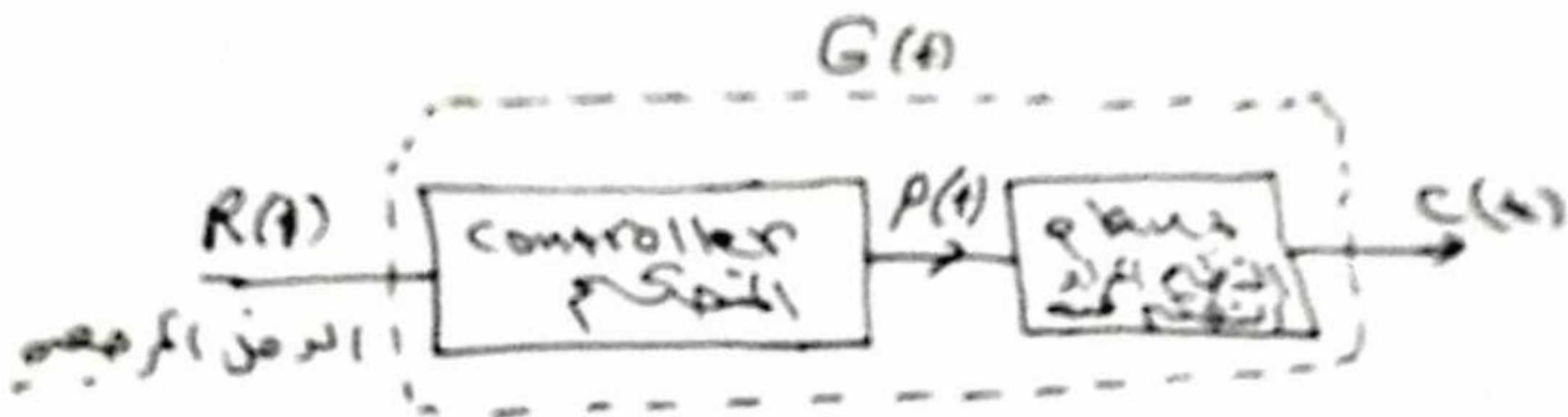


نظام التحكم (system control)

هو مجموعة من المكونات المادية التي تعمل معاً لتحقيق هدف محدد.

• ينقسم نظام التحكم إلى قسمين

① - النظام التحكم المفتوح : [open-loop control system]



$$C(t) = G(t) R(t)$$

$$\frac{C(t)}{R(t)} = G(t)$$

$$T.F = \frac{C(t)}{R(t)} = G(t)$$

• بعض الأمثلة على استخدام النظام التحكم المفتوح :

- 1- دوائر التكيف لغير مجهزة ببرموسات .
- 2- جهاز تهوية الخبز .
- 3- الفصالات الآلية .

