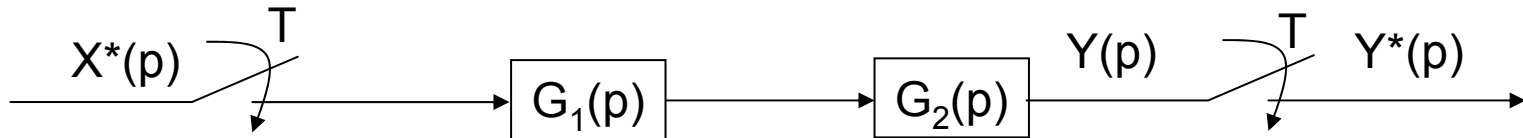


# **CHƯƠNG 3: HÀM TRUYỀN ĐẠT CỦA HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN SỐ**

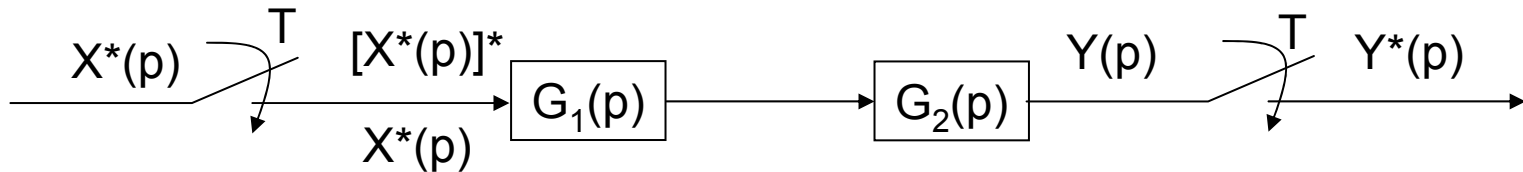
### 3.1 Hệ thống hở

Cho hệ thống hở:



Xác định hàm truyền đạt của hệ thống đã cho

$$G(z) = \frac{Y(z)}{X(z)}$$



$$Y(p) = X^*(p).G_1(p).G_2(p)$$

$$G_1G_2(p) := G_1(p).G_2(p)$$

$$Y(p) = X^*(p).G_1G_2(p)$$

$$Y^*(p) = \left[ X^*(p).G_1G_2(p) \right]^*$$

$$Y^*(p) = X^*(p).G_1G_2^*(p)$$

$$G_1G_2^*(p) = \left[ G_1(p).G_2(p) \right]^* \neq G_1^*(p).G_2^*(p)$$

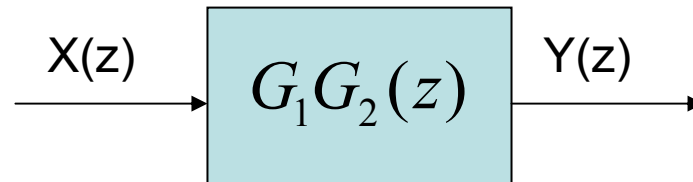
$$Y^*(p) = X^*(p).G_1G_2^*(p)$$

$$Y^*(p)\Big|_{p=\frac{1}{T}\ln z} = X^*(p)\Big|_{p=\frac{1}{T}\ln z} \cdot G_1G_2^*(p)\Big|_{p=\frac{1}{T}\ln z}$$

$$Y(z) = X(z).G_1G_2(z)$$

$$G_1G_2(z) = \mathbb{Z}\{G_1G_2(p)\} = \mathbb{Z}\{G_1(p).G_2(p)\} \neq G_1(z).G_2(z)$$

$$G(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = G_1G_2(z)$$



Ví dụ

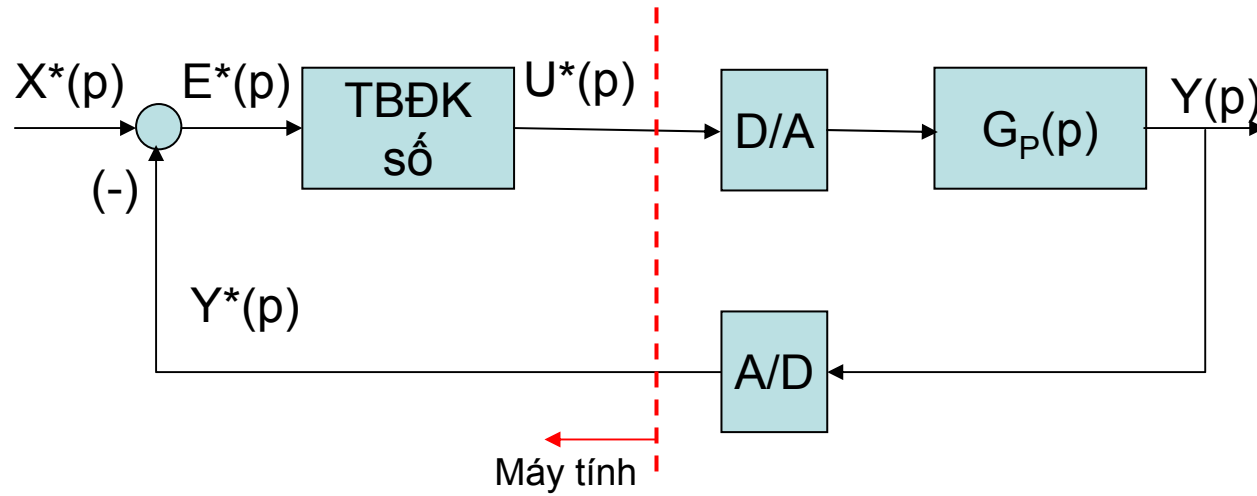
$$G_1(p) = G_2(p) = \frac{1}{p}$$

$$G_1 G_2(p) = G_1(p).G_2(p) = \frac{1}{p^2}$$

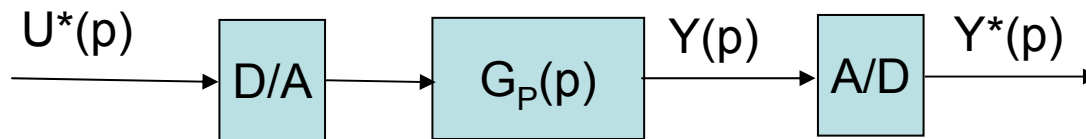
$$\begin{aligned} G_1 G_2(z) &= \mathbb{Z}\{G_1 G_2(p)\} \\ &= \mathbb{Z}\{G_1(p).G_2(p)\} \\ &= \mathbb{Z}\left\{\frac{1}{p^2}\right\} = \frac{T.z}{(z-1)^2} \end{aligned}$$

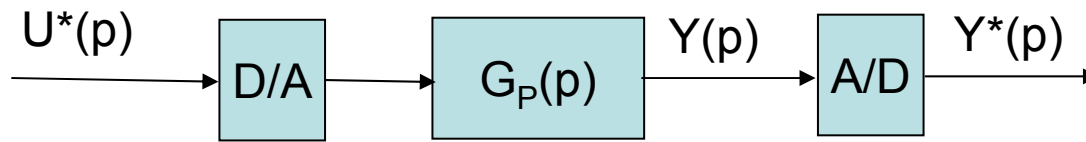
$$G(z) = \frac{T.z}{(z-1)^2}$$

## Hệ thống điều khiển số

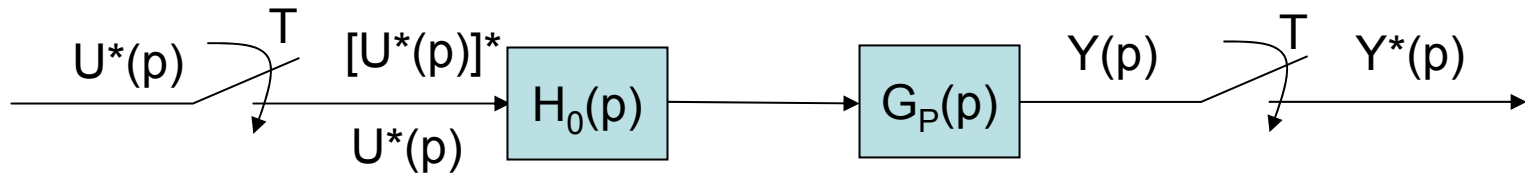


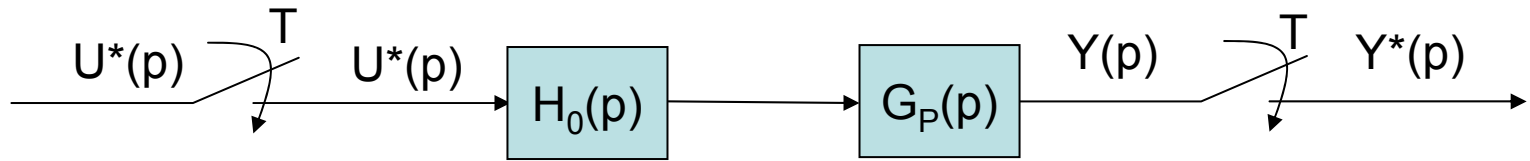
## Lấy phần bên ngoài máy tính





- Thay bộ biến đổi A/D bằng khâu lấy mẫu
- Thay bộ biến đổi D/A bằng khâu lấy mẫu nối tiếp với khâu lưu giữ bậc không





$$Y(p) = U^*(p) \cdot H_0(p) \cdot G_P(p)$$

$$Y(p) = U^*(p) \cdot H_0 G_P(p)$$

$$Y^*(p) = \left[ U^*(p) \cdot H_0 G_P(p) \right]^*$$

$$Y^*(p) = U^*(p) \cdot H_0 G_P^*(p)$$

$$Y^*(p) \Big|_{p=\frac{1}{T} \ln z} = U^*(p) \Big|_{p=\frac{1}{T} \ln z} \cdot H_0 G_P^*(p) \Big|_{p=\frac{1}{T} \ln z}$$



$$Y(z) = U(z).H_0G_P(z)$$

$$G(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = H_0G_P(z)$$

$$H_0G_P(z) = ???$$

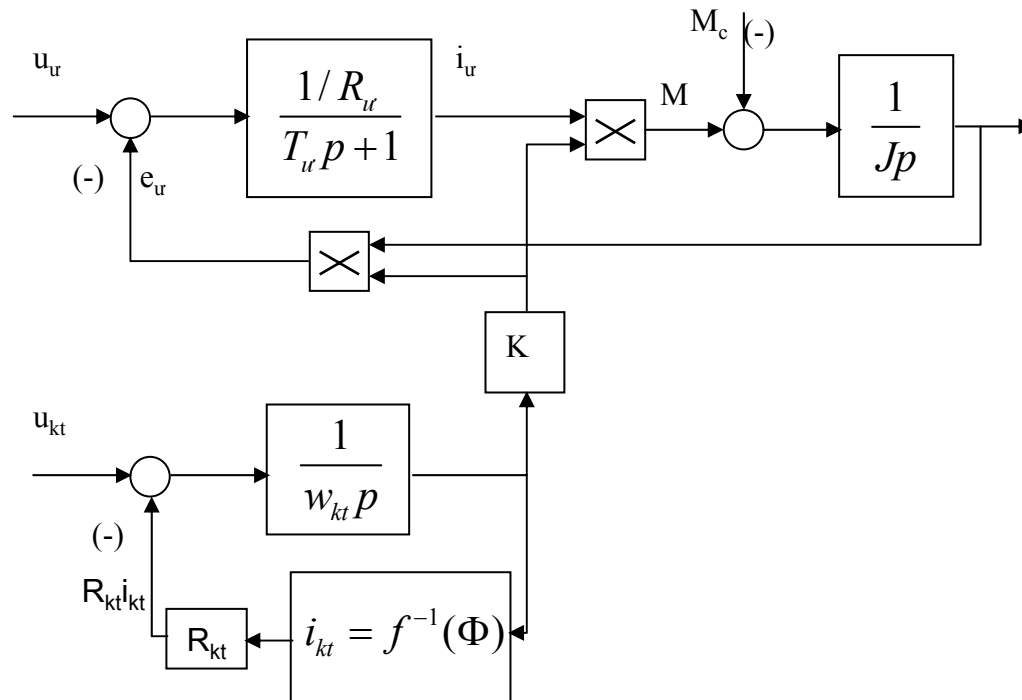
$$H_0G_P(z) = \mathbb{Z}\{H_0G_P(p)\} = \mathbb{Z}\{H_0(p).G_P(p)\}$$

$$= \mathbb{Z}\left\{\frac{1-e^{-Tp}}{p} \cdot G_P(p)\right\} = \mathbb{Z}\left\{\frac{G_P(p)}{p}\right\} - \mathbb{Z}\left\{e^{-Tp} \frac{G_P(p)}{p}\right\}$$

$$= \mathbb{Z}\left\{\frac{G_P(p)}{p}\right\} - z^{-1}\mathbb{Z}\left\{\frac{G_P(p)}{p}\right\} = \frac{z-1}{z}\mathbb{Z}\left\{\frac{G_P(p)}{p}\right\}$$

$$H_0G_P(z) = \frac{z-1}{z}\mathbb{Z}\left\{\frac{G_P(p)}{p}\right\}$$

# Sơ đồ khối của động cơ điện một chiều kích từ độc lập



Hình 1.3: Sơ đồ khối động cơ điện một chiều kích từ độc lập

Có 3 đầu vào:

- Điện áp phản ứng
- Điện áp mạch kích từ
- Moment cản

Có 2 đầu ra:

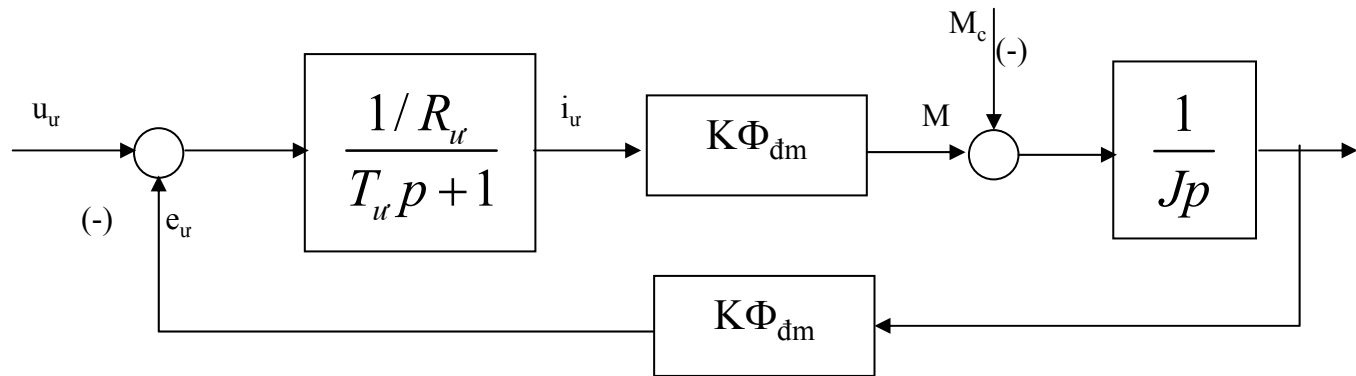
- Tốc độ động cơ
- Moment điện từ của động cơ

→ Đặc tính cơ: là mối quan hệ giữa moment điện từ của động cơ  $M$  và tốc độ  $\omega$  ??

→ Ở trạng thái xác lập

# Sơ đồ khối của động cơ điện một chiều kích từ độc lập với kích từ định mức

- $K\Phi_{đm}$



- $M_c = 0$

$$G_{đc}(p) = \frac{\frac{1/R_u}{T_u p + 1} \cdot K\Phi_{đm} \cdot \frac{1}{Jp}}{1 + \frac{1/R_u}{T_u p + 1} \cdot (K\Phi_{đm})^2 \cdot \frac{1}{Jp}}$$

$$G_{\dot{d}c}(p) = \frac{\frac{1/R_u}{T_u p + 1} \cdot K\Phi_{\dot{d}m} \cdot \frac{1}{Jp}}{1 + \frac{1/R_u}{T_u p + 1} \cdot (K\Phi_{\dot{d}m})^2 \cdot \frac{1}{Jp}}$$

$$G_{\dot{d}c}(p) = \frac{K\Phi_{\dot{d}m}}{R_u (T_u p + 1) Jp + (K\Phi_{\dot{d}m})^2}$$

$$G_{\dot{d}c}(p) = \frac{K\Phi_{\dot{d}m}}{T_u R_u Jp^2 + R_u Jp + (K\Phi_{\dot{d}m})^2}$$

$$G_{\dot{d}c}(p) = \frac{\frac{1}{K\Phi_{\dot{d}m}}}{T_u \frac{R_u J}{(K\Phi_{\dot{d}m})^2} p^2 + \frac{R_u J}{(K\Phi_{\dot{d}m})^2} p + 1}$$

$$G_{\dot{d}c}(p) = \frac{\frac{1}{K\Phi_{\dot{d}m}}}{T_u \frac{R_u J}{(K\Phi_{\dot{d}m})^2} p^2 + \frac{R_u J}{(K\Phi_{\dot{d}m})^2} p + 1} \Rightarrow G_{\dot{d}c}(p) = \frac{K_D}{T_u T_c p^2 + T_c p + 1}$$

$$K_D = \frac{1}{K\Phi_{\dot{d}m}} \quad \text{Hệ số khuếch đại của động cơ}$$

$$T_c = \frac{R_u J}{(K\Phi_{\dot{d}m})^2} \quad \text{Hằng số thời gian cơ}$$

Do  $T_u \ll T_c$  nên có thể gần đúng coi:

$$G_{\dot{d}c}(p) \approx \frac{K_D}{T_c p + 1}$$

# Hàm truyền đạt của bộ chỉnh lưu (kể cả bộ phát xung điều khiển chỉnh lưu)

- Đại lượng đầu ra:  $U_d$

- Đại lượng đầu vào:  $u_{đk}$

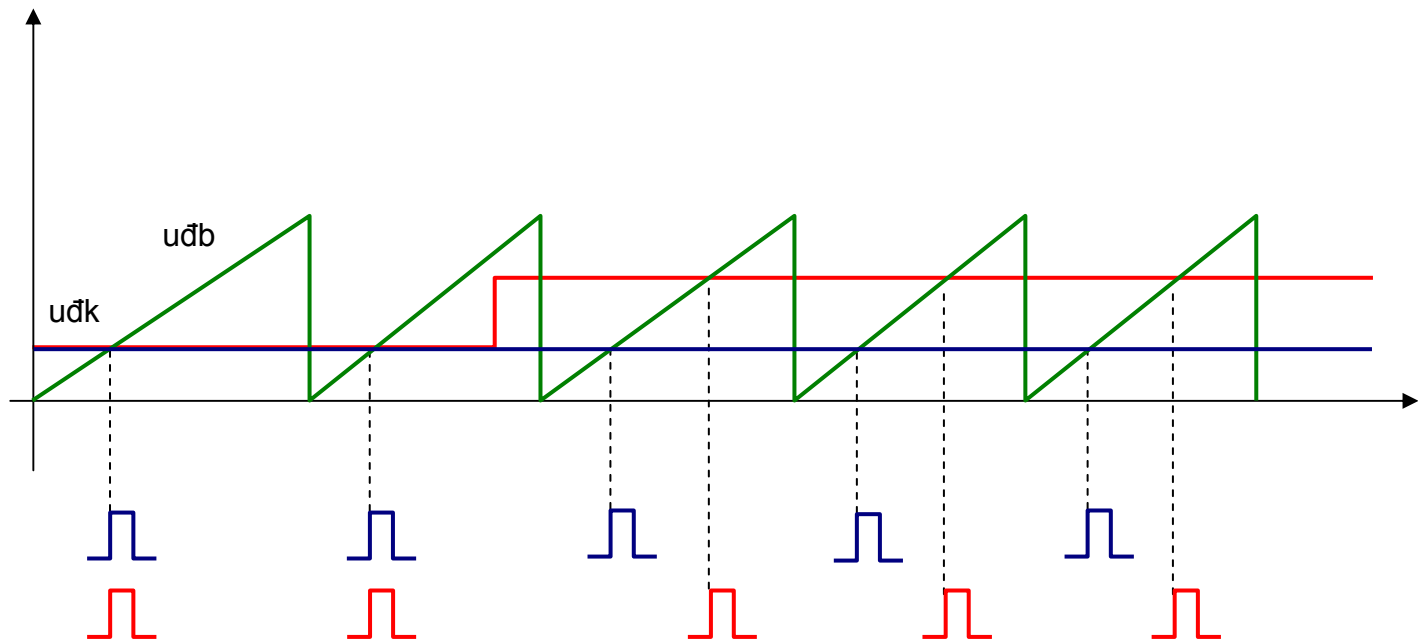
$u_{đk} \ll U_d$  (kể cả độ lớn lẫn công suất)

→ Bộ chỉnh lưu có thể coi như là một khâu khuếch đại

$$G_{cl}(p) = K_{CL}$$

# Bộ chỉnh lưu có tính trễ

- Nguyên tắc điều khiển thẳng đứng tuyến tính



Do đó hàm truyền của bộ chỉnh lưu sẽ là

$$G_{cl}(p) = K_{cl} e^{-Tp}$$

Trong đó:  $T = \frac{1}{2pf}$

Với p: số xung đập mạch của sơ đồ  
f: tần số điện áp lưới

$$e^{Tp} = 1 + \frac{Tp}{1!} + \frac{(Tp)^2}{2!} + \dots$$
$$\approx 1 + \frac{Tp}{1!} = 1 + Tp$$

$$G_{cl}(p) = K_{cl} e^{-Tp} \approx \frac{K_{cl}}{Tp + 1}$$

Với p= 6, f= 50 ... T=1/600=0.0017 [s]

$$G_{cl}(p) = K_{cl}$$

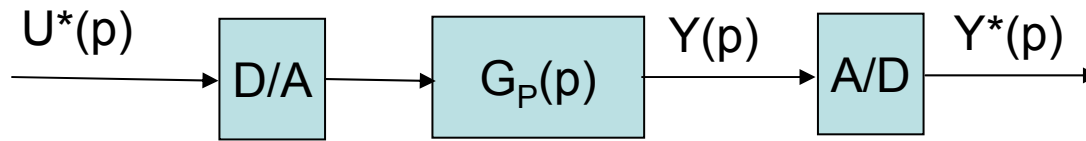


## Hàm truyền đạt của hệ T-Đ

$$G_P(p) = G_{cl}(p).G_{đc}(p) \approx \frac{K_{cl}K_{đc}}{T_c p + 1} = \frac{K}{\tau p + 1}$$

Trong đó:

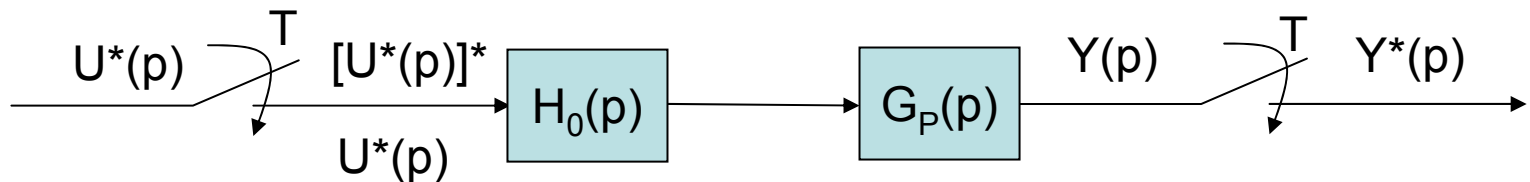
$$K = K_{cl}.K_{đc}$$
$$\tau = T_c$$

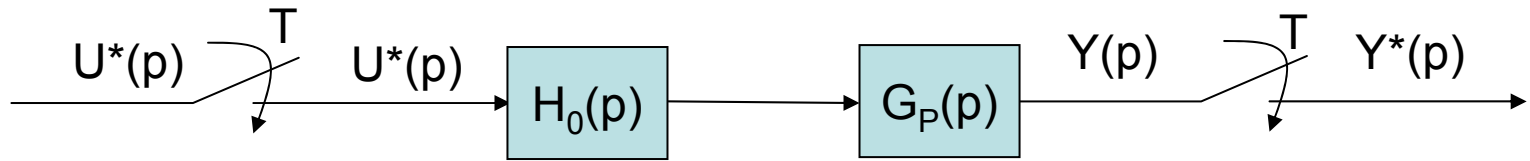


Trong đó:

$$G_P(p) = \frac{K}{\tau p + 1}$$

- Thay bộ biến đổi A/D bằng khâu lấy mẫu
- Thay bộ biến đổi D/A bằng khâu lấy mẫu nối tiếp với khâu lưu giữ bậc không





$$Y(p) = U^*(p) \cdot H_0(p) \cdot G_P(p)$$

$$Y(p) = U^*(p) \cdot H_0 G_P(p)$$

$$Y^*(p) = \left[ U^*(p) \cdot H_0 G_P(p) \right]^*$$

$$Y^*(p) = U^*(p) \cdot H_0 G_P^*(p)$$

$$Y^*(p) \Big|_{p=\frac{1}{T} \ln z} = U^*(p) \Big|_{p=\frac{1}{T} \ln z} \cdot H_0 G_P^*(p) \Big|_{p=\frac{1}{T} \ln z}$$

$$Y(z) = U(z).H_0G_P(z) \qquad G(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = H_0G_P(z)$$

$$H_0G_P(z) = \frac{z-1}{z} \mathbb{Z} \left\{ \frac{G_P(p)}{p} \right\} = \frac{z-1}{z} \mathbb{Z} \left\{ \frac{K}{p(\tau p + 1)} \right\}$$

$$\mathbb{Z} \left\{ \frac{K}{p(\tau p + 1)} \right\} = \mathbb{Z} \left\{ \frac{K \frac{1}{\tau}}{p(p + \frac{1}{\tau})} \right\} = K. \mathbb{Z} \left\{ \frac{\frac{1}{\tau}}{p(p + \frac{1}{\tau})} \right\}$$

$$= K \cdot \frac{z \left( 1 - e^{-\frac{T}{\tau}} \right)}{(z-1) \left( z - e^{-\frac{T}{\tau}} \right)}$$

