



قسم الروبوت و الأنظمة الذكية

عميد الكلية
د. إياد حاتم

النماذج الصناعية لنظم التحكم والمبادئ الأساسية لنظم التحكم ذات التغذية الخلفية

ديبال شيجا

تحكم آلي

المحاضرة السادسة

- أنماط التحكم الأساسية
- أغراض التحكم
- خصائص نظام التغذية الخلفية

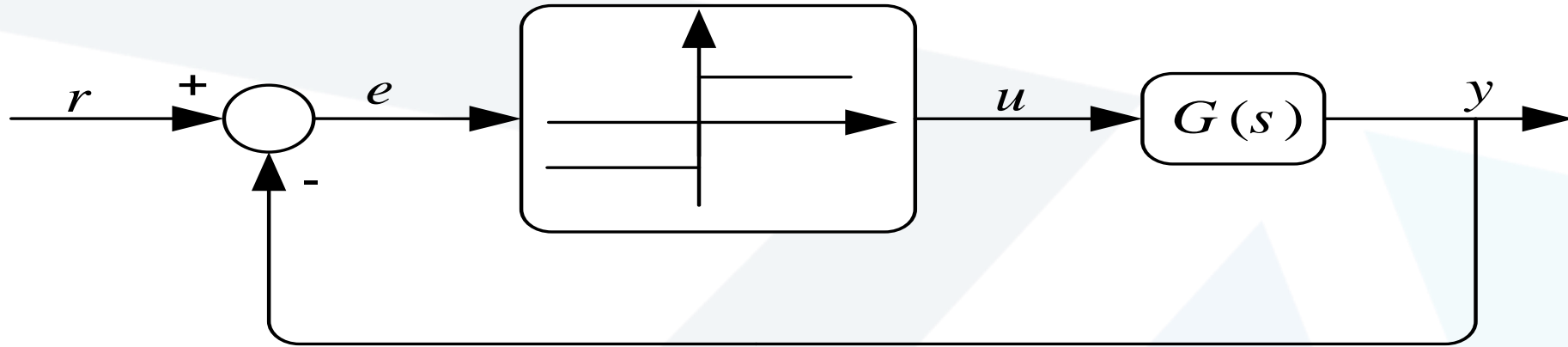
ديبال شيجا

أنماط التحكم الأساسية

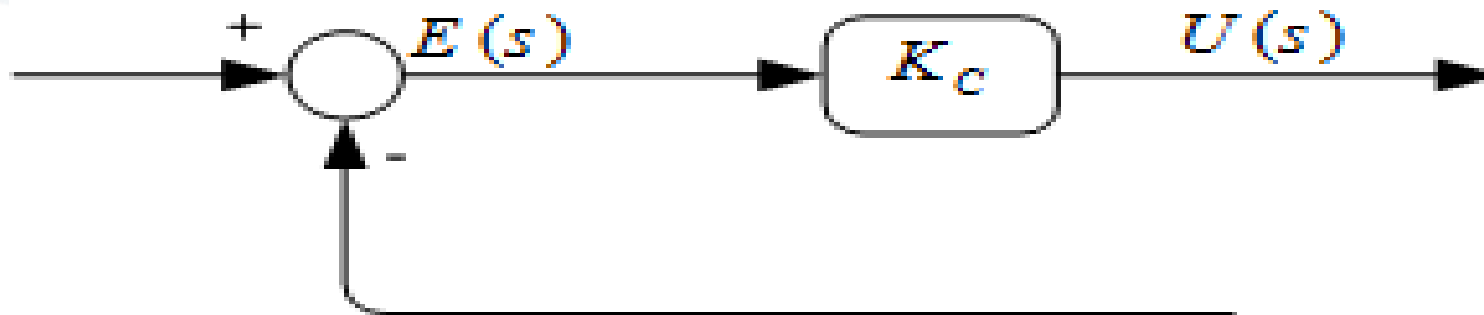
- التحكم فتح/إغلاق .On-off
- التحكم التناسبي .Proportional
- التحكم التكاملي .Integral
- التحكم التفاضلي .Derivative
- التحكم التناسبي-التكامل-التفاضلي PID



التحكم فتح/إغلاق .On-off



التحكم التناسبي Proportional.