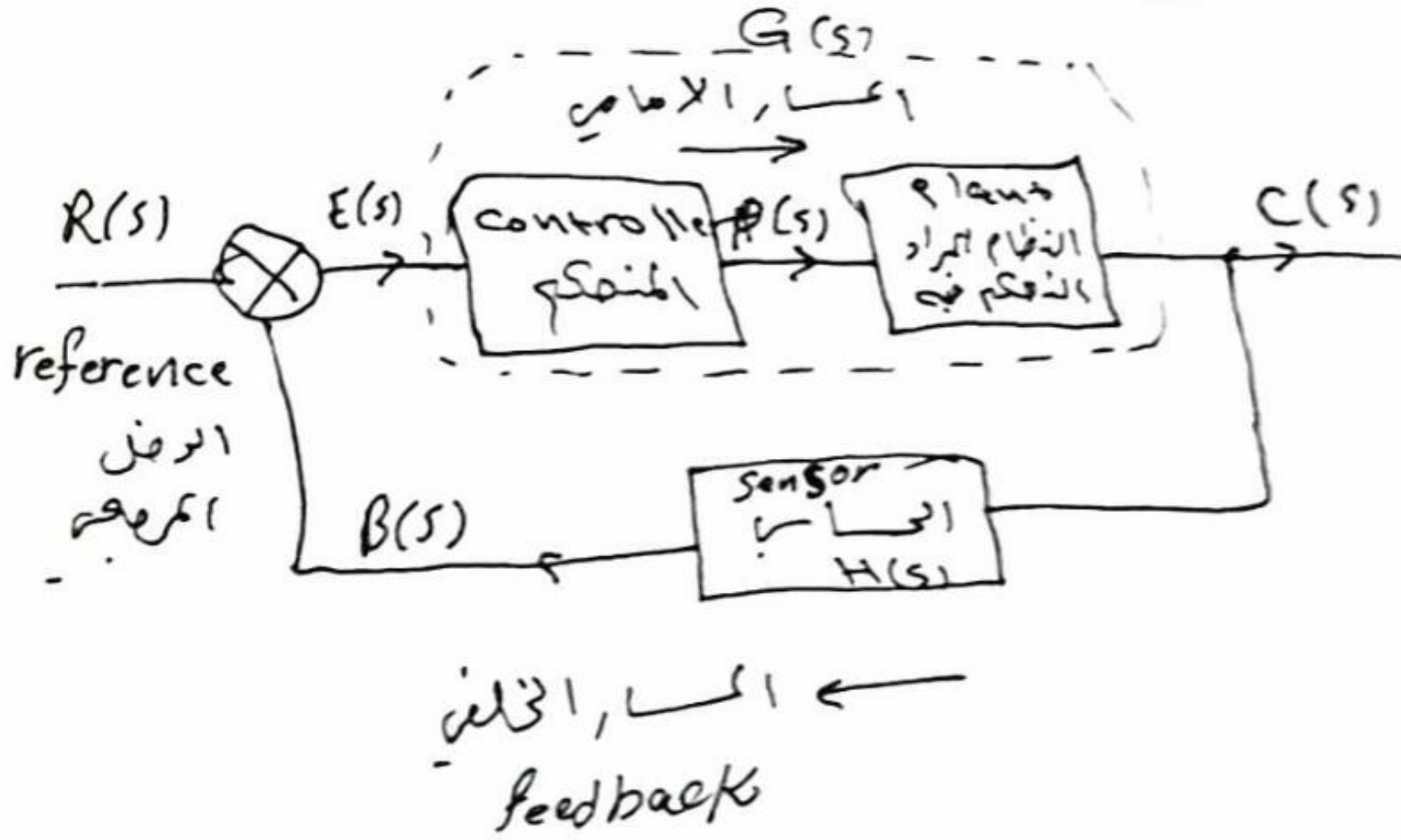
• مميزات هذا النظام

- 1- سهولة التنفيذ
- 2- غير مكلف
- 3- سهولة الصيانة

• عيوب هذا النظام

• حساس جداً للتغيرات التي تطرأ عند تغير الظروف المحيطة به

## 2- النظام التحكم الحلقة المغلقة - [closed-loop control system]



$$T.F = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

\* معامل الامام : يتكون من النظام المراد التحكم فيه  
\* معامل الخلفي : يتكون من القياس

\* الدخل المرجعي  $R(s)$  : وهو القيمة المرجوة للمتغير المراد التحكم فيها

\* اشارته التغذية الخلفية  $B(s)$  : وهي قياس للمتغير المراد التحكم فيها

\* اشارته الخطاء  $E(s)$  : وهي عبارة عن الفرق بين اشارة التغذية الخلفية و اشارته الدخل المرجعي

$$E(s) = R(s) - B(s)$$

\* اشارته التحكم  $P(s)$  : وهي الاشارة المنولة من المتحكم

بعض الامثلة :-

- 1- التحكم المزدوج بالترموستات
- 2- التحكم في سرعة محرك
- 3- التحكم في درجة الحرارة
- 4- التحكم في ارتفاع سائل داخل الخزان

مميزات هذا النظام :-

- 1- اعتمادية للمتغيرات التي قد تتطرا الى النظام ومعالجة
- 2- اكثر تعقيداً من حيث التصميم والهيانه وبذلك تكون كلفتها اقل