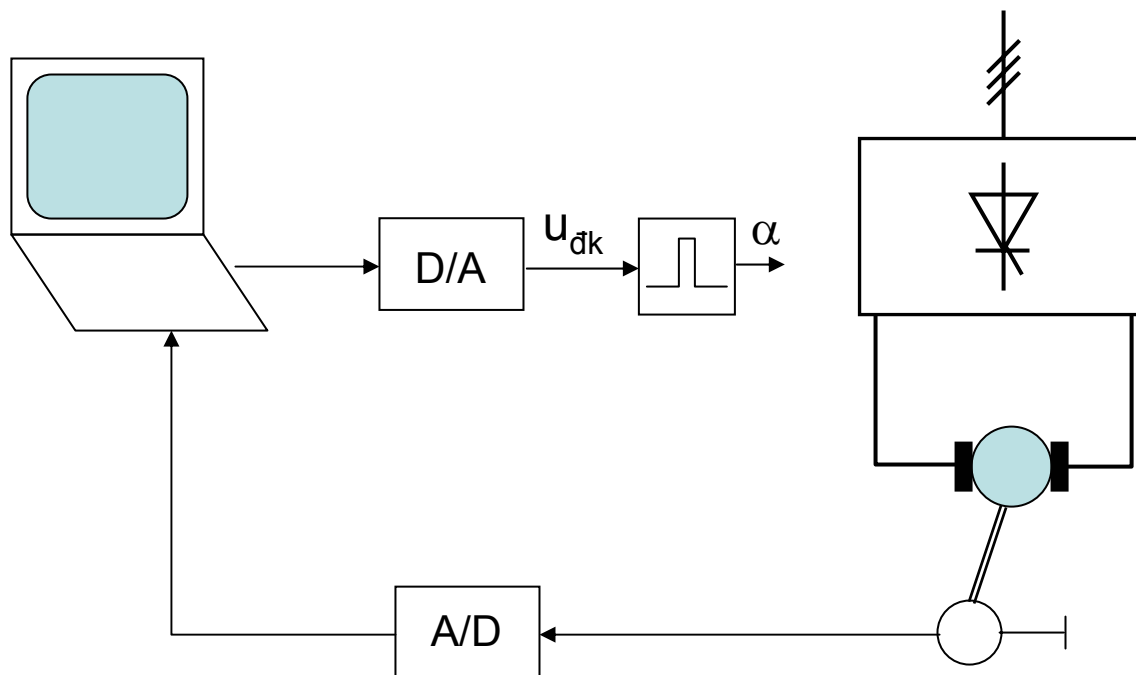
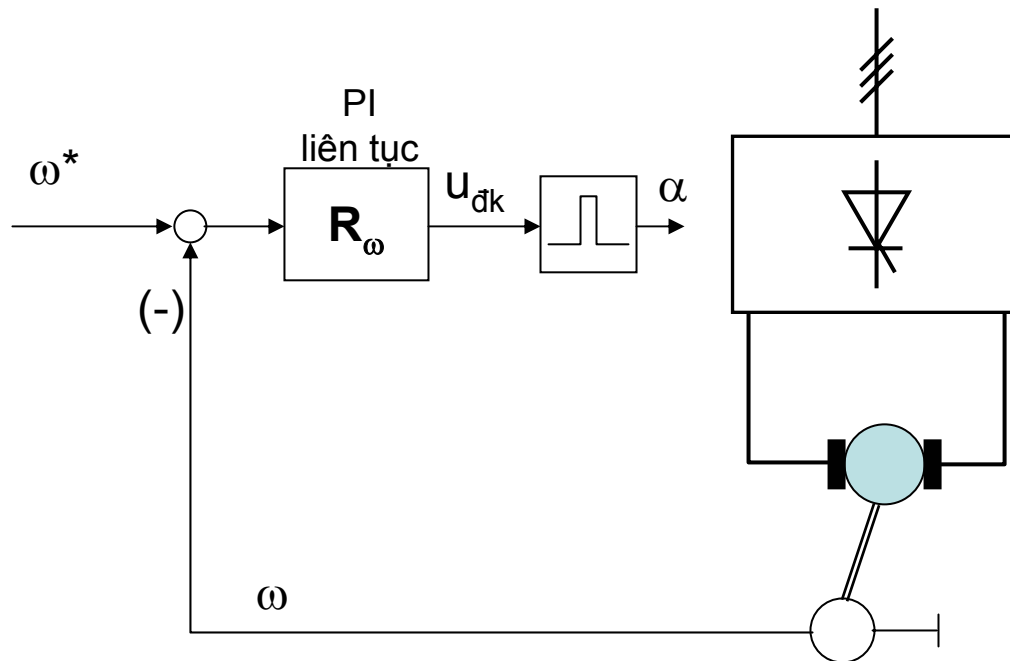
$$G(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = H_0 G_P(z)$$

$$= K \frac{1 - e^{-\frac{T}{\tau}}}{z - e^{-\frac{T}{\tau}}}$$

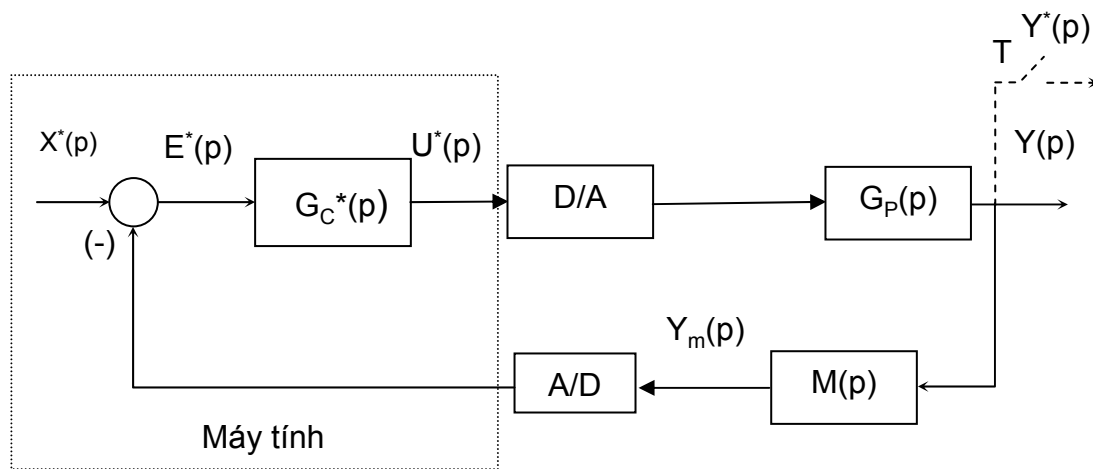
Đặt:  $a_1 = e^{-\frac{T}{\tau}}; \quad a_2 = K(1 - a_1)$

$$G(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{a_2}{z - a_1}$$

### 3.2 Hệ thống có một mạch vòng kín



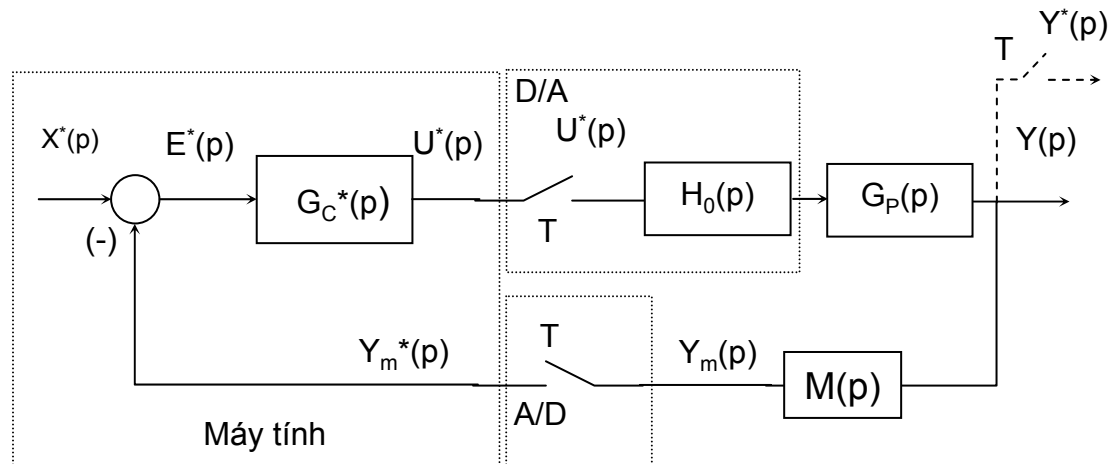
# HTĐ của hệ thống có một mạch vòng kín



Hệ thống có một mạch vòng kín

# Bước 1: Khai triển sơ đồ khối

- Vẽ lại sơ đồ khối.
- Thay bộ biến đổi A/D bằng khâu lấy mẫu.
- Thay bộ biến đổi D/A bằng khâu lấy mẫu nối tiếp với khâu lưu giữ bậc không có hàm truyền đạt là  $H_0(p) = (1 - e^{-Tp})/p$



Hệ thống có một mạch vòng kín



Bước 2: Viết các biểu thức mô tả mối quan hệ giữa các tín hiệu trong hệ thống – Chuyển các biểu thức thành biểu thức “\*”

$$E^*(p) = X^*(p) - Y_m^*(p) \quad (1)$$

$$U^*(p) = E^*(p).G_c^*(p) \quad (2)$$

$$Y(p) = U^*(p).H_0 G_P(p)$$

$$\Rightarrow Y^*(p) = U^*(p).H_0 G_P^*(p) \quad (3)$$

$$Y_m(p) = U^*(p).H_0 G_P M(p)$$

$$\Rightarrow Y_m^*(p) = U^*(p).H_0 G_P M^*(p) \quad (4)$$

### Bước 3: Chuyển các biểu thức “\*” thành các biểu thức theo Z

- Thay  $p = \frac{1}{T} \ln z$  vào các biểu thức “\*”

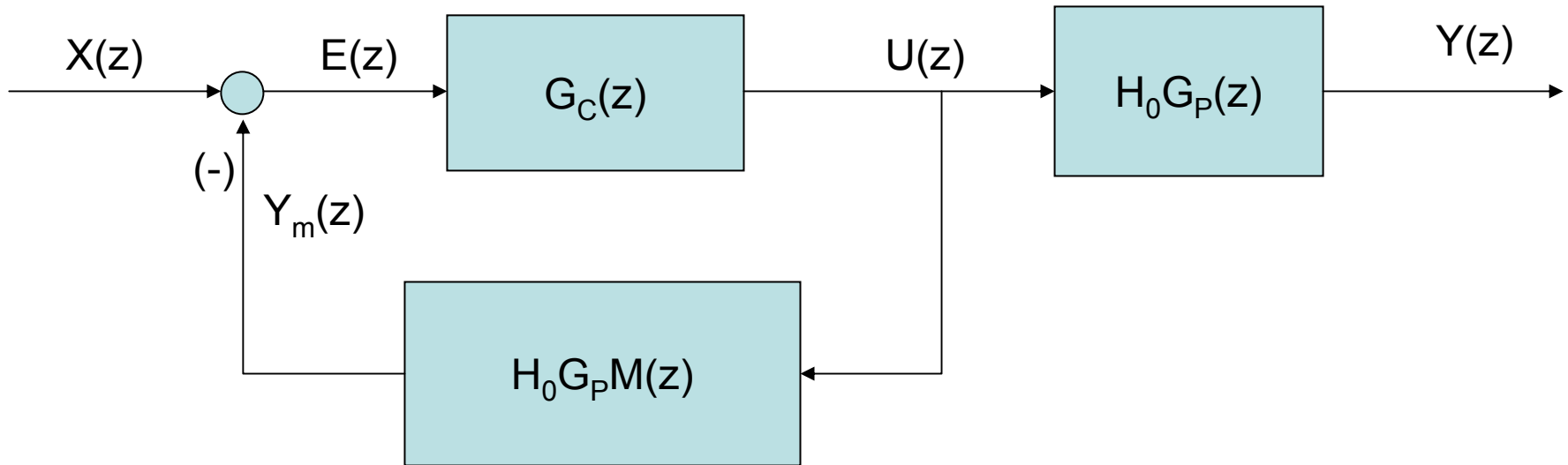
$$E(z) = X(z) - Y_m(z) \quad (1)$$

$$U(z) = E(z).G_C(z) \quad (2)$$

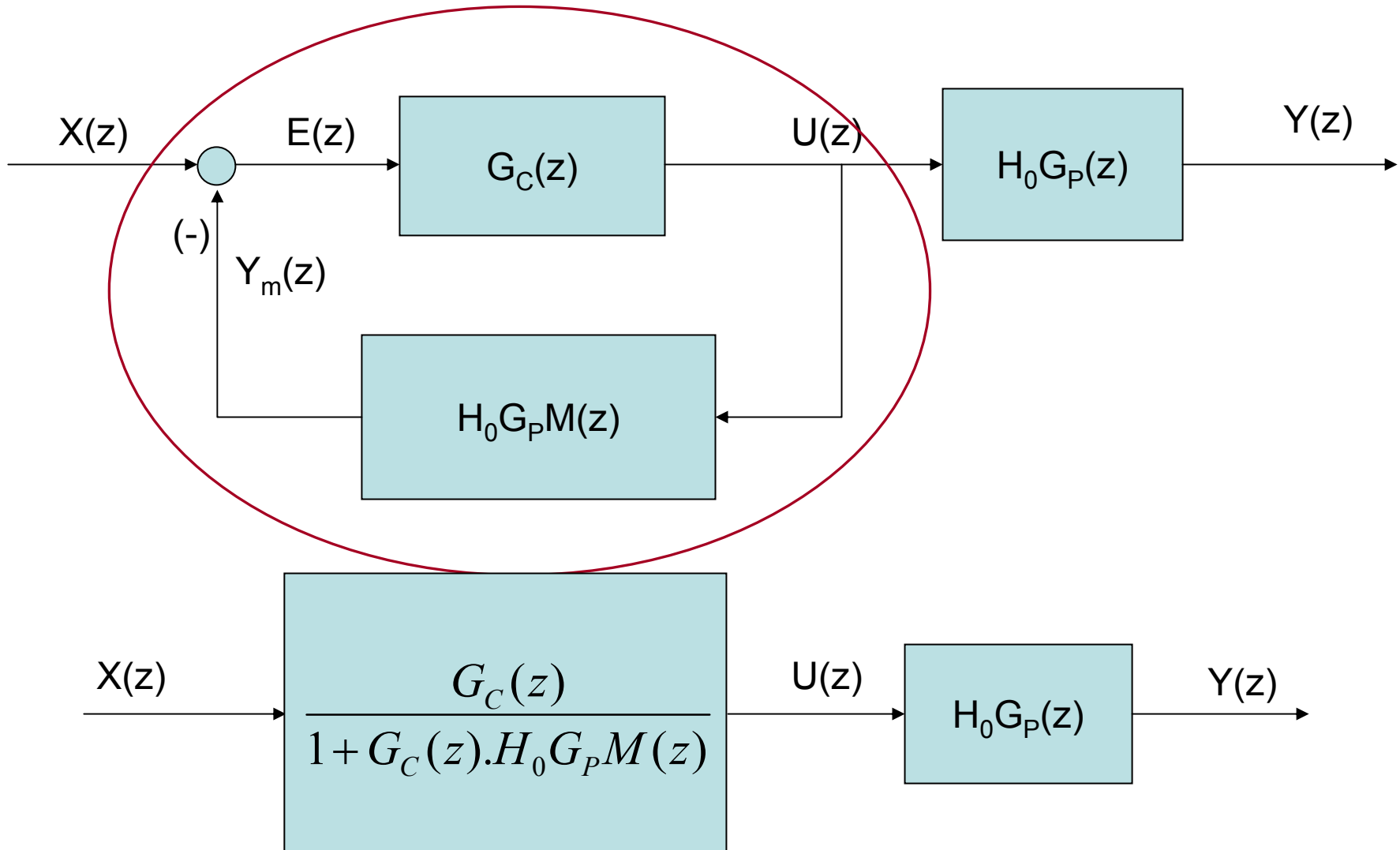
$$Y(z) = U(z).H_0 G_P(z) \quad (3)$$

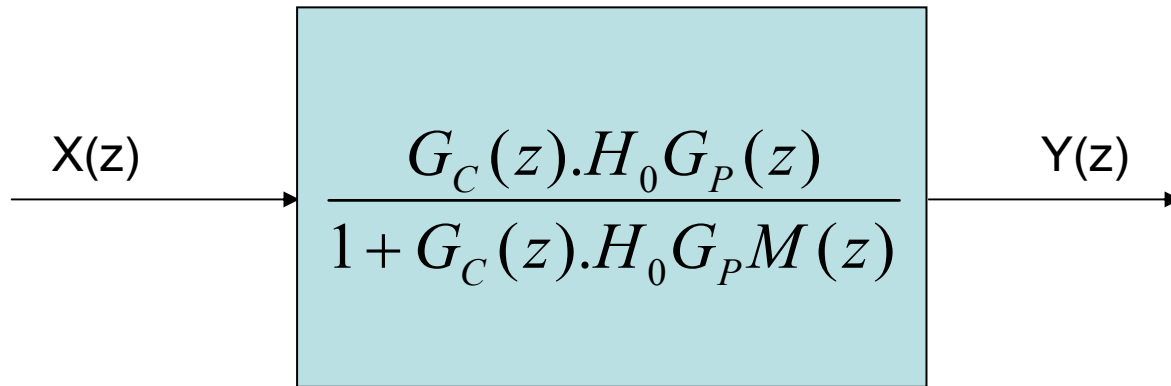
$$Y_m(z) = U(z).H_0 G_P M(z) \quad (4)$$

## Bước 4: Vẽ lại sơ đồ khối theo phép biến đổi Z

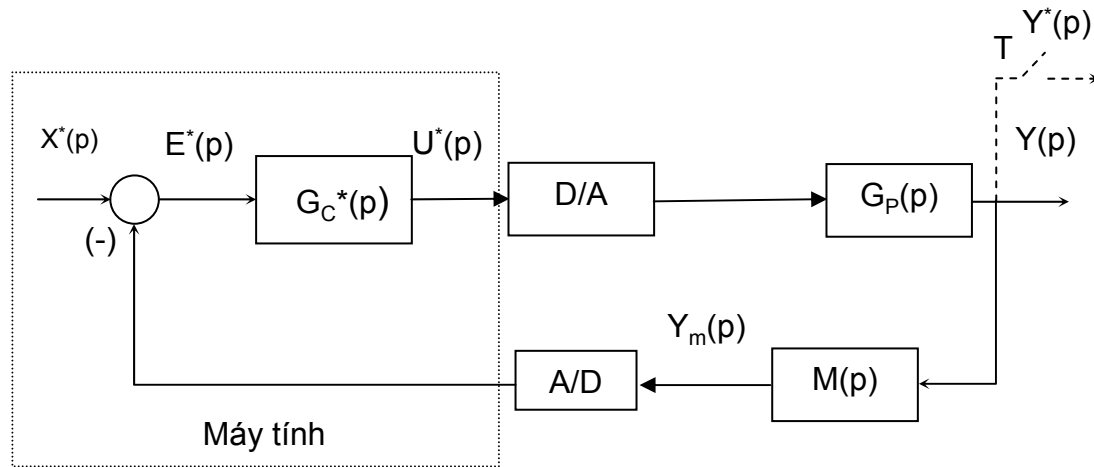


## Bước 5: Biến đổi sơ đồ khối, xác định hàm truyền đạt





$$G(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{G_C(z).H_0G_P(z)}{1 + G_C(z).H_0G_PM(z)}$$



Hệ thống có một mạch vòng kín

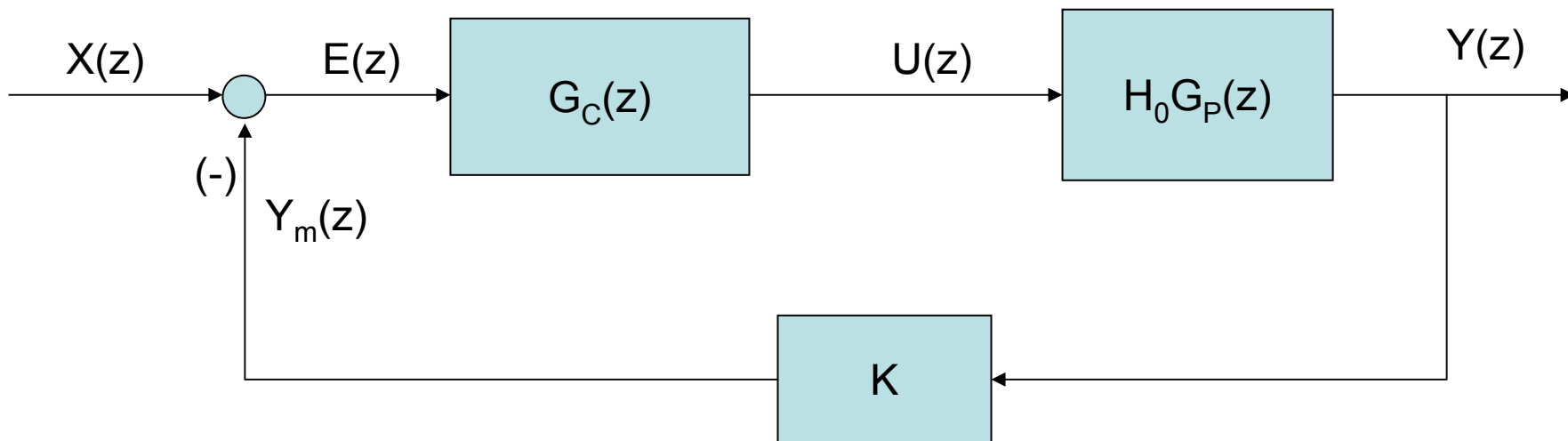
$$M(p) = K$$

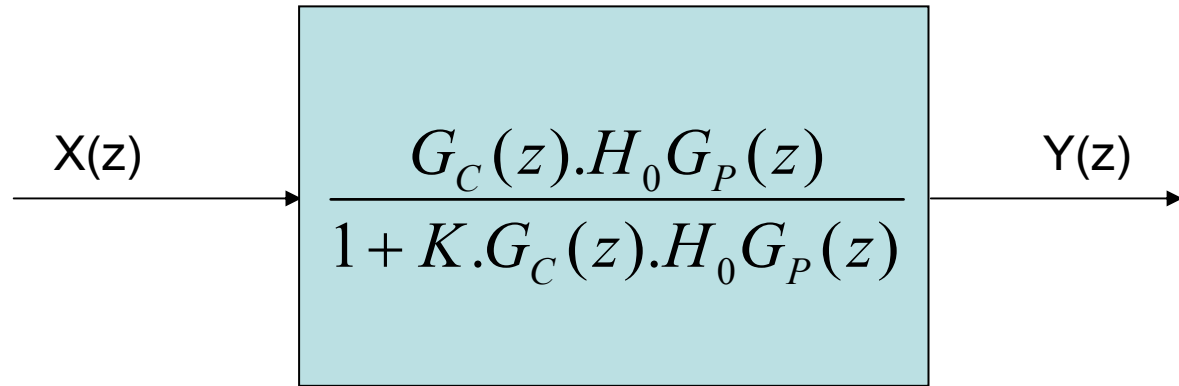
$$E(z) = X(z) - Y_m(z) \quad (1)$$

$$U(z) = E(z).G_C(z) \quad (2)$$

$$Y(z) = U(z).H_0 G_P(z) \quad (3)$$

$$\begin{aligned} Y_m(z) &= U(z).H_0 G_P M(z) \\ &= K.U(z).H_0 G_P(z) \end{aligned} \quad (4)$$

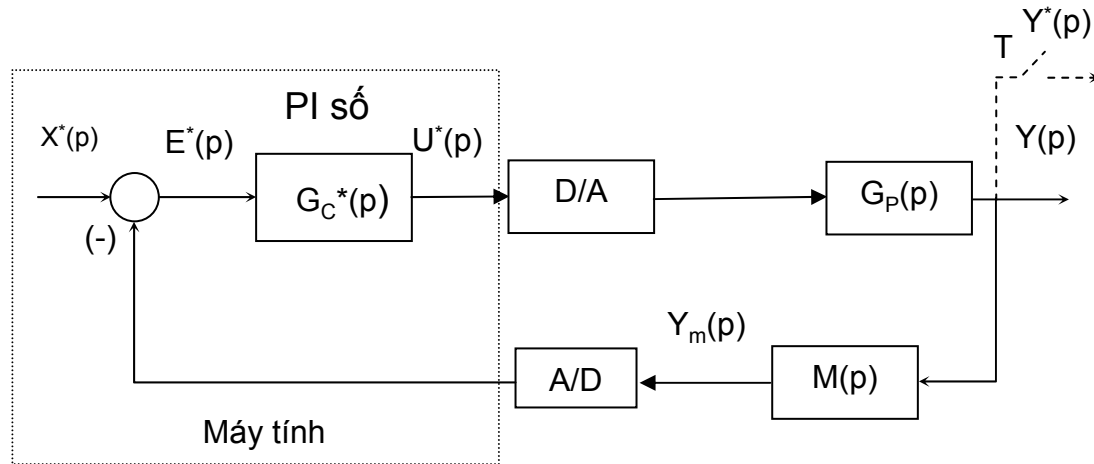




$$G(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{G_C(z).H_0G_P(z)}{1 + K.G_C(z).H_0G_P(z)}$$



