

# الاستقرار النسبي للأنظمة الخطية

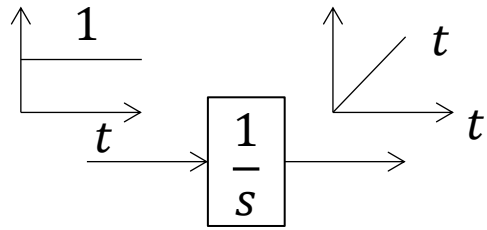
مدرس المقرر  
الدكتور نسمة أبو طبق  
جامعة المنارة

# مقدمة

- مفهوم الاستقرار النسبي
- أنواع إشارة الدخل
- تحليل إشارة الخطأ
- ثوابت الخطأ الساكن وحساب خطأ الحالة الساكنة
- أمثلة

# مفهوم الاستقرار النسبي

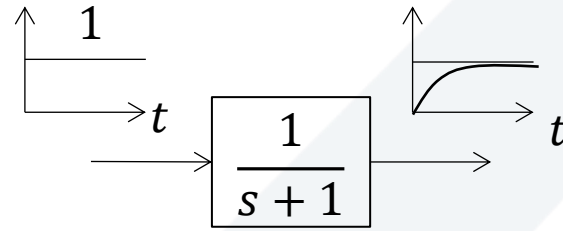
- الاستقرار المطلق يعني أن النظام مستقر أو غير مستقر.
- الاستقرار النسبي يرتبط عادة مع الحلقة المغلقة والتي يمكن أن تكون مستقرة بالنسبة لدخل ما وغير مستقرة بالنسبة لدخل آخر.