العيوب :- معرضه للاهتزازات وبالتالي عدم استقرار النظام المراد التحكم فيه

$$F(s) = \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt$$

$$F(s) = \mathcal{L}\{f(t)\} = \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt$$

$$* \mathcal{L}\{A\} = \frac{A}{s}$$

$$* \mathcal{L}\{Ae^{at}\} = \frac{A}{s-a}$$

$$* \mathcal{L}\{At^n\} = \frac{A}{s^{n+1}}$$

[تحويل لابلاس  
مفرد]

$$* \mathcal{L}\{At^2\} = \frac{A}{s^3}$$

$$* \mathcal{L}\{t^n e^{-at}\} = \frac{n!}{(s+a)^{n+1}}$$

$$t e^{-at} = \frac{1}{(s+a)^2}$$

$$* \mathcal{L}\{A \sin \omega t\} = \frac{A\omega}{s^2 + \omega^2}$$

$$* \mathcal{L}\{A \cos \omega t\} = \frac{As}{s^2 + \omega^2}$$

معطاه عدد T.F  
\* معلومات حول T.F للنظام المغلق

$$T.F = G(s) = \frac{K(s+z_1)(s+z_2)\dots(s+z_n)}{(s+p_1)(s+p_2)\dots(s+p_m)}$$

K : هو الكسب

z : هو الأقطاب

p : هو الأقطاب (هو المقلوب من استقرار النظام)

والمقام هو معادله الخصائص للنظام

~~Inverse Laplace transform~~ Inverse Laplace transform ②  
 \* تحويل لابلاس العكسي

$$f(t) = \mathcal{L}^{-1}\{f(s)\}$$

يتم ذلك بواسطة الطرق الجزئية

$$G(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{a_1}{s+p_1} + \frac{a_2}{s+p_2} + \dots + \frac{a_n}{s+p_n}$$

١- الحالة العامة

مثال ١- اوجد تحويل لابلاس العكسي للدالة التالية:

$$G(s) = \frac{s+2}{s(s+1)(s+3)}$$

$$\begin{aligned} s_1 &= 0 \\ s_2 &= -1 \\ s_3 &= -3 \end{aligned}$$

$$G(s) = \frac{a_1}{s} + \frac{a_2}{s+1} + \frac{a_3}{s+3}$$

$$a_1 = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{s+2}{s(s+1)(s+3)} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s+2}{(s+1)(s+3)} = \frac{2}{3}$$

$$a_2 = \lim_{s \rightarrow -1} (s+1) \cdot \frac{s+2}{s(s+1)(s+3)} = \lim_{s \rightarrow -1} \frac{s+2}{s(s+3)} = \frac{1}{-2}$$

$$a_3 = \lim_{s \rightarrow -3} (s+3) \cdot \frac{s+2}{s(s+1)(s+3)} = \lim_{s \rightarrow -3} \frac{s+2}{s(s+1)} = \frac{-1}{6}$$

$$G(s) = \frac{2/3}{s} - \frac{1/2}{s+1} - \frac{1/6}{s+3}$$

$$y(t) = \frac{2}{3} u(t) - \frac{1}{2} e^{-t} - \frac{1}{6} e^{-3t}$$

③

الحالة الثانية

$$G(s) = \frac{A_1}{(s-a)^n} + \frac{A_2}{(s-a)^{n-1}} + \frac{A_3}{(s-a)^{n-2}} + \dots + \frac{A_n}{(s-a)^1}$$

$$A_1 = \lim_{s \rightarrow a} (s-a)^n G(s)$$

$$A_i = \lim_{s \rightarrow a} \frac{1}{(i-1)!} \frac{d^{i-1}}{ds^{i-1}} [(s-a)^n G(s)] \quad i=2, 3, 4$$

$$G(s) = \frac{10s}{(s+3)(s-2)^3}$$

$$\frac{10s}{(s+3)(s-2)^3} = \frac{A}{s+3} + \frac{B_1}{(s-2)^3} + \frac{B_2}{(s-2)^2} + \frac{B_3}{(s-2)}$$

$$A = \lim_{s \rightarrow -3} (s+3) \frac{10s}{(s+3)(s-2)^3} = \lim_{s \rightarrow -3} \frac{10s}{(s-2)^3} = \frac{-30}{-125} = 0.24$$

$$B_1 = \lim_{s \rightarrow 2} (s-2)^3 \frac{10s}{(s+3)(s-2)^3} = \lim_{s \rightarrow 2} \frac{10s}{s+3} = \frac{20}{5} = 4$$

$$B_2 = \lim_{s \rightarrow 2} \frac{1}{(2-1)!} \frac{d^{2-1}}{ds^{2-1}} \left[ (s-2)^3 \frac{10s}{(s+3)(s-2)^3} \right] = \lim_{s \rightarrow 2} \frac{d}{ds} \left[ \frac{10s}{s+3} \right] =$$