## Ví dụ



Hệ thống có một mạch vòng kín

$$G_C(z) = \frac{A_0 z + A_1}{z - 1}$$

$$A_0 = K_P + \frac{K_I T}{2}$$

$$A_1 = -K_P + \frac{K_I T}{2}$$

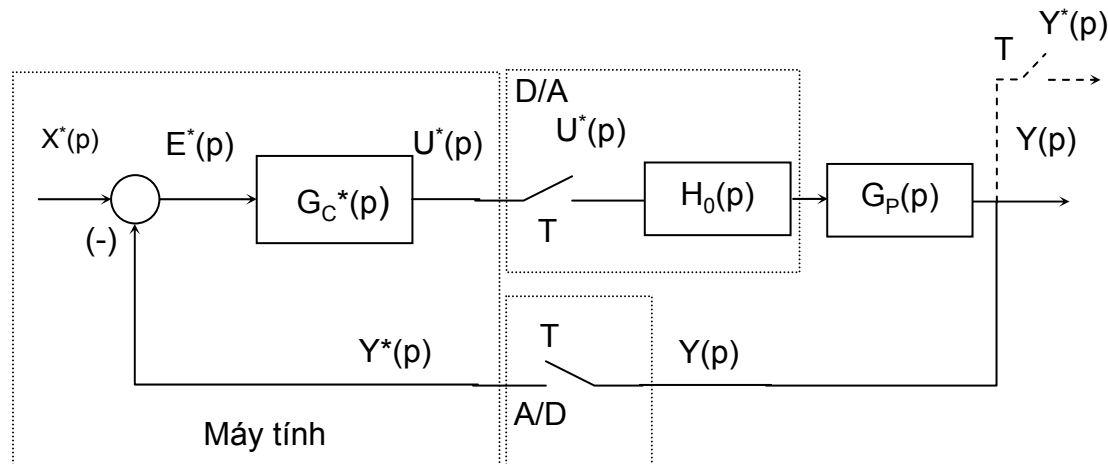
$K_P$ : Hằng số tỷ lệ  
 $K_I$ : hằng số tích phân

$$G_P(p) = \frac{K}{\tau p + 1}$$

$$M(p) = 1$$

# Bước 1: Khai triển sơ đồ khối

- Vẽ lại sơ đồ khối.
- Thay bộ biến đổi A/D bằng khâu lấy mẫu.
- Thay bộ biến đổi D/A bằng khâu lấy mẫu nối tiếp với khâu lưu giữ bậc không có hàm truyền đạt là  $H_0(p) = (1 - e^{-Tp})/p$
- $M(p) = 1 \rightarrow$  Không cần vẽ



Hệ thống có một mạch vòng kín

Bước 2: Viết các biểu thức mô tả mối quan hệ giữa các tín hiệu trong hệ thống – Chuyển các biểu thức thành biểu thức “\*”

$$E^*(p) = X^*(p) - Y^*(p) \quad (1)$$

$$U^*(p) = E^*(p).G_c^*(p) \quad (2)$$

$$Y(p) = U^*(p).H_0 G_p(p)$$

$$\Rightarrow Y^*(p) = U^*(p).H_0 G_p^*(p) \quad (3)$$

### Bước 3: Chuyển các biểu thức “\*” thành các biểu thức theo Z

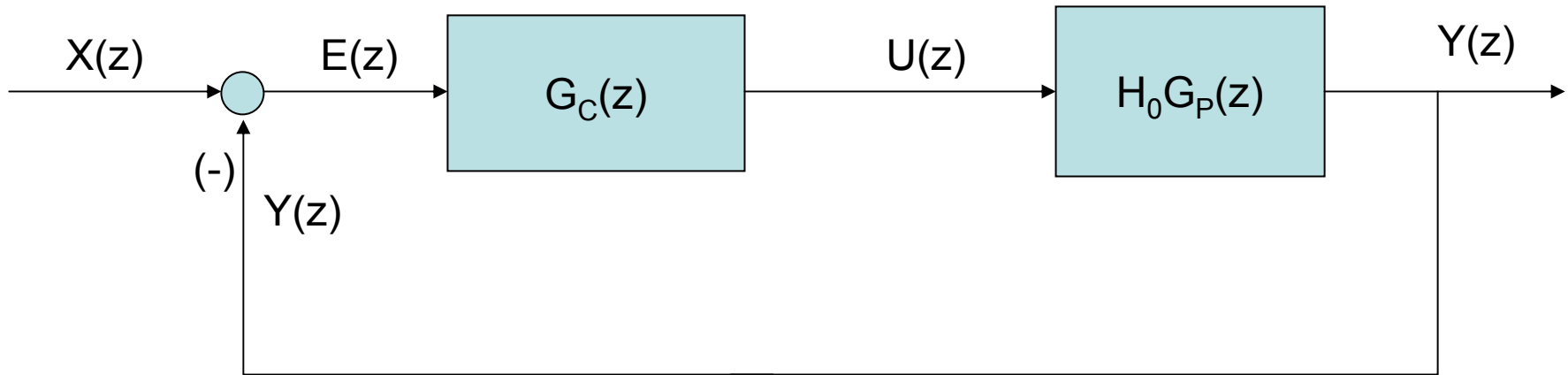
- Thay  $p = \frac{1}{T} \ln z$  vào các biểu thức “\*”

$$E(z) = X(z) - Y(z) \quad (1)$$

$$U(z) = E(z).G_C(z) \quad (2)$$

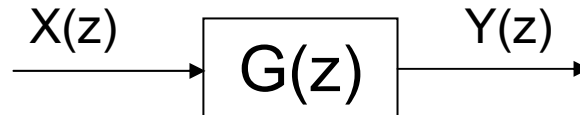
$$Y(z) = U(z).H_0 G_P(z) \quad (3)$$

#### Bước 4: Vẽ lại sơ đồ khối theo phép biến đổi Z



## Bước 5: Biến đổi sơ đồ khối – Xác định hàm truyền đạt

$$G_z = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{G_C(z).H_0G_P(z)}{1 + G_C(z).H_0G_P(z)}$$



$$H_0 G_P(z) = \frac{z-1}{z} \mathbb{Z} \left\{ \frac{K}{(\tau p + 1)p} \right\} = \frac{z-1}{z} K \mathbb{Z} \left\{ \frac{\frac{1}{\tau}}{p(p + \frac{1}{\tau})} \right\}$$

Tra bảng phép biến đổi Z đã cho chúng ta có:

$$H_0 G_P(z) = \frac{z-1}{z} \frac{K(1 - e^{-\frac{T}{\tau}})z}{(z-1)(z - e^{-\frac{T}{\tau}})} = \frac{K(1 - e^{-\frac{T}{\tau}})}{(z - e^{-\frac{T}{\tau}})}$$

trong đó  $T$  là chu kỳ lấy mẫu

$$H_0G_P(z) = \frac{z-1}{z} \frac{K(1-e^{-\frac{T}{\tau}})z}{(z-1)(z-e^{-\frac{T}{\tau}})} = \frac{K(1-e^{-\frac{T}{\tau}})}{(z-e^{-\frac{T}{\tau}})}$$

$$a_1 = e^{-\frac{T}{\tau}}; \quad a_2 = K(1-a_1)$$

$$H_0G_P(z) = \frac{a_2}{z-a_1}$$



$$\frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{H_0 G_P(z) G_C(z)}{1 + H_0 G_P(z) G_C(z)} = \frac{\frac{a_2}{(z - a_1)} \cdot \frac{A_0 z + A_1}{z - 1}}{1 + \frac{a_2}{(z - a_1)} \cdot \frac{A_0 z + A_1}{z - 1}}$$

$$\frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{a_2 (A_0 z + A_1)}{(z - a_1)(z - 1) + a_2 (A_0 z + A_1)}$$

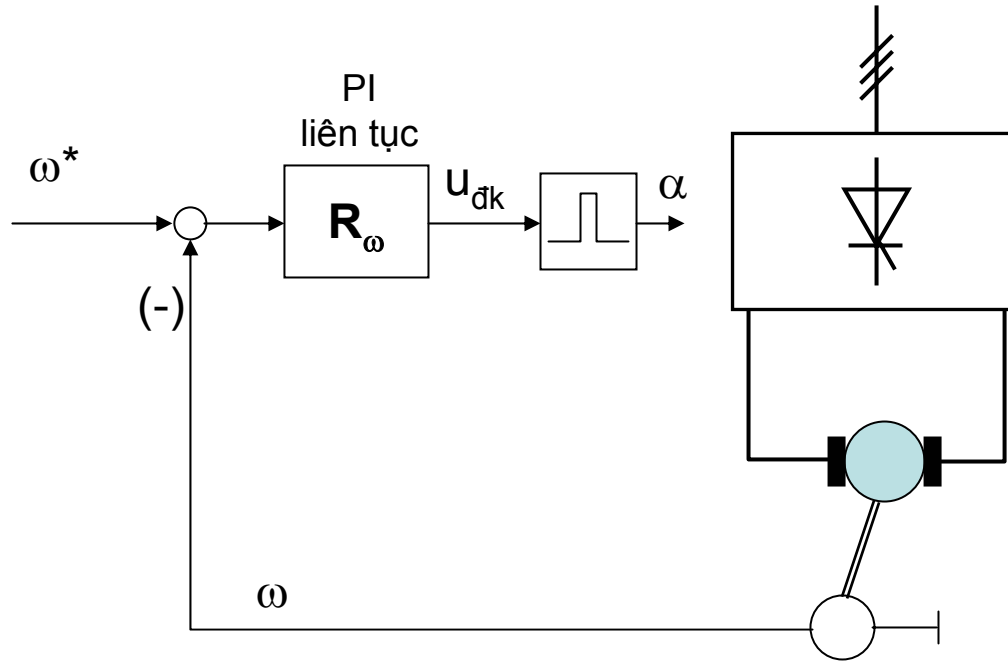
$$\frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{a_2(A_0z + A_1)}{z^2 - (1 + a_1 - a_2A_0)z + (a_2A_1 + a_1)}$$

Đa thức đặc tính:

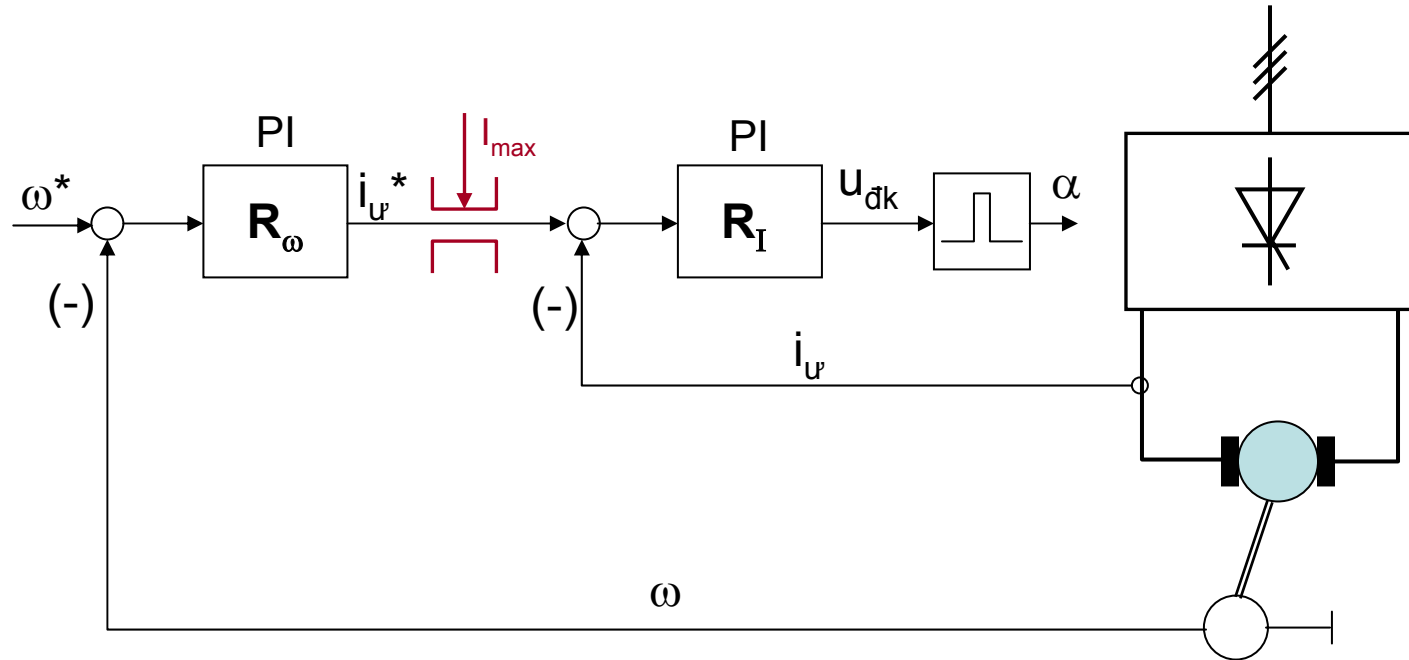
$$\Delta(z) = z^2 - (1 + a_1 - a_2A_0)z + (a_2A_1 + a_1)$$

### **3. 3 Hàm truyền đạt của hệ thống có hai mạch vòng kín**

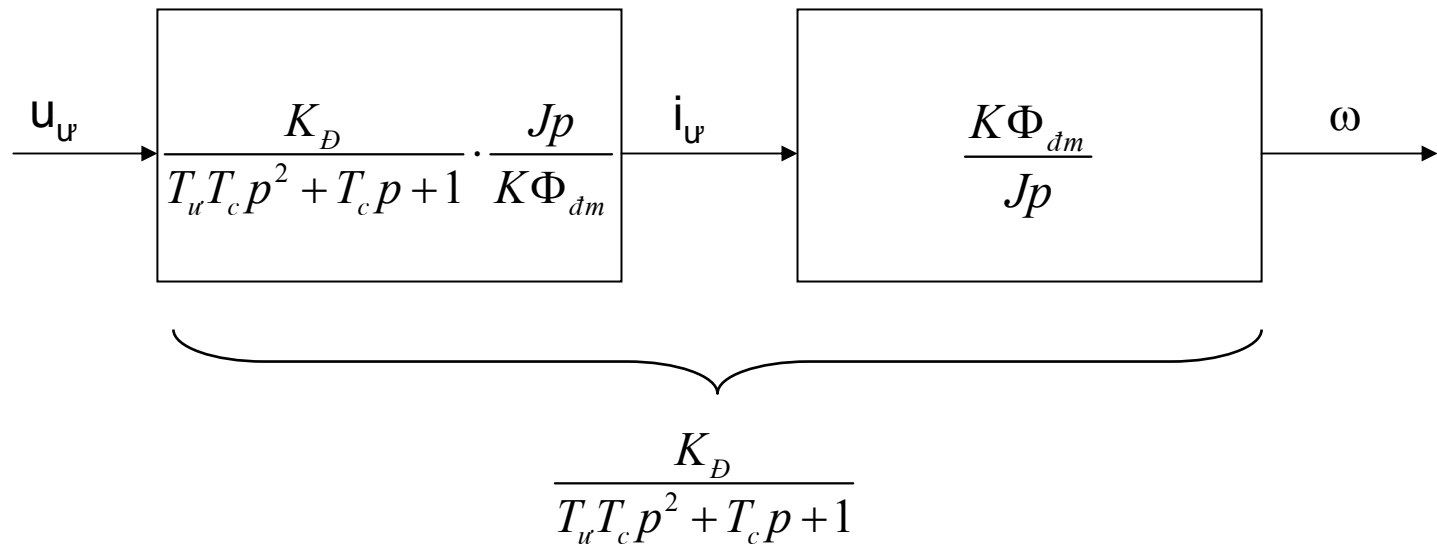
# Hệ thống có một mạch vòng kín



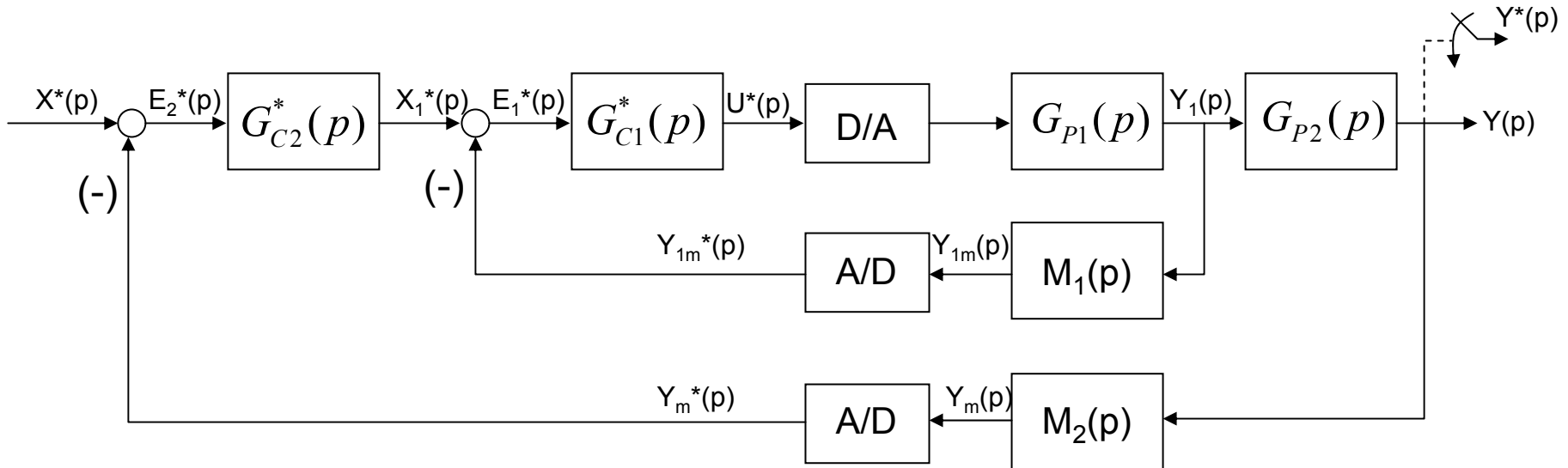
# Hệ thống có hai mạch vòng kín



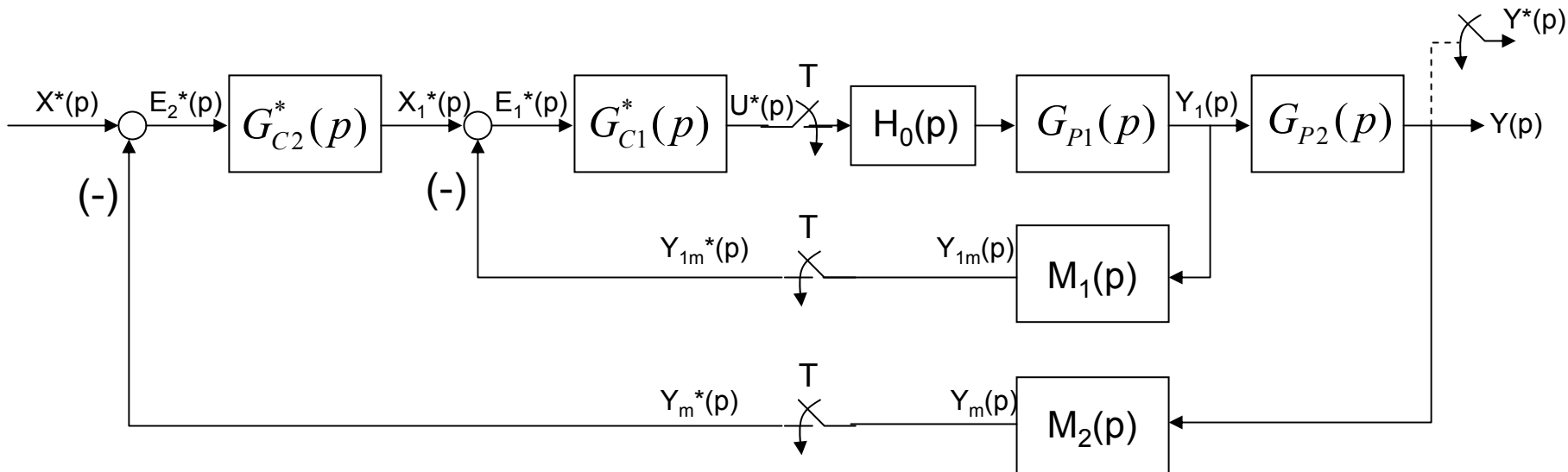
# Mô hình của động cơ điện một chiều có mạch vòng dòng điện



# Hệ thống có hai mạch vòng kín



# Bước 1: Khai triển sơ đồ khối





## Bước 2: Viết các biểu thức mô tả mối quan hệ giữa các tín hiệu trong hệ thống

$$\begin{aligned} Y(p) &= U^*(p).H_0G_{P1}G_{P2}(p) \\ E_2^*(p) &= X^*(p) - Y_m^*(p) \quad (1) \\ Y^*(p) &= \left[ U^*(p).H_0G_{P1}G_{P2}(p) \right]^* \\ X_1^*(p) &= E_2^*(p).G_{C2}^*(p) \quad (2) \\ Y^*(p) &= U^*(p).H_0G_{P1}G_{P2}^*(p) \quad (5) \\ E_1^*(p) &= X_1^*(p) - Y_{1m}^*(p) \quad (3) \\ Y_{1m}(p) &= U^*(p).H_0G_{P1}M_1(p) \\ U^*(p) &= E_1^*(p).G_{C1}^*(p) \quad (4) \\ Y_{1m}^*(p) &= \left[ U^*(p).H_0G_{P1}M_1(p) \right]^* \\ Y_{1m}^*(p) &= U^*(p).H_0G_{P1}M_1^*(p) \quad (6) \\ Y_m(p) &= U^*(p).H_0G_{P1}G_{P2}M_2(p) \\ Y_m^*(p) &= \left[ U^*(p).H_0G_{P1}G_{P2}M_2(p) \right]^* \\ Y_m^*(p) &= U^*(p).H_0G_{P1}G_{P2}M_2^*(p) \quad (7) \end{aligned}$$

## Bước 3: Chuyển các biểu thức “\*” sang biểu thức Z

- Thay  $p = \frac{1}{T} \ln z$  vào các biểu thức “\*”

$$E_2^*(p) = X^*(p) - Y_m^*(p) \quad (1) \quad E_2(z) = X(z) - Y_m(z) \quad (1)$$

$$X_1^*(p) = E_2^*(p).G_{C2}^*(p) \quad (2) \quad X_1(z) = E_2(z).G_{C2}(z) \quad (2)$$

$$E_1^*(p) = X_1^*(p) - Y_{1m}^*(p) \quad (3) \quad E_1(z) = X_1(z) - Y_{1m}(z) \quad (3)$$

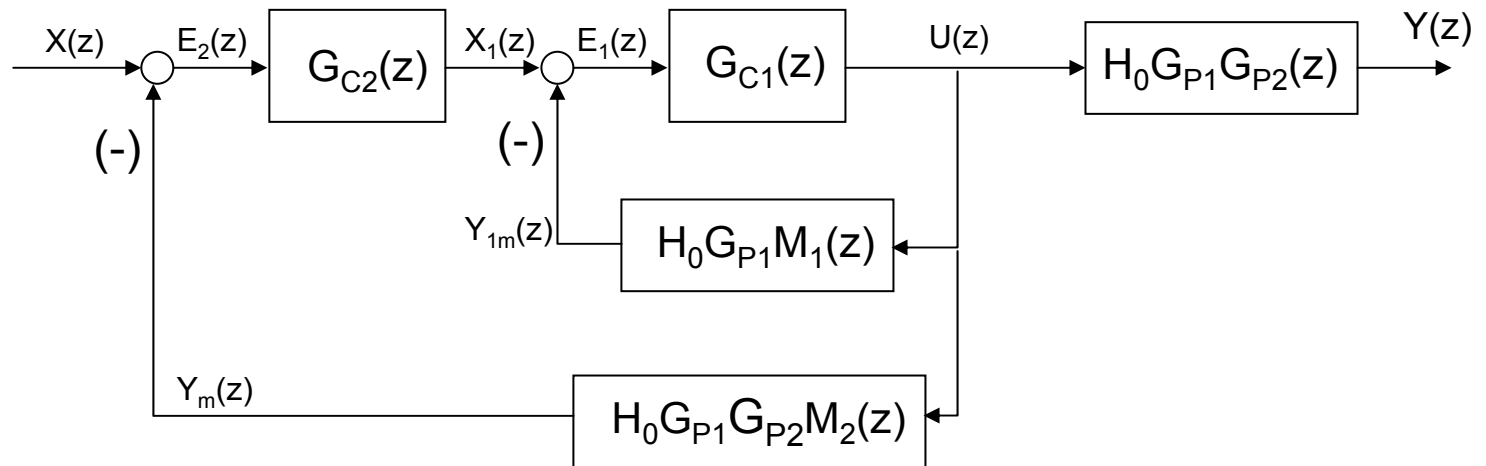
$$U^*(p) = E_1^*(p).G_{C1}^*(p) \quad (4) \quad U(z) = E_1(z).G_{C1}(z) \quad (4)$$

$$Y^*(p) = U^*(p).H_0 G_{P1} G_{P2}^*(p) \quad (5) \quad Y(z) = U(z).H_0 G_{P1} G_{P2}(z) \quad (5)$$