غير مستقر



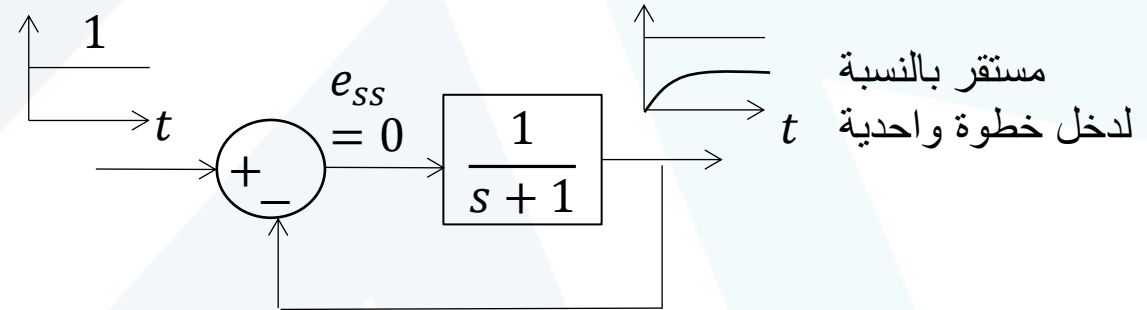
استقرار مطلق



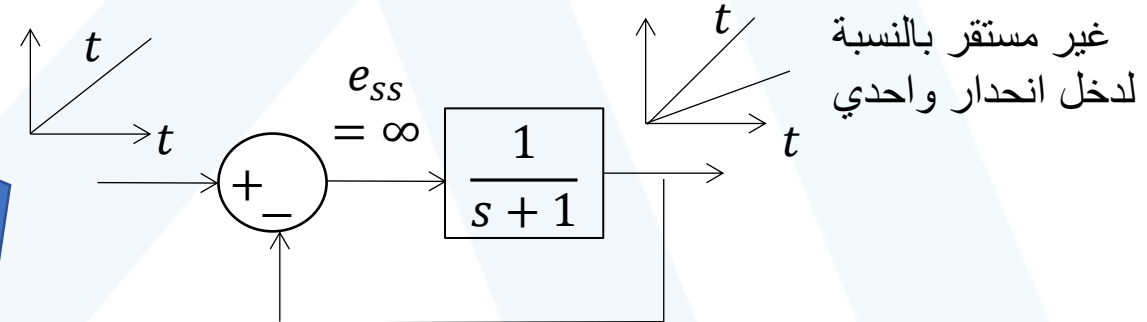
مستقر



استقرار نسبي

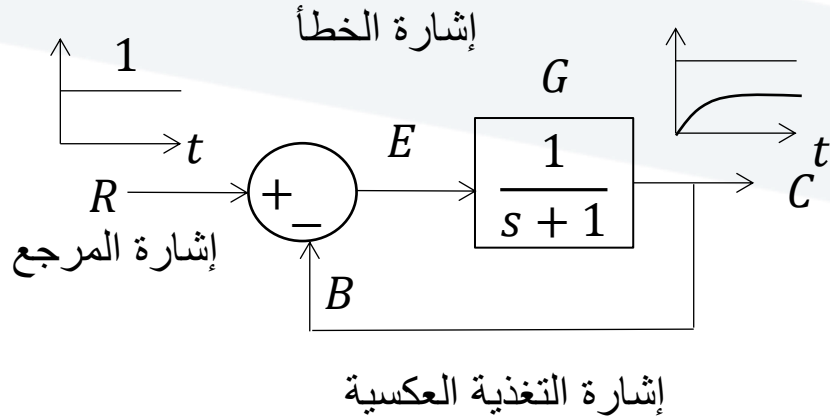


مستقر بالنسبة  
لدخل خطوة واحدة



غير مستقر بالنسبة  
لدخل انحدار واحد

# الاستجابة الزمنية لنظام الحلقة المغلقة



$$B = C$$

$$E = R - C$$

$$E = R - B = R - C$$

$$C = E \cdot G$$

$$C = (R - C)G$$

$$E = R - E \cdot G$$

$$C + C \cdot G = R \cdot G$$

$$E + E \cdot G = R$$

$$C(1 + G) = R \cdot G$$

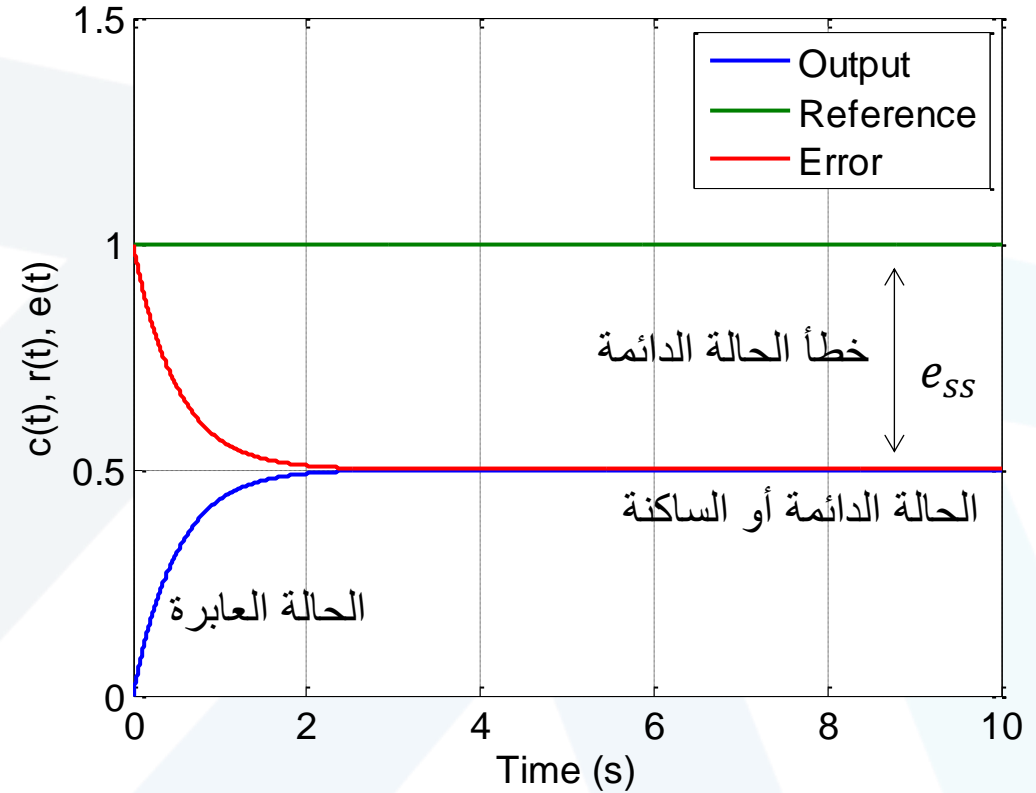
$$E(1 + G) = R$$

$$\frac{C}{R} = \frac{G}{(1 + G)}$$

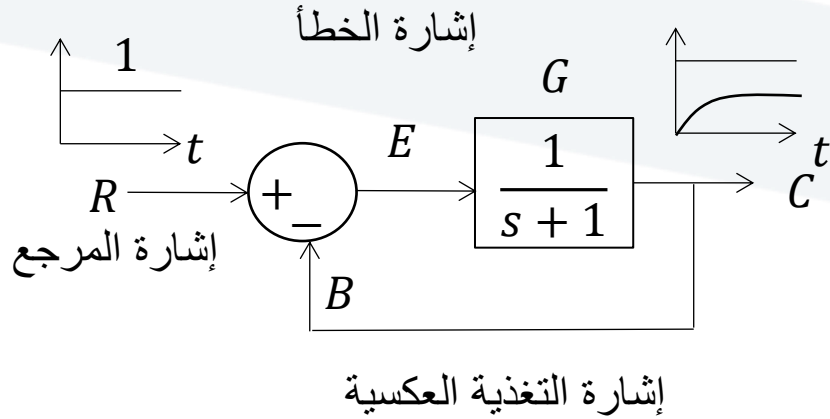
$$\frac{E}{R} = \frac{1}{(1 + G)}$$

$$E = \frac{1}{(1 + G)} R$$

$$e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot E$$



# خطأ الحالة المستقرة وطريقة حسابه



الدخل انحدار واحد

$$e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot E = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{s+1}{s+2} \cdot \frac{1}{s^2} = \frac{1}{0} = \infty$$

نظام الحلقة المغلقة غير مستقر بالنسبة لدخل انحدار واحد

$$\frac{E}{R} = \frac{1}{(1+G)}$$

$$E = \frac{1}{(1+G)} R$$

$$e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot E$$

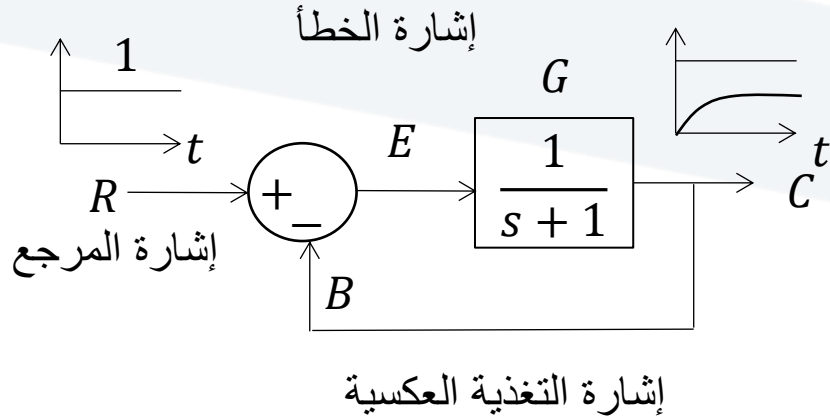