$$= \lim_{s \rightarrow 2} \frac{(s+3) \times 10 - 10s \times 1}{(s+3)^2} = \lim_{s \rightarrow 2} \frac{10s + 30 - 10s}{(s+3)^2} = \frac{30}{5^2} = \frac{30}{25} = 1.2$$

$$B_3 = \lim_{s \rightarrow 2} \frac{1}{(3-1)!} \frac{d^{3-1}}{ds^{3-1}} \left[ \frac{10s}{s+3} \right] = \lim_{s \rightarrow 2} \frac{d^2}{2! ds^2} \left[ \frac{10s}{s+3} \right] = \lim_{s \rightarrow 2} \frac{1}{2} \frac{d^2}{ds^2} \left[ \frac{10s}{s+3} \right]$$

$$= \frac{1}{2} \lim_{s \rightarrow 2} \frac{d^2}{ds^2} \left[ \frac{10}{s+3} \right] = \frac{1}{2} \lim_{s \rightarrow 2} \frac{d}{ds} \left[ \frac{30}{(s+3)^2} \right]$$

$$= \lim_{s \rightarrow 2} \frac{(s+3) \times 0 - 30 \times 2(s+3) \times 1}{(s+3)^4} = \lim_{s \rightarrow 2} \frac{-60s + 180}{(s+3)^4} = \frac{-120 + 180}{5^4} = \frac{60}{625} = 0.096$$

$$G(s) = \frac{0.24}{s+3} + \frac{4}{(s+2)^2} + \frac{1.7}{(s+1)^2} - \frac{0.24}{s-2}$$

$$g(t) = 0.24e^{-3t} + \underline{2t^1 e^{-2t}} + 1.2t e^{-t} - 0.24e^{2t}$$

$$2 \frac{t^1}{(s+2)^2}$$

$$2t^1 e^{-2t}$$


---

# ① تحليل مجال الحالة [State Space]

معادلات مجال الحالة

$$\dot{X}(t) = A X(t) + B u(t) \quad \text{معادلة الحالة}$$

$$y(t) = C X(t) + D u(t) \quad \text{معادلة المخرج}$$

$X(t)$  متجه الحالة

سبب افق

$$\begin{bmatrix} X_1(t) \\ X_2(t) \\ \vdots \end{bmatrix}$$

مرتبة النظام:  $n$

$n \times 1$

$A$  مصفوفة الحالة  
البعاد:  $n \times n$

$B$  مصفوفة المدخلات  
البعاد:  $n \times r$  عدد المدخلات:  $r$

$C$  مصفوفة المخرجات  
البعاد:  $m \times n$  عدد المخرجات:  $m$

$D$  مصفوفة الانتقال المباشر  
البعاد:  $m \times r$   
ملاحظة: إذا لم يوجد انتقال مباشر فهو صف صفر

$y(t)$  متجه المخرجات

$u(t)$  متجه المدخلات

Ex 1

$$T.F.: \frac{2}{s^2 + 5s + 2}$$

$$\ddot{y} + 5\dot{y} + 2y = 2u$$

let  $x_1 = y$

$$\dot{x}_1 = \dot{y} = x_2$$

$$\dot{x}_2 = \ddot{y} = 2u - 5\dot{y} - 2y$$

$$\dot{x}_2 = 2u - 5x_2 - 2x_1$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix} u(t)$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

Ex 2

$$T.F.: \frac{4}{s^3 + 6s^2 + 5s + 2}$$

$$y''' + 6y'' + 5y' + 2y = 4u$$

let  $x_1 = y$

$$\dot{x}_1 = \dot{y} = x_2$$

$$\dot{x}_2 = \dot{y}' = x_3$$

$$\dot{x}_3 = y''' = 4u - 6y'' - 5y' - 2y$$

$$\dot{x}_3 = 4u - 6x_3 - x_2 - 2x_1$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -2 & -1 & -6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 4 \end{bmatrix} u(t)$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