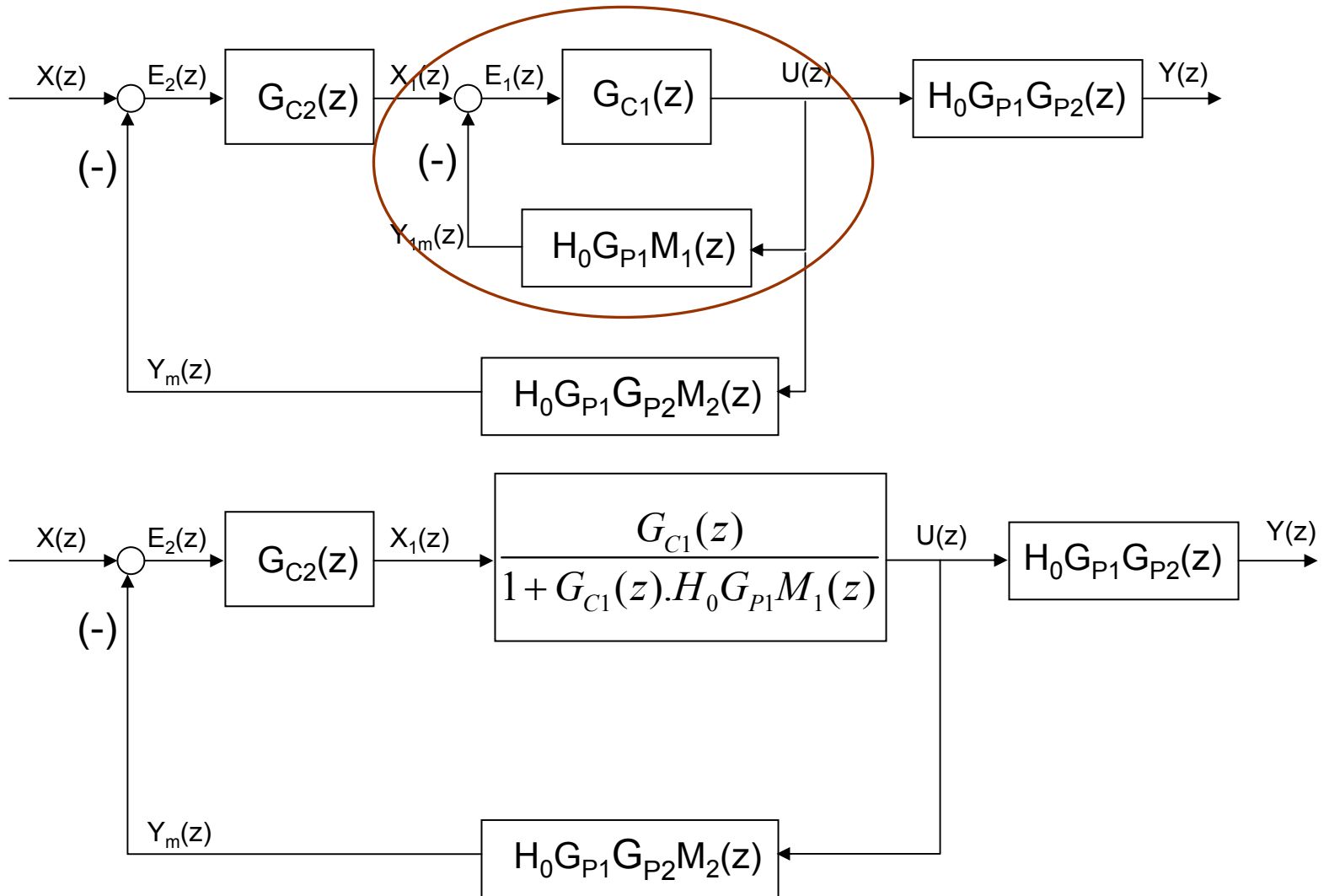
$$Y_{1m}^*(p) = U^*(p).H_0 G_{P1} M_1^*(p) \quad (6) \quad Y_{1m}(z) = U(z).H_0 G_{P1} M_1(z) \quad (6)$$

$$Y_m^*(p) = U^*(p).H_0 G_{P1} G_{P2} M_2^*(p) \quad (7) \quad Y_m(z) = U(z).H_0 G_{P1} G_{P2} M_2(z) \quad (7)$$

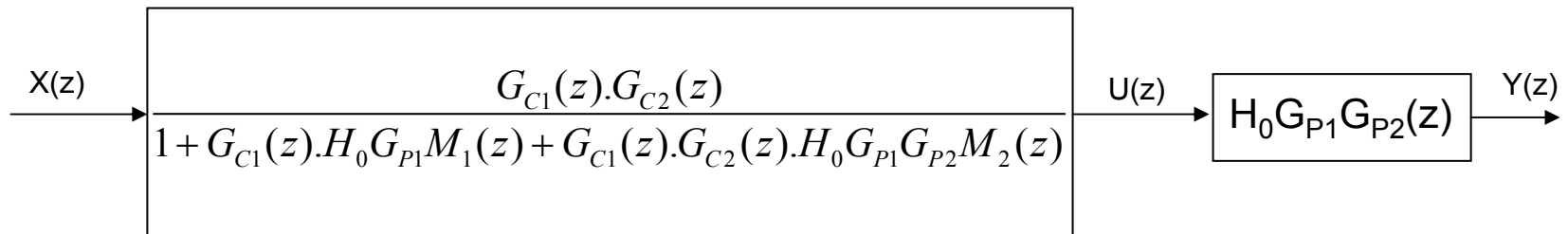
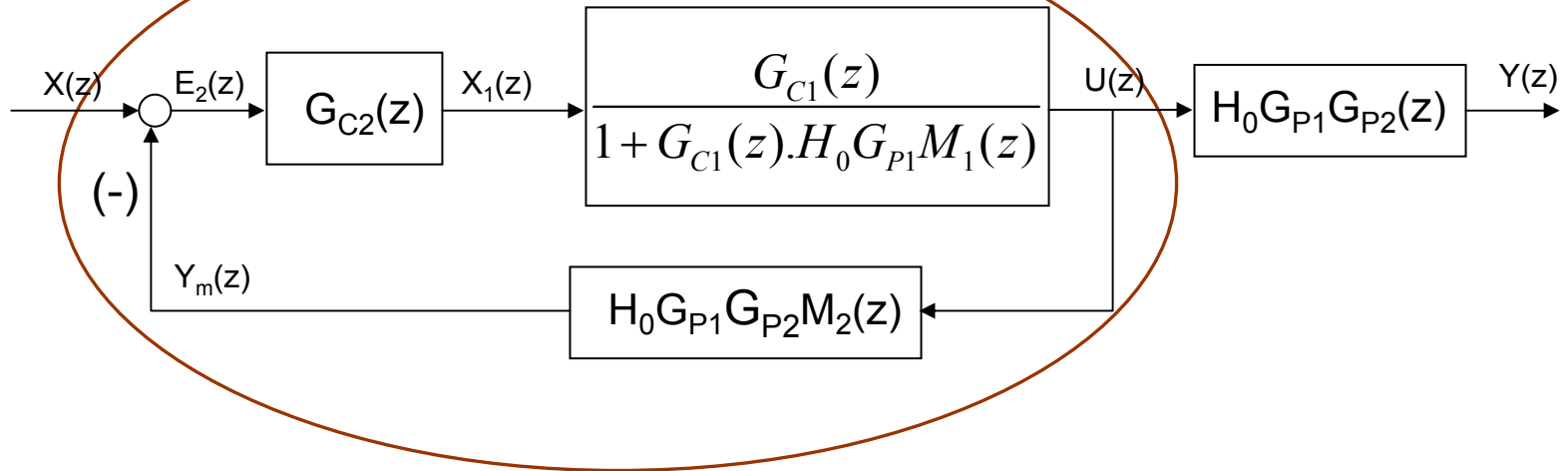
## Bước 4: Vẽ lại sơ đồ khối



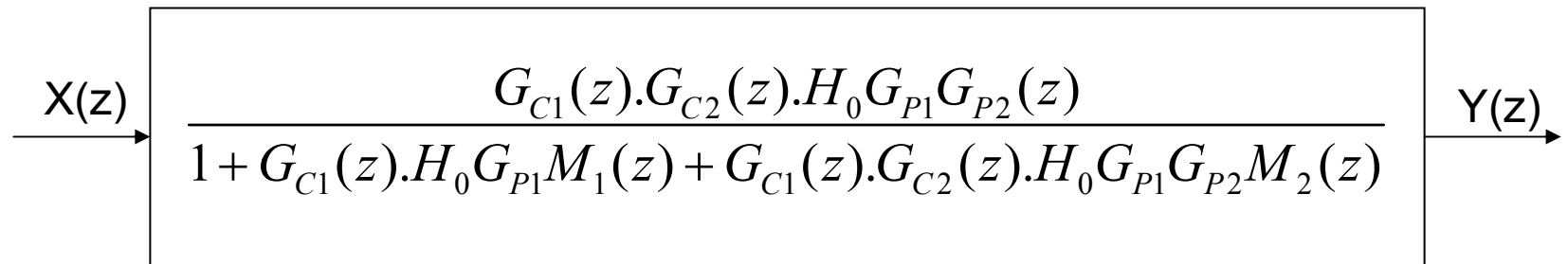
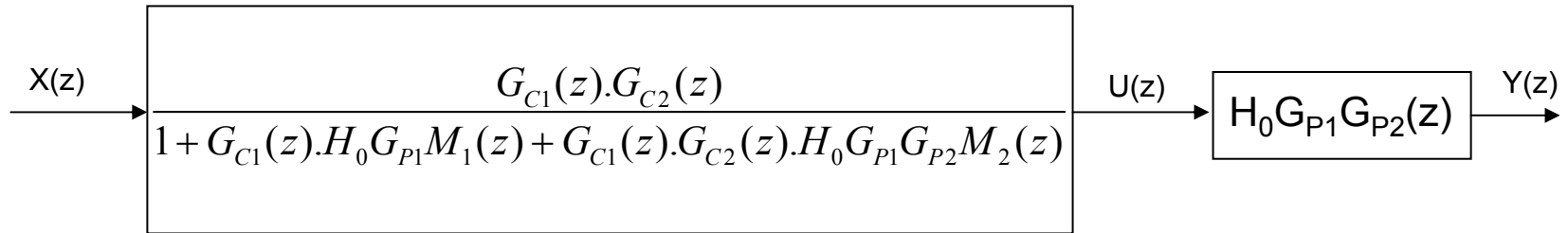
## Bước 5: Biến đổi sơ đồ khối – xác định hàm truyền đạt



## Bước 5: Biến đổi sơ đồ khối – xác định hàm truyền đạt



## Bước 5: Biến đổi sơ đồ khối – xác định hàm truyền đạt



$$G(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{G_{C1}(z).G_{C2}(z).H_0 G_{P1} G_{P2}(z)}{1 + G_{C1}(z).H_0 G_{P1} M_1(z) + G_{C1}(z).G_{C2}(z).H_0 G_{P1} G_{P2} M_2(z)}$$

$$H_0 G_{P_1} G_{P_2}(z) = \frac{z-1}{z} \mathbb{Z} \left\{ \frac{G_{P_1}(p).G_{P_2}(p)}{p} \right\}$$

$$H_0 G_{P_1} M_1(z) = \frac{z-1}{z} \mathbb{Z} \left\{ \frac{G_{P_1}(p).M_1(p)}{p} \right\}$$

$$H_0 G_{P_1} G_{P_2} M_2(z) = \frac{z-1}{z} \mathbb{Z} \left\{ \frac{G_{P_1}(p).G_{P_2}(p).M_2(p)}{p} \right\}$$

## Trường hợp đặc biệt

- $M_1(p) = K_1$
- $M_2(p) = K_2$

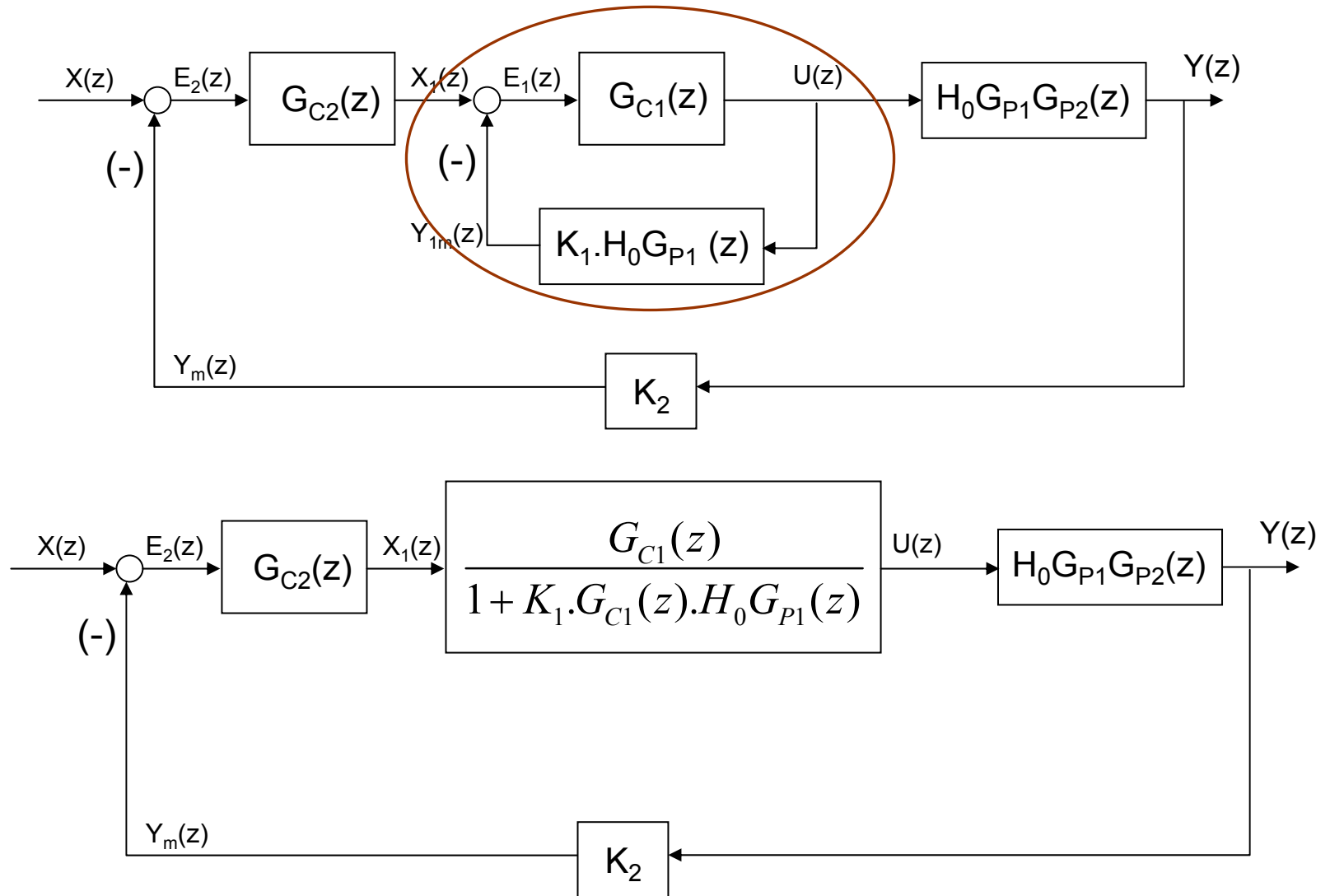


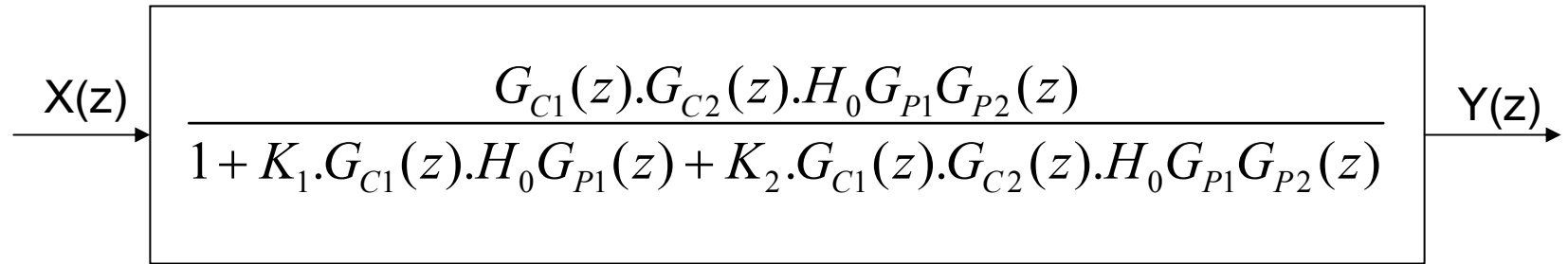
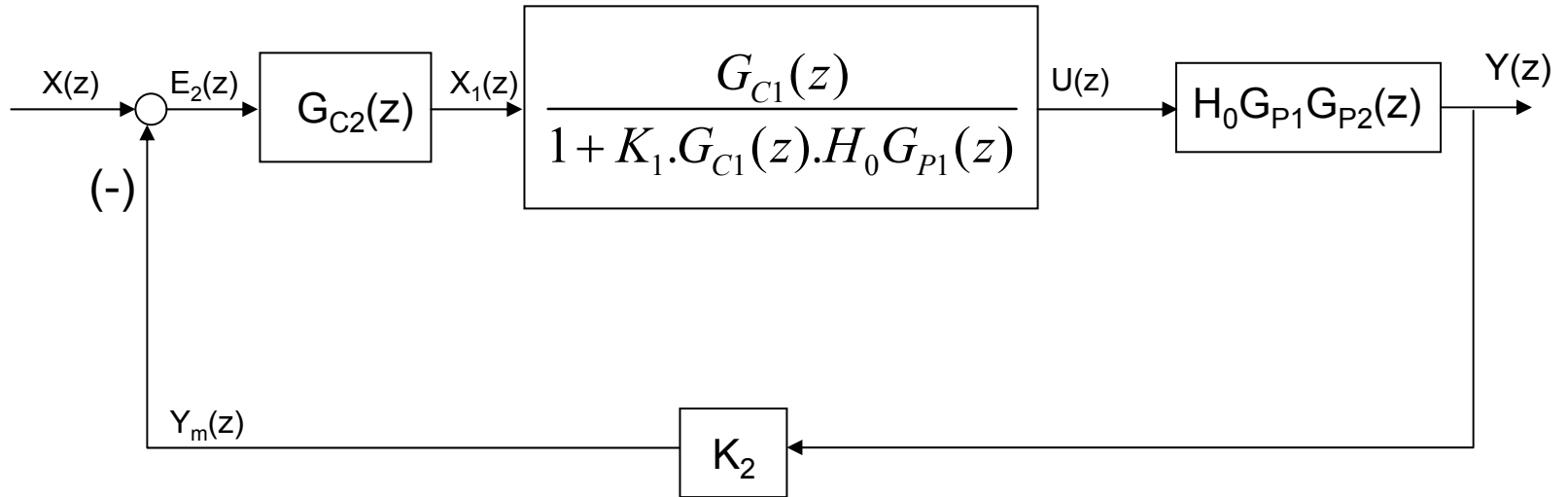
$$H_0 G_{P1} M_1(z) = K_1 \cdot H_0 G_{P1}(z)$$

$$H_0 G_{P1} G_{P2} M_2(z) = K_2 \cdot H_0 G_{P1} G_{P2}(z)$$



# Sơ đồ khối

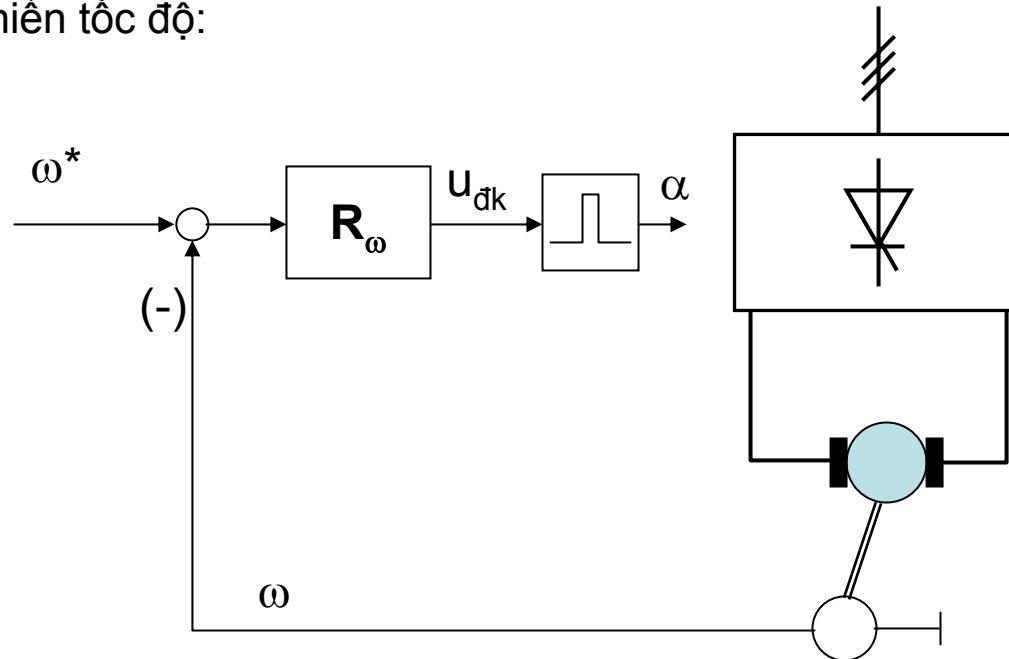




$$G(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{G_{C1}(z) \cdot G_{C2}(z) \cdot H_0 G_{P1} G_{P2}(z)}{1 + K_1 \cdot G_{C1}(z) \cdot H_0 G_{P1}(z) + K_2 \cdot G_{C1}(z) \cdot G_{C2}(z) \cdot H_0 G_{P1} G_{P2}(z)}$$

# Ví dụ: Điều khiển vị trí động cơ điện một chiều

- Điều khiển tốc độ:

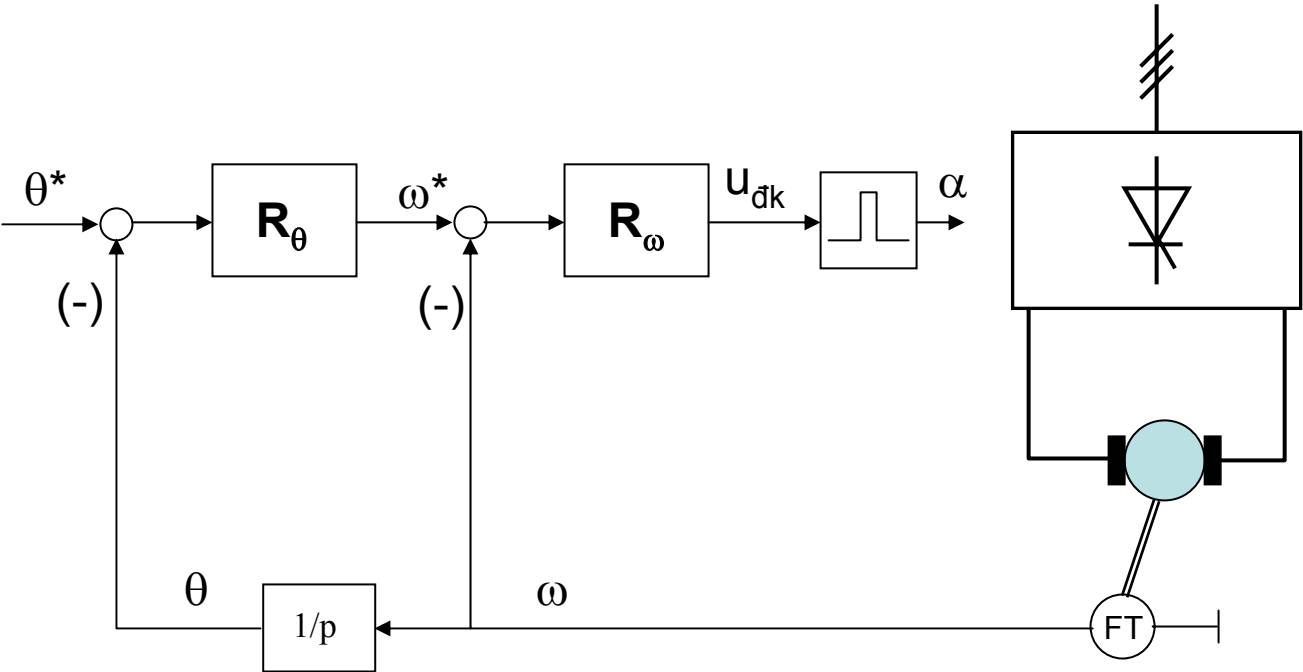


- Điều khiển vị trí:

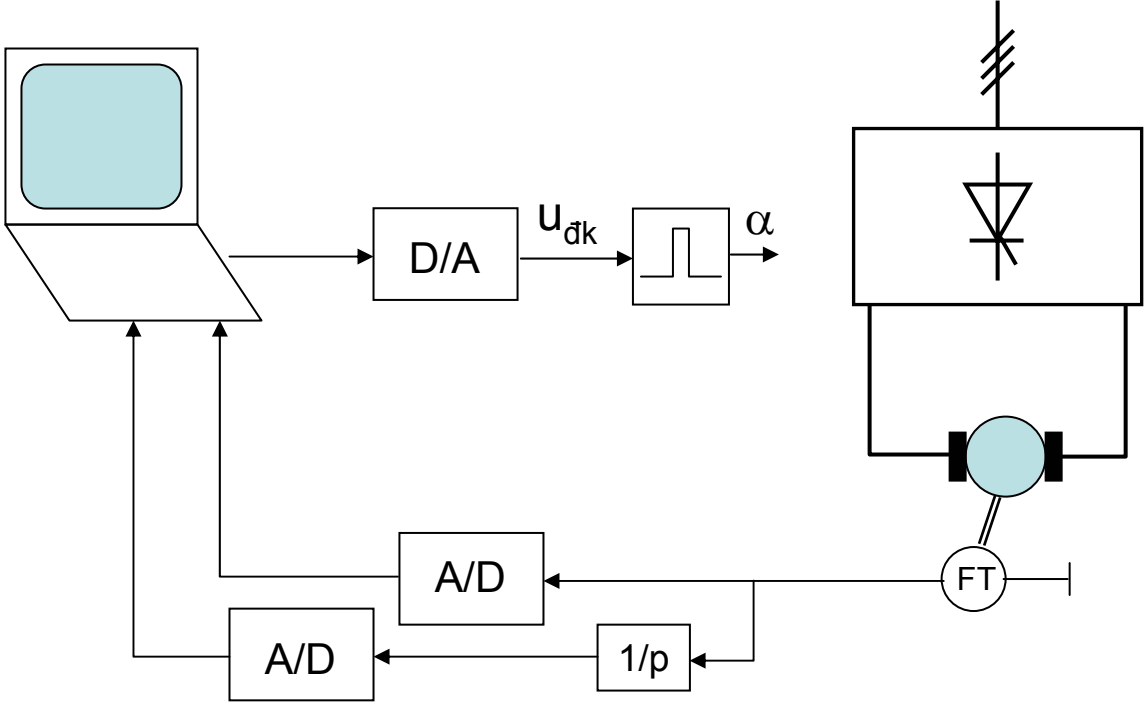
Ứng dụng: điều khiển vòng quay của động cơ trong điều khiển robot