$$G = \frac{1}{s+1} \quad R = \frac{1}{s} \quad \text{الدخل خطوة واحدة}$$

$$E = \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{s+1}\right)} \cdot \frac{1}{s} = \frac{s+1}{s+1+1} \cdot \frac{1}{s} = \frac{s+1}{s+2} \cdot \frac{1}{s}$$

$$e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot E = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{s+1}{s+2} \cdot \frac{1}{s} = 0.5$$

نظام الحلقة المغلقة مستقر بالنسبة لدخل خطوة واحدة

# خطأ الحالة المستقرة وطريقة حسابه



$$\frac{E}{R} = \frac{1}{(1+G)} \quad E = \frac{1}{(1+G)}R$$

$$e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot E = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{1}{(1+G)}R$$

$$R = \frac{1}{s} \quad \text{الدخل خطوة واحدة}$$

ثابت الخطأ للموضع الساكن

$$\lim_{s \rightarrow 0} G(s) = K_P$$

خطأ الحالة المستقرة

$$e_{ss} = \frac{1}{1+K_P}$$

$$e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot E = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{1}{(1+G)} \frac{1}{s}$$

$$e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot E = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{(1+G(s))}$$

$$e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot E = \frac{1}{1 + \lim_{s \rightarrow 0} G(s)} = \frac{1}{1 + K_P}$$

