

نظم تحكم 2

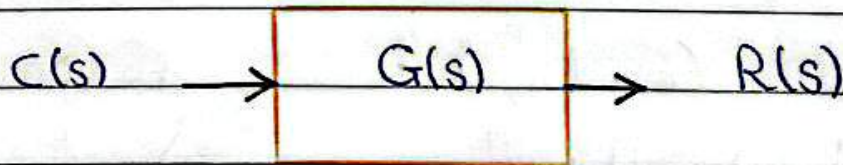
غادة الشامس
كلية الهندسة

مراجعة تحكم 1

* أساسيات النظام :

1. أنظمة الحلقة المفتوحة (Open - Loop) :
لا تستخدم تقنية راجعة (بسيطة وغير
دقيقة ولا تستطيع تصحيح الأخطاء الناتجة
عن الاضطرابات

2. أنظمة الحلقة المغلقة (Closed - Loop) :
تستخدم التقنية الراجعة (Feedback)
لمقارنة الخرج الفعلي مع القيمة المرجعية المطلوبة
وتوليد إشارة الخطأ وذلك لتصحيح
النظام



$G(s)$: دالة التحويل : هي الأداة الرياضية الأساسية
تمثل النظام كنسبة بين الخرج والدخل

$$G(s) = \frac{\text{Output}}{\text{Input}}$$

Block Diagrams:

هي مجموعة من القواعد لدمج دوال التحويل المتسلسلة والمتوازنة وأنظمة التغذية الراجعة، للحصول على دالة التحويل الكلية للنظام $\frac{C(s)}{R(s)}$

Time Response Analysis:

هنا ندرس سلوك النظام عند تطبيق مدخلات اختبار قياسية مثل "Step Function":

1. استجابة أنظمة من الدرجة الأولى: نموذج بسيط يصف أنظمة لا تحتوي على (Overshoot) يتميز

بالتأخر الزمني

2. الدرجة الثانية: أنظمة تحتوي على (Overshoot) يتأثر بعاملين:

1. Damping Ratio (δ زيتا)

2. التردد الطبيعي المخمد

t_p (peak time):

الزمن اللازم لوصول الخرج لأول ذروة

$\delta > 1$: Over-damped-response

$\delta = 1$: Critical-damped-response

$\delta < 1$: Under-damped-response

M_p (Percent Overshoot):

أقصى قيمة يصل إليها

الخرج متجاوزاً القيمة

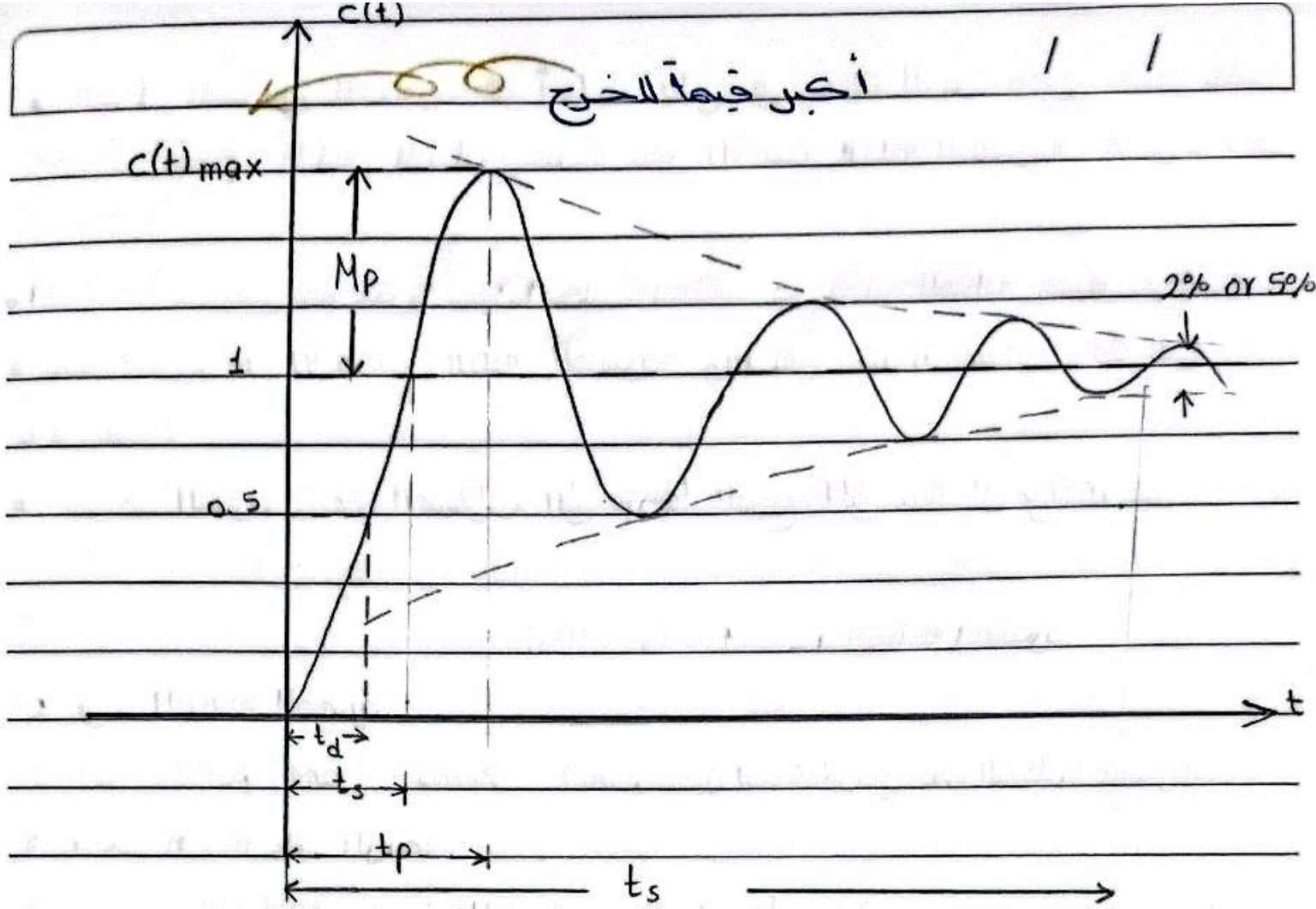
المطلوبة

t_s (زمن الاستقرار):

الزمن اللازم لوصول

الخرج والبقاء ضمن

2%، 5% من القيمة النهائية



نشر ٥٠٥٥٥

الفضل الثامن: أنواع التغذية الراجعة

$K_p \rightarrow$

proportional term
الجزء الثابت

$K_i \rightarrow$

Integral term
الجزء التكامل

$K_d \rightarrow$

Derivative term
الجزء المشتق

كلما زاد K_p كلما أصحت المعلومة أو النظام عن مستقر
وزاد التذبذب أي لها قيمة محدودة ولا يتأثر بها يصبح عن مستقر

كلما زاد K_i كلما كان النظام من لا تأثره المعلومة بشكل أسرع

كلما زاد K_d يقل من Overshoot ولا يتأثر به إلا بحدود وقد تؤثر
أيضا الاستقرار

* الحل الهندسي للحدود: هو أسلوب يبين في مجال الزمن بوضع كيف تتغير أقطاب نظام الحلقة المغلقة عندما يتغير الكسب للطفة المفتوحة K من $0 \rightarrow \infty$

* الهدف الأساسي هو معرفة ما إذا كان النظام في الحلقة المغلقة مستقر أم لا
* تبدأ الفروع من الأقطاب للطفة المفتوحة وتنتهي عند الأصفار (تنتهي إلى ما لا نهاية).

* خطوط التقارب: هي المسارات التي تتجهها الفروع التي تنتهي إلى ∞ .

$$1 + G(s)H(s) = 0 \quad \text{المعادلة المصيرة}$$

1. نوجد المعادلة المصيرة.

2. نجد zeros and poles (يمكن يكون لدي فقلين في نفس المكان (متساويان))

3. نكتب n و m على الرسم.

4. نرسم root locus بحيث النقطة نشطها أو على يمينها عدد زوجي تمتد مسار من الأقطاب.

5. نكتب عدد خطوط التقارب.

* zeros : m

6. نكتب النقطة التي يرسم منها خطوط التقارب

* poles : n

$$\sigma = \frac{\sum p - \sum z}{n - m}$$

* pole $\rightarrow x \rightarrow K = 0$

7. نوجد الزاوية التي يصل إليها كل من خطوط

* zero $\rightarrow o \rightarrow K = \infty$

التقارب و حدها على الرسم.

* $K \rightarrow$ positive

$$\pm 180(2K+1) \\ n-m$$

نكتب بين

8. نوجد break in , break away $\leftarrow$ هي نقطة انكسار حيث بين poles فقط

9. نوجد زاوية الوصول وزاوية المغادرة.

10. نوجد نقطة التقاطع من سن.

* شرط أساسي للاستقرار أن تكون جميع الأقطاب في النصف الأيسر.



متى نستخدم المحوضات ؟

• عندما يكون النظام غير مستقر (لتحقيق الاستقرار)

• عندما تكون استجابة النظام ببطء جيداً .

• عندما يكون Overshoot كبير (مثل أن يرتفع خرج النظام إلى 30% من القيمة المطلوبة قبل أن يستقر)

• عندما يكون خطأ الحالة المستقرة كبيراً .

أنواع المحوضات ..

lead Compensator	Lag Compensator	Lead-Lag Compensator
* جعل النظام أسرع	* تحسين الدقة	* الجمع بين مزايا النوعين
وتقليل Overshoot	(تقليل الخطأ في الحالة المستقرة)	تحسين السرعة
* يزيد "Bandwidth"	المستقرة	و الدقة
أي نظام أسرع	* يقلل من حساسية النظام	متى سيتم ؟
* يزيد Phase Margin	* يقلل من الخطأ في الحالة المستقرة	عندما يكون النظام
يحسن من الاستقرار	المستقرة	يواجه من مشاكل
* متى يستخدم ؟	* متى يستخدم ؟	في الاستجابة العابرة
• عندما يكون النظام بطيئاً	• عندما يكون الخطأ في	ومشاكل في الدقة
• عندما يكون في Overshoot	الحالة المستقرة كبير	(خطأ كبير) في
	* عندما نريد تحسين الدقة	نفس الوقت

* ملخص جزئية الاستقرار للأرضة الزمنية :

1. يكون النظام مستقر إذا كانت جميع roots تقع على الجانب الأيسل من مستوى s (مستقر stable)
2. إذا وقع على أقل root واحد فقط في الجهة اليمنى من s -plane. ليس النظام غير مستقر (غير مستقر unstable)
3. إذا كان هناك زوج من الأقطاب يقع على المحور التبلع ليس النظام (Marginally stable أو Critical)

* خطوات إثبات الاستقرار :

1. إيجاد المعادلة المميزة وهي مقام "transfer function"

$$1 + G(s) \quad \text{or} \quad \text{حيث هذه هي open loop transfer function.}$$
2. استخراج جداول راوت وإيجاد الأقطاب

البيان : • إذا كانت جميع عوامل راوت (العوامل الأول) موجب إذا النظام ليس مستقر

• إذا كان هناك صفرو واحد في العوامل الأول هذا يعني أن النظام غير مستقر ولاكمال الجدول لتطابق من الأصفار

هناك مرفقان : 1. اختيار المعادلة المميزة في $s + a$ حيث a عدد موجب

2. تقرب من الجدول الصفير وهو مرفق ومكمل إذا يكون بعد ذلك النظام غير مستقر وعدد الأقطاب roots التي تقع في الجانب الأيمن هي عدد تكمل الإشارة في معاملات راوت

* ملاحظه جزئية الخطأ:

الخطأ: هو الفرق بين الخارج المرغوب فيه (المردوب فيه) والخارج الخارج من النظام في الفترة الخاصة لها بؤول الزمن للصفر

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

حيث أن Steady State
transfer function

$$u(t) \quad K_p = \lim_{s \rightarrow 0} G_1 G_2 \quad e_{ss} = \frac{1}{1 + K_p}$$

$$t \quad K_v = \lim_{s \rightarrow 0} G_1 G_2 s \quad e_{ss} = \frac{1}{K_v}$$

$$t^2 \quad K_a = \lim_{s \rightarrow 0} G_1 G_2 s^2 \quad e_{ss} = \frac{1}{K_a}$$

* في مثالين في نهاية السنين: استنتاجاته فائقة closed loop

فائقة النظام مستقر

open loop



• إذا كان لدينا صف بأجسامه أصغر هذا يعني أن النظام Critical Stable

ونكمل إلى تفاضل المعادلة التي قبل الأصغرو منها مثل الأصغر
الشبيهة ستكون إن مفيش يكل في الإشارة ولكن لزم قطع الأقطاب
بل على الممر الخلق

• طهارات ك عن فئة معينة أصبح النظام غير مستقر وقل التذبذب.