(a) تحكم تناسبي

$$u(t) = K_c e(t)$$

$$U(s) = K_c E(s)$$

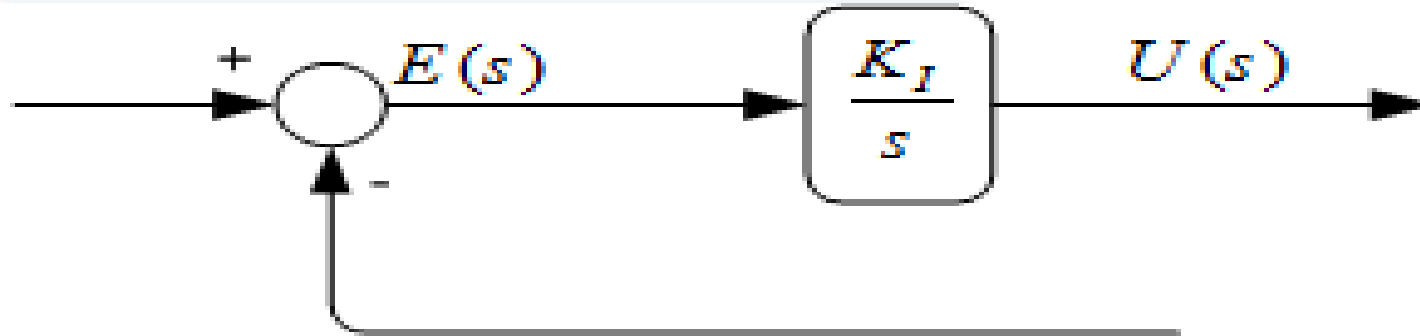
• حيث K_c ربح المتحكم.



Integral

التحكم التكاملي

• نمط التحكم التكاملي (reset control)



(b) تحكم تكاملي

$$u(t) = K_I \int_0^t e(t) dt$$

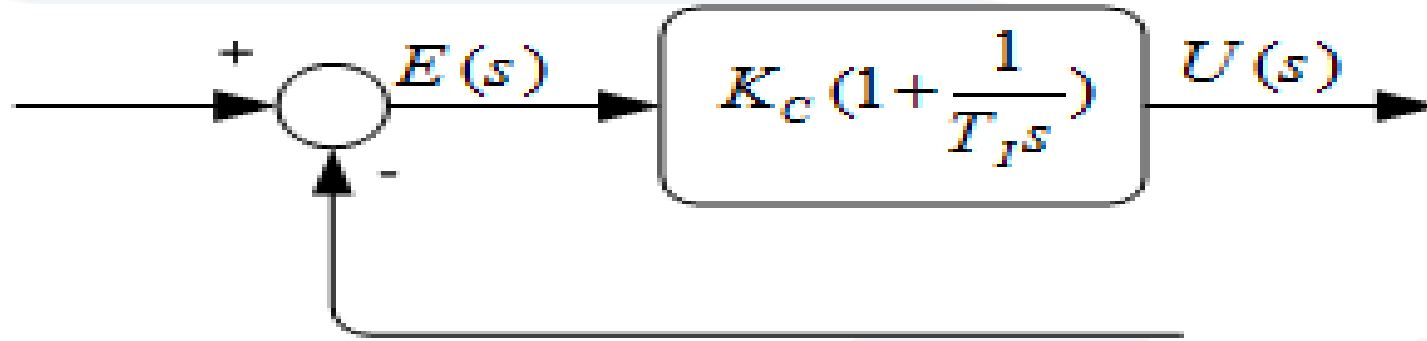
$$U(s) = \frac{K_I}{s} E(s)$$

• حيث K_I هو ربح التكامل.



التحكم التناسبي-التكاملي PI

- اتحاد النمط التناسبي مع النمط التكاملي PI



(c) تحكم PI

$$U(s) = K_C E(s) + \frac{K_I}{s} E(s)$$

$$= K_C (1 + \frac{1}{T_I s}) E(s)$$

$$u(t) = K_C [e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt]$$



Derivative التحكم التفاضلي

• التحكم التفاضلي (rate control)