# ثوابت الخطأ الساكن

ثابت الخطأ للموضع الساكن

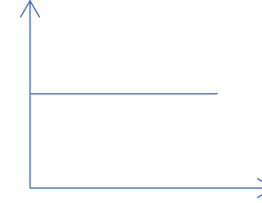
$$\lim_{s \rightarrow 0} G(s) = K_p$$

خطأ الحالة المستقرة

$$e_{ss} = \frac{1}{1 + K_p}$$

$$R = \frac{1}{s}$$

المرجع خطوة واحدة



ثابت الخطأ للسرعة الساكنة

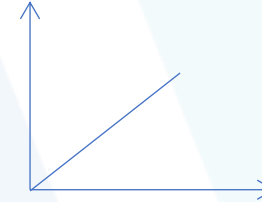
$$\lim_{s \rightarrow 0} sG(s) = K_v$$

خطأ الحالة المستقرة

$$e_{ss} = \frac{1}{K_v}$$

$$R = \frac{1}{s^2}$$

المرجع انحدار واحد



ثابت الخطأ للتسارع الساكن

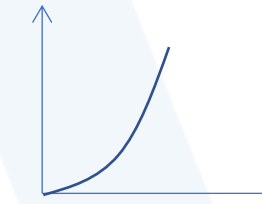
$$\lim_{s \rightarrow 0} s^2 G(s) = K_a$$

خطأ الحالة المستقرة

$$e_{ss} = \frac{1}{K_a}$$

$$R = \frac{1}{s^3}$$

المرجع قطع مكافئ



# أنواع الأنظمة

ثابت الخطأ للموضع الساكن

$$\lim_{s \rightarrow 0} G(s) = K_p$$

خطأ الحالة المستقرة

$$e_{ss} = \frac{1}{1 + K_p}$$

ثابت الخطأ للسرعة الساكنة

$$\lim_{s \rightarrow 0} sG(s) = K_v$$

خطأ الحالة المستقرة

$$e_{ss} = \frac{1}{K_v}$$

ثابت الخطأ للتسارع الساكن

$$\lim_{s \rightarrow 0} s^2 G(s) = K_a$$

خطأ الحالة المستقرة

$$e_{ss} = \frac{1}{K_a}$$

$$G(s) = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{K(b_1s + 1)(b_2s + 1) \cdots (b_ms + 1)}{s^N(a_1s + 1)(a_2s + 1) \cdots (a_ns + 1)}$$

عدد التكاملات في النظام وتحدد نوع النظام  $N$

نظام نوع صفر لا يحوي أي تكامل  $N = 0$

نظام نوع واحد يحوي تكامل واحد  $N = 1$

نظام نوع اثنان يحوي تكاملين  $N = 2$

⋮



# نظام نوع صفر

ثابت الخطأ للموضع الساكن

$$\lim_{s \rightarrow 0} G(s) = K_p = K$$

خطأ الحالة المستقرة

$$e_{ss} = \frac{1}{1 + K_p} = \frac{1}{1 + K}$$

ثابت الخطأ للسرعة الساكنة

$$\lim_{s \rightarrow 0} sG(s) = K_v = 0$$

خطأ الحالة المستقرة

$$e_{ss} = \frac{1}{K_v} = \infty$$

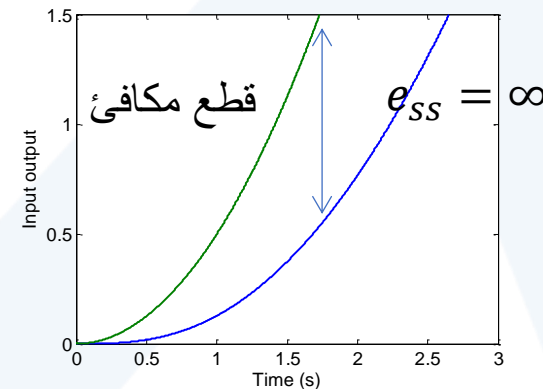
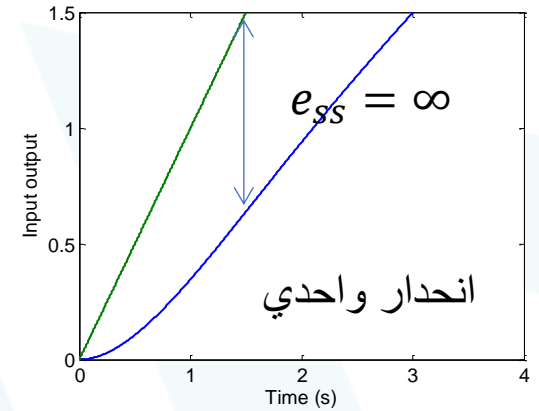
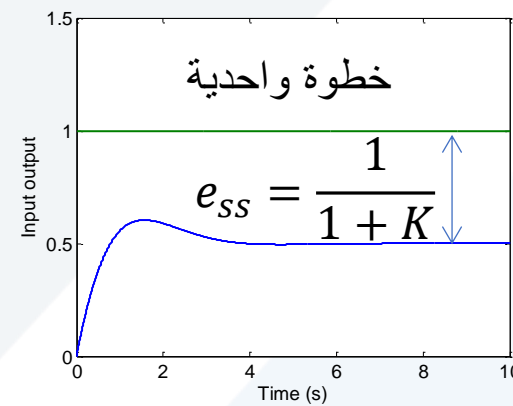
ثابت الخطأ للتسارع الساكن