نظم تحكم 2

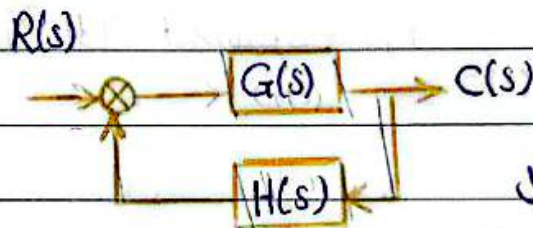
كما نعلم أنها ذات منظومات التحكم يفاصل بالدقة والأثران. وغالباً ما يصبح تحقيق هذه المتطلبات في آنٍ واحد باستخدام عناصر منظومات التحكم الأساسية على السبيل المثال للوصول على دقة عالية يجب أن يكون ذاتاً الحالة المستقرة صغيراً، ولتقليل ذاتاً الحالة المستقرة يجب زيادة كسب المصنم مما يؤدي إلى زيادة في تجاوز الهدف وتقليل الأثران المنظومة (دقة عالية - ذاتاً الحالة المستقرة صغيراً - زيادة الكسب)

توابل الخطأ :

$$r(t) = 1 \quad K_p$$

$$t \quad K_r$$

$$t^2 \quad K_a$$



هذا لا يقلل

من الأثران المنظومة

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

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

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

* مثال: منظومة تحكم أحادية التغذية الراجعة دالة انتقال لهاها المفتوحة

$$H(s) = \frac{K}{s(s+1)(s+2)}$$

صمم هذه المنظومة ليكون ثابت فضاء السرعة K_v التالي:

$$K_v = 10 \text{ sec}^{-1}$$

* يجب أن يكون خطأ الحالة المستقرة صغيراً
 ولكن لتقليل مكسب الحالة المستقرة
 يجب زيادة كل من الكسب والاستجابة
 لذلك يجب استخدام المعوضات
 للحفاظ على الدقة
 وازالة تزان في نفس
 الوقت

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

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

لما مندرش feedback $K = 20$
 معناها سالب

نيزس الاثران: open loop

$$1 + G(s)H(s)$$

$$1 + \frac{K}{s(s+1)(s+2)} = 0$$

$$s^3 + 3s^2 + 2s + K = 0$$

s^3	1	2
s^2	3	K
s^1	$\frac{6-K}{3}$	0
s^0	K	

حاول راوت

i. شرط الاثران $K > 0$

$$ii. \frac{6-K}{3} > 0$$

$$\frac{6-K}{3} > 0$$

$$K = 6$$

$$6 - K > 0$$

$$\therefore K < 6$$

$$\therefore 6 > K > 0$$

* نتحقق على الاثران وقيمة K نقيف المعوضان

* نلاحظ هنا أن الدقة و الاثران في هذه المنظومة لا يتحققان معاً بالشروط المطلوبة
 ولتحالفة ذلك يجب إضافة عناصر أخرى تعرف بالمعوضان

* المعوضان هي عبارة عن دوائر (عناصر) مصممة للمساعدة على
 لفة أهداف معينة للمنظومة وذلك عن طريق تقديم أقطاب واضطراب

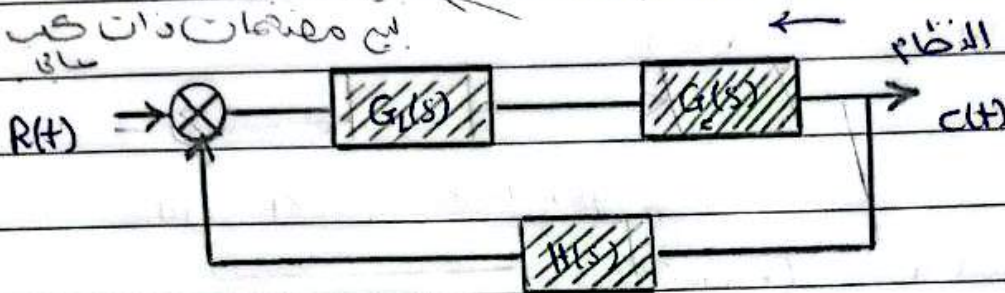
جيدة المصنوعة في أماكن مناسبة. المحووظات Compensators

* طرق التعويض:

1. تعويض التوالي

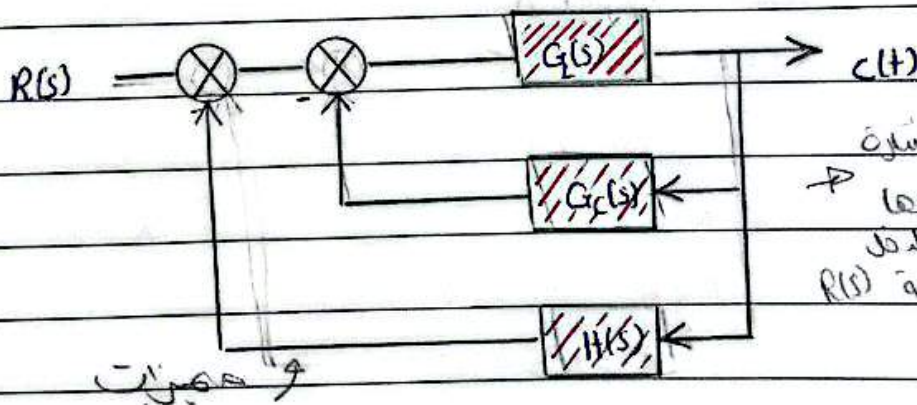
Series Cascade

Composition



$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G_c(s) G_L(s)}{1 + G_c(s) G_L(s) H(s)}$$

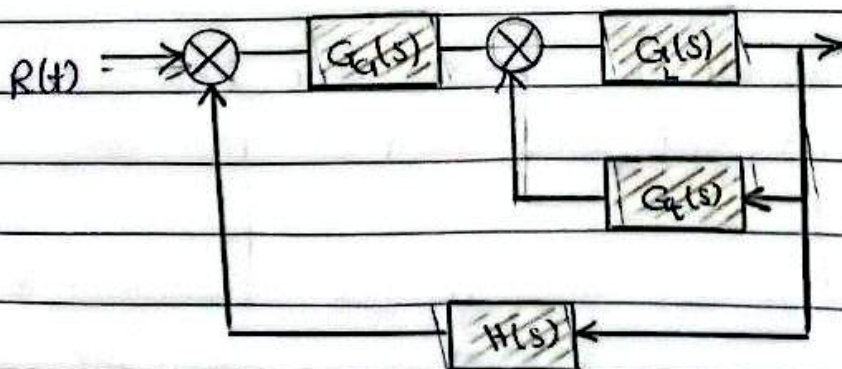
2. تعويض التغذية الراجعة: "Feedback Composition"



يتم عمل تغذية الراجعة المقاسة قبلها من إشارة الدخل المرجحة R(s)

تغذية الراجعة

3. تعويض الحمل:



local Compensation

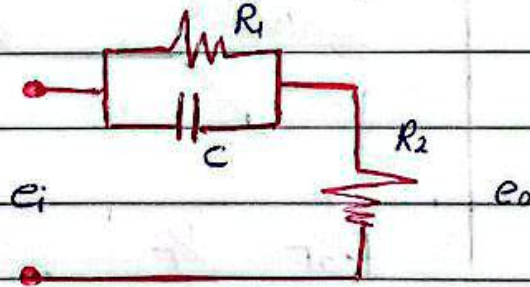
لنستعمل هذه الطريقة في بعض حالات التحكم لتعتمد تذبذب المدفوعة ويمكن
مناسبة للمتطوّران ذات الافراج الميكانيكي.
* بعض المحوّلان الأساسيّة :

المحوّلان يمكن أن يكون كهربائيّة أو ميكانيكيّة أو غير ذلك.
واكن معظم المحوّلان المستعملة كهربائيّة وذلك لسهولة تصميمها
وتربيتها

من أهم أنواع هذه المحوّلان وأبسطها :

1. محوّل السبق (التقدم) (Lead Compensator)
2. محوّل التأخير (التأخر) (Lag Compensator)
3. محوّل التأخر السابق (lag-lead Compensator)

* محوّل السبق : الشكل التالي يوضح الدائرة الكهربائية لمحوّل السبق



* دالة الانتقال : الكسب (أقل من واحد لأن موجب)

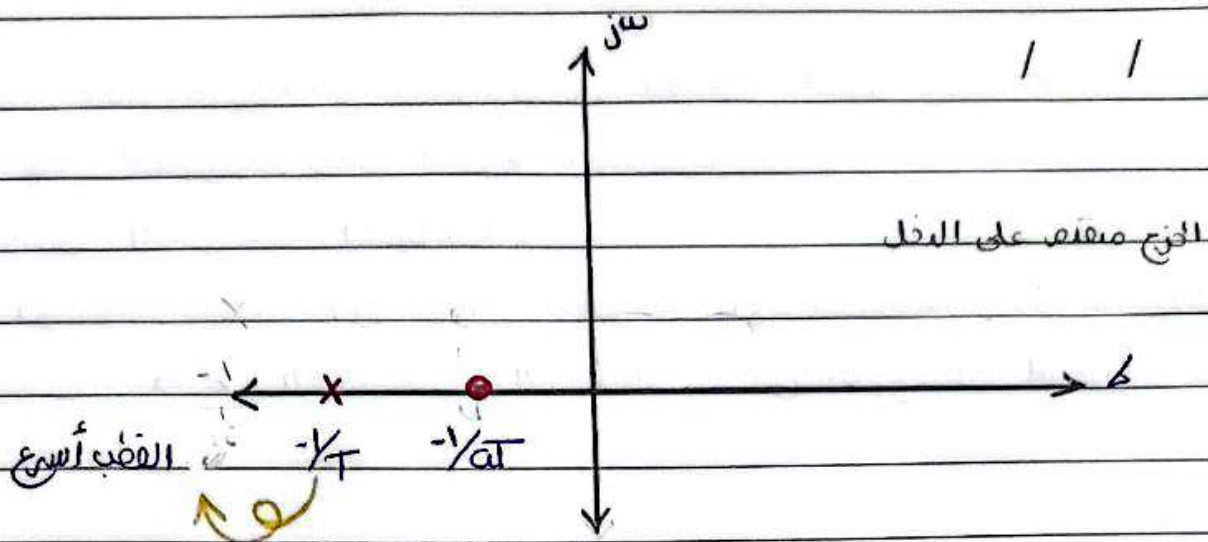
$$\frac{E_o(s)}{E_i(s)} = \left(\frac{1}{a} \right) \left(\frac{1 + aTs}{1 + Ts} \right)$$

$$a = \frac{R_1 + R_2}{R_2} > 1 \quad T = \frac{R_1 R_2 C}{R_1 + R_2}$$

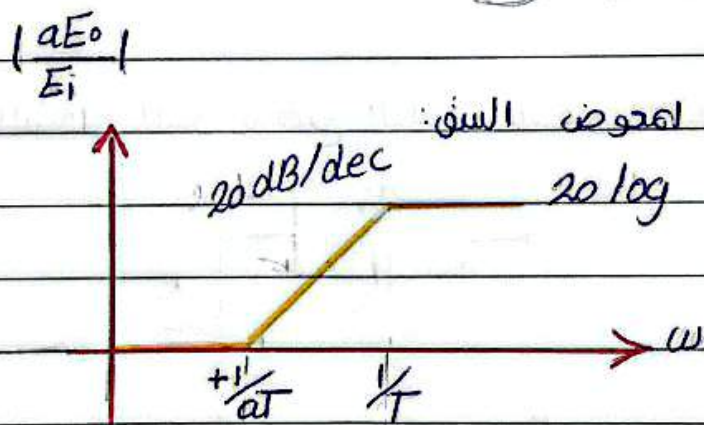
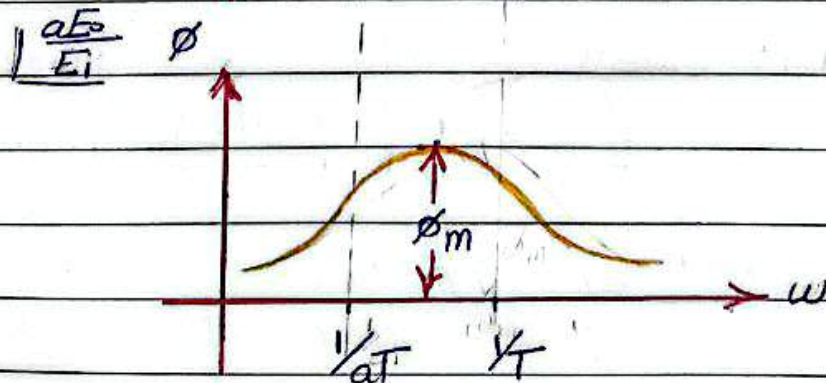
← شرط أساسيّ

* الأقطاب والأصفار :

$$P_c = -1/T \quad Z_c = -1/aT$$



ملاحظة: قطب وصفر المحوض في المستوى σ (الصفر) أقرب إلى المحور الخيالي مقارنةً بالقطب لذلك فهو المسيطر مما يرفع ارجاحة موجبة للطور. لذلك نسمي المحوض السفلي أنه يرفع سعة الخرج بالنسبة للدخل (إشارة الخرج متقدمة على إشارة الدخل).



$$\omega_m = \frac{1}{T\sqrt{a}} \quad , \quad a = \frac{1 + \sin \phi_m}{1 - \sin \phi_m}$$

خطوات تصميم محوض السقي باستخدام مخططات بود :

1. ارسم منحنيات بود للكسب والطور للنظام بدون المحوض مع وضع قيمة الكسب K طبقاً لمعطيات خطأ الحالة المستقرة . من رسوم بود حدد قيم احتياط الكسب G_m واحتياط الطور PM ثم ضع $\phi =$ زاوية احتياط الطور للنظام بدون محوض .

$\phi_s =$ زاوية احتياط المحدد .

$\epsilon =$ زاوية احتياط النهاية .

2. ثم استخدم المعادلة التالية لحساب :

$$\phi_m = \phi_s - \phi + \epsilon$$

ملحوظة : في حالة ϕ_m أكبر من 60 ($\phi_m > 60$) يستخدمان محوضان كل واحد منهما يساهم بسبق قدره $\phi_m/2$

3. استخدم العلاقة التالية لحساب قيمة a :

$$a = \frac{1 + \sin \phi_m}{1 - \sin \phi_m}$$

4 احسب قيمة ω_m والتي تقابل كسب على منحنى طور يساوي :

$$A_m = -10 \log a$$

ثم ارسم خط من هذه القيمة عمودي على محور التردد ونقطة

التقاطع تكون ω_m

5. صيغة T من العلاقة التالية

$$T = \frac{1}{\omega_m^2 a}$$

6. من قيمة a و T حدد دالة انتقال المحوض .