$$\frac{u(s)}{Y(s)} = \frac{2s}{s^3 + 6s^2 + 5s + 2}$$

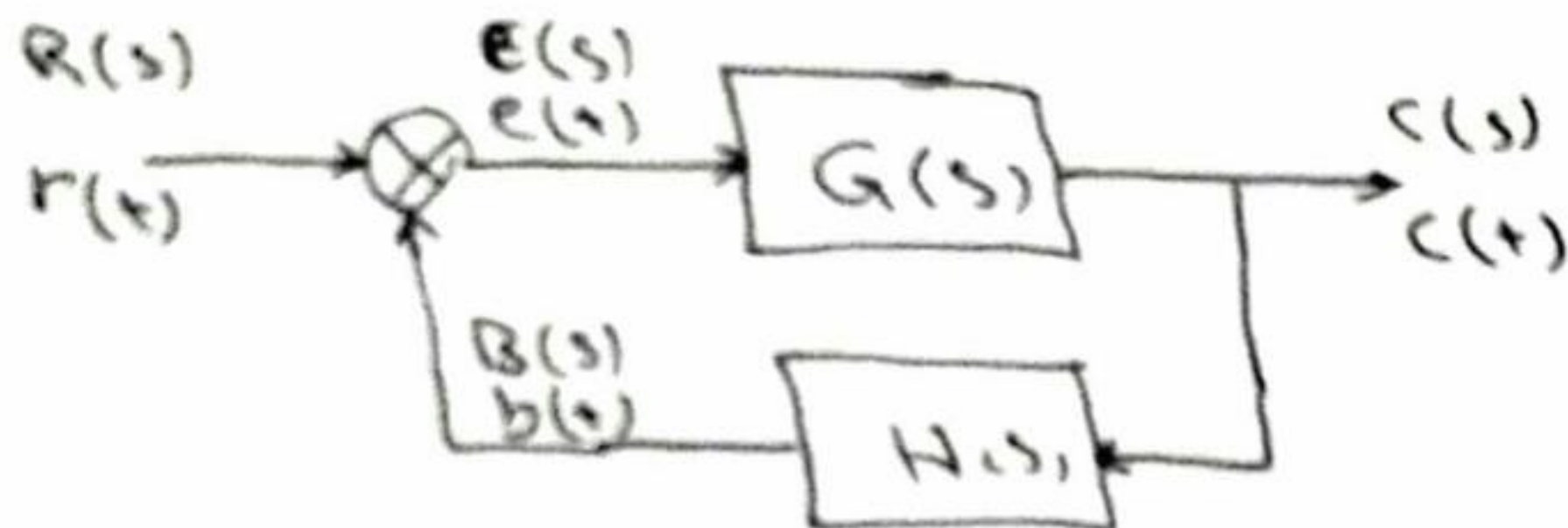
# PID

15

الشارة الخطأ: هي الفرق بين الشارتين الدخل المرغوب  $r(t)$  وقياس القيمة  
الواقعية (المقيسة) للمتغير المراد التحكم فيه  $c(t)$  للنظام  
المتحكم ذي الحلقة التغذية العكسية.