$$\lim_{s \rightarrow 0} s^2 G(s) = K_a = 0$$

خطأ الحالة المستقرة

$$e_{ss} = \frac{1}{K_a} = \infty$$

$$G(s) = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{K(b_1s + 1)(b_2s + 1) \cdots (b_ms + 1)}{(a_1s + 1)(a_2s + 1) \cdots (a_ns + 1)}$$



النظام نوع صفر يتبع دخل خطوة  
بخطأ حالة دائمة ثابت

لا يتبع دخل انحدار

لا يتبع دخل قطع مكافئ

# نظام نوع واحد

ثابت الخطأ للموضع الساكن

$$\lim_{s \rightarrow 0} G(s) = K_p = \infty$$

خطأ الحالة المستقرة

$$e_{ss} = \frac{1}{1 + K_p} = 0$$

ثابت الخطأ للسرعة الساكنة

$$\lim_{s \rightarrow 0} sG(s) = K_v = K$$

خطأ الحالة المستقرة

$$e_{ss} = \frac{1}{K_v} = \frac{1}{K}$$

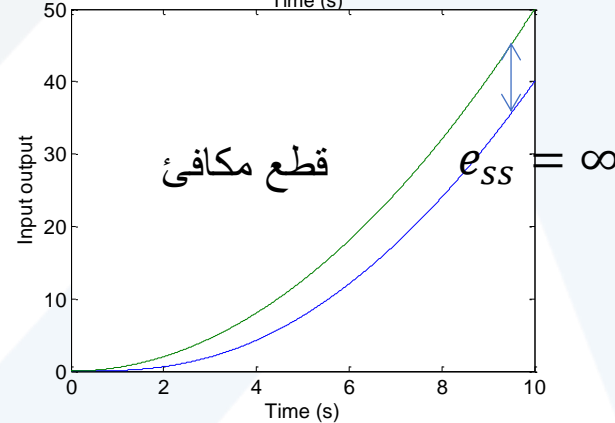
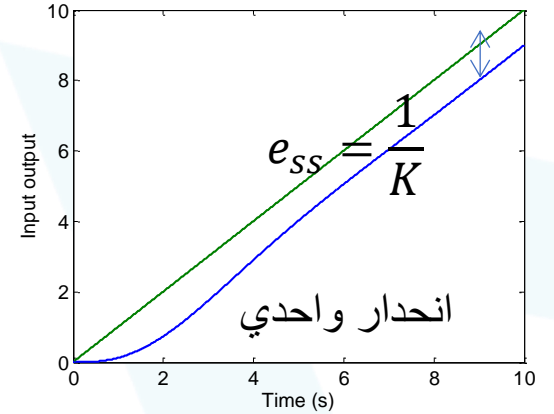
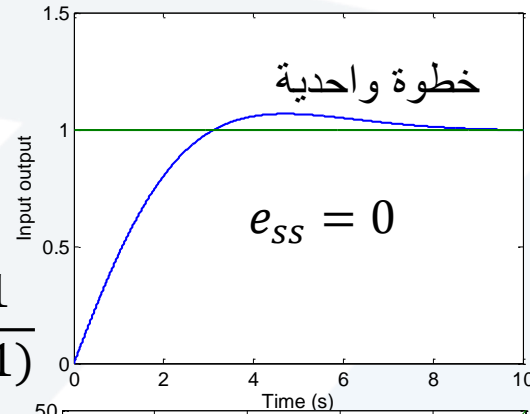
ثابت الخطأ للتسارع الساكن

$$\lim_{s \rightarrow 0} s^2 G(s) = K_a = 0$$

خطأ الحالة المستقرة

$$e_{ss} = \frac{1}{K_a} = \infty$$

$$G(s) = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{K(b_1s + 1)(b_2s + 1) \cdots (b_ms + 1)}{s(a_1s + 1)(a_2s + 1) \cdots (a_ns + 1)}$$