7. قم برسم منحنيات بود للنظام بوجود المحوض وتأكد بأن جميع

المواصفات المطلوبة قد تحقت . (لو متدعس نزيد)

في حالة عدم تحقق المواصفات بحاد التصميم باختيار قيمة معينة
 ϕ_m لا يتغير بها قيمة احتياطي العتبة

مثال: منقومة تحكم دالة انتقال علفتها (طائفها المقنونة)

$$HG(s) = \frac{K}{s(1+0.1s)(1+0.001s)}$$

صمم محوفاً لتحقيق المنقومة المواصفات التالية:

أ. ثابت دفا السرعة $K_v \geq 1000 \text{ sec}^{-1}$

ب. احتياطي الطور $PM > 45^\circ$

١. نوجد قيمة K

Solution go $K_v = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{K}{s(1+0.1s)(1+0.001s)} \Rightarrow K = 1000$

في ضبط حسب التردد لصفان تحقق $K_v = K = 1000$ * ضروري السند والمقد
 مواصفات الدقة في الصورة المطلوبة

٢. نرسم محط بود $HG(s) = \frac{1000}{s(1+0.1s)(1+0.001s)}$

Code plot قبل المحوض $\frac{1000}{s} * \frac{1}{1 + \frac{1}{10}s} + \frac{1}{1 + \frac{1}{1000}s}$ $20 \log 1000 = 60 \text{ dB}$

$\omega_1 = 10 \text{ rad/sec} \rightarrow$ نزل 20

$\omega_2 = 1000 \text{ rad/sec} \rightarrow$ نزل 20

$\omega_3 = 1 \text{ rad/sec} \rightarrow$ نزل 20

$$1000 + \left| \frac{1}{s} \right| + \left| \frac{1}{1 + \frac{1}{10}s} \right| + \left| \frac{1}{1 + \frac{1}{1000}s} \right|$$

$$0 + \tan^{-1}(\omega) - \tan^{-1}(0.1\omega) - \tan^{-1}(0.001\omega)$$

$$\phi = -90 - \tan^{-1}0.1\omega - \tan^{-1}(0.001\omega)$$

* ما هو هامش الظور وهامش الكسب؟

Phase Margin

هامش الظور

Gain Margin

هامش الكسب

* جبرنا كم يمكننا تأخير
الظور (إضافة تأخير من)
قبل أن يصبح النظام غير
مستقر

* جبرنا كم يمكننا زيادة
كسب النظام قبل أن يصبح
النظام غير مستقر

* هل هو ميزة أم عيب؟

يجب ميزة لأن:

1. تحديد جيد ونطاق متوقع
2. الاستقرار قوي

* هل هو ميزة أم عيب؟

يجب ميزة

1. الاستقرار القوي: النظام

ذو هامش كسب كبير يمكنه

حمل تغيرات غير متوقعة

دزي ما قولوا عندي اختيار

كسب أو داي اختيار (النمّة)

* عيوبه:

1. استجابة أبطأ

2. Bandwidth منخفضة

مثال عملي: مثلاً عندي محرك كهربائي

عندما يسخن قد تتغير خصائصه

وتزيد مقاومته مما يجعل الكسب

الفعال للنظام وادى او عنه هامش

كسب كبير سيظل النظام مستقر.

* عيوبه: هامش

زيادة الكسب تؤدي إلى:

* استجابة أبطأ للنظام

* خفض "Bandwidth"

(20 dB - 10 dB) هي قيم

معتدلة

$$\omega = 1 \rightarrow -95.7$$

$$\omega = 5 \rightarrow -116.85$$

$$\omega = 10 \rightarrow -135.57$$

$$\omega = 50 \rightarrow -171.55$$

$$\omega = 100 \rightarrow -179.9$$

$$\omega = 150 \rightarrow -184$$

$$\omega = 200 \rightarrow -188$$

$$\omega = 500 \rightarrow -205.41$$

توجد الجذور هي الترددات التي يكون عندها مقدار

الخطأ = 0 dB (أي النسبة = 1)

$$-20 \text{ dB} \rightarrow 5^\circ$$

$$-40 \text{ dB} \rightarrow 10^\circ - 15^\circ$$

$$\text{Phase margin} = 0^\circ$$

$$\phi = 0^\circ$$

$$\phi_s = 45^\circ \rightarrow \text{محيط (مخالف بين هاتين الجذور من } 0^\circ \text{ إلى } 45^\circ)$$

$$\epsilon = 5^\circ \rightarrow \text{زوايا إضافية إضافية}$$

$$5^\circ \rightarrow 15^\circ \text{ زوايا إضافية}$$

$$10^\circ \rightarrow 20^\circ \text{ زوايا إضافية}$$

$$a > 1$$

$$\omega_n \approx 170 \text{ rad/sec}$$

$$\phi_m = 50^\circ \quad \sqrt{C_{\text{محصلة}}}$$

$$a = \frac{1 + \sin \phi_m}{1 - \sin \phi_m} = 7.548$$

$$A_m = -10 \log 7.548 = -8.778 \text{ dB}$$

$$-8.78 \text{ dB}$$

$$\omega_m = 173 \text{ rad/sec}$$

$$\frac{18^\circ + 23^\circ}{207^\circ} =$$

$$\omega_m = \frac{1}{T\sqrt{a}}$$

$$T = 2.104 \text{ m}$$

$$T = 0.00214$$

$$G_c = \frac{1}{7.548} \left(\frac{1 + 0.016165}{1 + 0.002145} \right)$$

$$a = 7.55$$

$$G_c = 1$$

* لا بد من وجود توهين ناخ عند دائرة محوسن الترددات و للتحقق من قوة إحصائه من 1/7.55

من 7.55 و هذا يعني أن دائرة الترددات هي

نوجد دالة انتقال الخلية المقبوكة للنظام + المدخول

$$G(s) = G(s) \cdot G_c(s)$$

$$= 1000(1 + 0.01616s)$$

$$s(1 + 0.1s)(1 + 0.001s)(1 + 0.002104s)$$

$$\omega_1 = 10 \text{ rad/sec} \rightarrow -20 \text{ dB} \quad \text{غير منفرد} \quad \text{PM} = 0^\circ$$

$$\omega_2 = 1000 \text{ rad/sec} \rightarrow -20 \text{ dB} \quad \text{منفرد} \quad \text{PM} = 45^\circ$$

$$\omega_3 = 475.283 \text{ rad/sec} \rightarrow -20 \text{ dB}$$

$$\omega_4 = 52.95 \text{ rad/sec} \quad 2.13$$

PM راديت (النظام مستقر وقوي)

$$\omega_1 = 10 \quad (s + 0.1s^2)(1 + 0.001s)(1 + 0.002104s)$$

$$\omega_2 = 61.88 \quad (s + 0.001s^2 + 0.1s^2 + 0.0001s^3)$$

$$\omega_3 = 467.3 \quad (s + 0.101s^2 + 0.0001s^3)(1 + 0.002104s)$$

$$\omega_4 = 1000 \quad s + 0.002104s^2 + 0.101s^2 + 0.000213s^3 + 0.0001s^3 + 0.0000002104s^4$$

ملاحظة: للحصول على قيمة كبيرة لا تتجاوز الحدود الدنيا لقيمة α والتي يسع عنها

زيادة في عرض النطاق BW مما يؤثر على زيادة التردد في النظام وهو غير مرغوب فيه

في الدوائر الإلكترونية يجب أن يكون قيمة $\alpha \leq 15$ وأكبر من 1

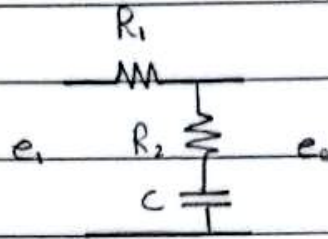
$$S = H(s')$$

$$K = 1000$$

$$G = K / (s^2(1 + 0.1s)(1 + 0.001s))$$

$$16.16s + 1000$$

مغوض / الخلف : الشكل التالي يوضح الدائرة الكهربائية لمغوض الخلف.



دالة الانتقال :

$$\frac{E_o(s)}{E_i(s)} = \frac{1 + aTs}{1 + Ts}$$

$$a = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

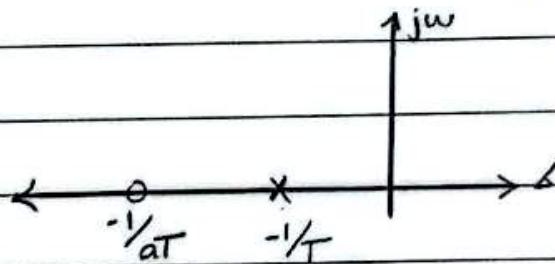
$$a < 1 \text{ دائماً}$$

$$T = (R_1 + R_2)C$$

أقطاب وأصفار المغوض :

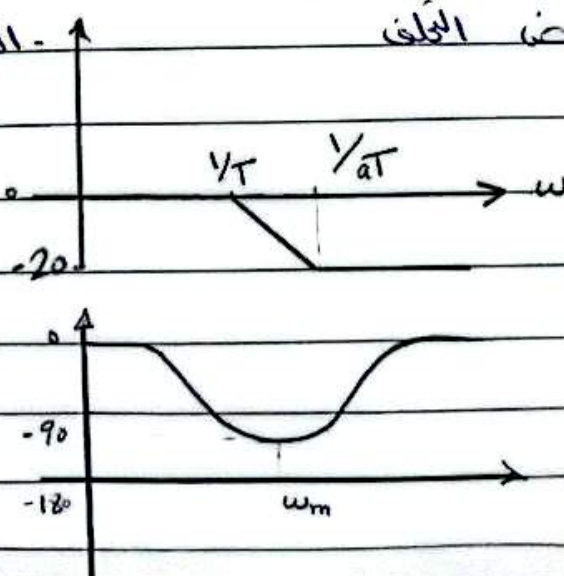
$$p_c = -1/T$$

$$z_c = -1/aT$$



يقوى مغوض الخلف على قسب بسيف (لا يوجد قسب) ويضع بسيف في المصفاة الأيسر لمستوى S بحيث يكون القسب أقرب إلى نقطة الأصل من المصفاة مما يؤدي إلى تأخر الخرج بالنسبة لدخل المنظومة.

مخططات بود لمغوض الخلف :



* خطوات تصميم معوض التلاف :-

1. ارسم منحنيات بود للكسب والطور لدالة انتقال الحلقة المقبولة للنظام (بدون معوض) مع وضع قيمة ثابت الكسب K ضيقاً لمتطلبات وفقاً الحالة المستقرة.

2. حدد قيمة احتياط الطور للنظام بدون المعوض

$$\phi = \phi_s + \epsilon$$

* حيث :- احتياط الطور المحدد ϕ_s

احتياط الحماية ϵ

3. حدد قيمة التردد المقابل لاحتياط الطور المطلوب ϕ من منحنى الطور هذا التردد هو التردد المفرق الجديد (ω_n)

التردد المفرق للكسب $M = 0.5$

التردد المفرق للطور $PM = -180^\circ$

4. من منحنى بود للكسب حدد قيمة الكسب المقابلة للتردد المفرق الجديد

5. معوض التلاف يجب أن يخلق توهين مساوي لقيمة الكسب عند ω_n

$$|G(\omega_n)| = -20 \log a$$

$$a = 10 \quad -1(G(\omega_n))/20 \quad \text{ومنها يمكن تحديد قيمة } a$$

6. احسب قيمة T من العلاقة التالية :

$$\frac{1}{aT} = \frac{\omega_n}{10} \Rightarrow T = \frac{10}{a\omega_n}$$

7. حدد دالة انتقال معوض التلاف من العلاقة

$$G_c(s) = \frac{1 + aTs}{1 + Ts}$$

8. ارسم منحنيات بود لدالة انتقال الحلقة المقبولة للنظام بوجود المعوض

وتحقق من أن جميع المواصفات المطلوبة قد أُخِذت

9. إذا لم يتحقق ذلك قم بتعديل قيم T و a لتحقيق قيمة ϵ .

