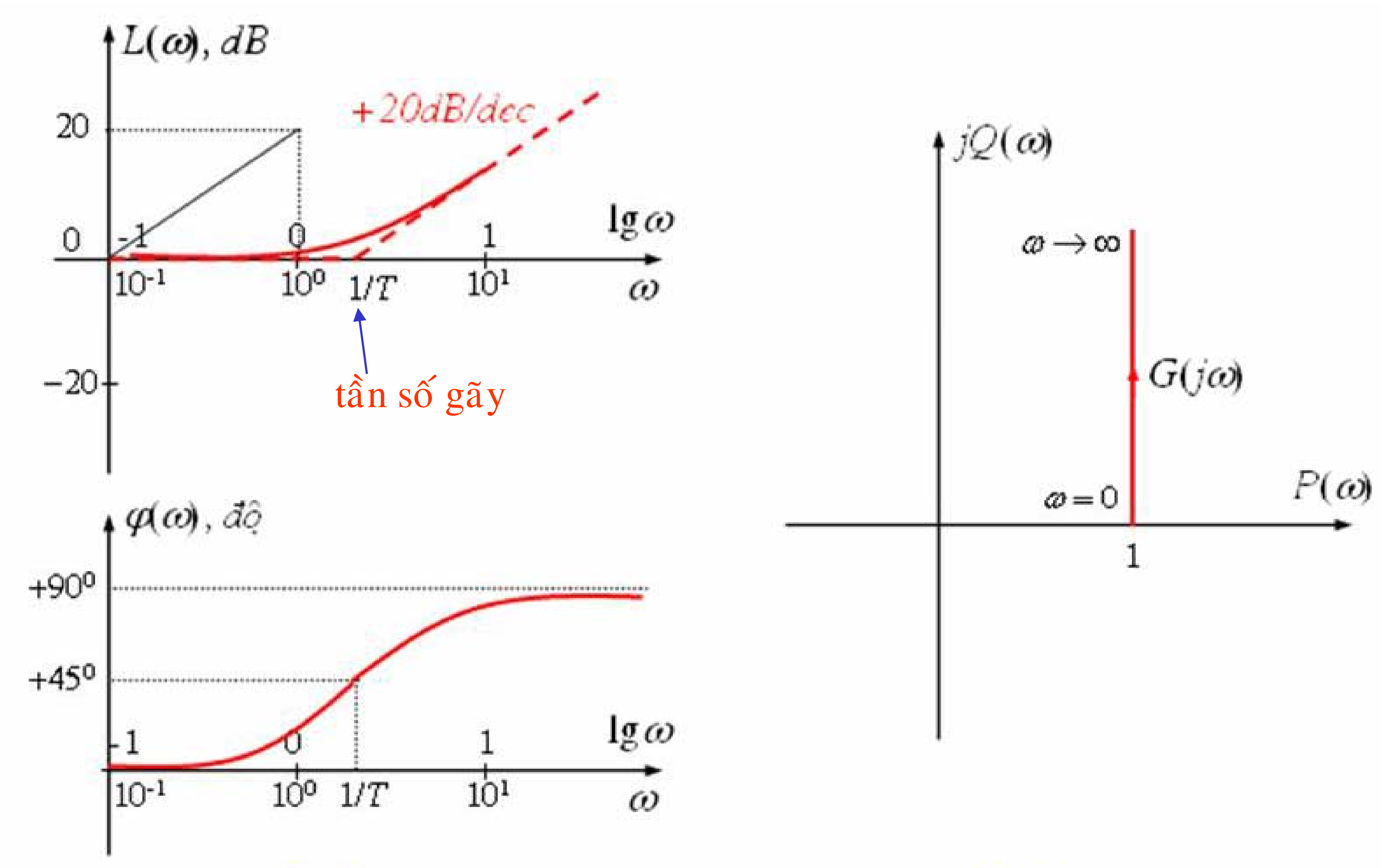


Hàm quá độ

Khâu sớm pha bậc 1

- Đặc tính tần số: $G(j\omega) = Tj\omega + 1$
  - Biên độ: $M(\omega) = \sqrt{1 + T^2\omega^2} \quad \Rightarrow \quad L(\omega) = 20\lg\sqrt{1 + T^2\omega^2}$
  - Pha: $\varphi(\omega) = tg^{-1}(T\omega)$
- Vẽ gần đúng biểu đồ Bode biên độ:
  - $\omega < \dfrac{1}{T}$: đường thẳng nằm ngang trùng trục hoành
  - $\omega > \dfrac{1}{T}$: đường thẳng có độ dốc +20dB/dec