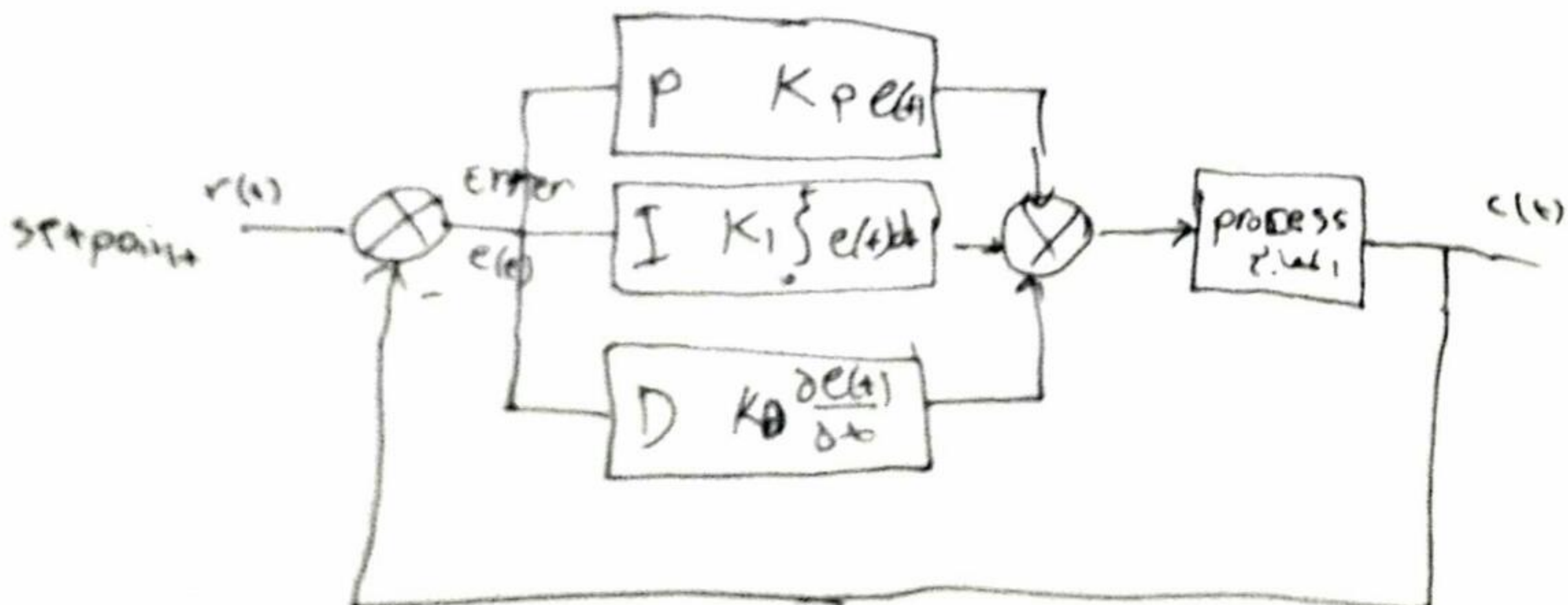
$$e(t) = r(t) - b(t)$$

$$E(s) = R(s) - B(s)$$



|                                  |                                                                                |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| $E(s) = \frac{1}{1 + G(s)} R(s)$ | <p>تحويله إلى بلا س لا شارة<br/>الخطأ عندما تكون<br/><math>H(s) = 1</math></p> |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|

PID: وهي تقنية التحكم المسؤولة عن ~~تجميع~~ تجميع انشطار الناتج  
من الفرق بين القيمة المطلوبة والقيمة المقاسة.



الحد التناسبي  $P$  :- يتسبب في تغيير قيمة المخرج بمقدار يتناسب مع مقدار  
 فيه الخطأ الحالي ويمكن ضبط قيمته وذلك بتغير  
 قيمة ثابت التناسبي  $K_p$  ويمكن كما أنه لا يستطيع  
 إزالة الخطأ تماماً

يستعمل في ضبط الحرارة وضبط منسوب الماء في الخزانات حيث تعتبر  
 هذه التطبيقات عمليات إزالة الخطأ ذات أهمية

$$p(t) = K_p e(t)$$

$$P(s) = K_p E(s)$$

$$G(s) = K_p$$

دالة التحويل للحاكم  
 التناسبي

الحد التكاملي  $I$  :- الحد الذي له القدرة على إزالة الخطأ المتبقي  
 والذي لا يستطيع الحد التناسبي إزالته  
 حيث أنه في هذه الحالة النظام المتحكم الخلف المقنونه  
 يتغير صعوداً أو هبوطاً بشكل يتناسب مع مقدار الخطأ  
 ولا يتوقف في أي وقت إلا إذا كان الخطأ صفراً  
 ويمكن ملاحظة في النظام المتحكم المعقدة بواسطة  
 ثابت التكامل  $K_i$

يستعمل الحد التكامل مع الحد التناسبي  $P$  بشكل واسع في التطبيقات  
 الصناعية لتعويض عملية التحكم وإزالة الخطأ عند استقرار  
 النظام  
 ومع ذلك فترتبط الحد التكامل في حدوث القفزة overshoot فوق  
 القيمة المطلوب الوصول إليها

$$p(t) = \cancel{K_p e(t)} + K_i \int_0^t e(t) dt$$

$$G(s) = K_i \frac{1}{s}$$

دالة التحويل للحاكم التنكاملية  
~~التكاملية~~

$$p(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt$$

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

أفق دالة التحويل للتناسبي والتكاملية

③

الحد التفاضلي  $D$  : يظهر تأثير هذا الحد عندما يكون هناك تغير في قيمة  
الخطأ بالنسبة للزمن ويتناسب عكسياً مع معدل هذا  
التغير ويمكن ضبطه بعامل ثابت  $K_D$   
الحد التفاضلي حساس جداً في عملية التحكم إلا أنه يتأثر بالضوضاء  
بشكل كبير ويمكن أن يسبب عدم الاستقرار النظام لهذا  
السبب لا يستخدم في النظام.