مثال: احسب مخطط الطيف للمنظومة الآتية دالة انتقال
طيفها المفتوحة هي :

$$HG(s) = \frac{K}{s(1+0.1s)(1+0.2s)}$$

بحيث يكون ثابت خط السرعة: $S + 0.2s^2 + 0.1s^2 + 0.2s^3$
 $0.2s^3 + 0.3s^2 + s + 0$ $K_v = 30 \text{ sec}^{-1}$ $(S + 0.1s^2)(1 + 0.2s)$
 $S + 0.2s^2 + 0.1s^2 + 0.2s^3 = 0$
 ii. $PN \geq 35^\circ$

الكل: نوجد قيمة K:

$$K_v = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{K}{s(1+0.1s)(0.2s+1)}$$

$$K = K_v \quad |K = 30|$$

$$HG(s) = \frac{30}{s(1+0.1s)(1+0.2s)} \Rightarrow HG(j\omega) = \frac{30}{j\omega(1+j\omega 0.1)(1+j\omega 0.2)}$$

نوجد الترددات الركنية $\omega_{c1} = 5 \text{ rad/sec}$ $\omega_{c2} = 10 \text{ rad/sec}$

$$M = 20 \log 30 - 20 \log \omega - 20 \log \sqrt{1+0.1^2 \omega^2} - 20 \log \sqrt{1+0.2^2 \omega^2}$$

$$\phi = -90 - \tan^{-1} 0.1\omega - \tan^{-1} 0.2\omega$$

$$\omega = 1 \rightarrow -107.02$$

للاضافة $\omega_{c2} \neq \omega_{c1}$ على مستقر (غير متزن)

$$\omega_{c2} > \omega_{c1} \text{ شرط الاستقرار}$$

$$\phi = 35^\circ \text{ من المحطات}$$

$$E = 5 \text{ بفرض أن}$$

$$\phi = 35 + 5 = 40^\circ$$

من مدقق بود للفرد هذه القيمة موجودة عند $\omega_n \approx 3 \text{ rad/sec}$

من مدقق بود للكسب نرسم ذلك من ω_n إلى 3 عند الكسب 20dB
قيمة الكسب عند نقطة التقاطع هي 20dB

$$a = 0.1$$

$$T = \frac{10}{a\omega_n} = 33.33$$

دالة انتقال المحرض:

$$G_c(s) = \frac{1+aTs}{1+Ts} = \frac{1+3.333s}{1+33.33s}$$

دالة انتقال الحلقة المغلقة للنظام + المحرض هي كالتالي:

$$HG_c(s)G(s) = \frac{30(1+3.333s)}{s(1+0.1s)(1+0.2s)(1+33.33s)}$$

0.3 0.03

10
5
0.3
+20dB/dec

$$\phi = -90 - \tan^{-1} 0.1\omega - \tan^{-1} 0.2\omega - \tan^{-1} 33.33\omega + \tan^{-1} 3.33\omega$$

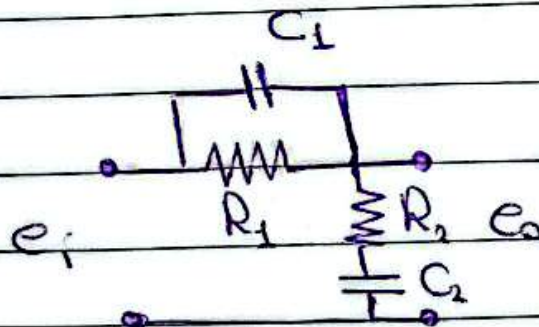
* ثوابت وقت

1. تقليل التشويش (عند الترددات العالية)
 2. M_B قل - السعة دجيتية (عيوب)
 3. زيادة احتياق الموت - تقليل الحالة المستقرة
- على: لماذا في معوض التلاف يزداد زمن الصعود؟
 لأن M_B قل - السعة دجيتية
- ليس M_B قل على
- ثوابت وقت تأثيره نقص M_B (أقرب للمصدر التالي)

* معوض التلاف السق

يستخدم هذا المعوض لتحسين أداء المنظومة الخارج والمسيطر إن
 يتخلف جزء التلاف للتحسين أن كان المنظومة أيضا يقوم جزء السق
 باستعادة عرض النطاق المفقود بسبب فعل جزء التلاف

* الشكل التالي يبين دائرة معوض تلاف السق :



دالة الانتقال :

$$\frac{E_o(s)}{E_i(s)} = \left[\frac{1 + aT_1s}{1 + T_1s} \right] \left[\frac{1 + bT_2s}{1 + T_2s} \right]$$

$$aT_1 = R_1C_1$$

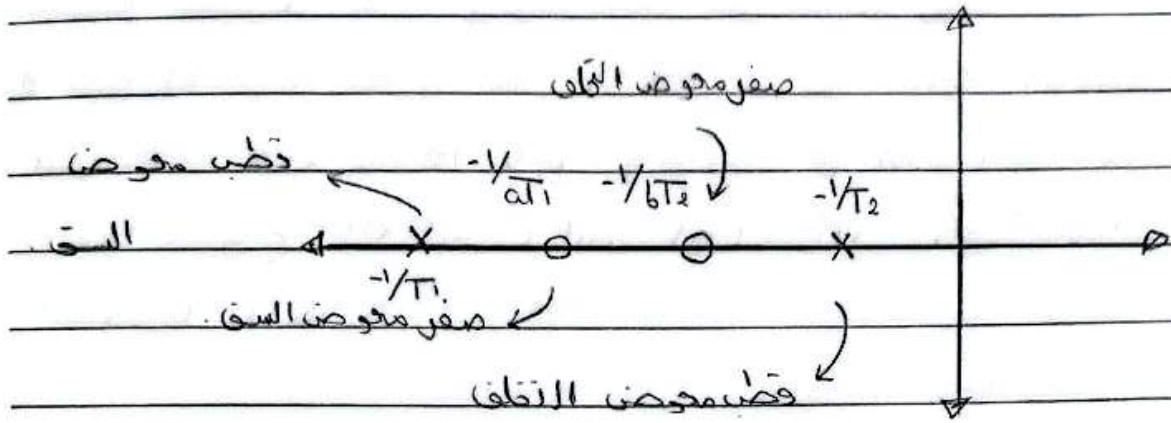
$$bT_2 = R_2C_2$$

$$ab = 1$$

$a > 1$ معوض السق

$b < 1$ معوض التلاف

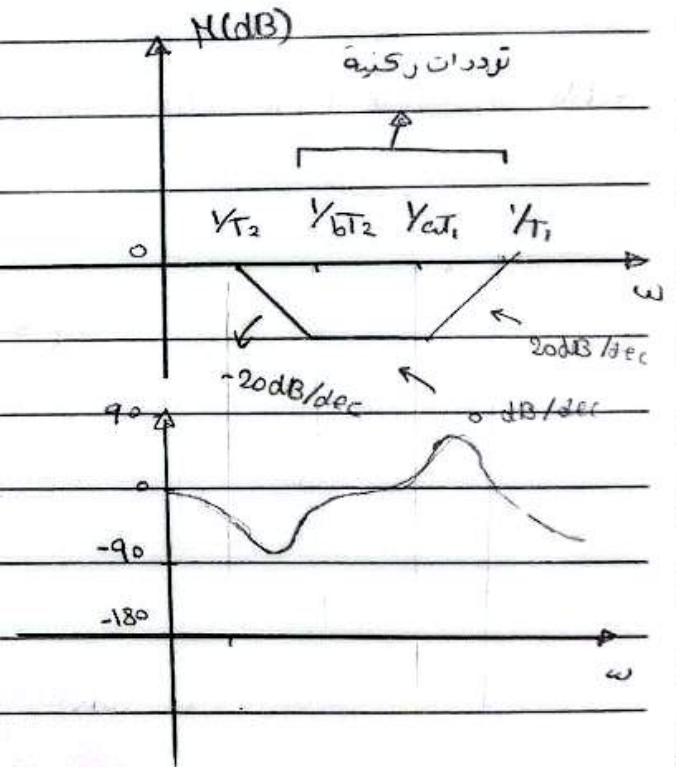
* توزيع الأقطاب والأصفار -



للتسهيل تصميم معوض التلاف

* مددات بود

السبق يتم تصميم جزء السبق أولاً ليعطاء أداء عابر أو استجابة عابرة مقبولة باختيار قيم a و T_1 و T_2 إذا كانت المواصفات المطلوبة قد تم تحقيقها بتصميم جزء السبق فقط فإن عملية التصميم منتهية وعندها ذلك يتم تصميم جزء التلاف باستخدام العلاقة $ab = 1$.



إذا لم يتم تحقيق المواصفات المطلوبة يتم إعادة تصميم معوض التلاف السبق عن طريق اختيار قيم جديدة

(أقل من الحالة المستقرة) a, b, T_1, T_2

* تصميم المعوضات باستخدام المثل الهندسي للأنوار

1 معوض السبق: عندما يكون مطلوب من تصميم الاستجابة العابرة المنخفضة فإنه في استخدام معوض السبق حيث يوضع أقطاب وأصفار هذا المعوض ليكون بدالة انتقال الطاقة المخزنة الكلية (الدخام + المعوض) إلى

1. زوج من الأقطاب الحفية في المستوى الأسفل المستوى

مجال قصيد 8 وتزداد ضيق عن محدد

2. بقية الأقطاب تكون بعيدة جدًا عن نقطة الأصل (المحور الخيل)

ليس مطلقًا يوجد عندها تأثير ولا يؤثر في هذه الحالة أن هذه الأقطاب

(عدا الزوج الحفية) ليس لها تأثير ذو أهمية على أداء

المنظومة العابرة.

مساوية + تحديد حرج

* خطوات التصميم:

1. نقوم برسم المحل الهندسي للجنود دائرة انتقال الحلقة المقبولة للنظام المدخل.

2. من معطيات المسألة العابرة حدد موقع الأقطاب المستخدمة للحافة الخلفية في السطوح العلاقة التالية:

مركبة - حربة الخيل
مركبة - حربة الخيل

نقطة الهدف
مركبة - حربة الخيل

$$S_d = -\eta \omega_n \pm j \omega_n \sqrt{1 - \eta^2}$$

$$0 < \eta < 1$$

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \eta^2}$$

تزداد ضيق عن محدد

يمكن يوضع

أقصى تجاوز للهدف ليس منه زيا

3. تحديد كل أقطاب وأصفار دائرة الانتقال الحلقة المقبولة للنظام بأحد

الأقطاب المستخدمة للمنظومة الحلقة المغلقة وقيم بقياس الزوايا وأوجه

مجموعها. قم بحساب (زاوية المحوض) والنتيجة أن تكون مجموع

الزوايا عند تلك النقطة $(2K+1)180^\circ$ ($K=0,1,2,3,4,5,\dots$)

$$\frac{s}{R} = \frac{G}{1+HG}$$

$$1+HG=0 \quad HG=-1$$

$$|HG|=1 \quad \angle HG = +180^\circ$$

4. دالة انتقال معوض السبق تكون على الصورة التالية:

$$G_c(s) = k_c \alpha \left(\frac{1 + Ts}{1 + \alpha Ts} \right)$$

للخام + المعوض

حيث يتم تحديد قيم α و T عن طريق الزاوية ϕ ، بناءً على قيمة k_c من مواصفات حسب الحلقة المغلقة ، لتحديد قيمة حسب الحلقة المغلقة من سرعة المقترن

5. تأكد من أن جميع مواصفات النظام قد انضمت إن لم تحقق زيادة التصميم

مثال 8 من خواص تصميم أنظمة التحكم الخطية الحسية دالة انتقال طبقاً للمعطيات هي :

$$HG(s) = \frac{4}{s(s+2)}$$

ميم معوض السبق بحيث يكون معامل تميز الأقطاب المسيطرة $\eta = 0.5$ وترددنا الخرج $\omega_n = 4 \text{ rad/s}$

$$m = 0 \rightarrow \text{عدد أقطاب}$$

الذات

$$n = 2 \quad // \quad \text{الأقطاب}$$

المفتوحة:

$$P_1 = 0 \quad P_2 = -2$$

3 أقطاب

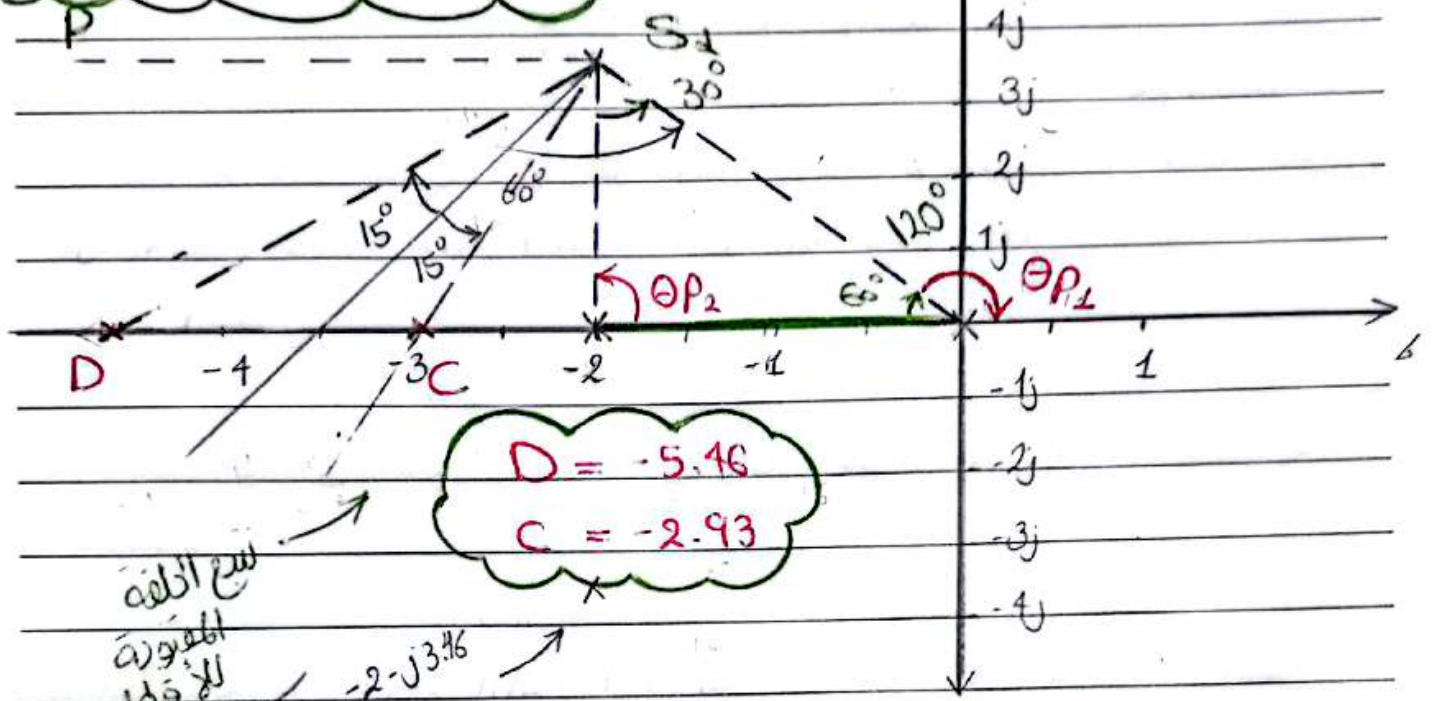
* مواقع الأقطاب المسيطرة للحلقة المغلقة

وصف

$$s_d = -\eta \omega_n \pm j \omega_n \sqrt{1 - \eta^2}$$

$$= -2 \pm j 3.46$$

خزيت اخذ 120° باي هي 60° وبجيس
رقيت 15 و 15 بيش فضل على زاوية 60°



* نخرج على الخطة المقصورة (او غير x من صغير قيم الاقطاب والاصفار الخطة المقصورة)