Khâu sớm pha bậc 1

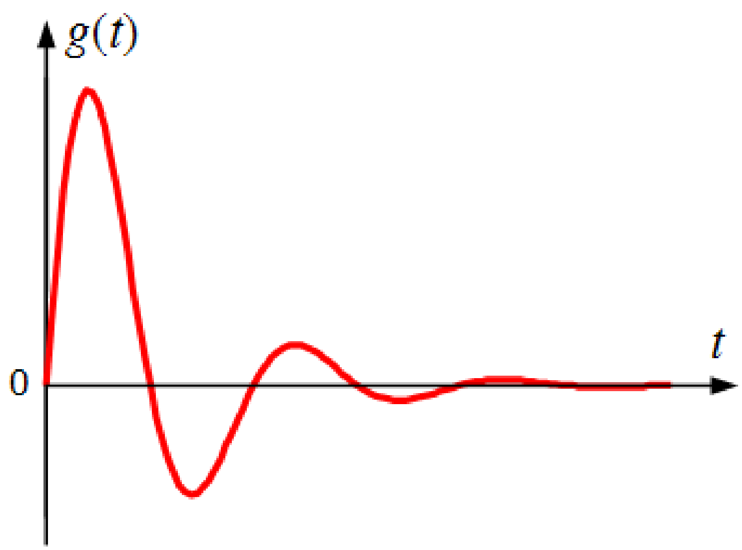


Biểu đồ Bode *Biểu đồ Nyquist*

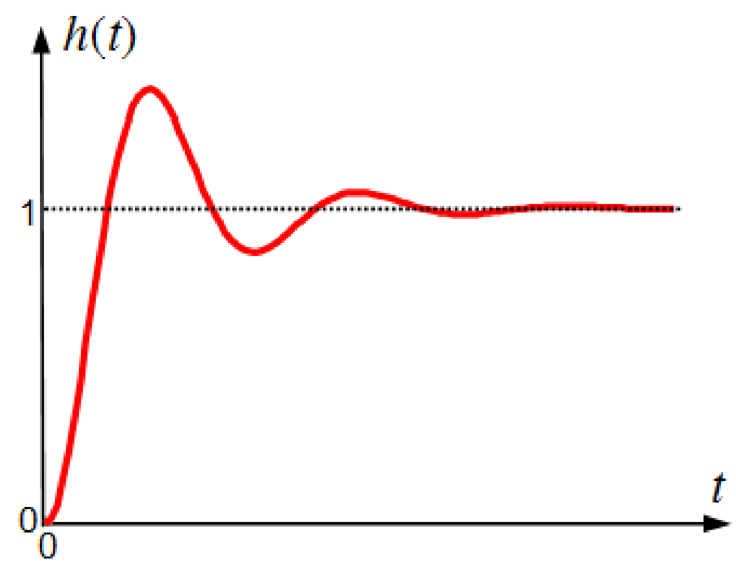
Khâu dao động bậc 2

- Hàm truyền: $G(s) = \dfrac{1}{T^2 s^2 + 2\xi T s + 1}$ $\quad (0 < \xi < 1)$
- Đặc tính thời gian:
  - Đáp ứng xung: $g(t) = \dfrac{\omega_n e^{-\xi\omega_n t}}{\sqrt{1-\xi^2}} \sin\left[(\omega_n\sqrt{1-\xi^2})t\right]$
  - Đáp ứng nấc: $h(t) = 1 - \dfrac{e^{-\xi\omega_n t}}{\sqrt{1-\xi^2}} \sin\left[(\omega_n\sqrt{1-\xi^2})t + \theta\right]$

Khâu dao động bậc 2



(a) *Hàm trọng lượng*



(b) *Hàm quá độ*

Khâu dao động bậc 2

★ Đặc tính tần số: $G(j\omega) = \dfrac{1}{-T^2\omega^2 + 2\xi Tj\omega + 1}$

⅄ Biên độ: $M(\omega) = \dfrac{1}{\sqrt{(1 - T^2\omega^2)^2 + 4\xi^2T^2\omega^2}}$

$\Rightarrow \quad L(\omega) = -20\lg\sqrt{(1 - T^2\omega^2)^2 + 4\xi^2T^2\omega^2}$