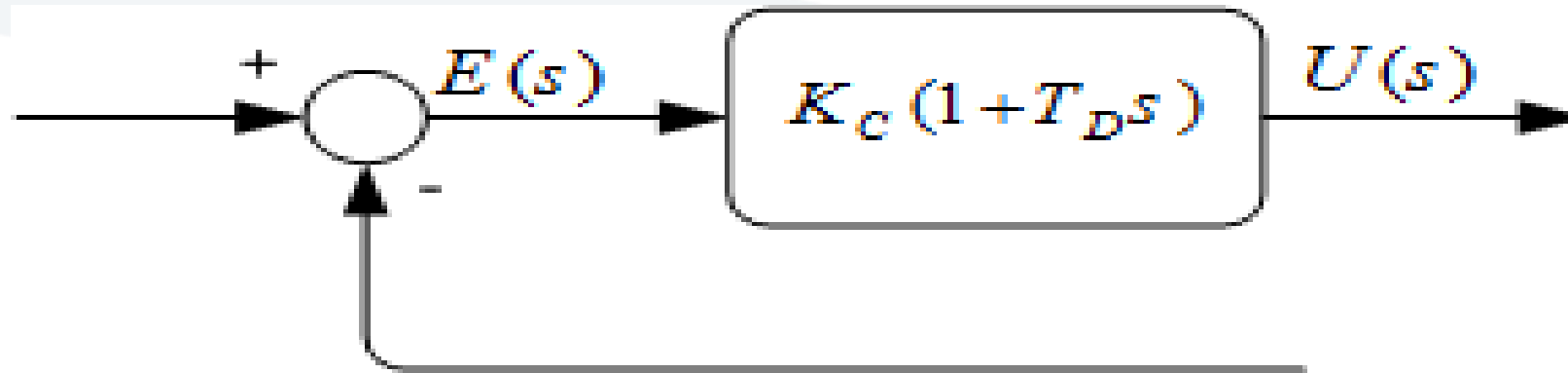
$$u(t) = K_D \frac{d}{dt} e(t)$$

$$U(s) = K_D s E(s)$$

- حيث K_D الربح التفاضلي.
- ولا يُستخدم نمط التحكم التفاضلي عادةً لوحده وذلك لأنّ التحكم في هذا النمط لا يولّد جهداً تصحيحياً لأي خطأ ثابت.
- ويشكّل PD:



التحكم التناسبي-التفاضلي PD



(d) تحكم PD

$$\begin{aligned}U(s) &= K_C E(s) + K_D s E(s) \\ &= K_C (1 + T_D s) E(s)\end{aligned}$$

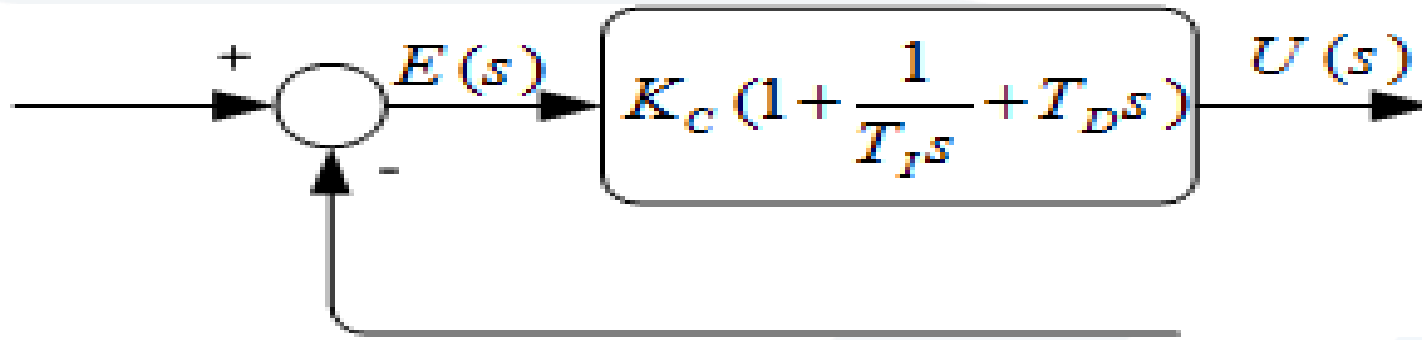
$$u(t) = K_C \left[e(t) + T_D \frac{d}{dt} e(t) \right]$$