* باي وجهين الموجود على المحاور الحقيقي (اضطر انقطاب)

* استوف المعين او عدد فردي في مثل هذه السع

* نبدأ من الاقطاب وننتهي عند الاصفار (نقطع من الاقطاب (السهم يقطع من القطب دائما))

* $2 - 0 = 2$ عدد زوجي التقارب والمقارب

$$\sum a = \sum p - \sum z = -1$$

$$180(2(0) + 1)$$

قارن مجموع الموجود من القطب

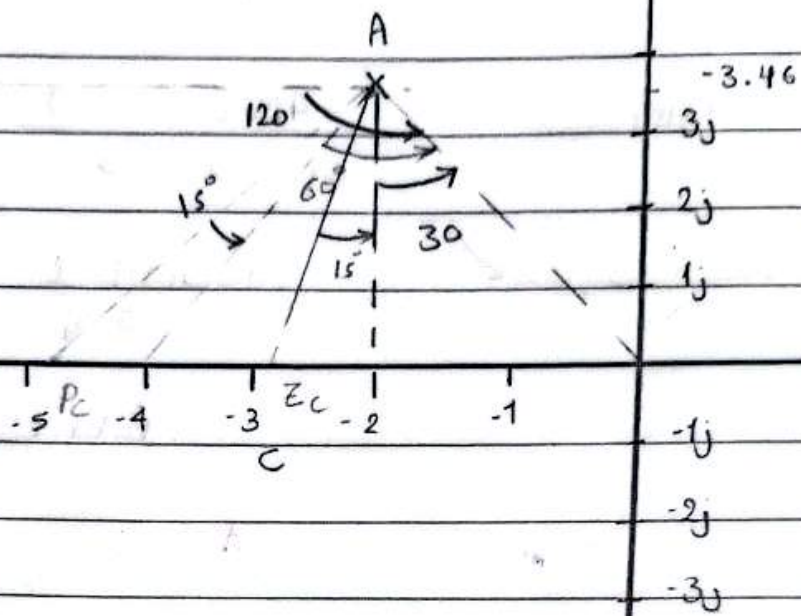
وصل القطب الصغير الاقطاب

$$\theta_{p_1} = 180 - \tan^{-1} \frac{3.46}{2} = 120^\circ$$

$$\theta_{p_2} = 90^\circ$$

$$\phi = -180 + \sum \theta_2 + \sum \theta$$

$$= -180 + 120 + 90 = 30$$



$$B_c = 3.46 \tan 15^\circ$$

$$\approx 0.93 \quad \therefore Z_c = -2 - 0.93 = -2.93$$

$$P_c = -2 - [\tan 45^\circ] \cdot 3.46 =$$

$$P_c = -5.46$$

$$G_c(s) = K_c \alpha \left[\frac{1 + Ts}{1 + \alpha Ts} \right] \Rightarrow K_c \left[\frac{1/T + s}{1/\alpha T + s} \right]$$

$$\frac{1}{T} = 2.93 = 0.34$$

$$\frac{1}{\alpha T} = 5.5 \quad \therefore \alpha = 0.83$$

$$G_c(s) = K_c \left[\frac{2.93 + s}{5.5 + s} \right]$$

* يجب دالة انتقال الحلقة المقنونة [للنظام + المعوض]

$$H G G_c(s) = \frac{4 K_c (s + 2.93)}{s(s+4)(s+5.5)}$$

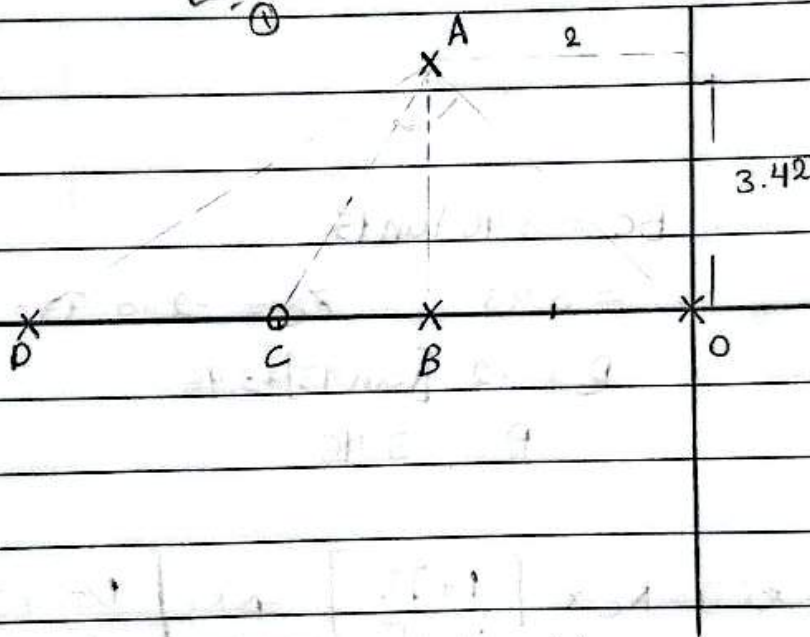
← مفروض المقدار
متجه = 1

$$|H G G_c(s)| = 1$$

$$s = s_d$$

← السداسي

* يجب أطوال المسافات بيانياً



أطول $|OA| = \sqrt{3.42^2 + 2^2} \approx 4$ قطب

قطب $|BA| = 3.46$

مفص $|CA| = 3.58$

قطب $|DA| = 4.92$

تصل ضرب أطول المتجهان الأضلاع $K_c =$

الانصهار * 4 → لأن $4 K_c$

$$K = 4.76$$

$$G_c(s) = 4.76 \left[\frac{s + 2.93}{s + 5.5} \right]$$

$$1 + \frac{4}{s(s+2)}$$

$$n-m = 2$$

← عند خطوط التقارب

$$\pm 180(2K+1)/2$$

$$-2/2 = -1$$

$$= \pm 90^\circ$$

لو عوض في $H G G_c(s)$
 $s = 2 + j3.46$

$$1 + \frac{4}{s(s+2)} = 0$$

* يوجد break in

$$s(s+2) + K = 0$$

$$K = -s(s+2) \rightarrow K = -(s^2 + 2s)$$

$$\frac{dK}{ds} = -(2s+2)$$

$$2s+2$$

$$s = -2/2$$

$$s = -1$$

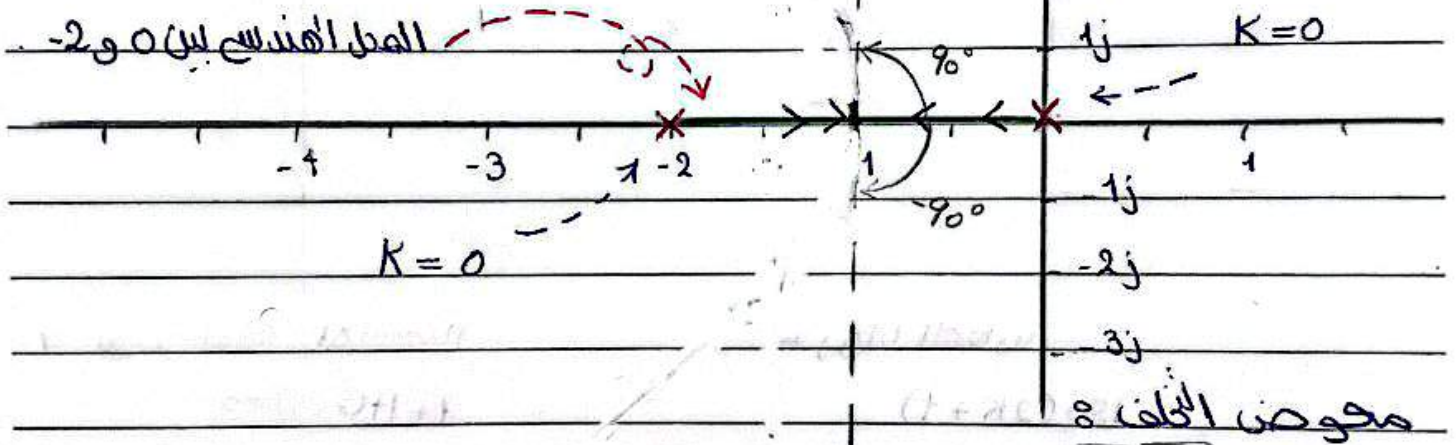
دالة انتقال المقوّمة [للنظام + الموحّد]

$$HG_c G(s) = \frac{19.02(s+2.93)}{s(s+4)(s+5.5)}$$

← عند γ صفر واحد
و 3 أقطاب

* الأسب عند الصفر يكون ∞
* الأسب عند القطب يكون 0

المش لاسيّون عند صفر مودود
عند ∞



لنشرح فحوائ هذا الموحّد بواسطة المثال التالي :
مثال : كسب موحّد للتحالف الذي دالة انتقال طاقته المقوّمة هي

$$HG(s) = \frac{K}{s(s+1)(s+4)}$$

اجبت تحقّق المواصفات التالية :

i. معامل التميّد $\zeta = 0.5$

ii. تردد حبيّ $\omega_n = 0.8 \text{ rad/sec}$

iii. ثابت K_v وفقاً السرعة 5 sec^{-1}

1. نبع الحلقة المقبوكة عند عدد الأصفار والأقطاب :-

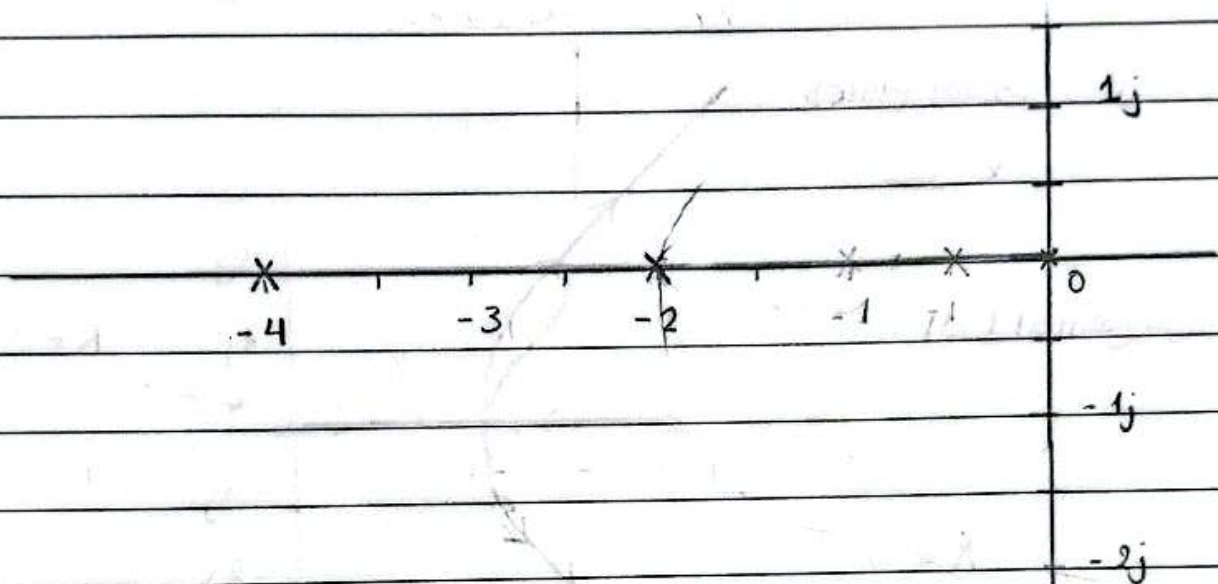
الأصفار $m=0$

$n=3$ $P_1=0$ $P_3=-4$

$P_2=-1$

2. حسب عدد المقاريات $\Phi = n-m=3$ مركز المقاريات

$$\frac{\sum m - \sum n}{3} = \frac{0 - 1 - 4 - 0}{3} = -\frac{5}{3}$$



3. حسب زوايا المقاريات

$$180(2K+1)$$

or

$$\theta_L = \frac{2L+1}{9} \times 180$$

$$\theta_L = \pm \frac{180(2K+1)}{3} = \pm 60$$

$$-180$$

4. يوجد نقطة التقاطع

$$1+HG(s)=0$$

$$1 + \frac{K}{s(s+1)(s+4)} = 0$$

$$K = -(s^3 + 5s^2 + 4s) = 0$$

$$3s^2 + 10s + 4 = 0$$

مرفوعة $S_1 = -2.88$

مقبولة $S_2 = -0.46$

5. يوجد نقطة تقاطع مع المحور التخيلي

$$4\omega - \omega^3 = 0$$

$$K + s^3 + 5s^2 + 4s = 0$$

$$K = 5\omega^2$$

$$\omega(4 - \omega^2) = 0$$

$$K + (j\omega)^3 + 5(j\omega)^2 + 4(j\omega) = 0$$

$$K = 20$$

$$\omega = 0$$

$$K - j\omega^3 - 5\omega^2 + 4j\omega = 0$$

$$\omega = \pm \sqrt{4}j$$

$$j(-\omega^3 + 4\omega) + (K - 5\omega^2) = 0$$

$$= \pm 2j$$

* أربع أقطاب عجزية متخاللة

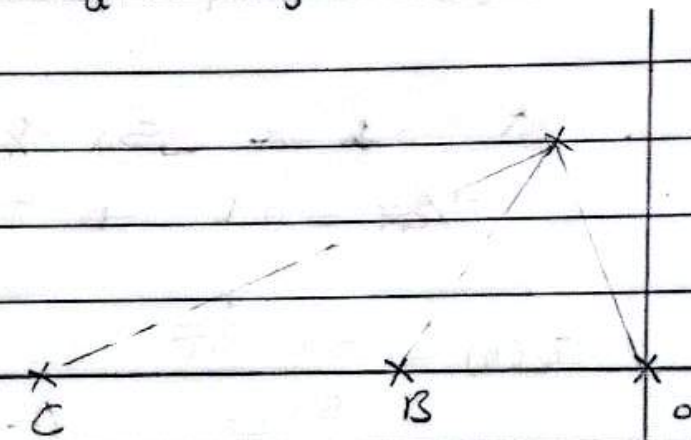
* زوج من الأقطاب العجزية تقع على المحور الخيالي