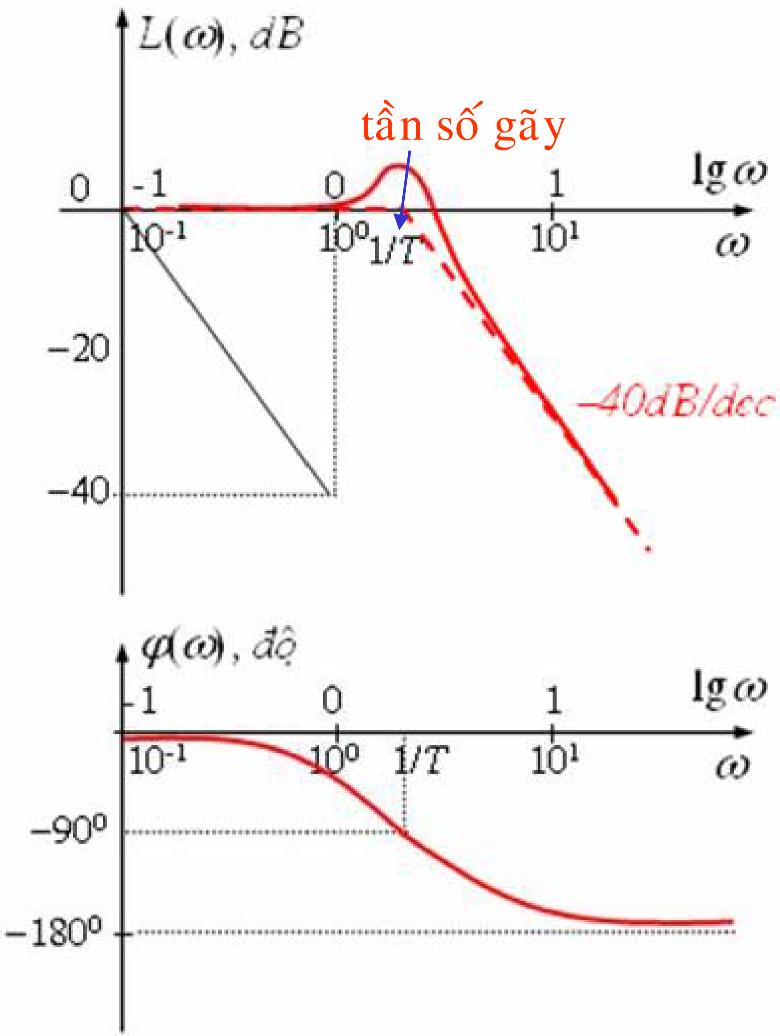
⅄ Pha: $\varphi(\omega) = -tg^{-1}\left(\dfrac{2\xi T\omega}{1 - T^2\omega^2}\right)$

★ Vẽ gần đúng biểu đồ Bode biên độ:

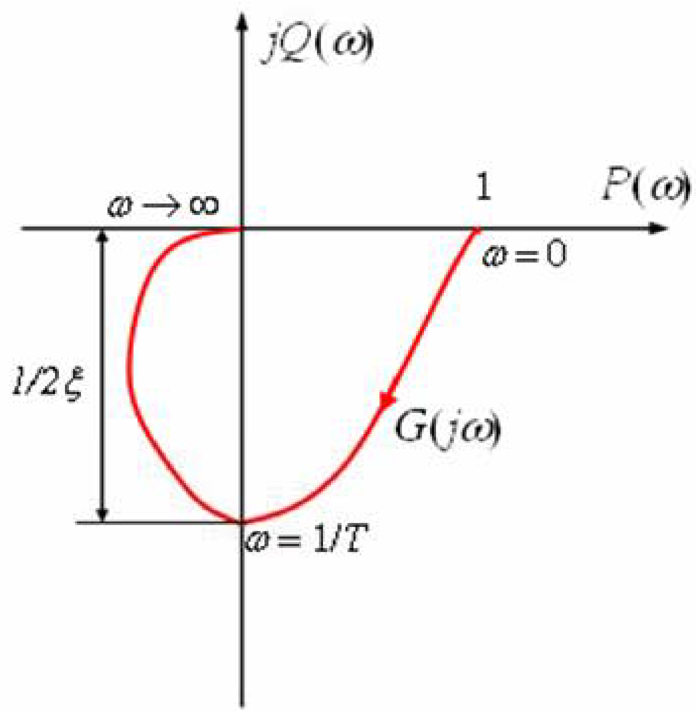
⅄ $\omega < 1/T$: đường thẳng nằm ngang trùng trục hoành

⅄ $\omega > 1/T$: đường thẳng có độ dốc –40dB/dec

Khâu dao động bậc 2



Biểu đồ Bode



Biểu đồ Nyquist

Khâu trì hoãn

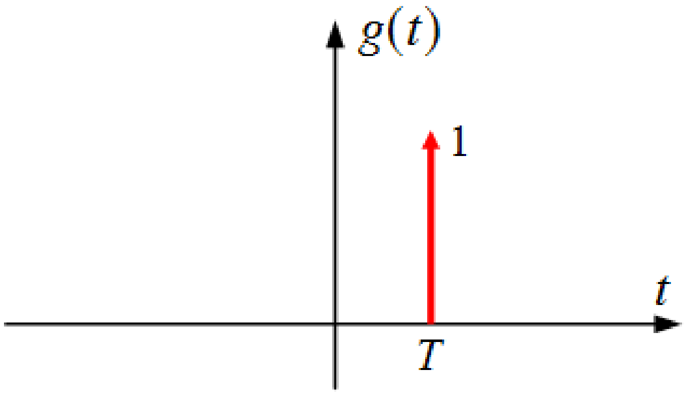
- Hàm truyền: $G(s) = e^{-Ts}$

- Đặc tính thời gian:

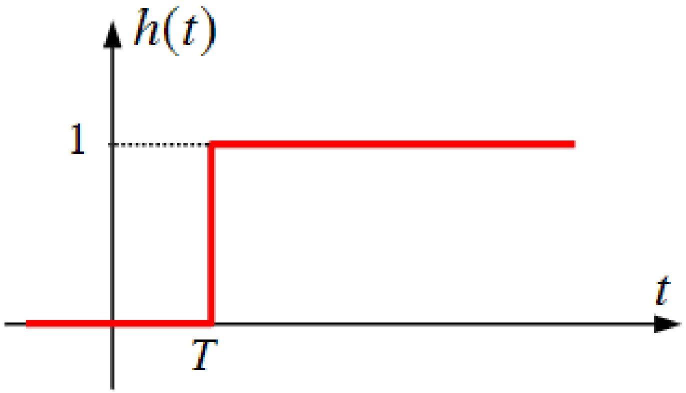
  - Đáp ứng xung: $g(t) = \mathscr{L}^{-1}\left\{e^{-Ts}\right\} = \delta(t - T)$

  - Đáp ứng nấc: $h(t) = \mathscr{L}^{-1}\left\{\dfrac{e^{-Ts}}{s}\right\} = 1(t - T)$

Khâu trễ (khâu trì hoãn)



(a) *Hàm trọng lượng*



(b) *Hàm quá độ*

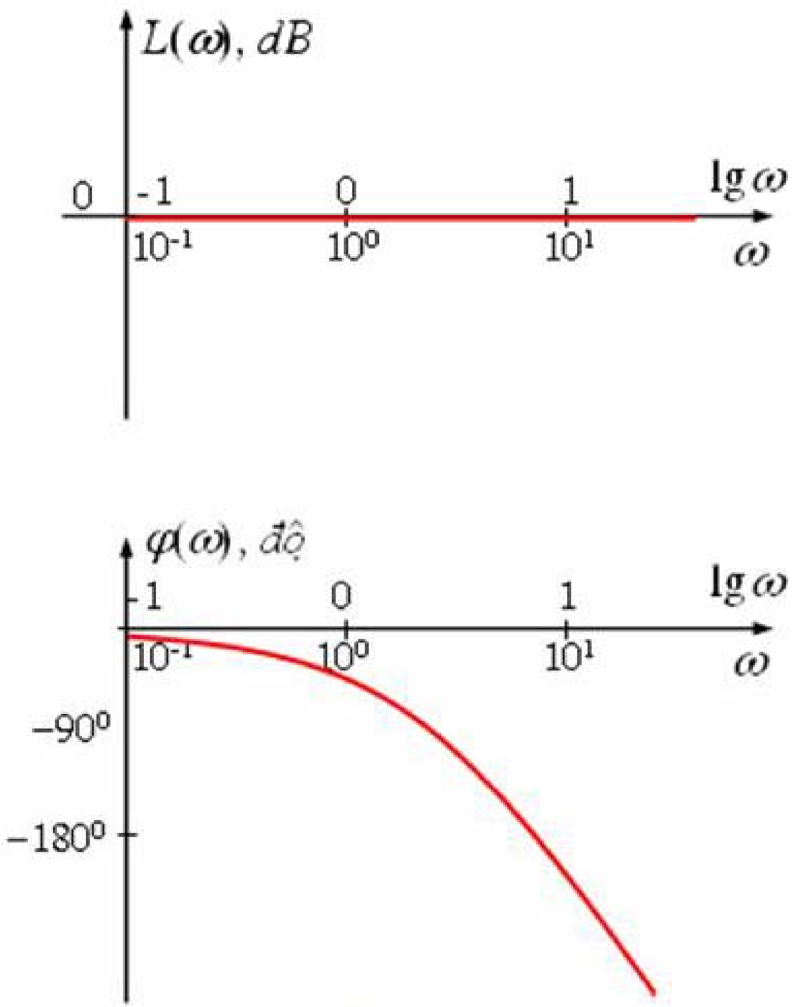
Khâu trễ (khâu trì hoãn)