هو زمن التفاضل أو زمن المعدل. حيث

T_D



PID التحكم التناسبي-التكاملي-التفاضلي



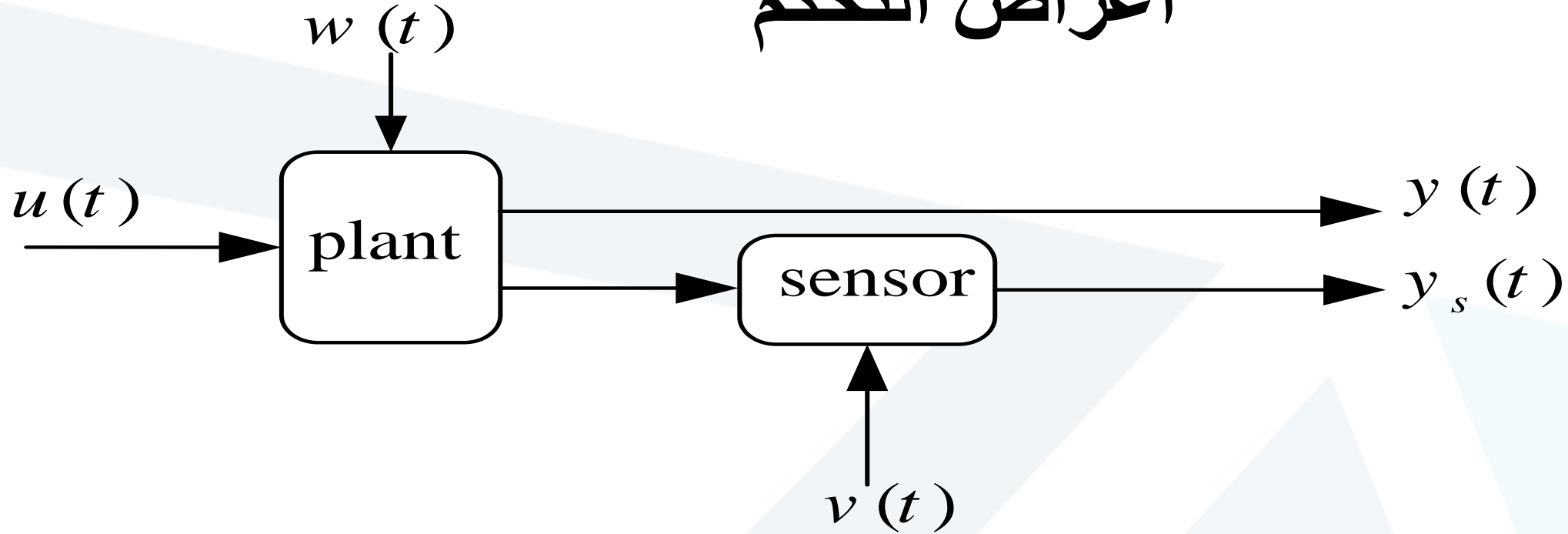
(e) تحكم PID

$$U(s) = K_C \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) E(s)$$

$$u(t) = K_C \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{d}{dt} e(t) \right]$$



أغراض التحكم



- وهدف التحكم هو إجبار المتغير المتحكم به في الوصول إلى القيمة المطلوبة بسرعة والبقاء عندها بعد فترة عابرة صغيرة؛
- و هو زمن الاستقرار settling time.
- steady state accuracy مهمة في نظم التحكم.

أغراض التحكم

عند تصميم نظم التحكم يجب الأخذ بعين الاعتبار المفاهيم التالية:

➤ الاستقرار stability

➤ محددات مطال الدخل Input Amplitude constrains

➤ رفض الاضطراب Disturbance Rejection

➤ ترشيح التشويش Noise Filtering

➤ الحساسية و الصلابة Sensitivity and Robustness



الاستقرار stability

- الاستقرار في نظام ما يتضمن التغيرات الصغيرة في المداخل المرجعية ومداخل التشويش والشروط الابتدائية والتي لا تؤدي إلى تغيرات كبيرة في خرج النظام، وإنّ الاستقرار خاصية مهمة جداً في نظم التحكم. أغلب النظم تُصمم لتعمل بشكل مستقر والمطلوب تحسين الاستجابة ودقة الحالة الثابتة مع الأخذ بعين الاعتبار محددات الاستقرار.
- تميل نظم التحكم ذات التغذية الخلفية لعدم الاستقرار حيث أنّه من أجل منشأة مستقرة فإنّ نظام الحلقة المغلقة يمكن أن لا يكون دائماً مستقر وبالتالي يتطلب تصميم نظام تحكم ما الموازنة بين تحقيق أغراض التحكم من جهة وبين الاستقرار من جهة أخرى.



محددات مطال الدخل

Input Amplitude constrains

- في نظم التحكم المصممة وفق مبادئ النظرية الخطية فإنّ الأجهزة المستخدمة تعمل بشكل خطي تحت ظروف التشغيل المختلفة، غير أنّه وفق ظروف تشغيل معينة يمكن أن تنتقل الأجهزة المستخدمة للعمل في منطقة المميزات غير الخطية عندئذٍ فإنّ التصميم وفق النظرية الخطية يصبح تقريبي وغير دقيق أي يُعطي توقعات خاطئة عن أداء النظام. زيادة كبيرة في مطال الإشارات عند سويات مختلفة لنظام التحكم يمكن أن تقود الأجهزة المكونة له إلى منطقة العمل اللاخطية ويحدث هذا في :
- منحنيات خواص عزم_سرعة للمحركات وفي الصمامات المستخدمة في عملية التحكم وفي المضخات وفي المسننات.....
- وبالتالي يتم فرض قيود على مجال القيم العليا.