$$p(t) = K_D \frac{de(t)}{dt}$$

~~$$P(s) = K_D s$$~~

$$G(s) = K_D s$$

∴ دالة التحويل

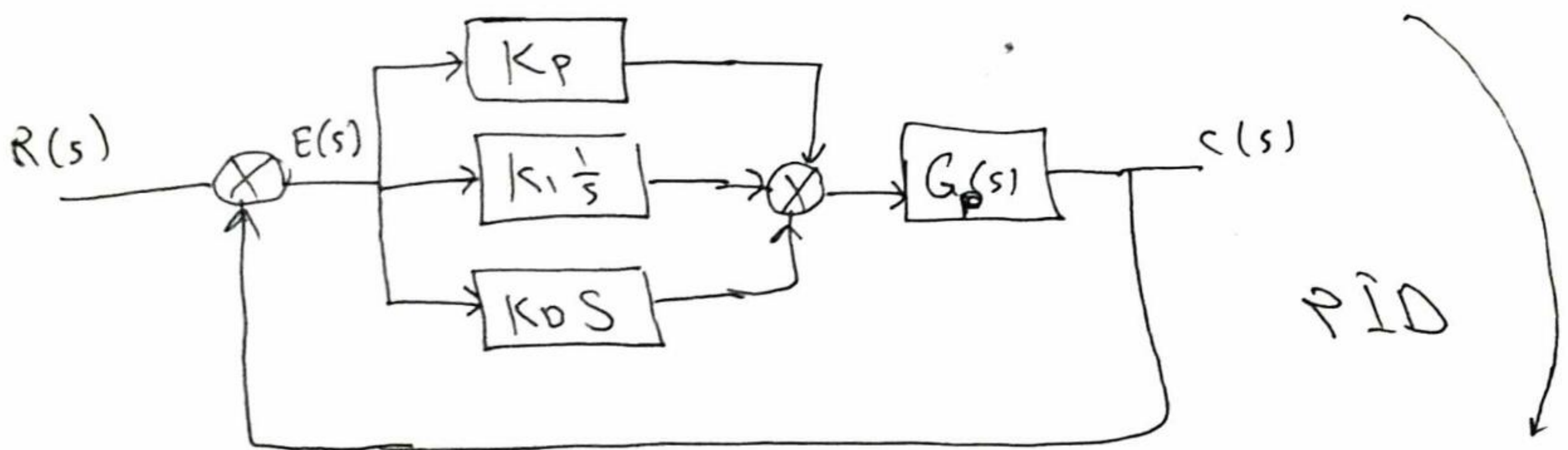
تحليل آثاره الخطأ عند استعماله إلى كم التناسبي والتكاملي التفاضلي

PID

$$p(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

$$G(s) = K_P + K_I \frac{1}{s} + K_D s$$

دالة التحويل PID



$K_P$  : ثابت الكسب التناسبي  
 $K_I$  : ثابت الكسب التكاملي  
 $K_D$  : ثابت الكسب التفاضلي

④

استفاد معادلة PID

$$e = r - y$$

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{\partial e(t)}{\partial t} \quad \text{--- ①}$$

نأخذ تمثيله في مجال s

$$U(s) = K_p E(s) + K_i \frac{E(s)}{s} + K_d s E(s)$$

$$U(s) = E(s) \left( K_p + K_i \frac{1}{s} + K_d s \right)$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p + K_i \frac{1}{s} + K_d s$$