- Đặc tính tần số: $G(j\omega) = e^{-Tj\omega}$

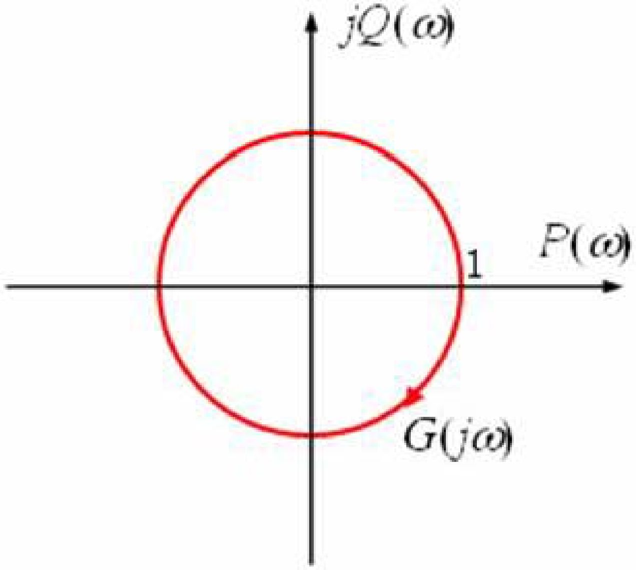
  - Biên độ: $M(\omega) = 1 \quad \Rightarrow \quad L(\omega) = 0$

  - Pha: $\varphi(\omega) = -T\omega$

Khâu trễ (khâu trì hoãn)



Biểu đồ Bode



Biểu đồ Nyquist

Đặc tính động học của hệ thống

Đặc tính thời gian của hệ thống

★ Xét hệ thống tự động có hàm truyền $G(s)$:

$$G(s) = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \cdots + b_{m-1} s + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \cdots + a_{n-1} s + a_n}$$

★ Biến đổi Laplace của hàm quá độ:

$$H(s) = \frac{G(s)}{s} = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \cdots + b_{m-1} s + b_m}{s(a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \cdots + a_{n-1} s + a_n)s}$$

Nhận xét về đặc tính thời gian của hệ thống

- Nếu $G(s)$ không có khâu tích phân và khâu vi phân lý tưởng thì:
  - hàm trọng lượng suy giảm về 0
  - hàm quá độ có giá trị xác lập khác 0

$$g(\infty) = \lim_{s\to 0} sG(s) = \lim_{s\to 0} s\left(\frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \cdots + b_{m-1}s + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \cdots + a_{n-1}s + a_n}\right) = 0$$

$$h(\infty) = \lim_{s\to 0} sH(s) = \lim_{s\to 0} s\left(\frac{1}{s}.\frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \cdots + b_{m-1}s + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \cdots + a_{n-1}s + a_n}\right) = \frac{b_m}{a_n} \neq 0$$

Nhận xét về đặc tính thời gian của hệ thống (tt)

- Nếu $G(s)$ có khâu tích phân lý tưởng ($a_n = 0$) thì:
  - hàm trọng lượng có giá trị xác lập khác 0
  - hàm quá độ có giá trị xác lập tiến đến vô cùng

$$g(\infty) = \lim_{s\to 0} sG(s) = \lim_{s\to 0} s\left(\frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \cdots + b_{m-1}s + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \cdots + a_{n-1}s}\right) \neq 0$$

$$h(\infty) = \lim_{s\to 0} sH(s) = \lim_{s\to 0} s\left(\frac{1}{s}.\frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \cdots + b_{m-1}s + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \cdots + a_{n-1}s}\right) = \infty$$

Nhận xét về đặc tính thời gian của hệ thống (tt)

- Nếu $G(s)$ có khâu vi phân lý tưởng ($b_m = 0$) thì:
  - hàm trọng lượng có giá trị xác lập suy giảm về 0
  - hàm quá độ có giá trị xác lập suy giảm về 0

$$g(\infty) = \lim_{s\to 0} sG(s) = \lim_{s\to 0} s\left(\frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \cdots + b_{m-1}s}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \cdots + a_{n-1}s + a_n}\right) = 0$$

$$h(\infty) = \lim_{s\to 0} sH(s) = \lim_{s\to 0} s\left(\frac{1}{s}.\frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \cdots + b_{m-1}s}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \cdots + a_{n-1}s + a_n}\right) = 0$$

Nhận xét về đặc tính thời gian của hệ thống (tt)

- Nếu $G(s)$ là hệ thống hợp thức $(m \le n)$ thì $h(0) = 0$.

$$h(0) = \lim_{s\to\infty} H(s) = \lim_{s\to\infty}\left(\frac{1}{s}.\frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \cdots + b_{m-1}s}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \cdots + a_{n-1}s + a_n}\right) = 0$$

- Nếu $G(s)$ là hệ thống hợp thức chặt $(m < n)$ thì $g(0) = 0$.