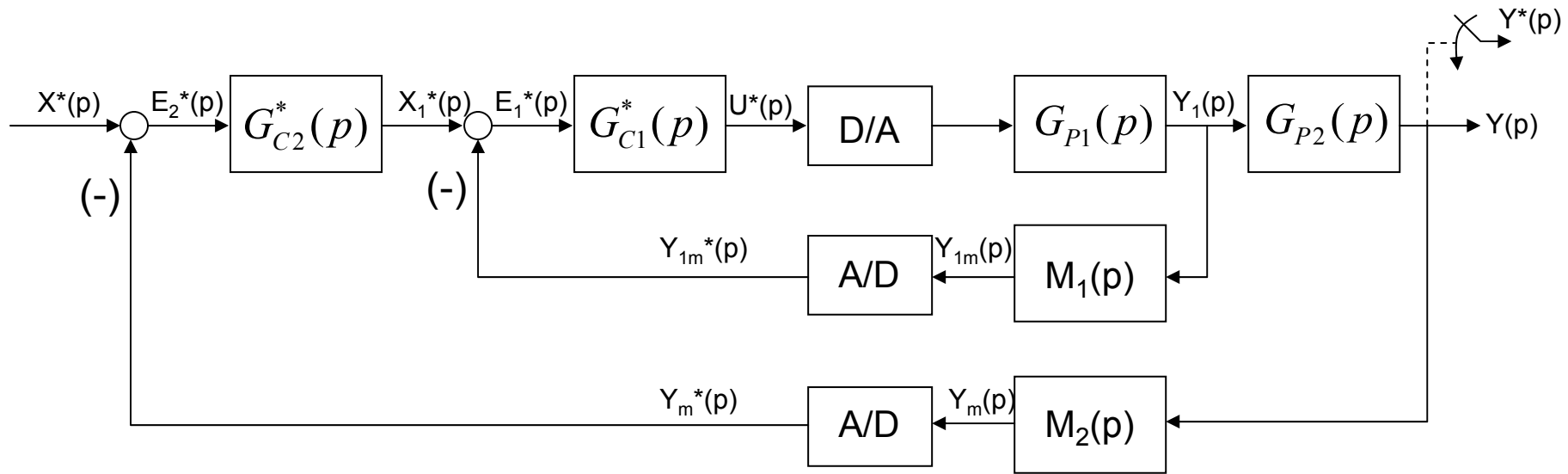
$$s = \int v(t) dt \quad \theta = \int \omega(t) dt \quad \theta(p) = \frac{1}{p} \omega(p)$$

- Điều khiển tương tự



- Điều khiển số





$$G_{C1}(z) = \frac{A_0 z + A_1}{z - 1}$$

$$A_0 = K_P + \frac{K_I T}{2}$$

$$A_1 = -K_P + \frac{K_I T}{2}$$

$$G_{C2}(z) = K_{P2}$$

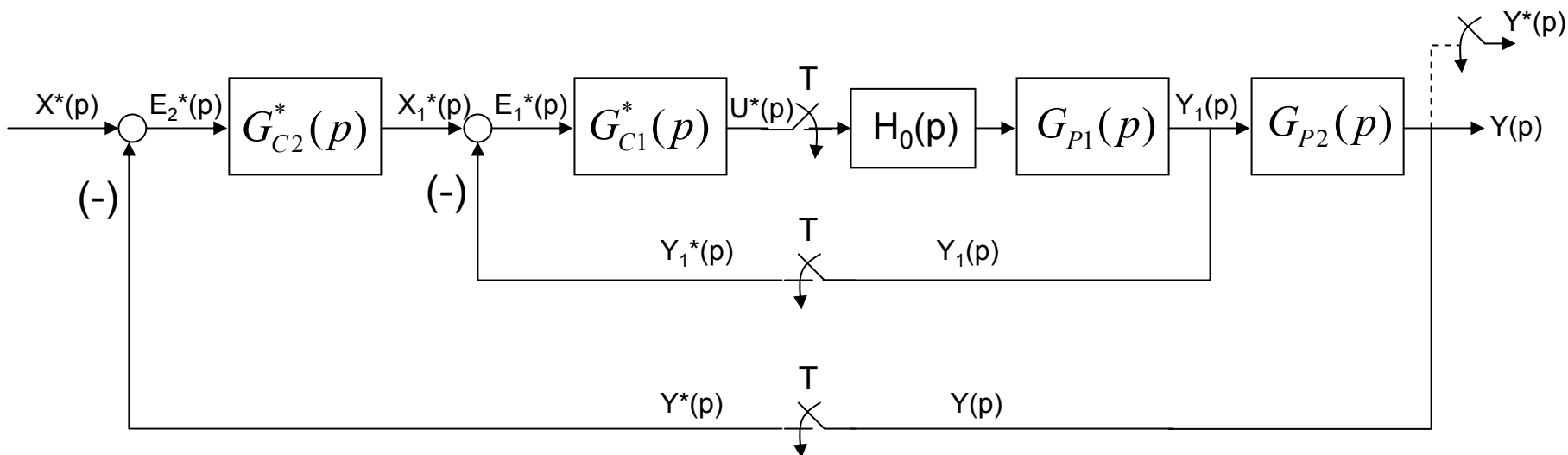
$K_P$ : Hằng số tỷ lệ  
 $K_I$ : hằng số tích phân

$$G_{P1}(p) = \frac{K}{\tau p + 1} \quad G_{P2}(p) = \frac{1}{p}$$

$$M_1(p) = 1$$

$$M_2(p) = 1$$

# Bước 1: Khai triển sơ đồ khối



Bước 2: Viết các biểu thức mô tả mối quan hệ giữa các tín hiệu trong hệ thống

$$E_2^*(p) = X^*(p) - Y^*(p) \quad (1)$$

$$X_1^*(p) = E_2^*(p).G_{C2}^*(p) \quad (2)$$

$$E_1^*(p) = X_1^*(p) - Y_1^*(p) \quad (3)$$

$$U^*(p) = E_1^*(p).G_{C1}^*(p) \quad (4)$$

$$Y(p) = U^*(p).H_0G_{P1}G_{P2}(p)$$

$$Y^*(p) = \left[ U^*(p).H_0G_{P1}G_{P2}(p) \right]^*$$

$$Y^*(p) = U^*(p).H_0G_{P1}G_{P2}^*(p) \quad (5)$$

$$Y_1(p) = U^*(p).H_0G_{P1}(p)$$

$$Y_1^*(p) = \left[ U^*(p).H_0G_{P1} \right]^*$$

$$Y_1^*(p) = U^*(p).H_0G_{P1}^*(p) \quad (6)$$

### Bước 3: Chuyển các biểu thức “\*” sang biểu thức Z

- Thay  $p = \frac{1}{T} \ln z$  vào các biểu thức “\*”

$$E_2^*(p) = X^*(p) - Y^*(p) \quad (1) \qquad E_2(z) = X(z) - Y(z) \quad (1)$$

$$X_1^*(p) = E_2^*(p).G_{C2}^*(p) \quad (2) \qquad X_1(z) = E_2(z).G_{C2}(z) \quad (2)$$

$$E_1^*(p) = X_1^*(p) - Y_1^*(p) \quad (3) \qquad E_1(z) = X_1(z) - Y_1(z) \quad (3)$$

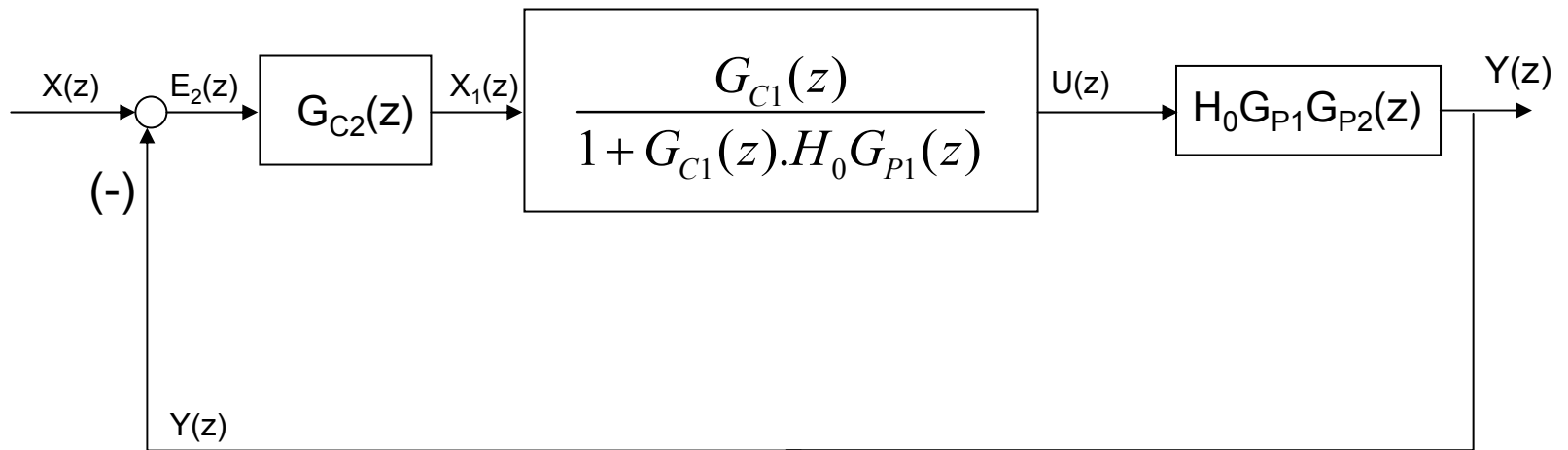
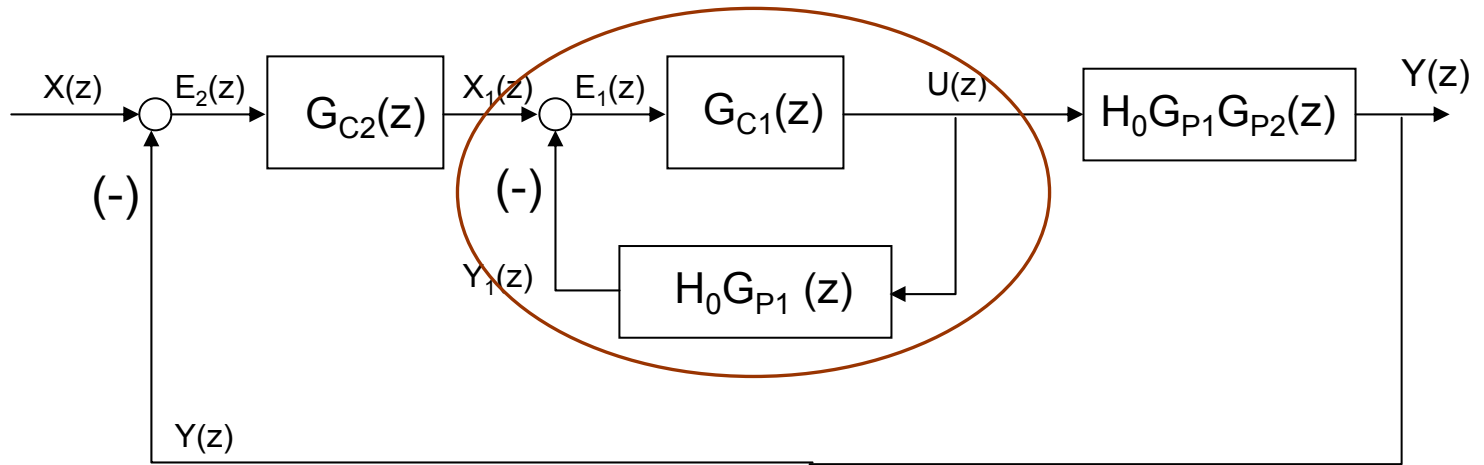
$$U^*(p) = E_1^*(p).G_{C1}^*(p) \quad (4) \qquad U(z) = E_1(z).G_{C1}(z) \quad (4)$$

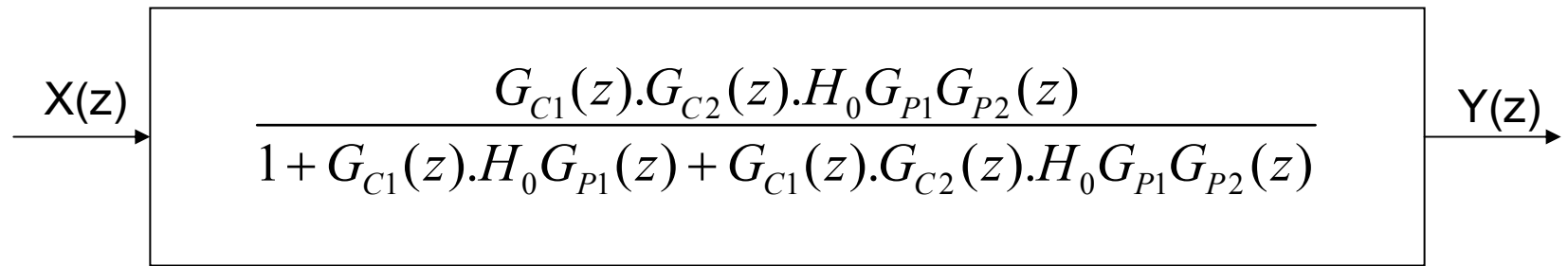
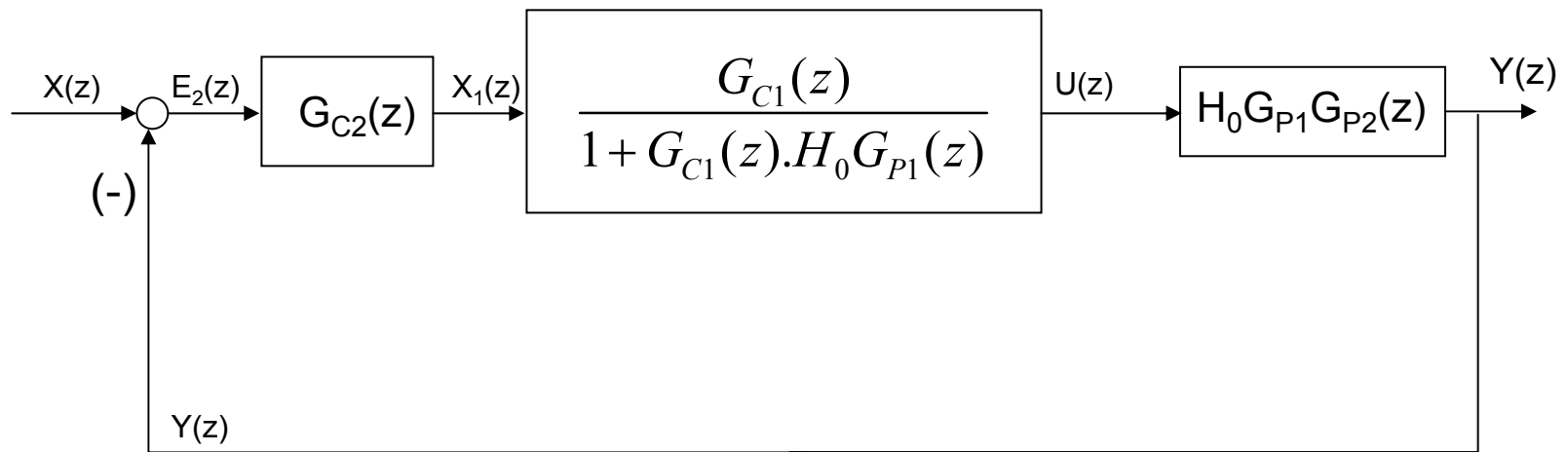
$$Y^*(p) = U^*(p).H_0 G_{P1} G_{P2}^*(p) \quad (5) \qquad Y(z) = U(z).H_0 G_{P1} G_{P2}(z) \quad (5)$$

$$Y_1^*(p) = U^*(p).H_0 G_{P1}^*(p) \quad (6) \qquad Y_1(z) = U(z).H_0 G_{P1}(z) \quad (6)$$



# Sơ đồ khối





$$G(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{G_{C1}(z).G_{C2}(z).H_0 G_{P1} G_{P2}(z)}{1 + G_{C1}(z).H_0 G_{P1}(z) + G_{C1}(z).G_{C2}(z).H_0 G_{P1} G_{P2}(z)}$$

## Thay dữ liệu đã cho

$$\begin{aligned}H_0 G_{P1}(z) &= \frac{z-1}{z} \mathbb{Z} \left\{ \frac{G_{P1}(p)}{p} \right\} \\&= \frac{z-1}{z} \mathbb{Z} \left\{ \frac{K}{p(\tau p + 1)} \right\}\end{aligned}$$

$$H_0 G_{P1}(z) = \frac{z-1}{z} \frac{K(1 - e^{-\frac{T}{\tau}})z}{(z-1)(z - e^{-\frac{T}{\tau}})} = \frac{K(1 - e^{-\frac{T}{\tau}})}{(z - e^{-\frac{T}{\tau}})}$$

$$a_1 = e^{-\frac{T}{\tau}}; \quad a_2 = K(1 - a_1)$$

$$H_0 G_{P1}(z) = \frac{a_2}{z - a_1}$$

# Thay dữ liệu đã cho

$$H_0 G_{P1} G_{P2}(z) = \frac{z-1}{z} \mathbb{Z} \left\{ \frac{G_{P1}(p) G_{P2}(p)}{p} \right\}$$

$$= \frac{z-1}{z} \mathbb{Z} \left\{ \frac{K}{p^2(\tau p + 1)} \right\}$$

$$= K \frac{z-1}{z} \mathbb{Z} \left\{ \frac{\frac{1}{\tau}}{p^2(p + \frac{1}{\tau})} \right\}$$

$$\mathbb{Z} \left\{ \frac{\frac{1}{\tau}}{p^2(p + \frac{1}{\tau})} \right\} = \frac{T.z}{(z-1)^2} - \frac{\tau(1 - e^{-\frac{T}{\tau}}).z}{(z-1)(z - e^{-\frac{T}{\tau}})}$$

$$H_0 G_{P1} G_{P2}(z) = K \frac{z-1}{z} \left[ \frac{T.z}{(z-1)^2} - \frac{\tau(1 - e^{-\frac{T}{\tau}}).z}{(z-1)(z - e^{-\frac{T}{\tau}})} \right]$$

$$= K \left[ \frac{T}{(z-1)} - \frac{\tau(1 - e^{-\frac{T}{\tau}})}{(z - e^{-\frac{T}{\tau}})} \right]$$

$$= \frac{K[T - \tau(1 - e^{-\frac{T}{\tau}})]z + K[\tau(1 - e^{-\frac{T}{\tau}}) - T e^{-\frac{T}{\tau}}]}{(z-1).(z - e^{-\frac{T}{\tau}})}$$

$$a_3 = K[T - \tau(1 - a_1)]$$

$$a_4 = K[\tau(1 - a_1) - T a_1]$$

$$H_0 G_{P1} G_{P2}(z) = \frac{a_3 z + a_4}{(z-1).(z - a_1)}$$

# Kết quả hàm truyền đạt

$$\frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{G_{C1}(z).G_{C2}(z).H_0G_{P1}G_{P2}(z)}{1 + G_{C1}(z)H_0G_{P1}(z) + G_{C1}(z).G_{C2}(z).H_0G_{P1}G_{P2}(z)} = \frac{N(z)}{\Delta(z)}$$

$$N(z) = K_{P2} \frac{(A_0z + A_1)(a_3z + a_4)}{(z-1)^2(z-a_1)}$$

$$= \frac{K_{P2}A_0a_3z^2 + K_{P2}(A_0a_4 + A_1a_3)z + K_{P2}A_1a_4}{(z-1)^2(z-a_1)}$$

$$\Delta(z) = 1 + \frac{A_0z + A_1}{z-1} \cdot \frac{a_2}{z-a_1} + K_{P2} \frac{A_0z + A_1}{z-1} \cdot \frac{a_3z + a_4}{(z-1)(z-a_1)}$$

$$= \frac{(z-1)^2(z-a_1) + a_2(z-1)(A_0z + A_1) + K_{P2}(A_0z + A_1)(a_3z + a_4)}{(z-1)^2(z-a_1)}$$

# Kết quả hàm truyền đạt

$$\Delta(z) = \frac{(z-1)^2(z-a_1) + a_2(z-1)(A_0z + A_1) + K_{P2}(A_0z + A_1)(a_3z + a_4)}{(z-1)^2(z-a_1)}$$

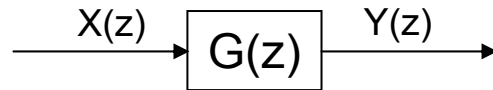
Đặt:  $d_1 = A_0(a_2 + K_{P2}a_3) - 2 - a_1$

$$d_2 = 1 + 2a_1 + K_{P2}a_2(A_1 - A_0)(A_1a_3 + A_0a_4)$$

$$d_3 = K_{P2}A_1a_4 - A_1a_2 - a_1$$

$$\Rightarrow \Delta(z) = \frac{z^3 + d_1z^2 + d_2z + d_3}{(z-1)^2(z-a_1)}$$

Hàm truyền đạt của hệ thống đã cho



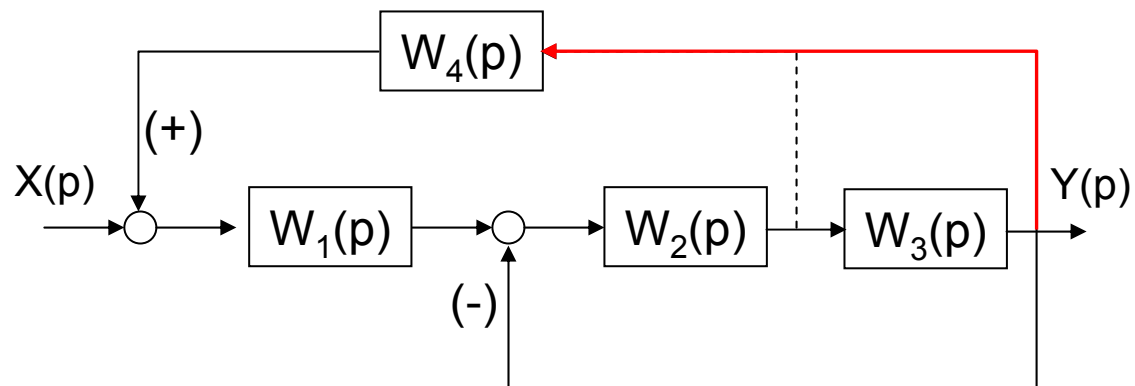
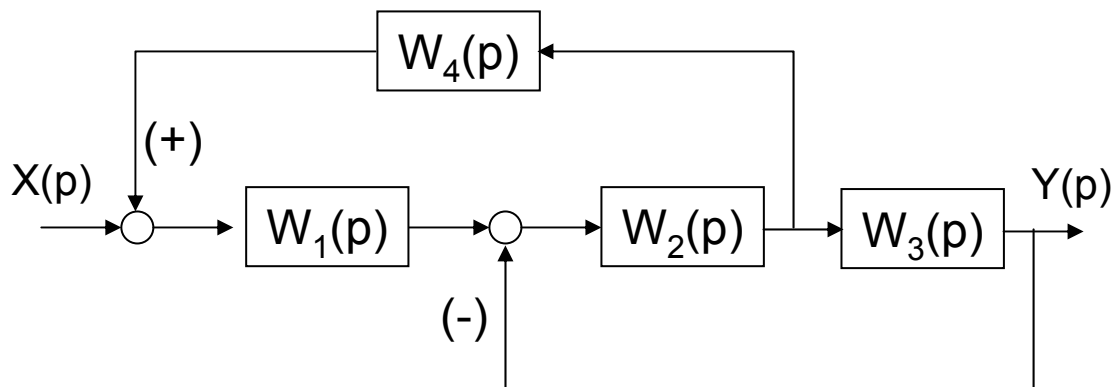
$$G(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{K_{P2}A_0a_3z^2 + K_{P2}(A_0a_4 + A_1a_3)z + K_{P2}A_1a_4}{z^3 + d_1z^2 + d_2z + d_3}$$