رفض الاضطراب

Disturbance Rejection

• الاضطرابات الخارجية تؤثر على المنشأة بطريقة غير قابلة للتنبؤ وهي تغيرات غير متحكم بها على حمولة النظام. ففي نظم التحكم بالحركات الميكانيكية يمكن أن تمثل اضطرابات الحمولة بقوى الرياح على الهوائي المستقر أو بتموجات السفينة بينما في نظم تنظيم الجهد تشكل تغيرات الحمولة الكهربائية مصدر رئيسي للاضطرابات. وفي النظم الحرارية تحدث اضطرابات الحمولة عن طريق تغيرات الحرارة المحيطة. في نظم السوائل يمكن أن تنتج اضطرابات الحمولة من تغيرات تدفق التغذية أو من تغيرات التدفق المطلوب. بشكل عام تغيرات اضطرابات الحمولة تكون بطيئة والأخطاء الناتجة عنها يتم تصحيحها بتصميم مناسب لتحكم التغذية الخلفية.



ترشيح التشويش Noise Filtering

• تكون إشارات خطأ القياس ذات تردد عالي (تشويش المراقبة) وتؤثر على المنشأة بطريقة غير متنبأ بها. في نظم التحكم بالحركات الميكانيكية يمكن أن تقود التغيرات الميكانيكية إلى مركبات تردد عالي في إشارات خرج حساسات الموضع والسرعة، وإنّ استمرار تحريك السوائل في الحوض يعطي تشويش في إشارة خرج حساس درجة الحرارة (الترموكابل أو أي حساس آخر). يعتمد التحكم ذو التغذية الخلفية على القياسات الدقيقة للمتغيرات المتحكم بها لأنّ فعل التغذية الخلفية يقدم تصحيح قليل لأخطاء المعلومات القادمة عن طريق الحساسات ولذلك لتقليل تأثير هذا التشويش نستخدم الترشيح في التجهيزات.



الحساسية و الصلابة

Sensitivity and Robustness

- ترتبط الصلابة بتصميم نظام التحكم وسوف نناقش هنا باختصار مشهدين لمسألة الصلابة.
- الأول نتيجة أنّ كل نظام تحكم يصمم اعتماداً على نموذج المنشأة التقريبي، حيث أنّ نجاح التطبيق التحليلي للتصميم يعتمد بشكل كبير على بساطة النموذج الرياضي. نلجأ إلى العديد من الافتراضات المثالية التي تقود إلى عدم الدقة ليس فقط في بارامترات النموذج وإنما أيضاً في بنية النموذج. إنّ استخدام نموذج خطي لعملية لاخطية هو مثال للانحراف في بنية النموذج، وهناك مثال آخر هو حذف أزمنة تأخير معينة من أجل الحصول على نموذج ذي درجة أقل.

الحساسية و الصلابة

Sensitivity and Robustness

- ويظهر المشهد الثاني في أنّ التصميم يعتمد على نموذج يصف العديد من الخواص الاسمية للمنشأة غير أنّ هذه الخواص تختلف عن الخواص الفيزيائية للنظام عند عمل المنشأة المتحكم بها وذلك نتيجة التأثيرات المحيطة من تآكل wear وصدأ aging وعوامل طبيعية أخرى.