$$g(0) = \lim_{s\to\infty} G(s) = \lim_{s\to\infty}\left(\frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \cdots + b_{m-1}s}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \cdots + a_{n-1}s + a_n}\right) = 0$$

Nhận xét về đặc tính thời gian của hệ thống (tt)

★ Nếu $G(s)$ là hệ thống hợp thức ($m \le n$) thì $h(0) = 0$.

$$h(0) = \lim_{s\to\infty} H(s) = \lim_{s\to\infty}\left(\frac{1}{s}.\frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \cdots + b_{m-1}s}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \cdots + a_{n-1}s + a_n}\right) = 0$$

Đặc tính tần số của hệ thống

- Xét hệ thống tự động có hàm truyền $G(s)$ có thể phân tích thành tích của các hàm truyền cơ bản như sau:

$$G(s) = \prod_{i=1}^{l} G_i(s)$$

- Đặc tính tần số: $$G(j\omega) = \prod_{i=1}^{l} G_i(j\omega)$$

  - Biên độ: $$M(\omega) = \prod_{i=1}^{l} M_i(\omega) \quad \Rightarrow \quad L(\omega) = \sum_{i=1}^{l} L_i(\omega)$$

  - Pha: $$\varphi(\omega) = \sum_{i=1}^{l} \varphi_i(\omega)$$

$\Rightarrow$ Biểu đồ Bode của hệ thống (gồm nhiều khâu ghép nối tiếp) bằng tổng biểu đồ Bode của các khâu thành phần.

Vẽ biểu đồ Bode gần đúng bằng đường tiệm cận

★ Giả sử hàm truyền của hệ thống có dạng:

$$G(s) = Ks^{\alpha} G_1(s) G_2(s) G_3(s)\ldots$$

($\alpha > 0$: hệ thống có khâu vi phân lý tưởng
$\alpha < 0$: hệ thống có khâu tích phân lý tưởng)

★ Bước 1: Xác định tất cả các tần số gãy $\omega_i = 1/T_i$, và sắp xếp theo thứ tự tăng dần $\omega_1 < \omega_2 < \omega_3 \ldots$

★ Bước 2: Biểu đồ Bode gần đúng qua điểm A có tọa độ:

$$\begin{cases} \omega = \omega_0 \\ L(\omega) = 20\lg K + \alpha \times 20\lg \omega_0 \end{cases}$$

ω_0 là tần số thỏa mãn $\omega_0 < \omega_1$. Nếu $\omega_1 > 1$ thì có thể chọn $\omega_0 = 1$.

Vẽ gần đúng biểu đồ Bode biên độ bằng đường tiệm cận (tt)

- Bước 3: Qua điểm A, vẽ đường thẳng có độ dốc:
  - (– 20 *dB/dec* × α) nếu $G(s)$ có α khâu tích phân lý tưởng
  - (+ 20 *dB/dec* × α) nếu $G(s)$ có α khâu vi phân lý tưởng

  Đường thẳng này kéo dài đến tần số gãy kế tiếp.

- Bước 4: Tại tần số gãy $\omega_i = 1/T_i$, độ dốc của đường tiệm cận được cộng thêm một lượng:
  - (–20*dB/dec* × β_i) nếu $G_i(s)$ là β_i khâu quán tính bậc 1
  - (+20*dB/dec* × β_i) nếu $G_i(s)$ là β_i khâu sớm pha bậc 1
  - (–40*dB/dec* × β_i) nếu $G_i(s)$ là β_i khâu dao động bậc 2
  - (+40*dB/dec* × β_i) nếu $G_i(s)$ là β_i khâu sớm pha bậc 2

  Đường thẳng này kéo dài đến tần số gãy kế tiếp.

- Bước 5: Lặp lại bước 4 cho đến khi vẽ xong đường tiệm cận tại tần số gãy cuối cùng.

Thí dụ 1: Vẽ biểu đồ Bode gần đúng

- Vẽ biểu đồ Bode biên độ gần đúng của hệ thống có hàm truyền:

$$G(s)=\frac{100(0{,}1s+1)}{s(0{,}01s+1)}$$

Dựa vào biểu đồ Bode gần đúng, hãy xác định tần số cắt biên của hệ thống.