نجد المصمم

نسب الأقطاب المسطرة

$$S_d = \eta \omega_n \pm j \omega_n \sqrt{1 - \eta^2}$$

$$S_d = 0.4 + j 0.69$$



$$OA = 0.8$$

$$BA = 0.91$$

$$CA = 3.66$$

$$K = OA \times BA \times CA = 2.66$$

لذلك K لا يمكن أن يكون 2.66

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

* ثلاث ثوابت حلقية

$$S + \frac{1}{s^2}$$

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

$$K_v = \lim_{s \rightarrow 0}$$

$$\frac{2.66 (s + \frac{1}{s^2})}{s(s+1)(s+4)(s + \frac{1}{s})}$$

$$a = 133$$

إضافة /

بما أن مخوض إلى المنظومة لا يؤثر عادة على الشكل العام للمطل الهندسي للنز عند وضع قطب وصفر المخوض قريبين من نقطة الأصل قياسًا إلى أقطاب وأصفار المنظومة (نهملوا في التأثير متوهم)، كلما كانوا قريبين للصفر يان تأثيرهم.

لشكل عام 10% من المسافة بين نقطة الأصل والقطب الأول على المحور الحقيقي السالب تستخدم لتزيد موقع صفر المخوض.

صفر المخوض $-1/aT$ يكون عند -0.1 أي:

$$-1/aT = -0.1 \Rightarrow T = 76.9$$

دالة النقل المخوض:

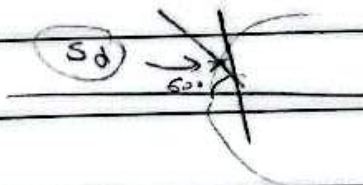
$$G_c(s) = \frac{s + \frac{1}{aT}}{s + \frac{1}{T}} = \frac{s + 0.1}{s + 0.013}$$

وعليه تكون دالة النقل + المخوض (الحلقة المغلقة).

$$HG G_c(s) = \frac{2.66(s + 0.1)}{s(s+1)(s+4)(s+0.013)}$$

* لو كان ع وفقًا بون من ζ

$$\theta = \cos^{-1} \zeta = 60$$



0.033

الفرق بين :

موضوع السبق :

- تحسين الاستجابة الكبارية .

- ديسن t_p و t_d والاستقرار النسبي (0.05) .

- من ناحية القطب / الصفر : الصفر أقرب للأصل من القطب .

- يزيد من B_w

حتى تستخدمه ؟ عندما يكون النظام زهياً أو غير مستقر

عندما نحتاج إلى تحويل الأقطاب المهيمنة إلى موقع جديد يصبح B_w المطلوبين .

موضوع التأخر :

- تحسين : Steady - state

- يقلل الخطأ e_{ss}

- تستخدمه فقط عندما يكون النظام مستقر بما فيه الكفاية ولكن نريد تقليل الخطأ المستقر

- قل B_w

مثال 1 : (Closed-Loop)

نقطب منظم للحلقة المغلقة $\alpha = 0.43$

* نضرب α في معوض التفاضل $C = -2.92$

$$G_c(s) = K_c \alpha \left(\frac{1+Ts}{1+\alpha Ts} \right)$$

$$G_c(s) = K_c \alpha \left(\frac{1/T + s}{\alpha/T + s} \right)$$

$$1/T = +2.92$$

$$T = 0.3424$$

$$1/\alpha T = 5.43$$

$$\alpha = 0.5378$$

$$G_c(s) = K_c \left(\frac{2.92 + s}{5.43 + s} \right)$$

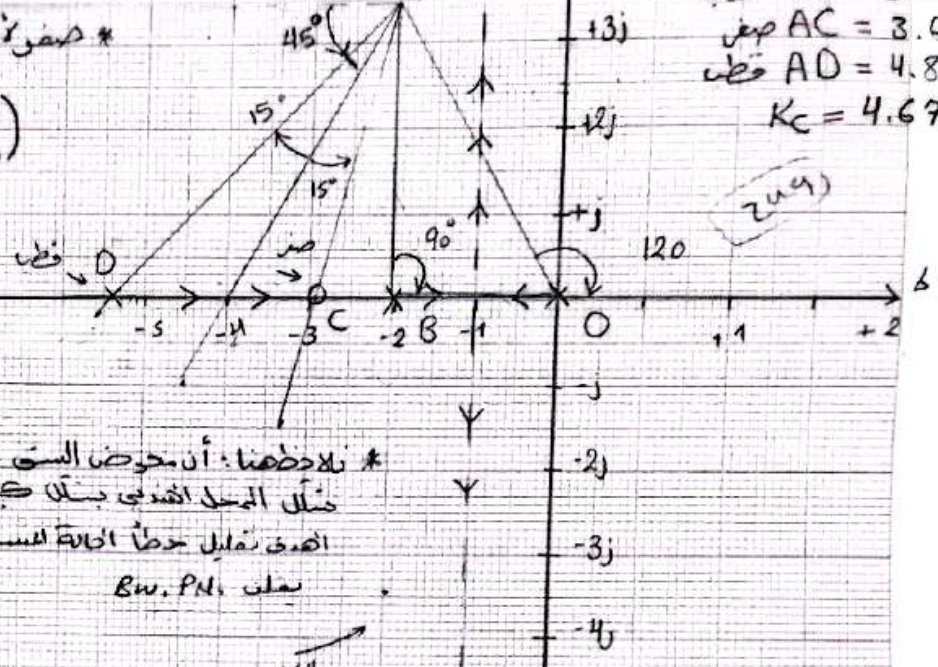
* نلاحظ هنا أن محور التفاضل لا يغير
مثال المحل التفاضلي بشكل كبير
الهدف تقليل خطأ الحالة المستقرة
يعطى Bw. P.N.

$$s_2 = -2 - 3.464j$$

$$s_2 = -2 + 3.464j$$

نلاحظ هنا أن المحل التفاضلي لا يغير بشكل كبير
الهدف تقليل خطأ الحالة المستقرة
يعطى Bw. P.N.

نقطب OA = 4
نقطب AB = 3.464
نقطب AC = 3.6
نقطب AD = 4.85
 $K_c = 4.67$



مثال 2 :

$$\phi_{P_1} = 121.5^\circ$$

$$\phi_{P_2} = 49^\circ$$

$$\phi_{P_2} = 10^\circ$$

$$K = 2.592$$

$$OA = 0.8$$

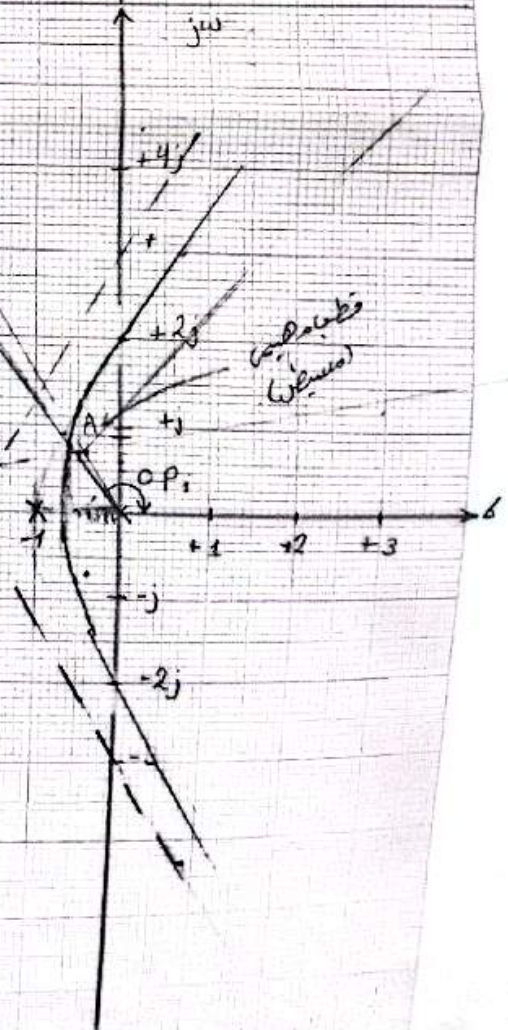
$$OB = 0.9$$

$$OC = 3.6$$

$$1/\alpha T = 10.1$$

$$1/T = 0.013$$

$$G(s) = \frac{2.592 (s + 0.1)}{s(s+1)(s+4)(s+0.013)}$$



مثال 1 :

1. نضع أقطاب الحلقة المغلقة (الأقطاب المسيطرة) S_d

$$HG(s) = \frac{4}{s(s+2)}$$

$$S_{d1,2} = -\eta\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\eta^2} =$$

$$\eta = 1/2 \quad \omega_n = 4 \text{ rad/sec}$$

$$S_{d1,2} = -2 \pm j3.464 \rightarrow \text{أقطاب مسيطرة}$$

2. نرسم الخط الصادي للأجنود بدون استخدام موضوع:

$$HG(s) = \frac{4}{s(s+2)}$$

$$\rightarrow \text{open loop} \quad 1 + \frac{4}{s(s+2)} \quad \text{محايرة مير}$$

$$\text{zeros} \rightarrow m=0$$

$$\text{poles} \rightarrow n=2, \quad S_1=0, \quad S_2=-2$$

• حسب الزاوية مع خطوط التقارب • النقطة الدينامية محفوظة • عدد خطوط التقارب

$$n-m \rightarrow |2|$$

$$\sigma = \frac{\sum p - \sum z}{n-m} = \frac{-2-0}{2} = -1$$

$$\pm 180(2K+1) = \pm 90^\circ$$

• توجد نقطة المخارطة والالتقاء

(محددين أضعاف)

$$1 + \frac{4}{s(s+2)}$$

* نقطة التقاء break in الأصفار

$$s^2 + 2s + K = 0$$

* نقطة المخارطة break away الأقطاب

$$K = -(s^2 + 2s)$$

* توجد المقاطع مع (سز):

$$\frac{dK}{ds} = -(2s+2)$$

$$K + s^2 + 2s = 0$$

$$2s+2=0$$

$$(j\omega)^2 + 2j\omega + K = 0$$

$$2(s+1)=0$$

$$-\omega^2 + 2j\omega + K = 0$$

$$s = -1$$

$$-\omega^2 + K = 0 \quad 2j\omega = 0 \rightarrow \omega = 0$$

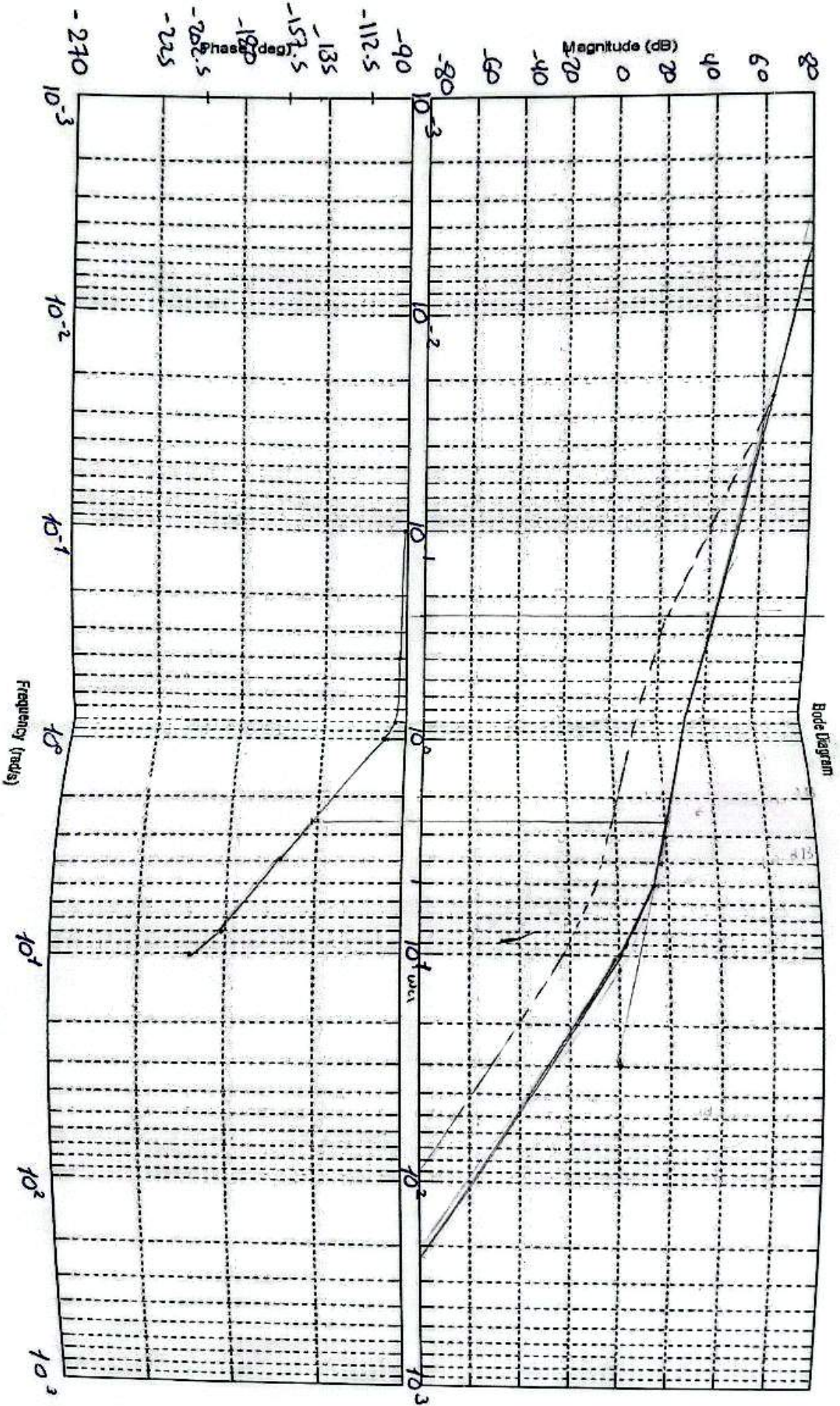
لا يوجد مقاطع مع سز

د. توصيل جميع أقطاب وأصفار المسطرة للحلقة المفتوحة ب. أحد الأقطاب المسيطرة للحلقة المغلقة