النظام نوع واحد يتبع دخل خطوة  
بخطأ حالة دائمة معدوم

يتبع دخل انحدار واحد  
بخطأ حالة مستقرة ثابت

لا يتبع دخل قطع مكافئ

# نظام نوع اثنان

ثابت الخطأ للموضع الساكن

$$\lim_{s \rightarrow 0} G(s) = K_p = \infty$$

خطأ الحالة المستقرة

$$e_{ss} = \frac{1}{1 + K_p} = 0$$

ثابت الخطأ للسرعة الساكنة

$$\lim_{s \rightarrow 0} sG(s) = K_v = \infty$$

خطأ الحالة المستقرة

$$e_{ss} = \frac{1}{K_v} = 0$$

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

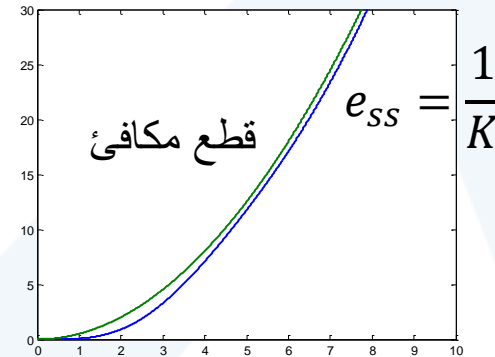
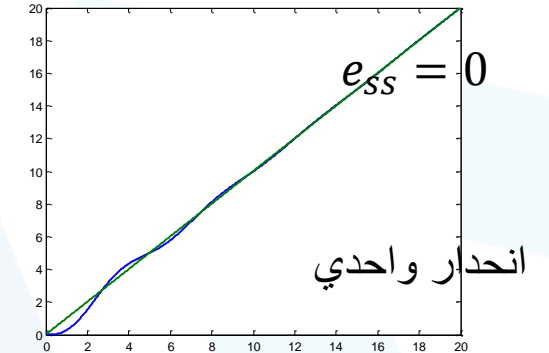
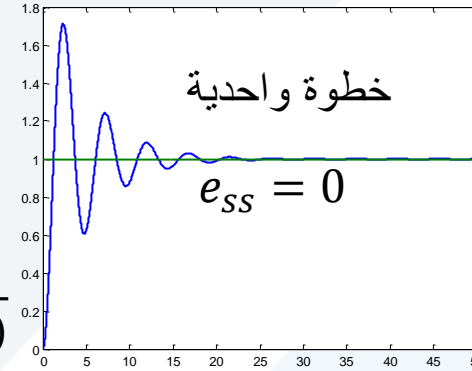
ثابت الخطأ للتسارع الساكن

$$\lim_{s \rightarrow 0} s^2 G(s) = K_a = K$$

خطأ الحالة المستقرة

$$e_{ss} = \frac{1}{K_a} = \frac{1}{K}$$

$$G(s) = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{K(b_1s + 1)(b_2s + 1) \cdots (b_ms + 1)}{s^2(a_1s + 1)(a_2s + 1) \cdots (a_ns + 1)}$$



النظام نوع اثنان يتبع دخل خطوة  
بخطأ حالة دائمة معدوم

النظام نوع اثنان يتبع دخل انحدار  
بخطأ حالة دائمة معدوم

النظام نوع اثنان يتبع دخل قطع مكافئ  
بخطأ حالة دائمة ثابت



# خلاصة جدول خطأ الحالة المستقرة

نوع النظام	خطوة واحدة 1	انحدار واحد $t$	قطع مكافئ $\frac{t^2}{2}$
0	$\frac{1}{1+K}$	$\infty$	$\infty$
1	0	$\frac{1}{K}$	$\infty$
2	0	0	$\frac{1}{K}$
3	0	0	0



مدرس المقرر الدكتور نسمت أبو طبق