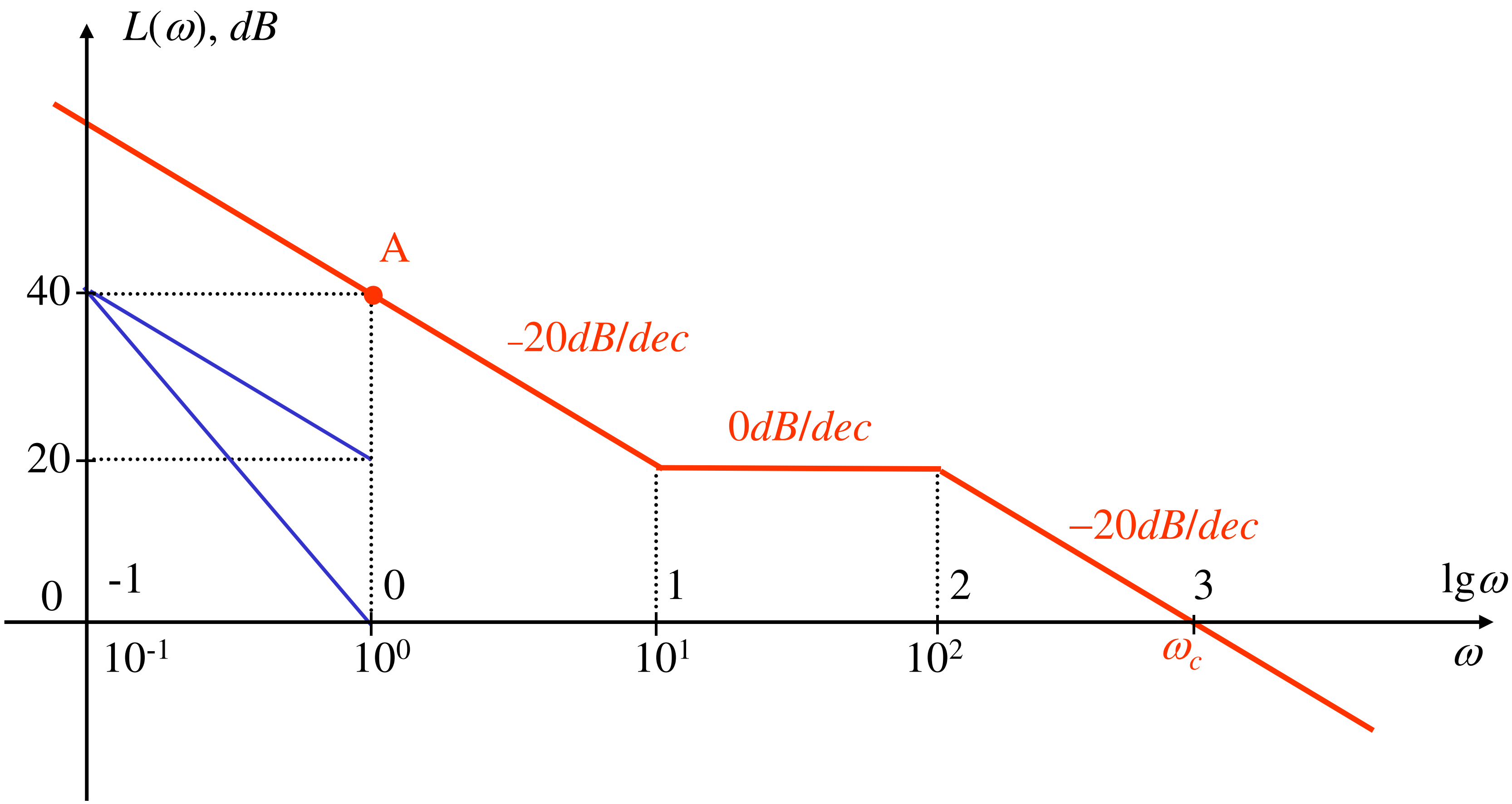
- Giải:
- Các tần số gãy:

$$\omega_1=\frac{1}{T_1}=\frac{1}{0{,}1}=10\ \text{(rad/sec)} \qquad \omega_2=\frac{1}{T_2}=\frac{1}{0{,}01}=100\ \text{(rad/sec)}$$