خصائص نظام التغذية الخلفية

• حساسية النظام System Sensitivity

• رفض الاضطراب Disturbance Rejection

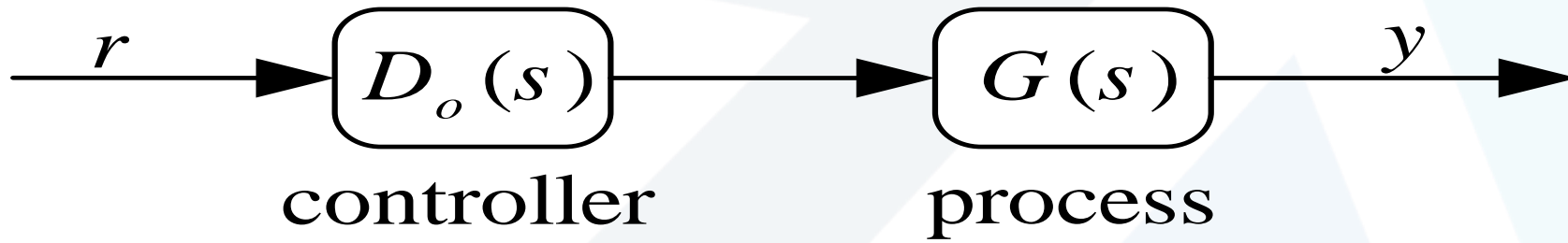
• تشكيل الاستجابة الديناميكية

Shaping the Dynamic Response

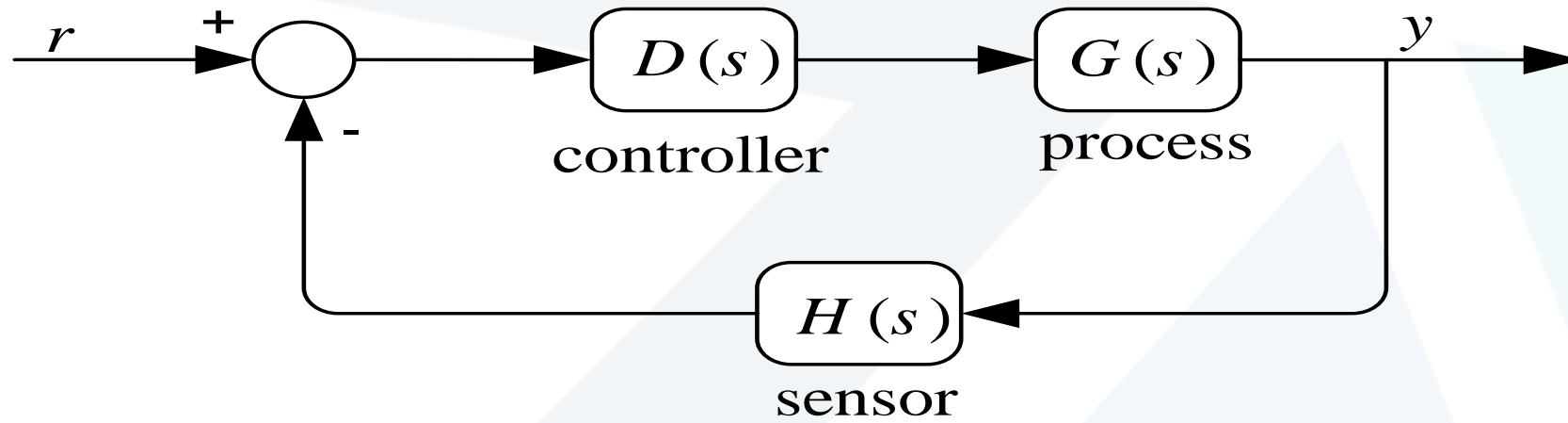
• دقة الحالة الثابتة Steady State Accuracy



حساسية النظام System Sensitivity

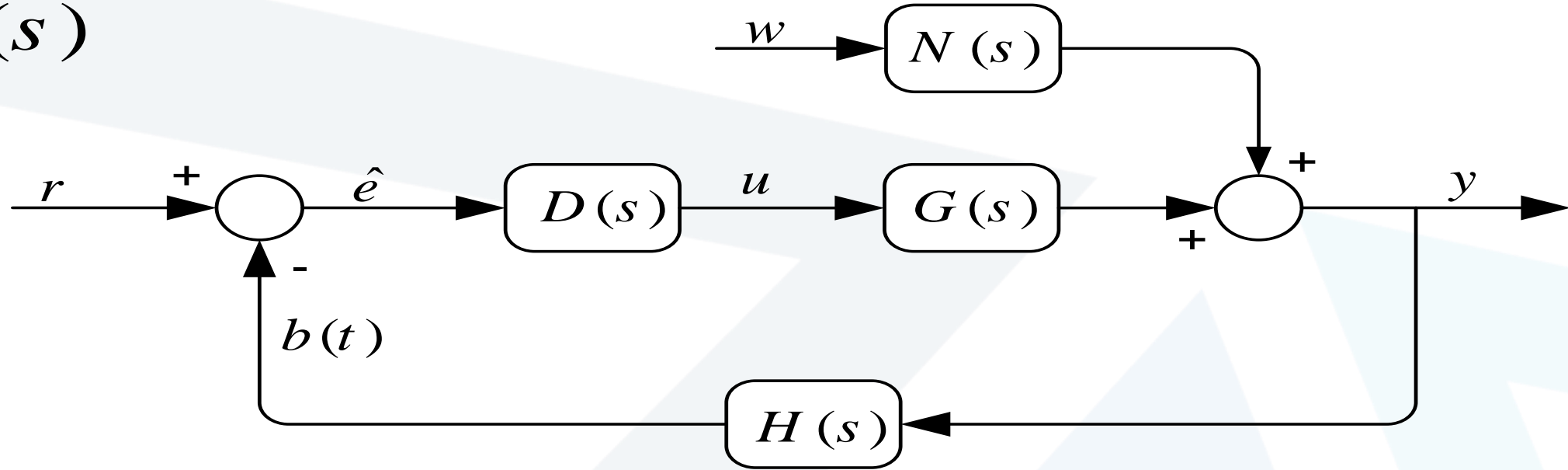


حساسية النظام System Sensitivity



رفض الاضطراب Disturbance Rejection

$W(s)$



$$Y(s) = \frac{D(s)G(s)}{1 + D(s)G(s)H(s)} R(s) + \frac{N(s)}{1 + D(s)G(s)H(s)} W(s)$$