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)}$$

$$G_c(s) = K_p + K_i \frac{1}{s} + K_d s$$

~~$K_i = \frac{K_p}{T_i}$~~  ,  ~~$K_d = \frac{K_p T_d}{K_p}$~~

$K_i = \frac{K_p}{T_i}$

$K_d = K_p T_d$

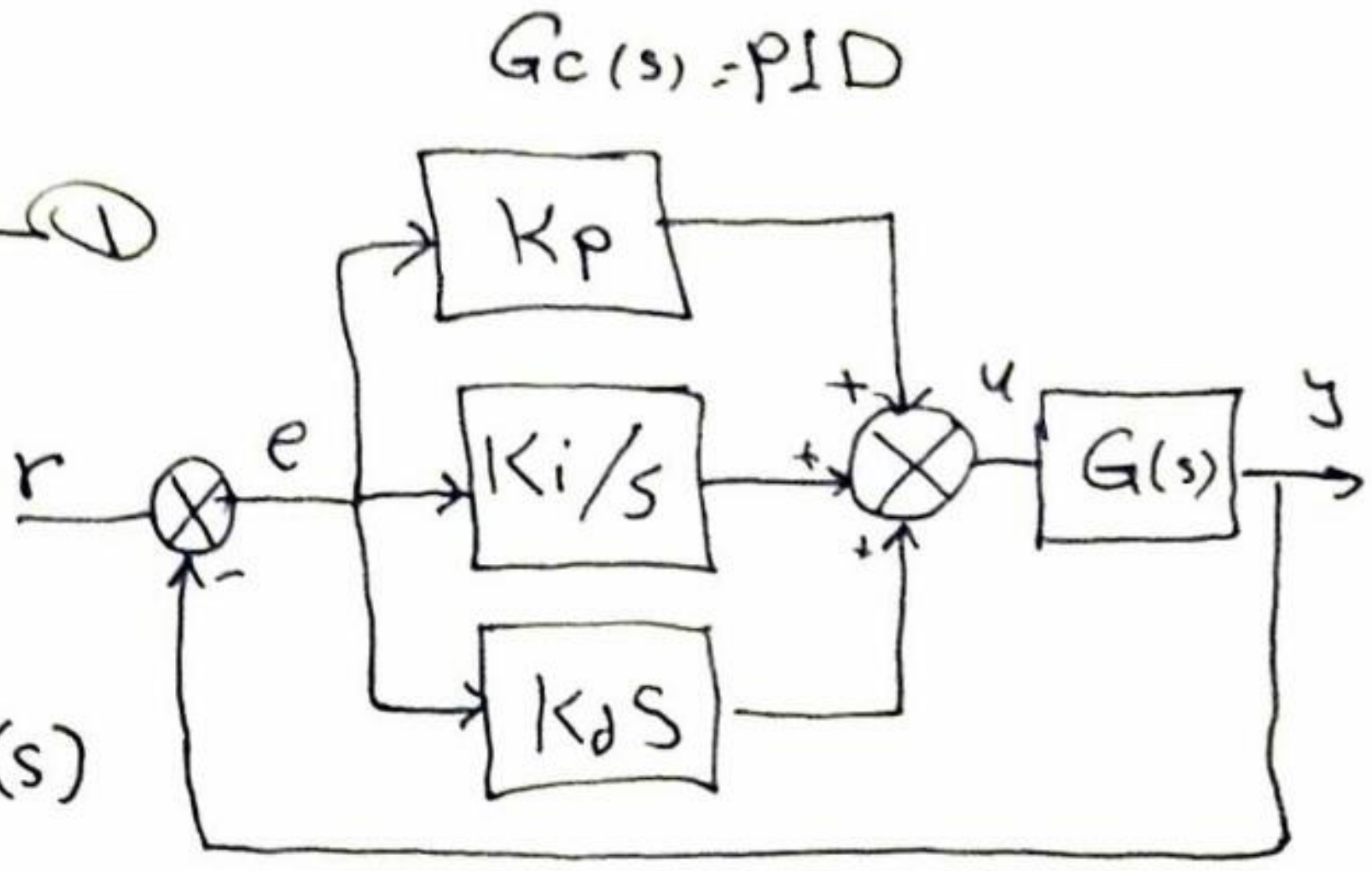
\* نعوّض 2 و 3 في 1

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{\partial e(t)}{\partial t}$$

$$u(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{\partial e(t)}{\partial t} \right)$$

نأخذ تمثيله في مجال s

$$U(s) = K_p \left( E(s) + \frac{E(s)}{T_i s} + T_d s E(s) \right)$$



②

$$U(s) = K_p E(s) \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

$$G_c(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

→