# CÁC BƯỚC XÁC ĐỊNH HÀM TRUYỀN ĐẠT CỦA HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN SỐ

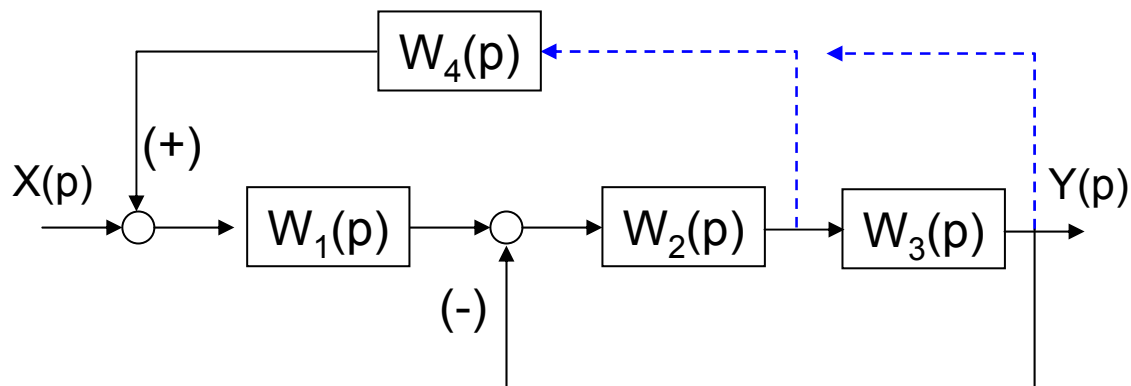
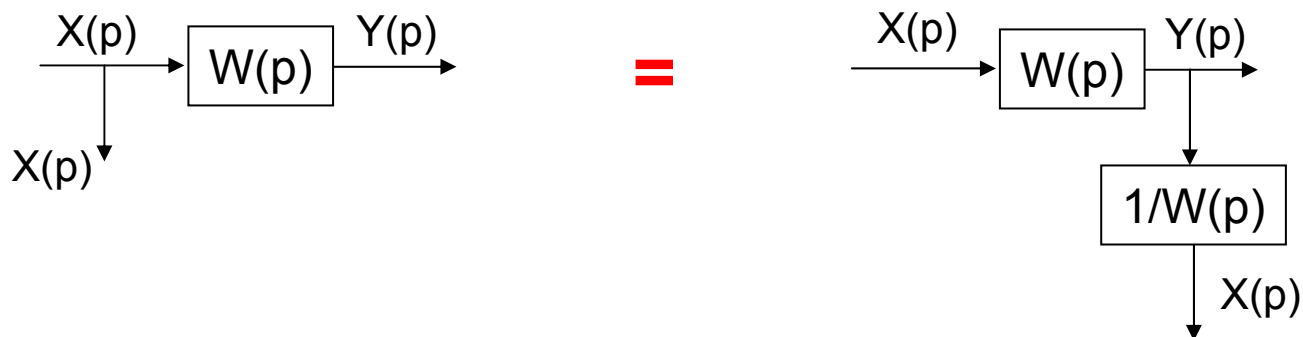
1. Khai triển sơ đồ khối. Thay các bộ biến đổi A/D bằng khâu lấy mẫu. Thay bộ biến đổi D/A bằng khâu lấy mẫu nối tiếp với khâu lưu giữ bậc không  $H_0(p)$
2. Viết các biểu thức mô tả mối quan hệ giữa các tín hiệu trong hệ thống. Chuyển thành các biểu thức “\*”
3. Chuyển các biểu thức “\*” thành các biểu thức theo Z
4. Vẽ lại sơ đồ khối theo phép biến đổi Z
5. **Biến đổi sơ đồ khối.** Xác định hàm truyền đạt

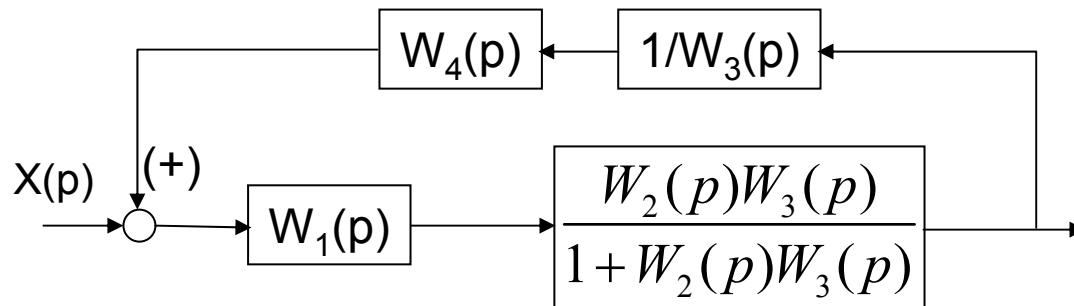
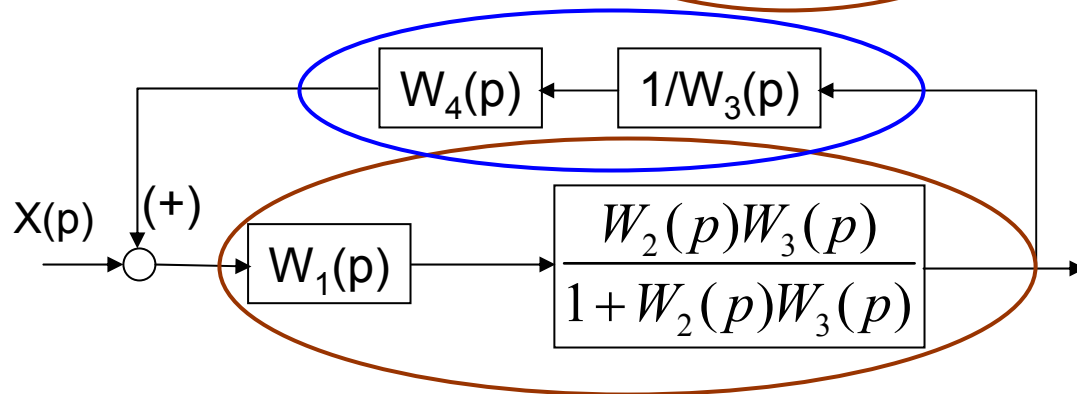
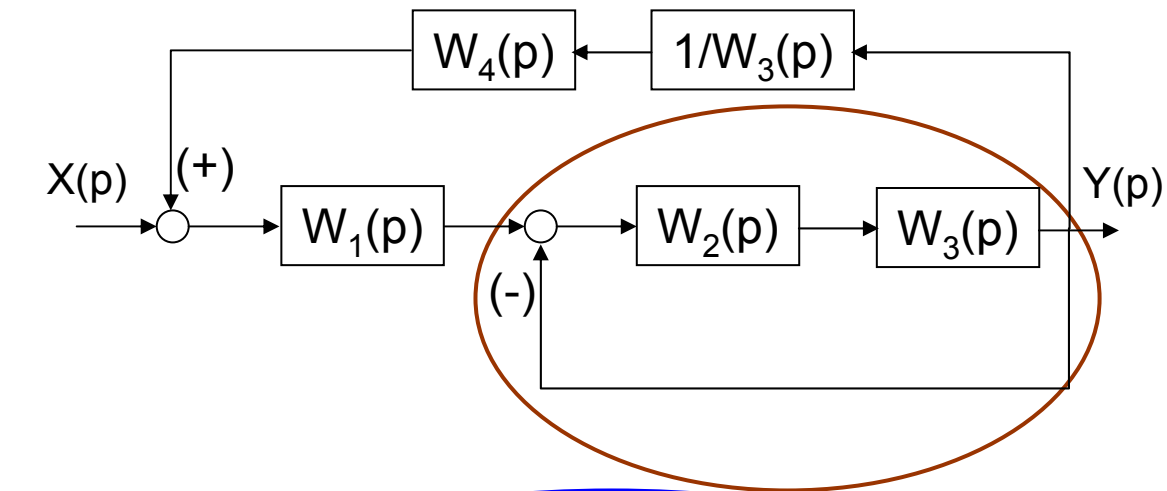


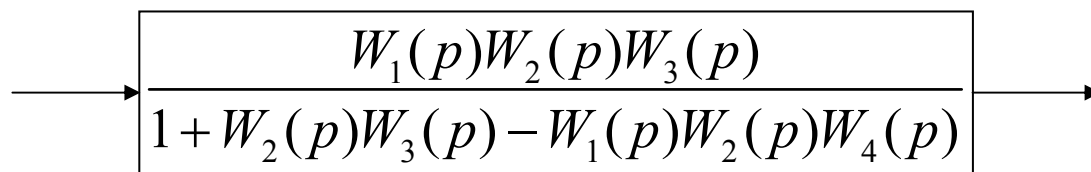
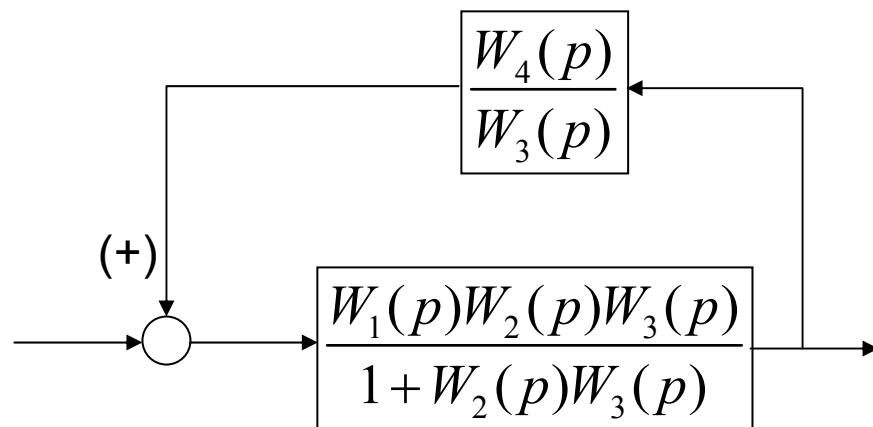
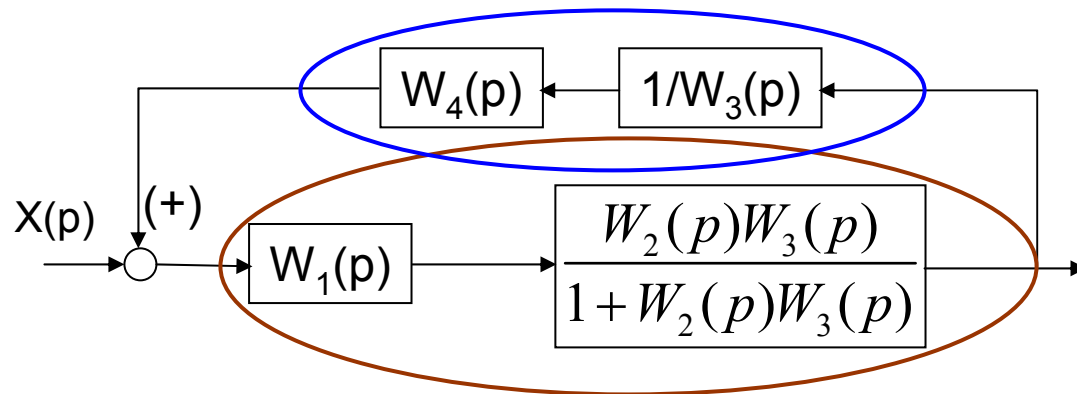
# Biến đổi sơ đồ khối



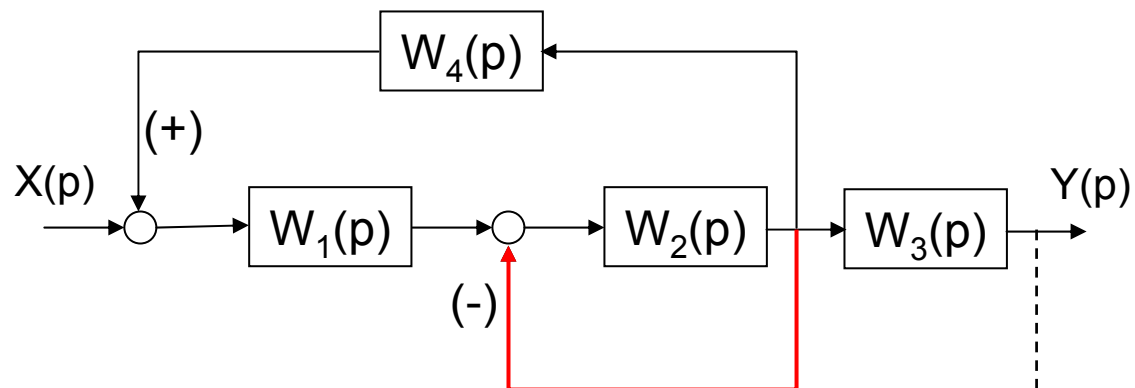
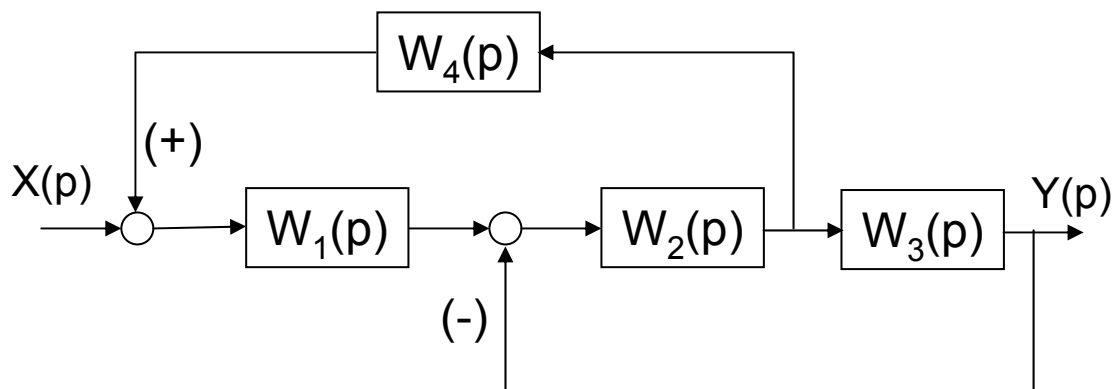
# Chuyển tín hiệu ra từ trước ra sau một khối



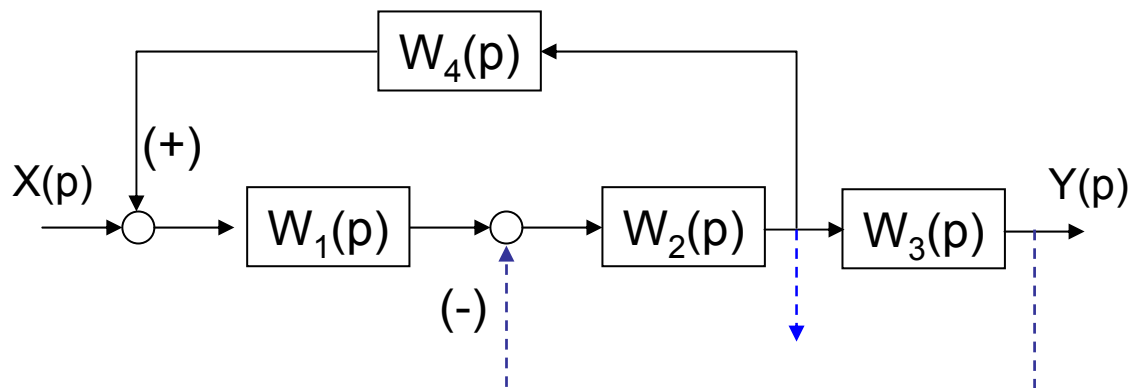
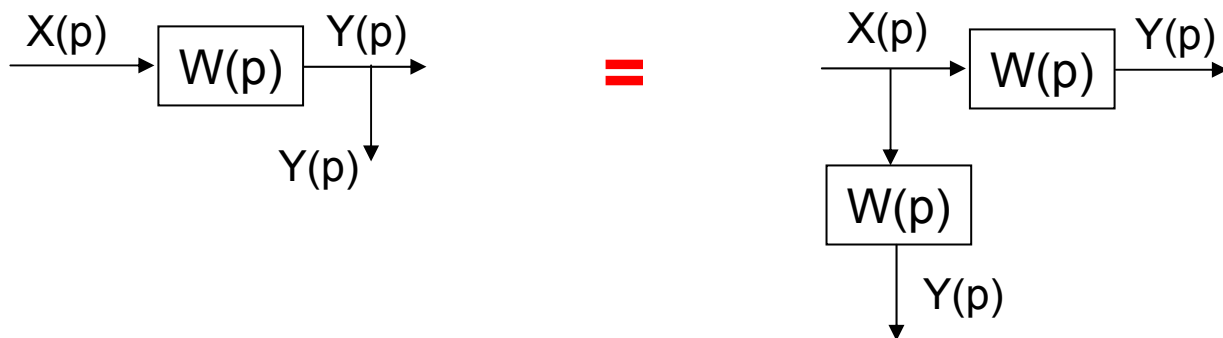


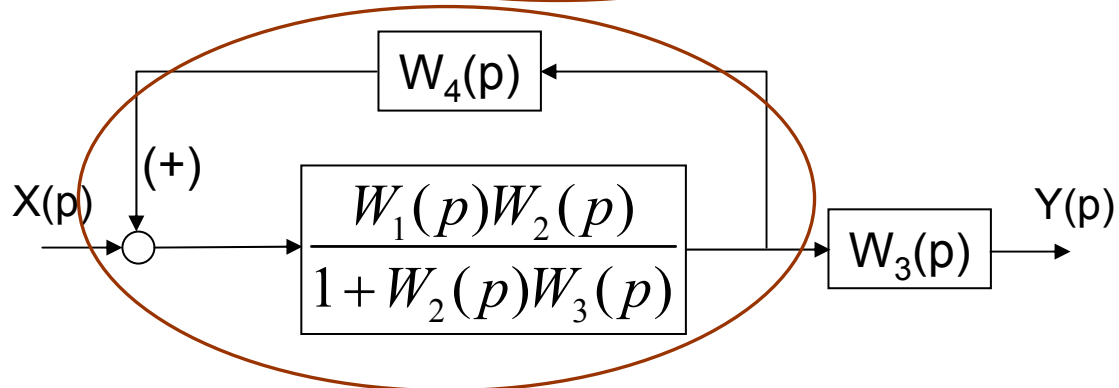
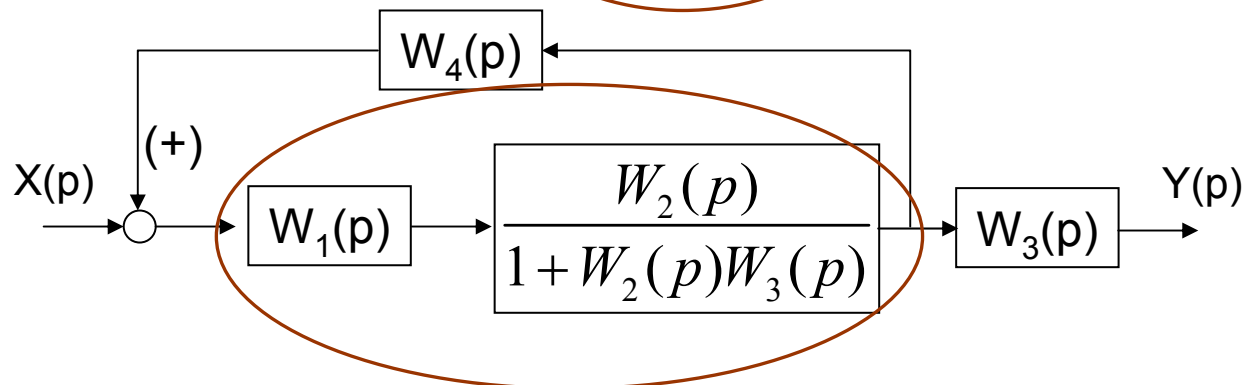
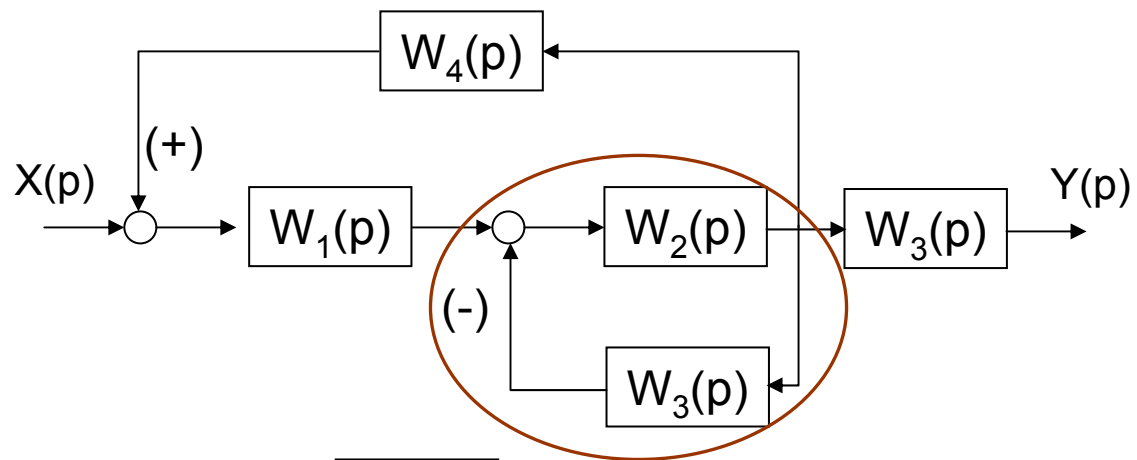


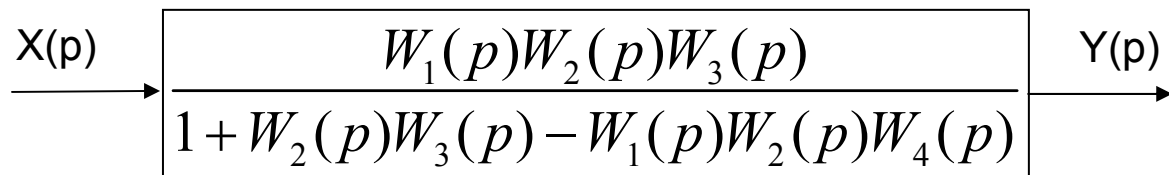
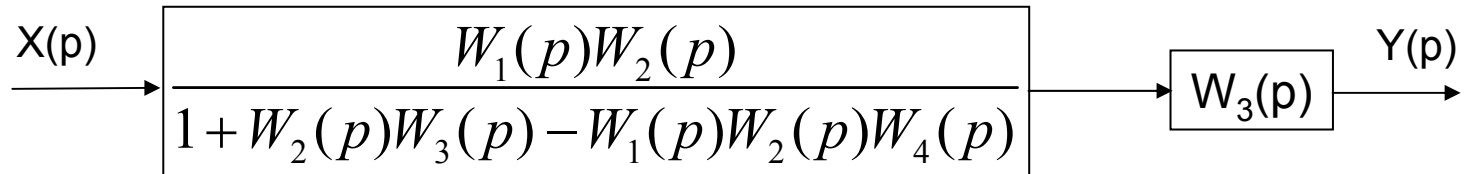
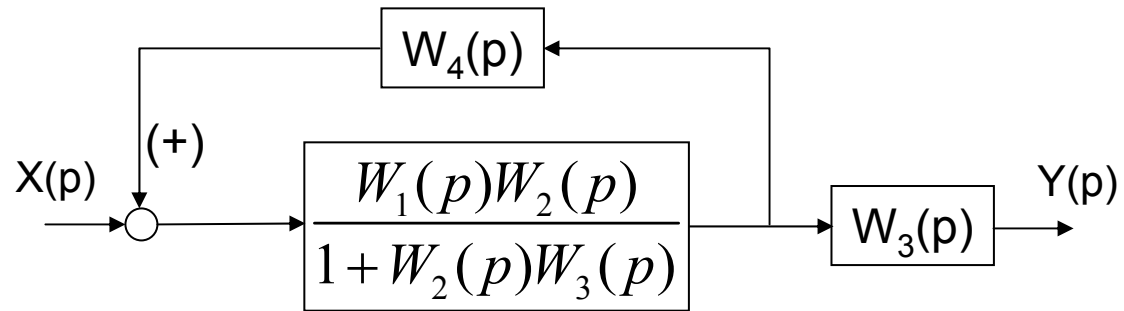
# Biến đổi sơ đồ khối



# Chuyển tín hiệu ra từ sau ra trước một khối

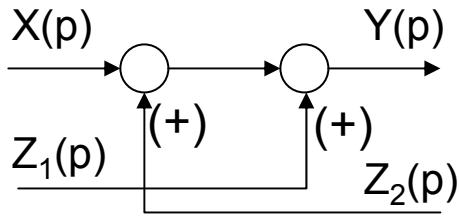




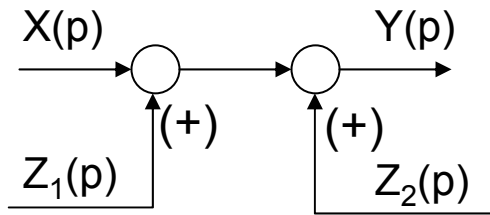




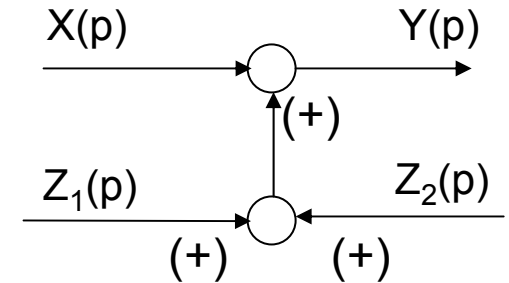
# Hoán vị, kết hợp hai bộ cộng



=



=

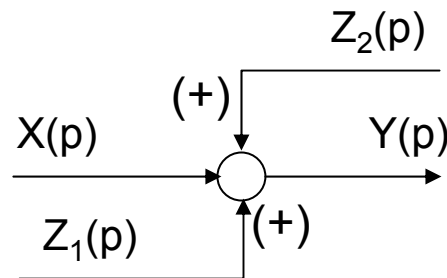


$$Y(p) = [X(p) + Z_2(p)] + Z_1(p)$$

$$Y(p) = [X(p) + Z_1(p)] + Z_2(p)$$

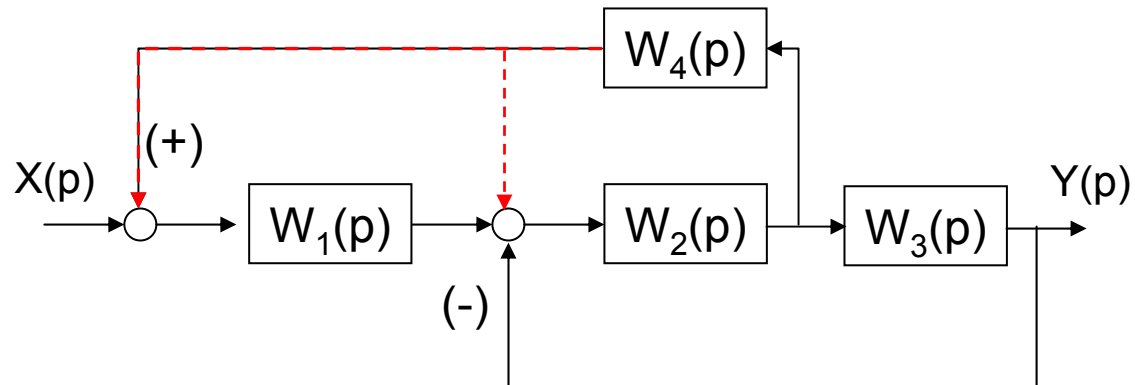
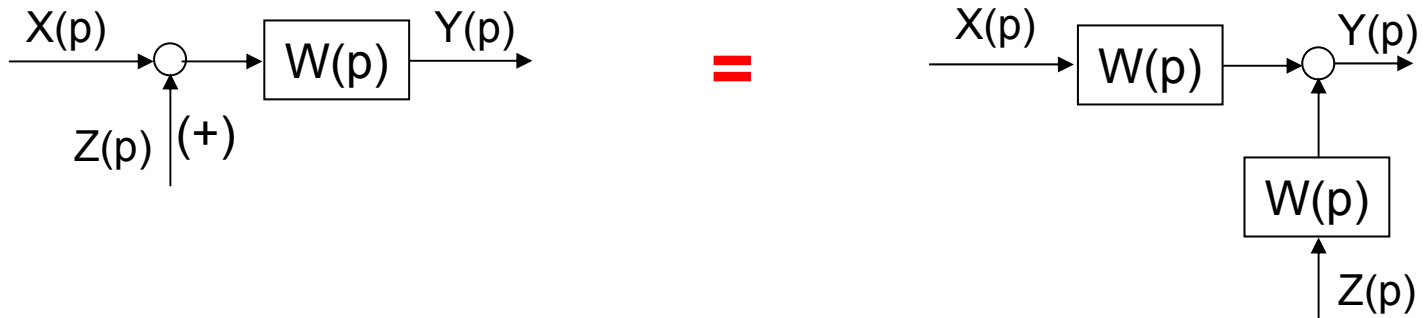
$$Y(p) = X(p) + [Z_1(p) + Z_2(p)]$$