$$R(s) = 0 \Rightarrow Y(s) = \frac{N(s)}{1 + D(s)G(s)H(s)} W(s)$$

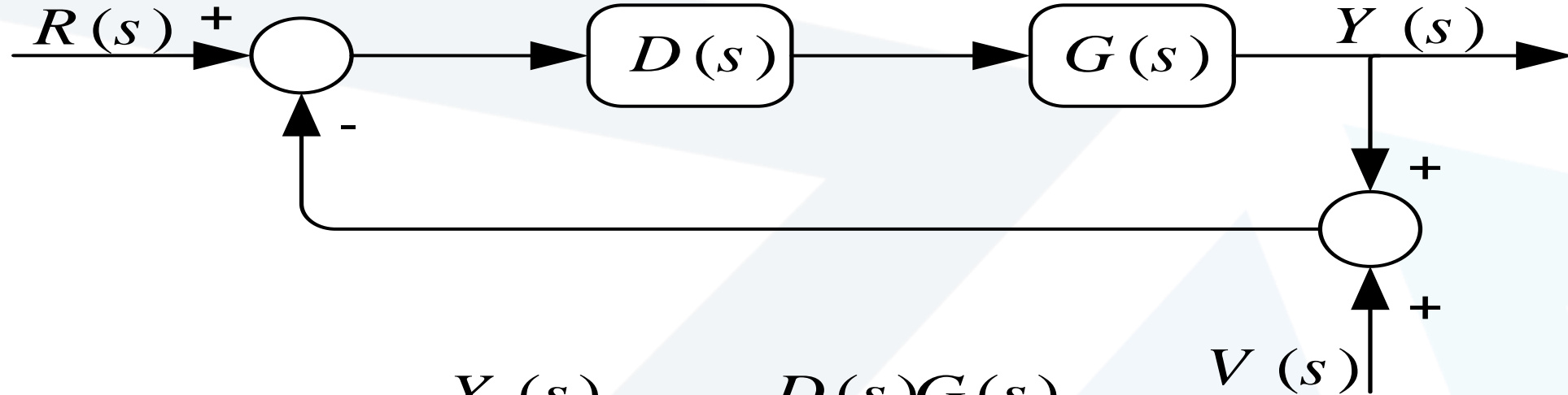
open loop

$$Y(s) = N(s)W(s)$$



رفض الاضطراب Disturbance Rejection

$V(s)$

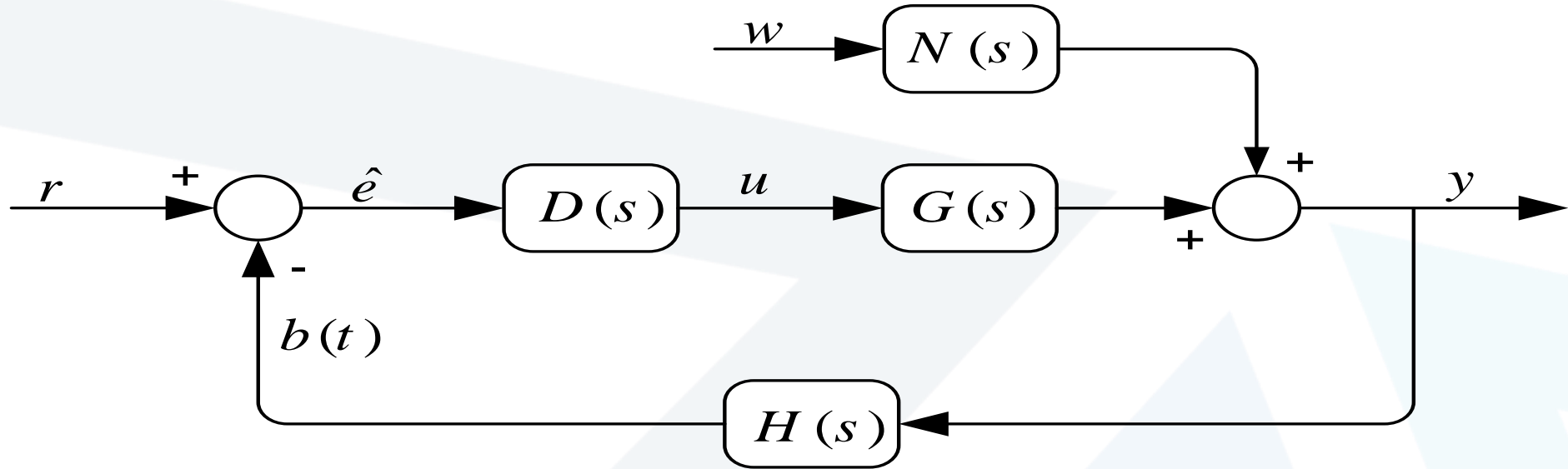


$$\frac{Y(s)}{V(s)} = -\frac{D(s)G(s)}{1 + D(s)G(s)}$$



تشكيل الاستجابة الدينامية

Shaping the Dynamic Response



$$W(s) = 0 \Rightarrow$$

$$Y(s) = \frac{D(s)G(s)}{1 + D(s)G(s)H(s)} R(s) = M(s)R(s)$$



تشكيل الاستجابة الدينامية

Shaping the Dynamic Response

$$\frac{D_1(s)}{D_2(s)} \square D(s), \quad \frac{G_1(s)}{G_2(s)} \square G(s), \quad \frac{H_1(s)}{H_2(s)} \square H(s)$$