$$\beta = -180 + \sum \theta_p - \sum \theta_z \rightarrow -180 + 90 + 120 = 30^\circ$$

$$H_{G_s}G(s) = \frac{4Kc(2.92+s)}{s(s+2)(s+5.43)} = \frac{19(s+2.92)}{s(s+4)(s+5.43)}$$

مخطط التردد



Controllers

- وظيفتها - تحسين أداء النظام وحده يعمل بالخطية المطلوبة

- المتحكم : هو جهاز يقارن بين القيمة المرجعية المطلوبة والقيمة المقاسة

ثم تولد إشارة تحكم لتقليل الفرق بينهما (الخطأ)

- ما يقوله المتحكم ؟

- قياس الخطأ $\rightarrow$ $\text{Error}(E) = R(t) - Y(t)$ $\rightarrow$ زمن الارتفاع

- تحديد خصائص النظام - نظام مغلق (زمن Rise Time و زمن الاستقرار

Settling Time . Overshoot . $\rightarrow$ يلاحظ الخطأ في الحالة المستقرة

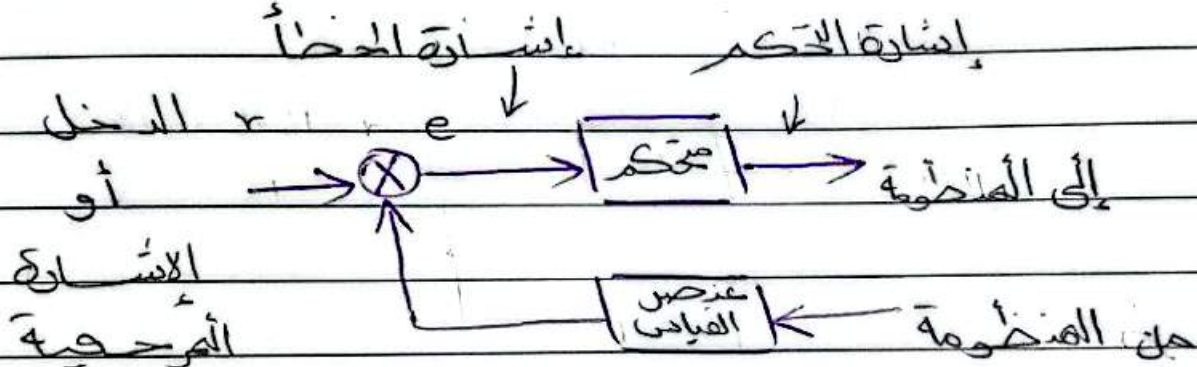
20-Oct-2025

المتحكمات

/ /

تقدم معظم المتحكمات في عالمها مقارنة قيمة الخرج مع قيمة إشارة المدخل (القيمة المطلوبة أو المرغوبة) لتوليد إشارة التحكم التي تستقل الخطأ في السجاية المنضومة إلى أقل قيمة ممكنة.

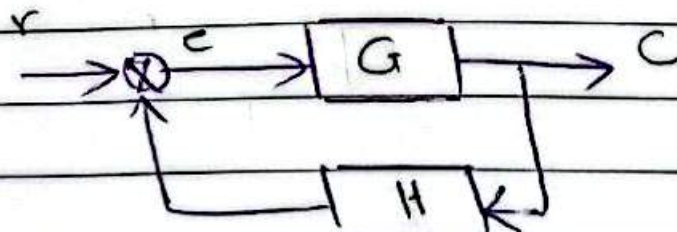
يسمى عملية توليد إشارة التحكم بعملية التحكم كما هو موضح في الشكل التالي



عنصر القياس هو عبارة عن جهاز يقيس السجاية المنضومة (الخرج) مثل السرعة أو الضغط أو إشارات كهربية وتحويلها إلى إشارة أخرى يمكن مقارنتها مع إشارة المدخل.

إشارة الخطأ (المدخل) في هذا الشكل يمكن كتابتها بالشكل التالي:

$$e = r - b$$



$$e = r - HC$$

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

عندما feedback تكون 1

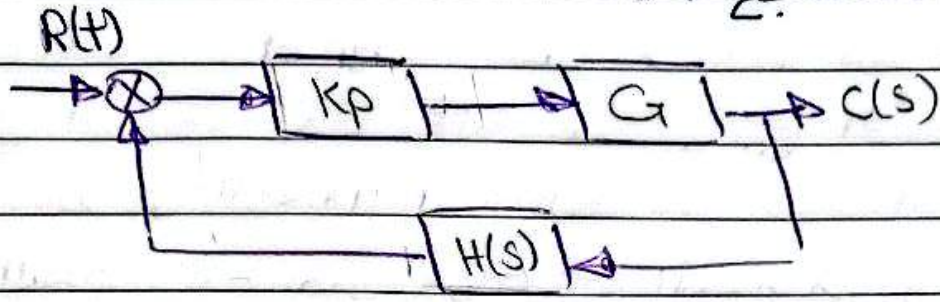
يوجد هناك عدة أنواع للتحكم () و عدة أنواع
للمتحكمات Typ of حيث يتم تحديد نوع التحكم أولاً
ثم يحدد نوع المتحكم يعتمد عليه نوع التحكم على الخبرة
السابقة للمصمم من الناحية الفنية الهندسية ليحصل اختيار
المتحكم البسيط الذي يحقق مواصفات التصميم وذلك بسبب
أنه كلما زادت درجة التقيد بالمتحكم زادت التكلفة وقلت الموثوقية
وأصبحت عليه التصميم أكثر صعوبة

يمكن إجراء عمليات تصميم المتحكمات في المجالين الزمني والزمني
حيث يعتمد التصميم في المجال الزمني على المدخل الهندسي للأنظمة ويكون
فقال للأنظمة من الدرجة الثانية أو الأنظمة التي يمكن تقريبها للدرجة 2
وذلك بسبب أن الدوائر المصنوعة للتصميم في هذا المجال تكون
محببة الألمان للأنظمة ذات الدرجات الأعلى من 2
في المقابل يعتمد التصميم في المجال الزمني على استخدام مخططات بود
أو نايكويست أو خرائط نيكولس وتكون فعالة في حالة الأنظمة ذات
الدرجات العليا

وسننتقل الآن هنا على تصميم المتحكمات في المجال الزمني، حيث
سننتج دراسة كل من 3:

1. المتحكم التناسبي (P-controller) ✓
2. المتحكم التناسبي المتكامل (PI-controller)
3. المتحكم التناسبي التفاضلي (PD-controller)
4. المتحكم التناسبي التفاضلي المتكامل (PID-controller)

1. التحكم التفاضلي P %



أنظمة

0. تستعمل (يستخدم في التثبيت) ، دالة نقل $H(s)$ من النوع
 لو دالة $H(s)$ دالة $1/P(s)$ لأن PM in (DC) ، يضاف الاستجابة (في مصطلحات الترجمة)
 يدور في بعض

باصفا P طول

ومن مزاياها

عيوبها: لو في حالة مستقرة ما في

1. سرعة الاستجابة

2. نسبة $Gain$ أو عبارة $Gain$

التصميم:

يعتمد التصميم على اختيار Kp التي تحقق مواصفات الاستجابة الدارة
 هذه المواصفات يمكن أن تكون معامل التردد أو ثابت الزمن أو أي
 معادلة أخرى

وتنصل خطوات التصميم ما يلي

1- الرسم المثل الهندسي للنبور لالة الطاقة المقنونة للظام المعطى

2 من قيمة زينا الموضحة الرسم حظ من نقطة الاصل يصنع

زاوية $\epsilon \rightarrow \eta$ $\phi = \cos^{-1} \epsilon$ مع المخرج الحقيقي

السالب

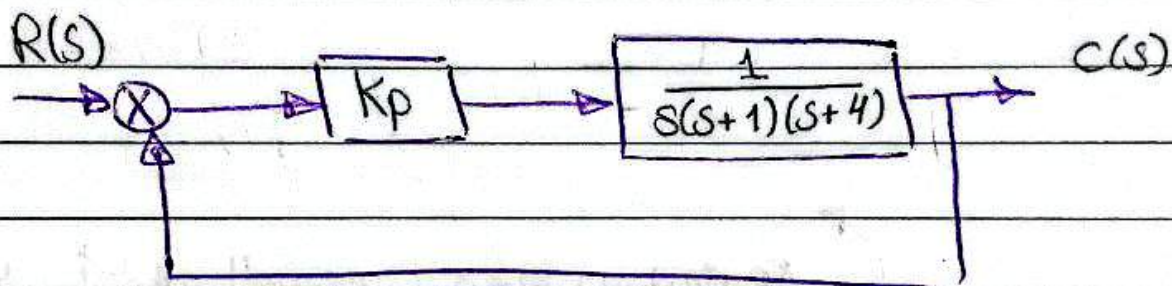
3. نقطة تقاطع الخط مع المثل الهندسي للنبور لاصل موقع القطب الاول

المطلوب للطاقة المعطاة S_d

4. حدد قيمة أطوال المندجات من قطب إلى باقي جميع الأقطاب وأصفار ومنها بعض الوصول على K_p من العلاقة التالية

$$K_p = \frac{\text{حاصل ضرب أطوال الأقطاب}}{\text{حاصل ضرب أصفال الأصفار}}$$

مثال: في النظام التالي حدد قيمة K_p للتحكم التناحلي والتي تأخذ عامل تخميد ζ دائرة الحلقة 0.6 قد حدد قيمة ثابت فضاء السرعة وفقاً الحالة المستقرة لمدد وحدة الصعود.



الحل: 1. نرسم المثل الهندسي للجذور لدالة الحلقة المغلقة.

$$HG(s) = \frac{K}{s(s+1)(s+4)} \quad \begin{matrix} m \rightarrow 0 \\ n \rightarrow 3 \end{matrix} \quad s_1=0, s_2=-1, s_3=-4$$

عدد فروع $n-m=3$

$$\frac{\sum p - \sum z}{n-m} = \frac{-1-4-0}{3} = -1.67 \quad \text{النقطة إلى اليسار}$$

النقطة إلى اليسار منها فروع التقارب

$$1 + \frac{K}{s(s+1)(s+4)} \rightarrow K = -s(s+1)(s+4) \rightarrow K = -(s^3 + 5s^2 + 4s)$$

$$\frac{dK}{ds} = -(3s^2 + 10s + 4)$$

$$s_1' = -0.465 \rightarrow \text{مقبولة}$$

$$s_2' = -2.86 \rightarrow \text{مرفوضة لأنها خارج المثل الهندسي للجذور}$$

$$K + (j\omega)^3 + 5(j\omega)^2 + 4j\omega = 0 \quad \pm 180(2k+1) = \pm 180, 180, 180$$

$$K - j\omega^3 - 5\omega^2 + 4j\omega = 0 \quad \rightarrow \text{روابط حفظ الطور}$$

$$j(-\omega^2 + 4\omega) + (K - 5\omega^2) = 0 \rightarrow 4\omega - \omega^3 = 0 \rightarrow \omega(4 - \omega^2) = 0$$

$$\omega = 0 \quad \rightarrow \text{نقطة التقاطع مع المحور السيني}$$

$$\delta = \cos^{-1} 0.6$$

$$\delta = 53.13^\circ$$

↑ نرسمها مع المحور الحقيقي السالب

$$s_{d1} = -0.46 + j0.7$$

التي هي مثل s_{d1}

$$OA = 0.7$$

$$K_p = 0.7 * 0.85 * 3.5$$

$$AB = 0.85$$

$$K_p = 2.08$$

$$AC = 3.5$$

3. نرسم أطوال المنحنيات ومنها نعرف قيمة K_p

$$K_v = \lim_{s \rightarrow 0} C_1 C_2 s \rightarrow \lim_{s \rightarrow 0} \frac{K_p}{s(s+1)(s+4)}$$

$$K_v = \frac{2.08}{(0+1)(0+4)} \rightarrow K_v = 0.52, \quad e_{ss} = \frac{1}{0.52} = 1.923$$