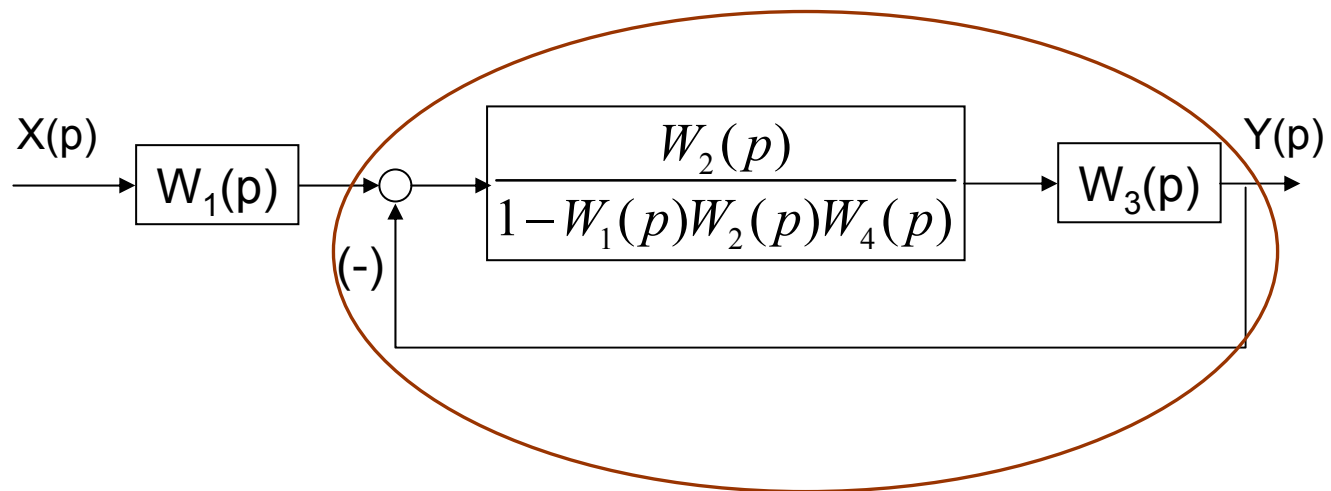
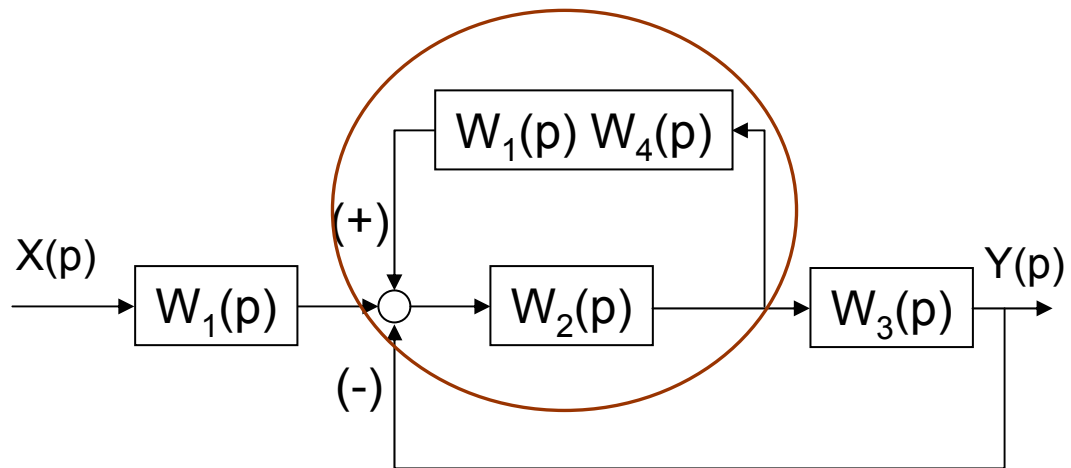
=

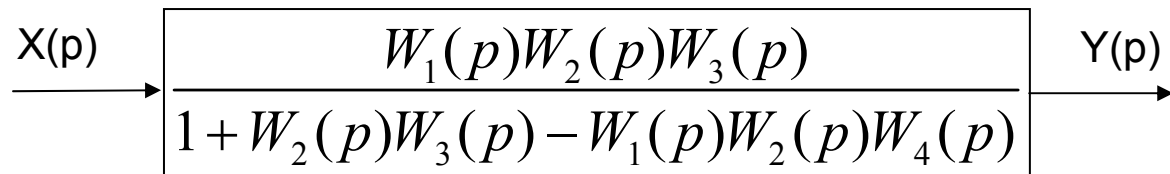
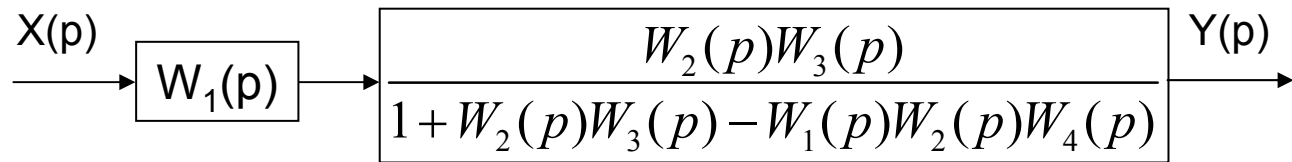
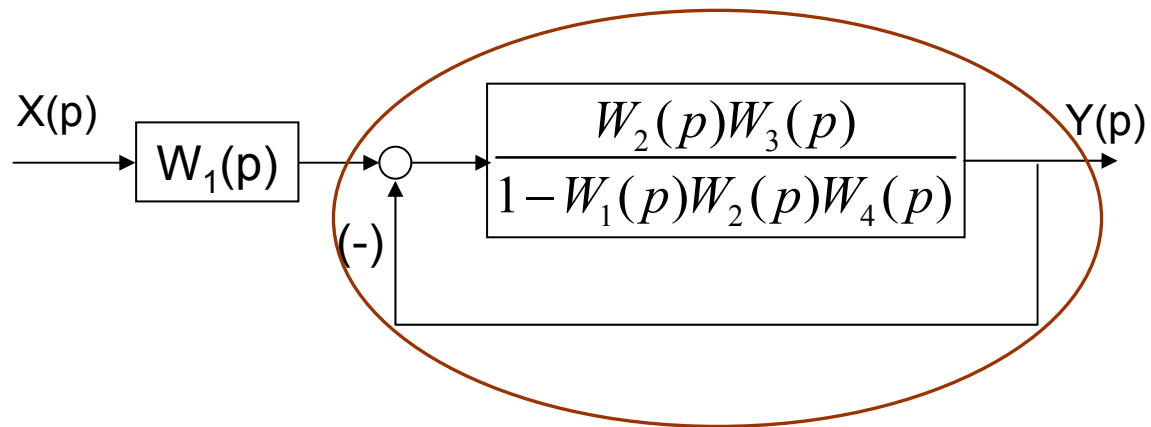


$$Y(p) = X(p) + Z_1(p) + Z_2(p)$$

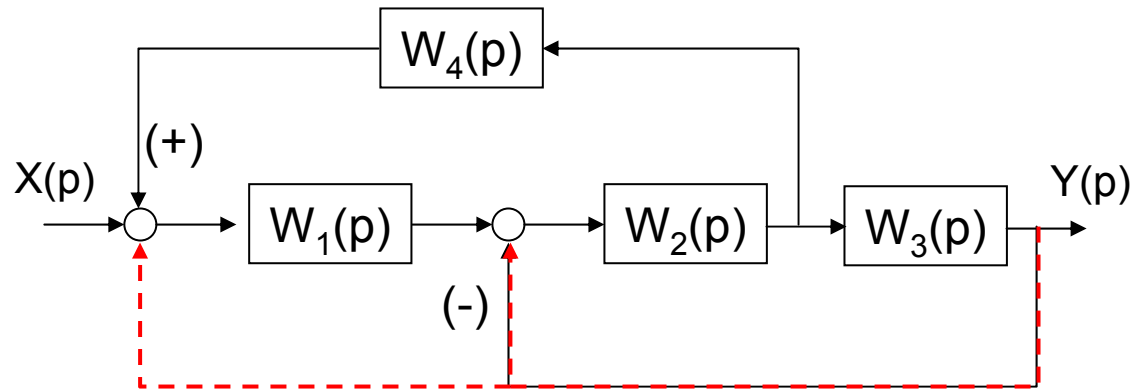
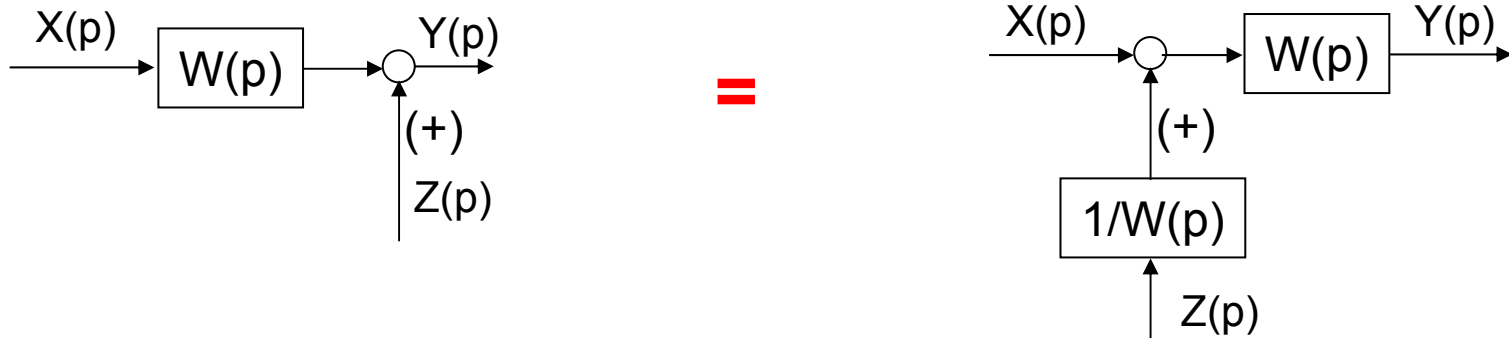
# Chuyển tín hiệu vào từ trước ra sau một khối

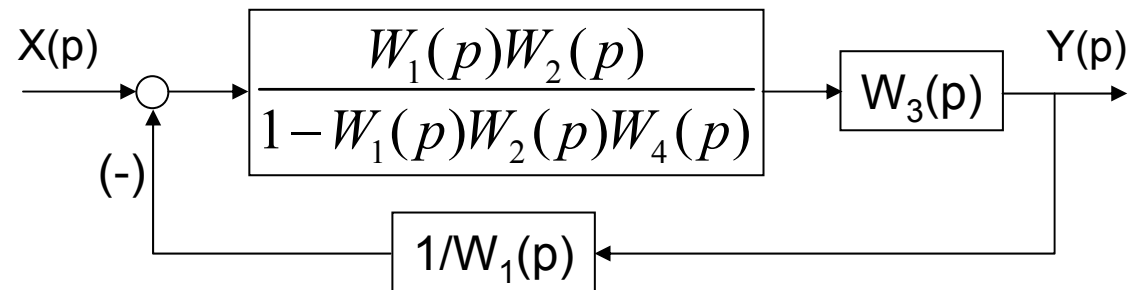
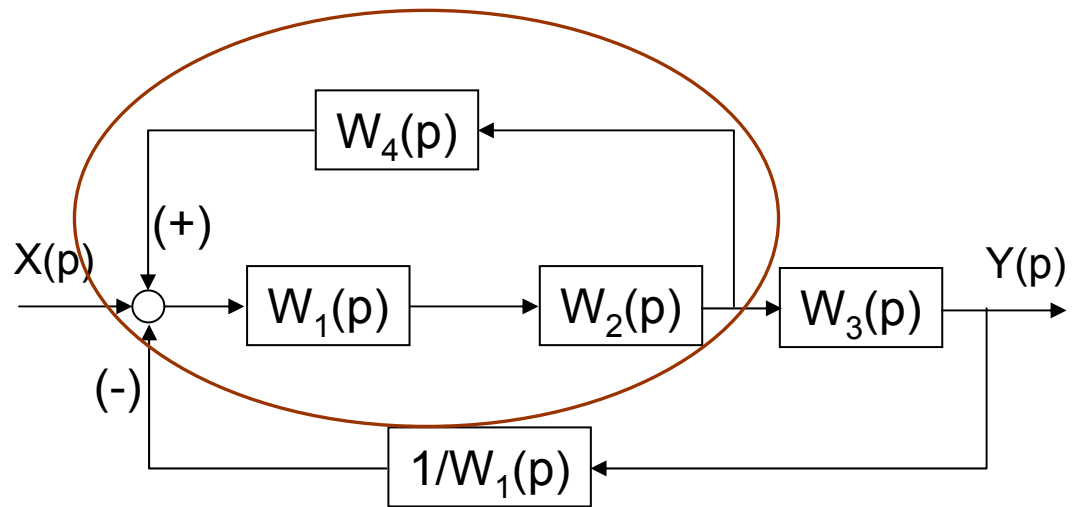


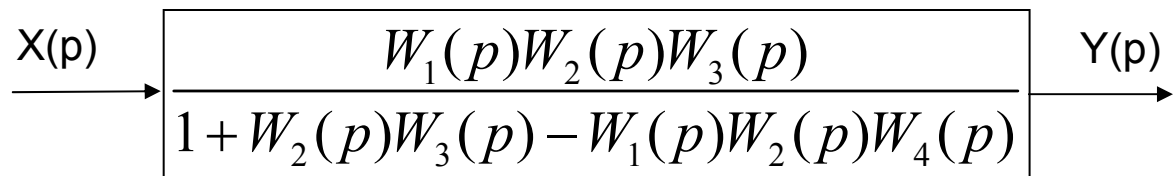
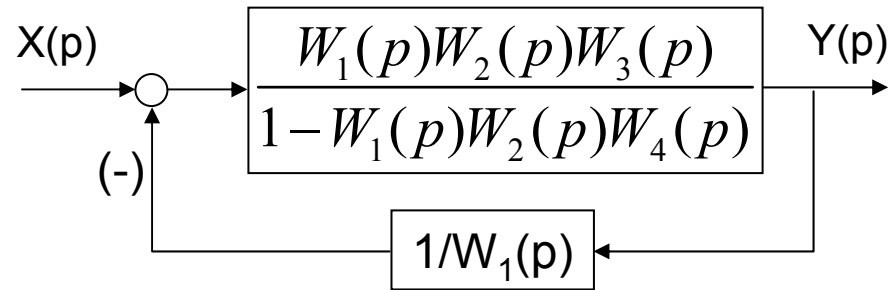




# Chuyển tín hiệu vào từ sau ra trước một khối





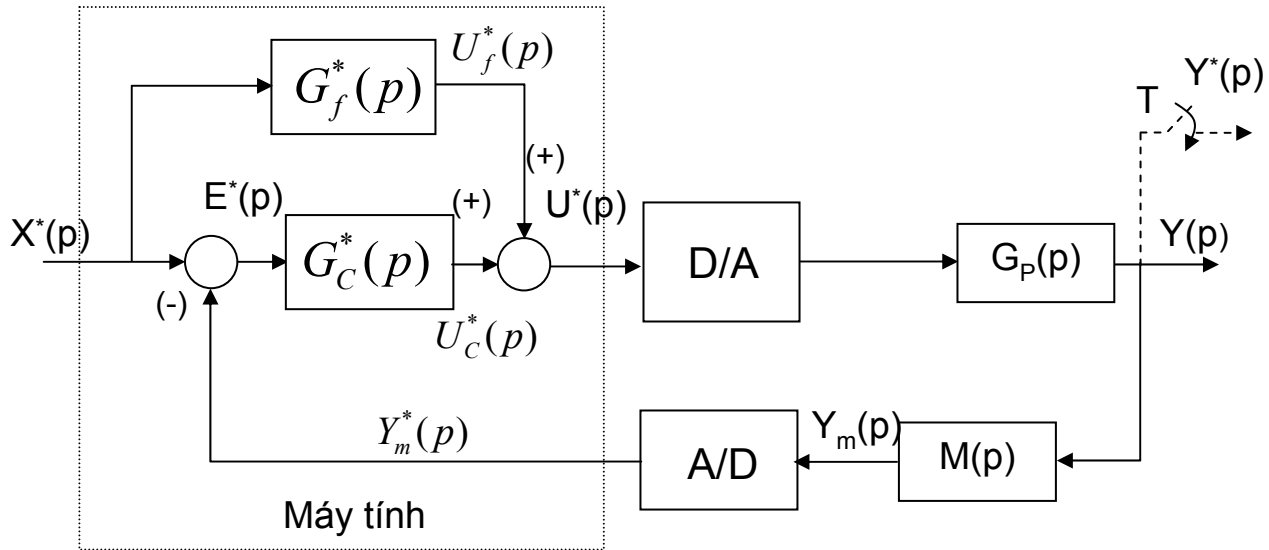


## 3.4 Hàm truyền đạt của hệ thống có bù

- Bù nhiễu
- Bù tín hiệu đầu vào

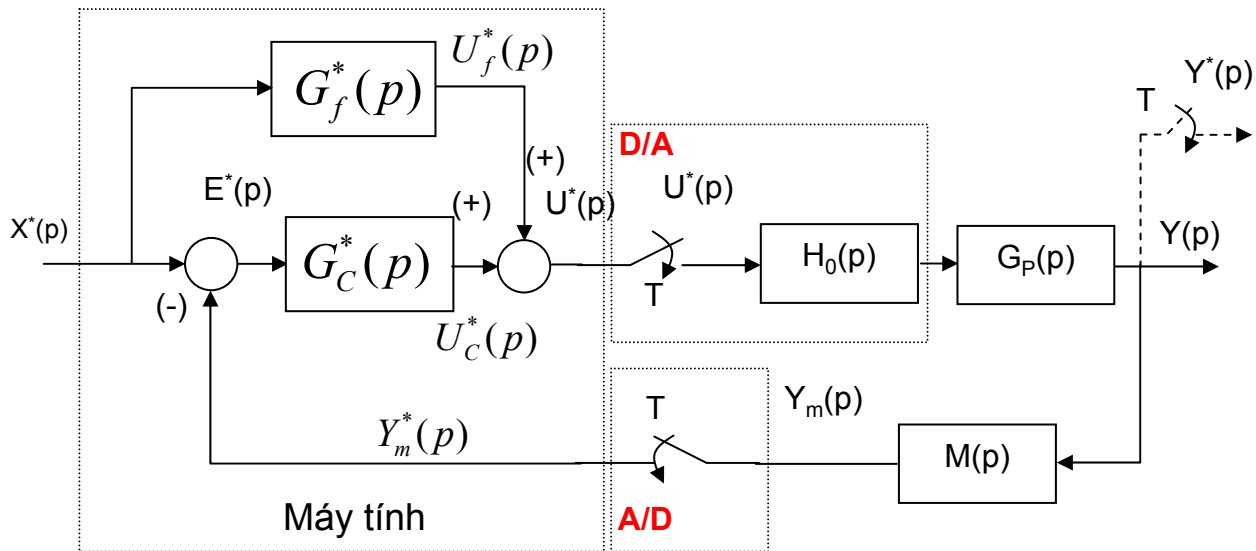


# Sơ đồ khối hệ thống điều khiển có bù tín hiệu đầu vào



# Bước 1

Khai triển sơ đồ khối. Thay các bộ biến đổi A/D bằng khâu lấy mẫu. Thay bộ biến đổi D/A bằng khâu lấy mẫu nối tiếp với khâu lưu giữ bậc không  $H_0(p)$



## Bước 2

Viết các biểu thức mô tả mối quan hệ giữa các tín hiệu trong hệ thống.  
Chuyển thành các biểu thức “\*”

$$E^*(p) = X^*(p) - Y_m^*(p) \quad (1)$$

$$U_c^*(p) = E^*(p).G_c^*(p) \quad (2)$$

$$U_f^*(p) = X^*(p).G_f^*(p) \quad (3)$$

$$U^*(p) = U_c^*(p) + U_f^*(p) \quad (4)$$

$$Y(p) = U^*(p).H_0G_P(p)$$

$$Y^*(p) = [U^*(p).H_0G_P(p)]^*$$

$$Y^*(p) = U^*(p).H_0G_P^*(p) \quad (5)$$

$$Y_m(p) = U^*(p).H_0G_P M(p)$$

$$Y_m^*(p) = [U^*(p).H_0G_P M(p)]^*$$

$$Y_m^*(p) = U^*(p).H_0G_P M^*(p) \quad (6)$$

## Bước 3

Chuyển các biểu thức “\*” thành biểu thức theo phép biến đổi Z

$$E^*(p) = X^*(p) - Y_m^*(p) \quad (1)$$

$$E(z) = X(z) - Y_m(z) \quad (1)$$

$$U_c^*(p) = E^*(p).G_c^*(p) \quad (2)$$

$$U_c(z) = E(z).G_c(z) \quad (2)$$

$$U_f^*(p) = X^*(p).G_f^*(p) \quad (3)$$

$$U_f(z) = X(z).G_f(z) \quad (3)$$

$$U^*(p) = U_c^*(p) + U_f^*(p) \quad (4)$$

$$U(z) = U_c(z) + U_f(z) \quad (4)$$

$$Y^*(p) = U^*(p).H_0 G_P^*(p) \quad (5)$$

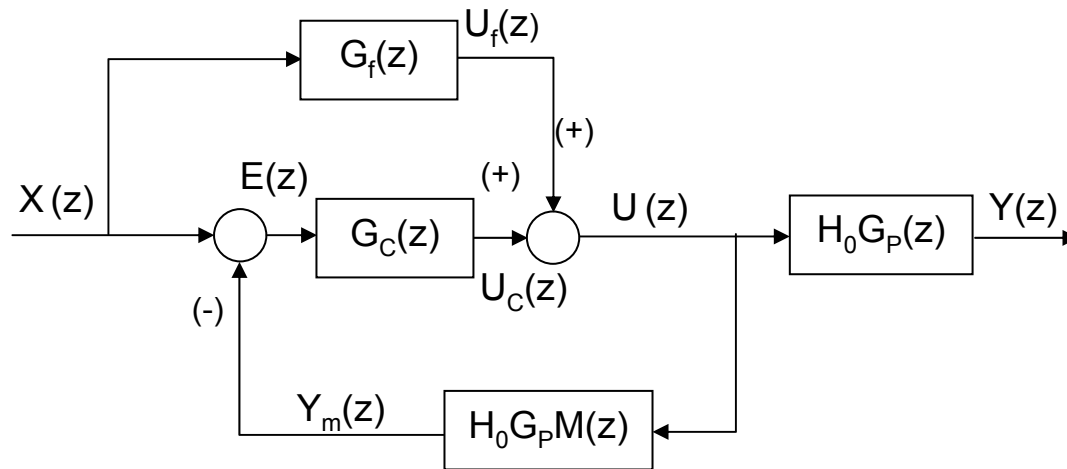
$$Y(z) = U(z).H_0 G_P(z) \quad (5)$$

$$Y_m^*(p) = U^*(p).H_0 G_P M^*(p) \quad (6)$$

$$Y_m(z) = U(z).H_0 G_P M(z) \quad (6)$$

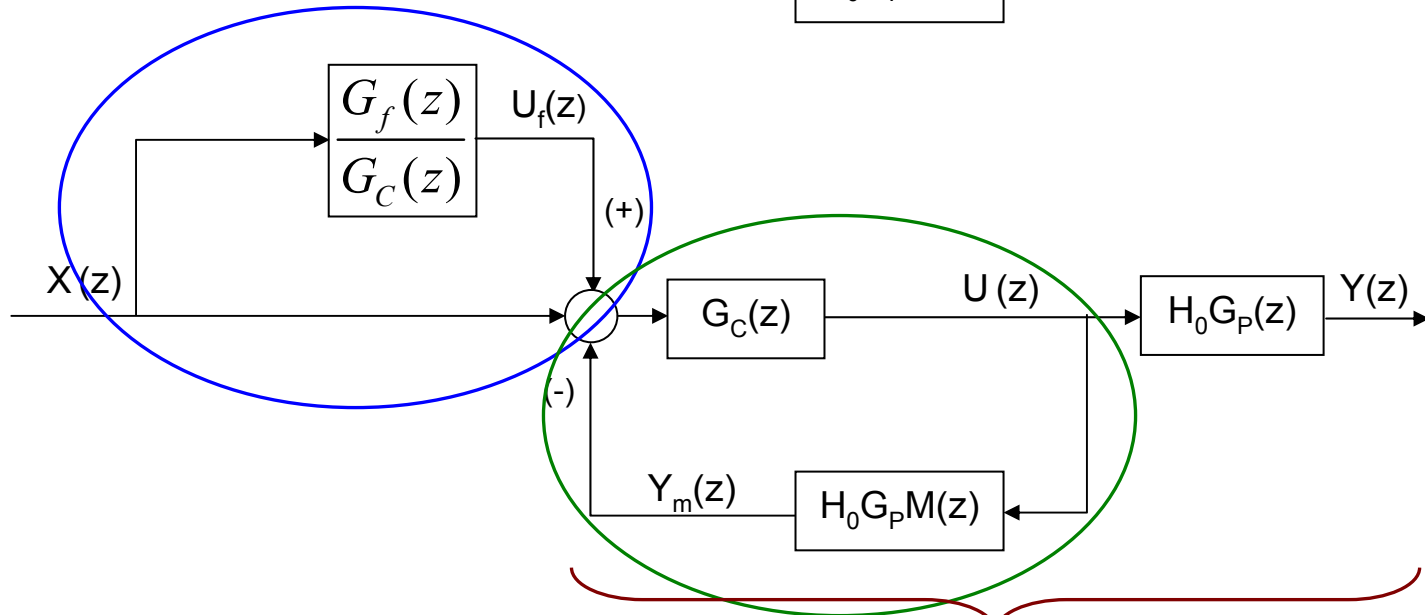
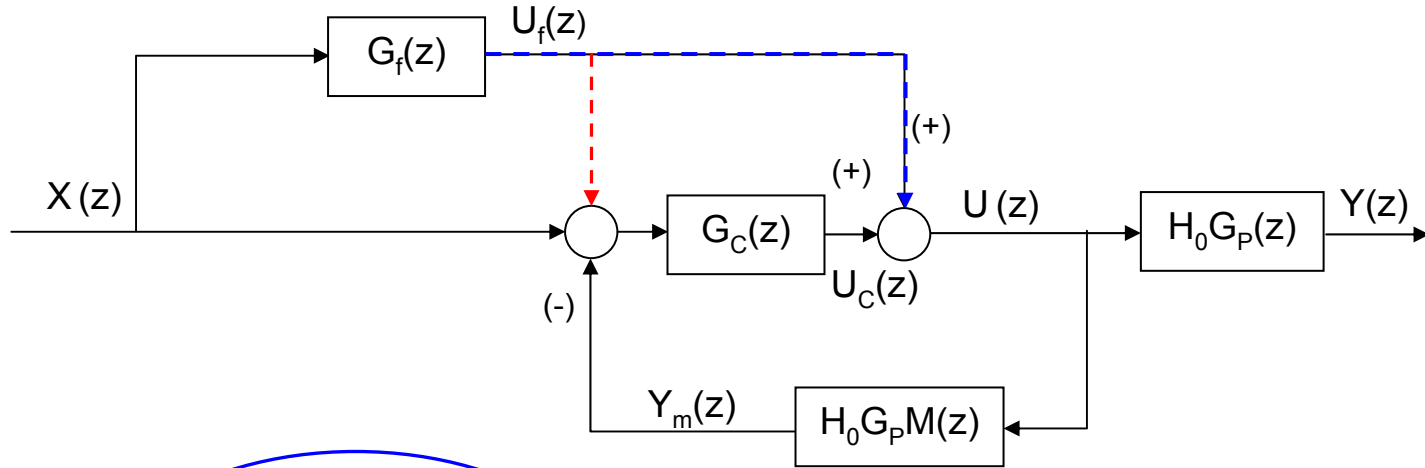
## Bước 4