$$\Rightarrow M(s) = \frac{D_1(s)G_1(s)H_2(s)}{D_2(s)G_2(s)H_2(s) + D_1(s)G_1(s)H_1(s)}$$

$$D_2(s)G_2(s)H_2(s) + D_1(s)G_1(s)H_1(s) = 0$$



تشكيل الاستجابة الدينامية

Shaping the Dynamic Response

$$Y(s) = \frac{D(s)G(s)}{1 + D(s)G(s)H(s)}R(s) + \frac{N(s)}{1 + D(s)G(s)H(s)}W(s)$$
$$= M(s)R(s) + M_w(s)W(s)$$

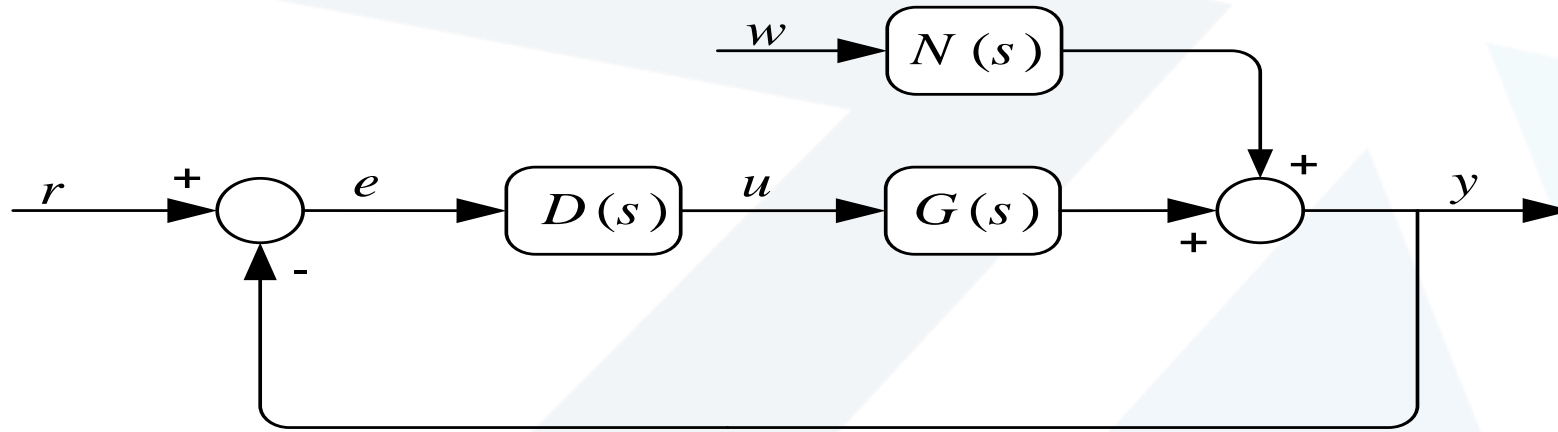
$$D_o(s) = \frac{1}{G(s)}$$



دقة الحالة الثابتة

Steady State Accuracy

- وسوف نقوم بمقارنة خطأ الحالة الثابتة النهائي من أجل نظام الحلقة المفتوحة ونظام الحلقة المغلقة.



$$W(s) = 0 \Rightarrow E(s) = \frac{1}{1 + D(s)G(s)} R(s)$$



دقة الحالة الثابتة

Steady State Accuracy

$$e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} [r(t) - y(t)] = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s)$$

$$R(s) = \frac{1}{s} \Rightarrow$$

$$\begin{aligned} e_{ss} &= \lim_{s \rightarrow 0} s \left[\frac{1}{1 + D(s)G(s)} \right] \frac{1}{s} \\ &= \frac{1}{1 + D(0)G(0)} \end{aligned}$$



دقة الحالة الثابتة

Steady State Accuracy



$$E(s) = R(s) - Y(s) = [1 - D_o(s)G(s)]R(s)$$

$$R(s) = \frac{1}{s} \Rightarrow$$

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = 1 - D_o(0)G(0)$$