- Biểu đồ Bode qua điểm A có tọa độ

$$\begin{cases}\omega=1\\ L(\omega)=20\lg K=20\lg 100=40\end{cases}$$

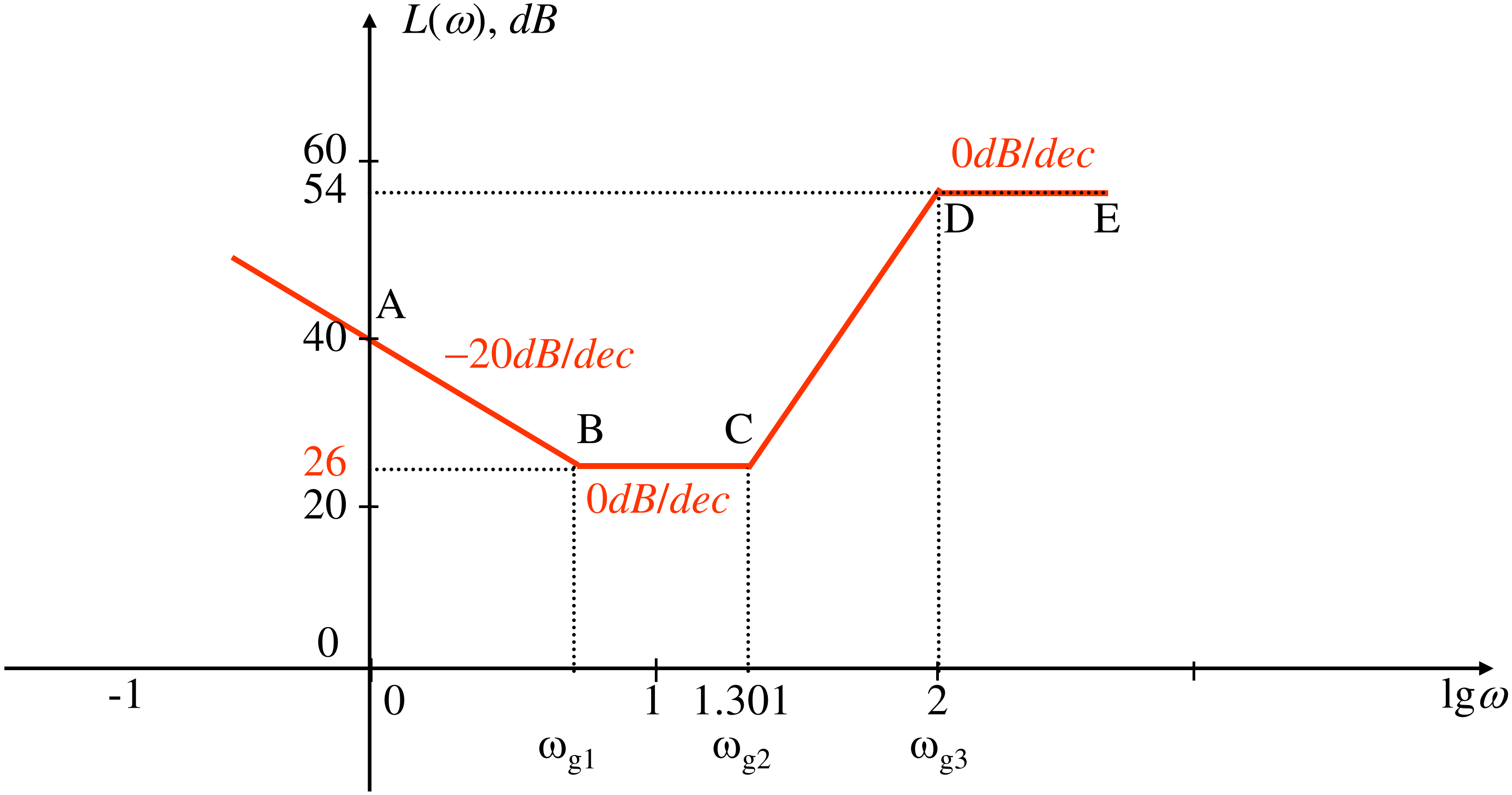
Thí dụ 1: Vẽ biểu đồ Bode gần đúng



★ Theo hình vẽ, tần số cắt biên của hệ thống là 10^3 rad/sec

Thí dụ 2: Xác định hàm truyền dựa vào biểu đồ Bode gần đúng

- Xác định hàm truyền của hệ thống có biểu đồ Bode biên độ gần đúng như sau:



Thí dụ 2: Xác định hàm truyền dựa vào biểu đồ Bode gần đúng

- Độ dốc đoạn CD: $\dfrac{54-26}{2-1.301} = +40\,(\text{dB/dec})$
- Các tần số gãy:

$$\lg\omega_{g1} = 0 + \frac{40-26}{20} = 0.7 \quad \Rightarrow \quad \omega_{g1} = 10^{0.7} = 5\,(\text{rad/sec})$$

$$\lg\omega_{g2} = 1.301 \quad \Rightarrow \quad \omega_{g2} = 10^{1.301} = 20\,(\text{rad/sec})$$

$$\lg\omega_{g3} = 2 \quad \Rightarrow \quad \omega_{g3} = 10^{2} = 100\,(\text{rad/sec})$$

- Hàm truyền cần tìm có dạng: $G(s) = \dfrac{K(T_1s+1)(T_2s+1)^2}{s(T_3s+1)^2}$

$$20\lg K = 40 \quad \Rightarrow \quad K = 100$$

$$T_1 = \frac{1}{\omega_{g1}} = \frac{1}{5} = 0.2 \qquad T_2 = \frac{1}{\omega_{g2}} = \frac{1}{20} = 0.05 \qquad T_3 = \frac{1}{\omega_{g3}} = \frac{1}{100} = 0.01$$