- Xây dựng sơ đồ khối theo phép biến đổi Z

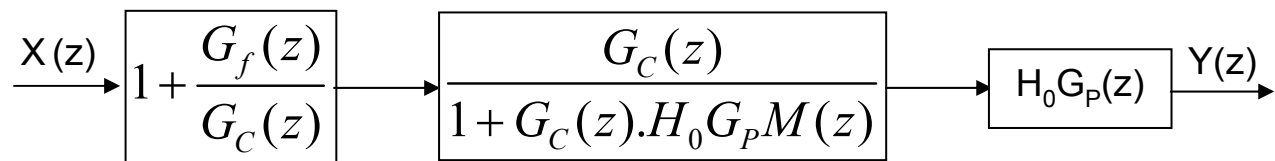
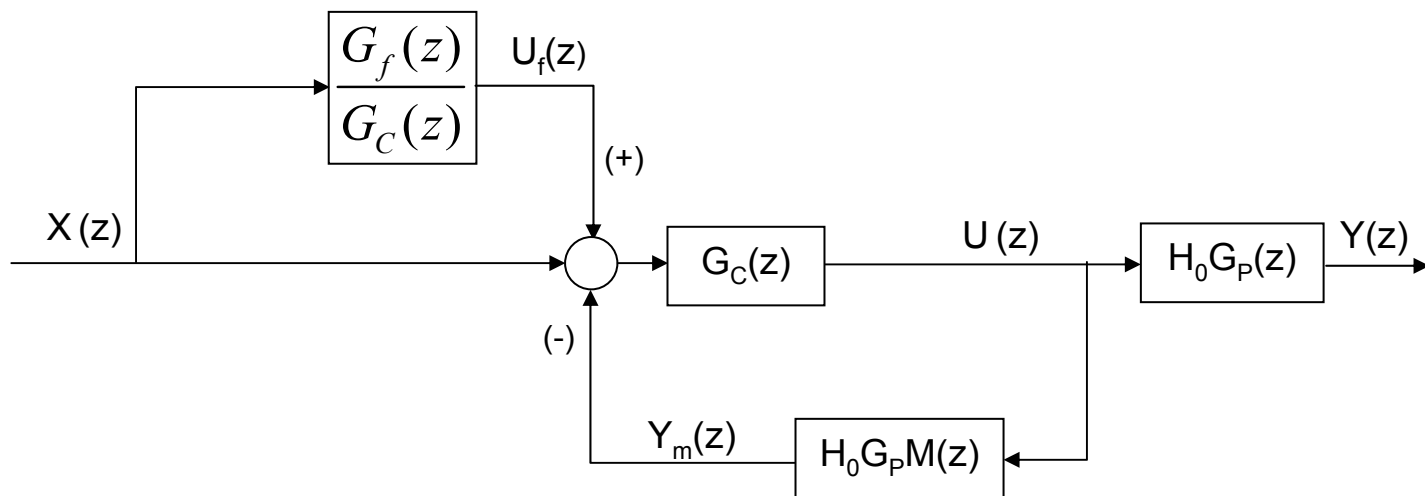


## Bước 5

- Xây dựng sơ đồ khối theo phép biến đổi Z



Hệ thống có một vòng kín



$$\begin{array}{c} \xrightarrow{X(z)} \quad \boxed{\frac{G_C(z) + G_f(z)}{G_C(z)} \cdot \frac{G_C(z).H_0G_P(z)}{1 + G_C(z).H_0G_PM(z)}} \quad \xrightarrow{Y(z)} \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \xrightarrow{X(z)} \quad \boxed{\frac{\left[ G_C(z) + G_f(z) \right].H_0G_P(z)}{1 + G_C(z).H_0G_PM(z)}} \quad \xrightarrow{Y(z)} \end{array}$$

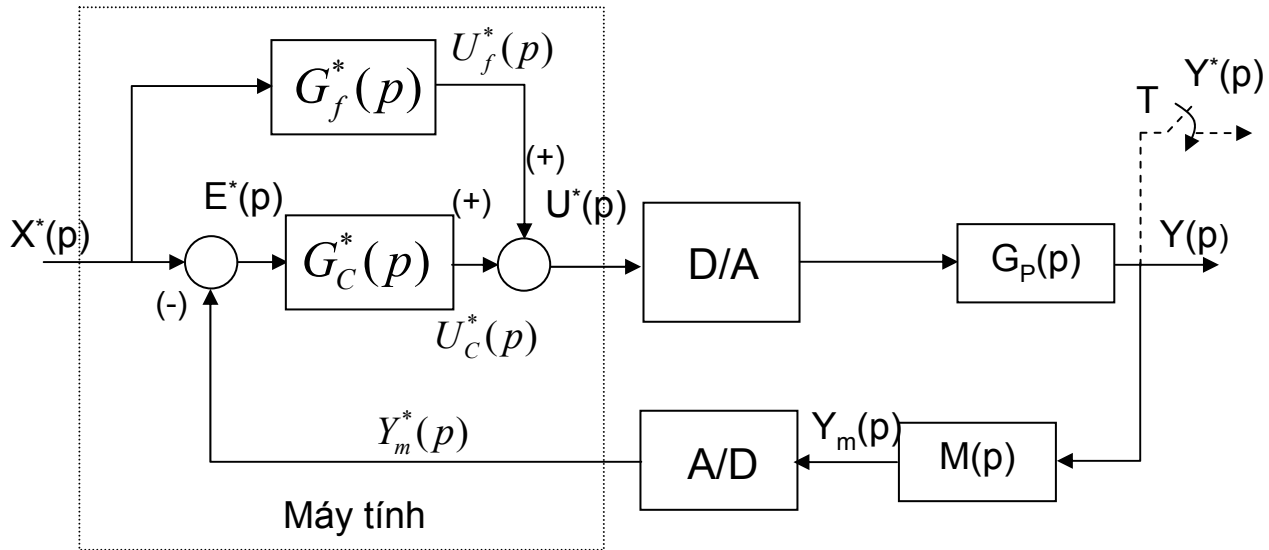
$$G(z) = \frac{\left[ G_C(z) + G_f(z) \right].H_0G_P(z)}{1 + G_C(z).H_0G_PM(z)}$$

Khi  $M(p) = K$

$$G(z) = \frac{\left[ G_C(z) + G_f(z) \right].H_0G_P(z)}{1 + K.G_C(z).H_0G_P(z)}$$



# Ví dụ



$$G_C(z) = \frac{A_0 z + A_1}{z - 1}$$

$$G_f(z) = -K_P$$

$$G_P(p) = \frac{K}{\tau p + 1}$$

$$A_0 = K_P + \frac{K_I T}{2}$$

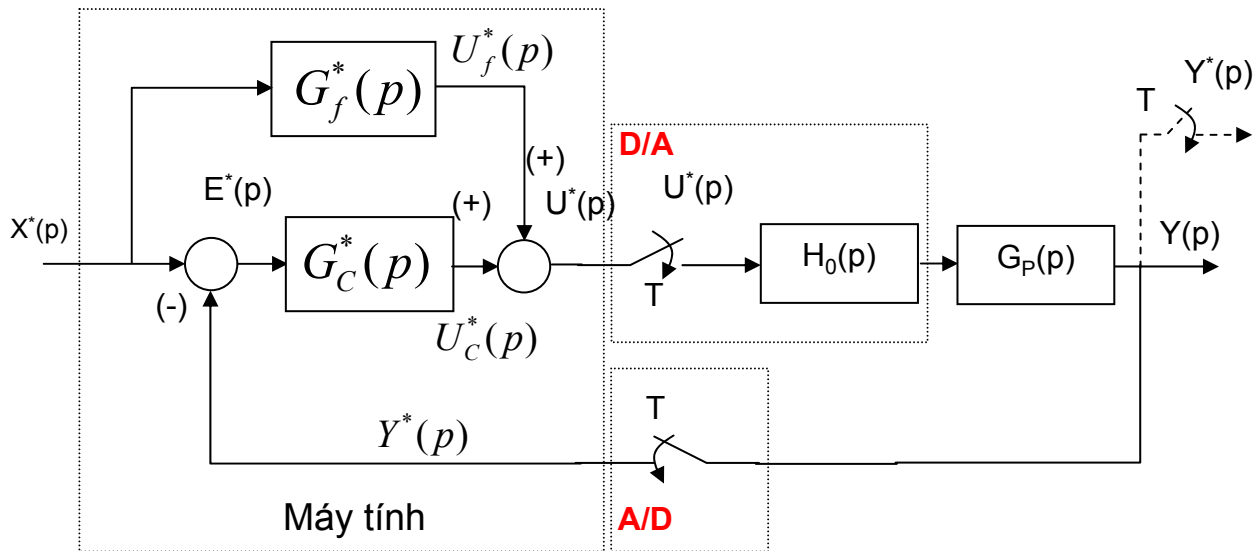
$$A_1 = -K_P + \frac{K_I T}{2}$$

$K_P$ : Hằng số tỷ lệ  
 $K_I$ : hằng số tích phân

$$M(p) = 1$$

# Bước 1

Khai triển sơ đồ khối. Thay các bộ biến đổi A/D bằng khâu lấy mẫu. Thay bộ biến đổi D/A bằng khâu lấy mẫu nối tiếp với khâu lưu giữ bậc không  $H_0(p)$



## Bước 2

Viết các biểu thức mô tả mối quan hệ giữa các tín hiệu trong hệ thống.  
Chuyển thành các biểu thức “\*”

$$E^*(p) = X^*(p) - Y^*(p) \quad (1)$$

$$U_c^*(p) = E^*(p).G_c^*(p) \quad (2)$$

$$U_f^*(p) = X^*(p).G_f^*(p) \quad (3)$$

$$U^*(p) = U_c^*(p) + U_f^*(p) \quad (4)$$

$$Y(p) = U^*(p).H_0G_P(p)$$

$$Y^*(p) = [U^*(p).H_0G_P(p)]^*$$

$$Y^*(p) = U^*(p).H_0G_P^*(p) \quad (5)$$

## Bước 3

Chuyển các biểu thức “\*” thành biểu thức theo phép biến đổi Z

$$E^*(p) = X^*(p) - Y^*(p) \quad (1)$$

$$E(z) = X(z) - Y(z) \quad (1)$$

$$U_c^*(p) = E^*(p).G_c^*(p) \quad (2)$$

$$U_c(z) = E(z).G_c(z) \quad (2)$$

$$U_f^*(p) = X^*(p).G_f^*(p) \quad (3)$$

$$U_f(z) = X(z).G_f(z) \quad (3)$$

$$U^*(p) = U_c^*(p) + U_f^*(p) \quad (4)$$

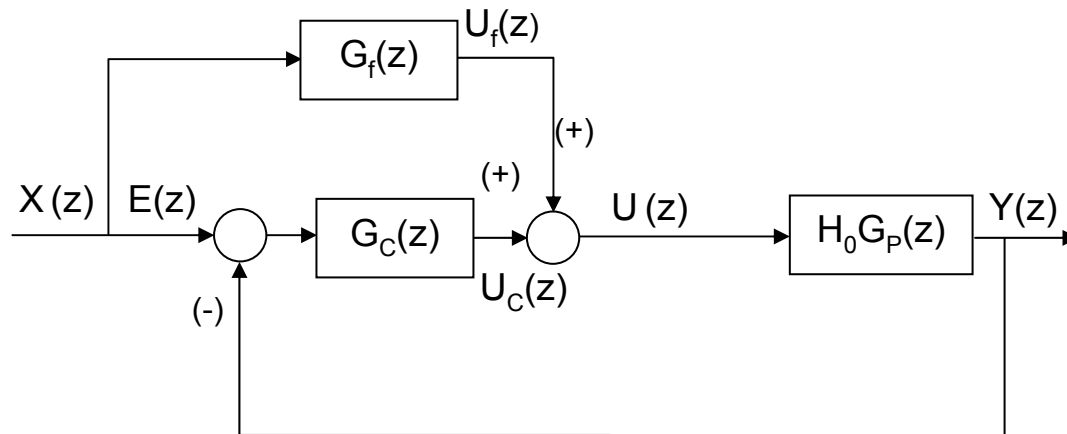
$$U(z) = U_c(z) + U_f(z) \quad (4)$$

$$Y^*(p) = U^*(p).H_0 G_p^*(p) \quad (5)$$

$$Y(z) = U(z).H_0 G_p(z) \quad (5)$$

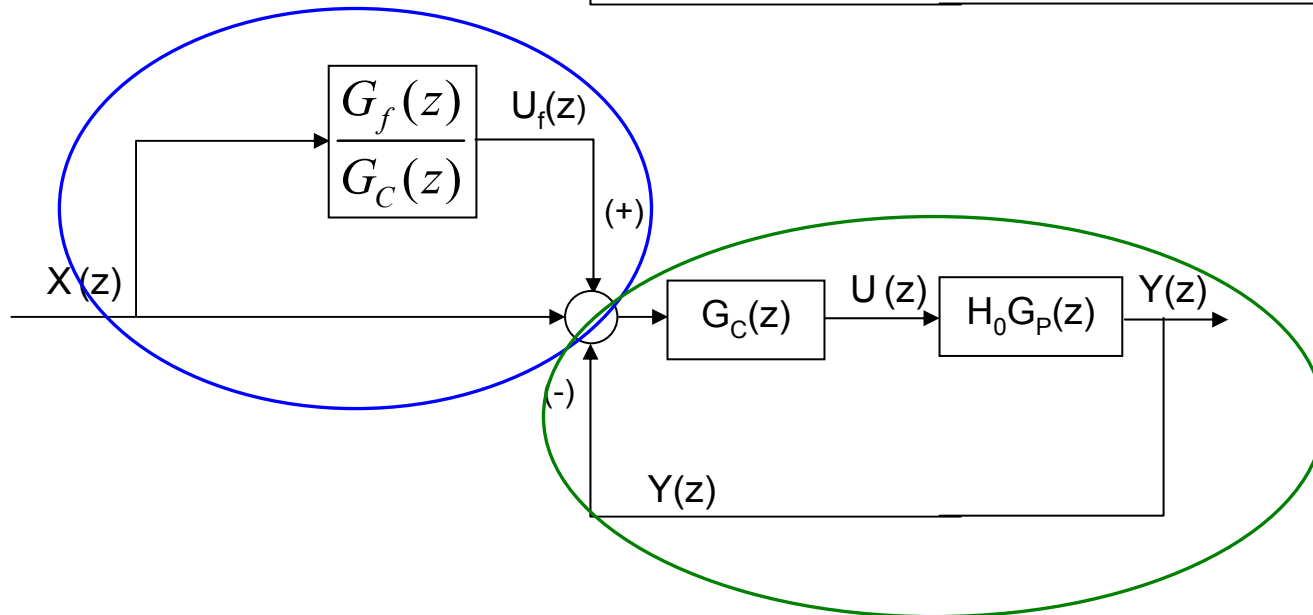
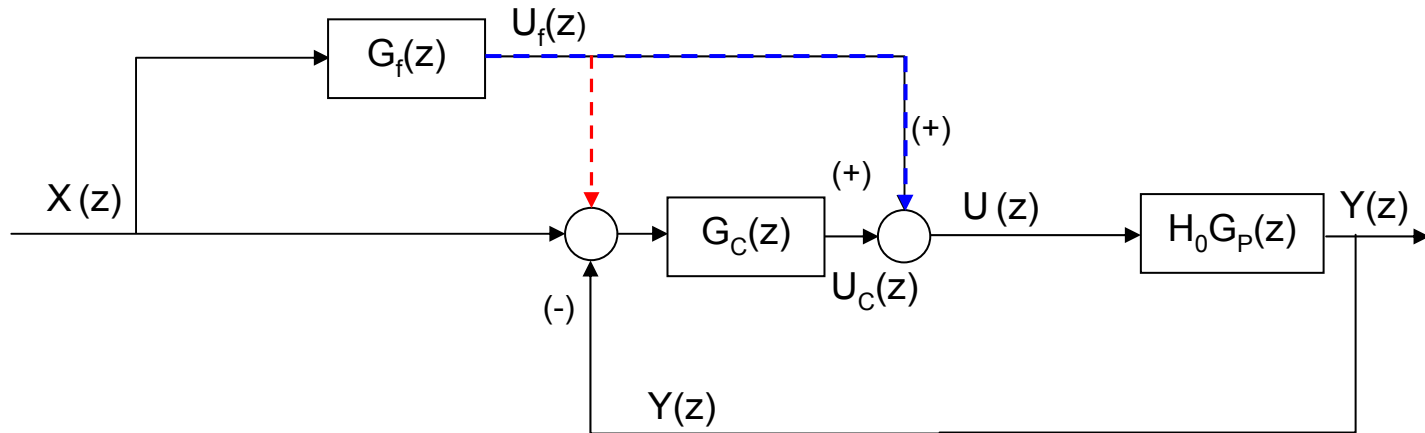
## Bước 4

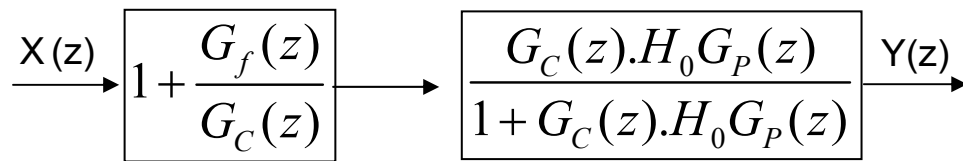
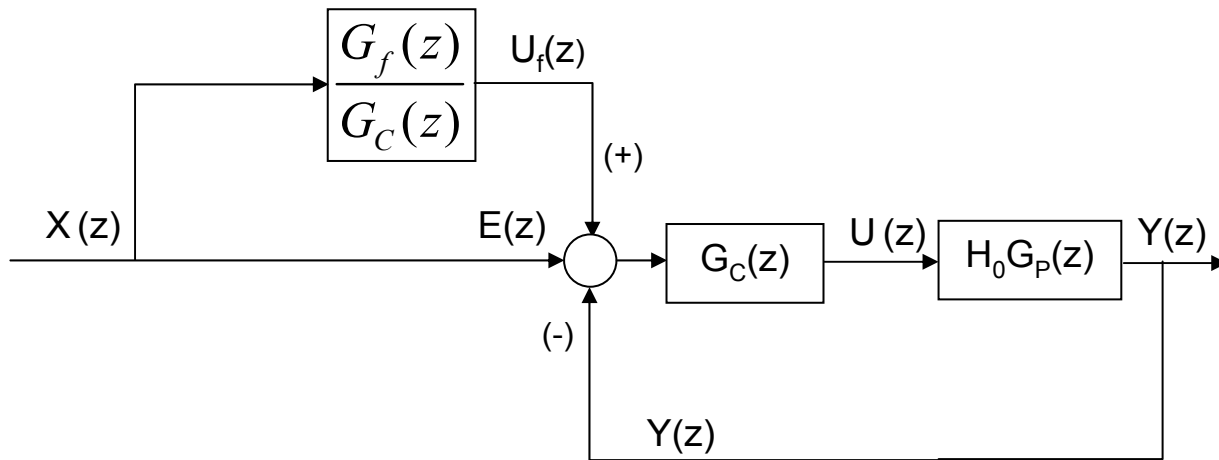
- Xây dựng sơ đồ khối theo phép biến đổi Z

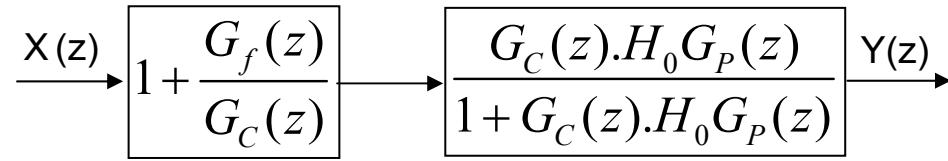


# Bước 5

- Xây dựng sơ đồ khối theo phép biến đổi Z







$$G(z) = \frac{G_C(z) + G_f(z)}{G_C(z)} \cdot \frac{G_C(z).H_0G_P(z)}{1 + G_C(z).H_0G_P(z)}$$

$$H_0G_P(z) = \frac{z-1}{z} \frac{K(1-e^{-\frac{T}{\tau}})z}{(z-1)(z-e^{-\frac{T}{\tau}})} = \frac{K(1-e^{-\frac{T}{\tau}})}{(z-e^{-\frac{T}{\tau}})}$$

$$a_1 = e^{-\frac{T}{\tau}} \quad a_2 = K(1-a_1)$$

$$H_0G_P(z) = \frac{a_2}{(z-a_1)}$$



$$K_P = \frac{A_0 - A_1}{2}$$

$$\frac{G_C(z) + G_f(z)}{G_C(z)} = \frac{\frac{A_0 z + A_1}{z - 1} - K_P}{\frac{A_0 z + A_1}{z - 1}} = \frac{(A_0 - K_P)z + A_1 + K_P}{A_0 z + A_1}$$

$$= \frac{(A_0 - \frac{A_0 - A_1}{2})z + A_1 + \frac{A_0 - A_1}{2}}{A_0 z + A_1}$$

$$= \frac{1}{2} \frac{(A_0 + A_1)(z + 1)}{A_0 z + A_1}$$

$$\frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{G_C(z) + G_f(z)}{G_C(z)} \cdot \frac{H_0 G_P(z) \cdot G_C(z)}{1 + H_0 G_P(z) \cdot G_C(z)}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \frac{(A_0 + A_1)(z + 1)}{A_0 z + A_1} \cdot \frac{\frac{a_2}{z - a_1} \cdot \frac{A_0 z + A_1}{z - 1}}{1 + \frac{a_2}{z - a_1} \cdot \frac{A_0 z + A_1}{z - 1}}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \frac{(A_0 + A_1)(z + 1)}{A_0 z + A_1} \cdot \frac{a_2 (A_0 z + A_1)}{(z - a_1)(z - 1) + a_2 (A_0 z + A_1)}$$

$$G(z) = \frac{1}{2} \cdot \frac{(A_0 + A_1) a_2 (z + 1)}{z^2 - (1 + a_1 - a_2 A_0) z + a_2 A_1 + a_1}$$

$$G(z) = \frac{1}{2} \cdot \frac{(A_0 + A_1)a_2(z+1)}{z^2 - (1 + a_1 - a_2A_0)z + a_2A_1 + a_1}$$

**Phương trình đặc tính giống phương trình  
đặc tính của hệ thống có một vòng kín  
(không có bù)**