أو سنأخذ 'unit step' $\rightarrow r(t) = 10$ وليس سيأخذ مع s

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

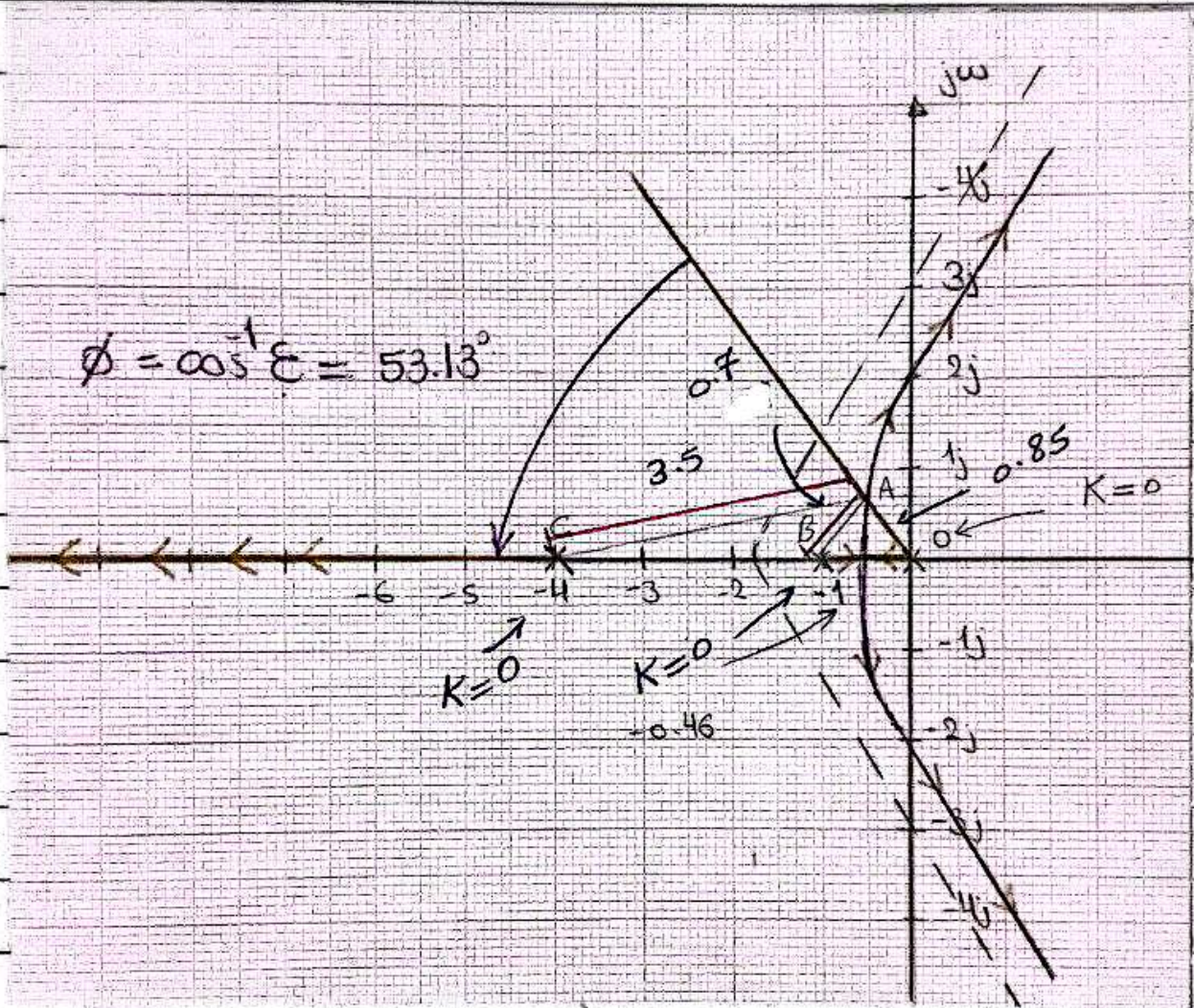
بمعنى $K_p = \infty$

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

هذا أعني! الدالة صمد صلبها 1 (إذا ضايف الميل 2 و 2 ضايف
 ضايف الدالة المسقرة)

$$e_{ss} = 3.846 \frac{2}{K_v} + \frac{1}{K_v} = 1.923$$

* لا حظ أن نصف ضايف هو 1 الدالة المسقرة



* الذي غرطنا عنه أنه أن المتحكم P لا يؤثر على شال المحل الهندسي
 للحل (أي لا تغير مواقع أقطاب وضمار (open loop)
 * زيادة K_p تجعل الحلو يتحرك بعيداً عن الأقطاب ويذهب
 ناحية الأضمار الموضوعة أو المحاذيات، مما قد يولد سرعة
 استجابة النظام ويقلل خطأ الحالة المستقرة
 Overshoot

* هل ينظر خيب مدى K_p التي تجعل النظام مستقر؟

نعم استخدم حدود راوت :

$$1 + \frac{K_p}{s(s+2)(s+4)}$$

لعل حذور لا حوص بقيمة K_p وخيبه

لوفال احسب ثابت الزمن المقامه s بفرقت s في Q ؟

عند 2 حد ثوابت الزمن للنظام السابق :

$$s_d = -\delta + j\omega_d \rightarrow 0.46 + j0.7$$

$$\omega_n = \sqrt{\delta^2 + \omega_d^2} \Rightarrow \omega_n = 0.837$$

$$\xi = 0.6$$

$$T_s = \frac{4}{\delta} = \frac{4}{0.46} = 8.7$$

$$T_p = \pi / \omega_d = 4.49$$

$$\tau_c = \frac{1}{0.46} = 2.174 \text{ sec}$$

$$\text{Integral Controller} : U(s) = \frac{K_i}{s} E(s)$$

($1/s$) : علية التامل في نطاق
ذلك س

ناشرون على المدخل الهندسي :

رصيد قطب عند نقطة الأصل $s=0$

القطب مسؤول عن حالة نظام
التي لا تستقر

لجعل النظام أيضا
وأكثر عرضة لعدم

الاستقرار
لأنه يسبب لاجه

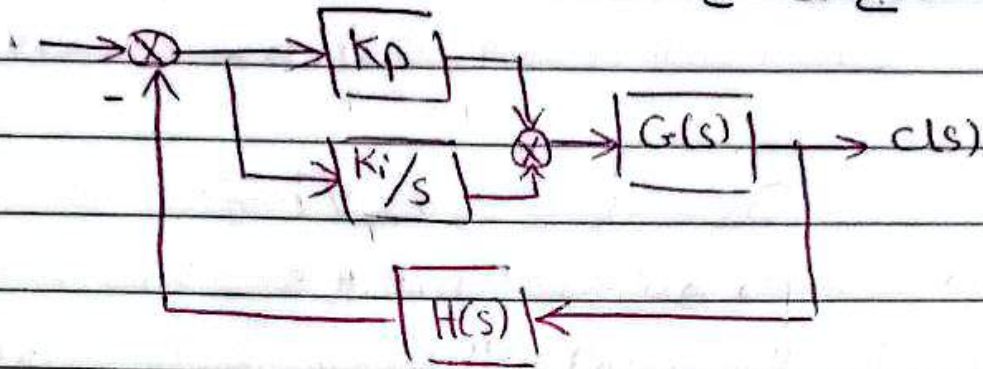
فروع المدخل الهندسي

في الجيمين

لصاحب PI +
وقتها

$R(s)$

المتحكم التناسبي التكاملي PI :



من خواصه تحكم تناسبي التكاملي PI

* دالة انتقال المتحكم :

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

$$= K_p \left(\frac{s + K_i/K_p}{s} \right)$$

$$G_c(s) = K_p \frac{(s - z_0)}{s} \rightarrow \textcircled{1}$$

نناسب من خواص الدالة
المسقرة $z_0 = -K_i/K_p$

- * نلاحظ من معادلة 1 أن متحكم PI مكافئ لإضافة قطب عند نقطة الأصل وصف عند $-K_i/K_p$ لدالة انتقال دالة الدالة المقوية
- هذا المتحكم يجعل على زيادة سرعة النظام بمقدار 1 وذلك يستعمل للنظام من قطب الحالة المسقرة أو تقليب. يتميز متحكم PI بما يلي :
- 1. تقليب دالة الحالة المسقرة أو الخاص منه.
- 2. تقليب عرض النطاق BW لأن القطب يقع قريب من سن - المسقرة أيضاً - أقل تشويش
- 3. تحسين التخميد (تقليل Overshoot).
- 4. T_r و T_s ليسا أن السطحة ارتباطاً.

خطوات التصميم:

1. ارسم المخطط الهندسي للجور لدالة طاقة نظام الطاقة المقنونة للنظام المعطى
2. من المعطيات حدد موقع الأقطاب المسيطرة للطاقة المخزنة

$$S_d = -\eta \omega_n + j \omega_n \sqrt{1 - \eta^2} \quad \begin{matrix} \zeta = \frac{\eta}{\omega_n} \\ \zeta = 0.8 \end{matrix} \quad -4 \pm 3j$$

3. أضف قطب متحكم عندما $S = 0$ إلى المخطط الهندسي لجور دالة انتقال الطاقة المقنونة
4. وصل كل أقطاب وأصفار منظومة الطاقة المقنونة وذلك قطب المتحكم إلى أحد أقطاب المسيطرة للطاقة المقنونة وقم بقياس أو حساب الزوايا
5. حدد موقع صفر المتحكم عن طريق حساب زاوية θ_{z0} بالحلقة التالية:

$$\theta_{z0} = \theta_{z1} + \dots + \theta_{zm} - (\theta_{p1} + \dots + \theta_{pn}) = +180^\circ$$

أ ← حيث من ثسوف المقادير

6. صدق قيمة أحوال المتجهات من القطب المسيطر للتحقق

$$1 + HC = 0$$

المطابقة إلى جميع الأقطاب والأصفار ومنها أوجد:

$$K_p = \frac{\text{حاصل ضرب أحوال الأقطاب}}{\text{حاصل ضرب أحوال الأصفار}}$$

الرسم في المخطط الهندسي

7. صدق قيمة K_i من الحلقة التالية:

$$K_i = -K_p z_0$$

للجور لنبية ككل

في الحلقة

8. حدد دالة انتقال متحكم PI في النظام الحلقة التالية

- موضوع الحلقة

$$G_c(s) = K_p + K_i/s$$

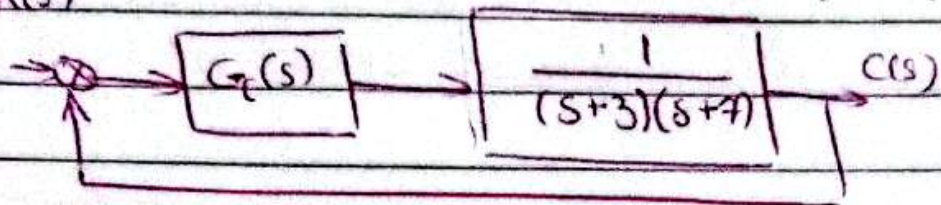
- التحكم التامسج

$$= \frac{K_p(s - z_0)}{s}$$

المنظومة التحكم المبنية في الشكل التالي صمم متحكم PI للتحقق
المواصفات التالية:

i. خطأ الحالة المستقرة لأقل وحدة القوة لسبوي صفر.

ii. زوج الأقطاب المسيطرة للحلقة المطابقة لديه ثابت زمن 0.25s ومعامل تمديد 0.8

$R(s)$ 

نريد أن نحصل على

 $HG(s)$ $(s+3)(s+7)$

نريد أن نحصل على

$$s_d = -4 \pm j3$$

$$\zeta = 0.25$$

$$\varepsilon = 0.8$$

$$\zeta = \frac{1}{\omega_n} \varepsilon \rightarrow \omega_n = 5 \text{ rad/sec}$$

بالقوة

$$\theta_{p_0} = 180 - \tan^{-1} \frac{3}{4}$$

$$= 143.13^\circ$$

$$\theta_{p_1} = 180 - \tan^{-1} \frac{3}{4} = 108.43^\circ$$

$$\theta_{p_2} = \tan^{-1} \frac{3}{2} = 45^\circ$$

$$143^\circ$$

$$\theta_{z_0}$$

نريد

$$109$$

$$\theta_{z_0} = -180 - 143 - 109 - 45 = -117$$

$$45$$

$$\angle 116.56^\circ$$

$$\tan(180 - \theta_{z_0}) = \frac{3}{x}$$

$$x = 1.5$$

$$K_p = 20$$

$$z_0 = -4 + 1.5 = -2.5$$

$$K_1 = -20 * -2.5 \quad \text{نريد} \quad AD = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5$$

$$K_1 = 50 \quad \text{نريد} \quad AB = \sqrt{1.5^2 + 3^2} = 3\sqrt{5}/2$$

$$\text{نريد} \quad AC = \sqrt{1^2 + 3^2} = \sqrt{10}$$

$$\text{نريد} \quad AD = \sqrt{3^2 + 3^2} = \sqrt{18}$$

دالة انتقال منظم PI^0

1 1

$$G_c(s) = \frac{K_p(s - z_0)}{s} = \frac{20(s + 2.5)}{s}$$

$$= 20 + 50\%$$

دالة انتقال الحلقة المفتوحة النظام + المتحكم

$$HGG_c(s) = \frac{20(s + 2.5)}{s(s + 3)(s + 7)}$$

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

أو شئ مناه

هيمؤشس النظام على صدى الخلل
من الحالة المستقرة

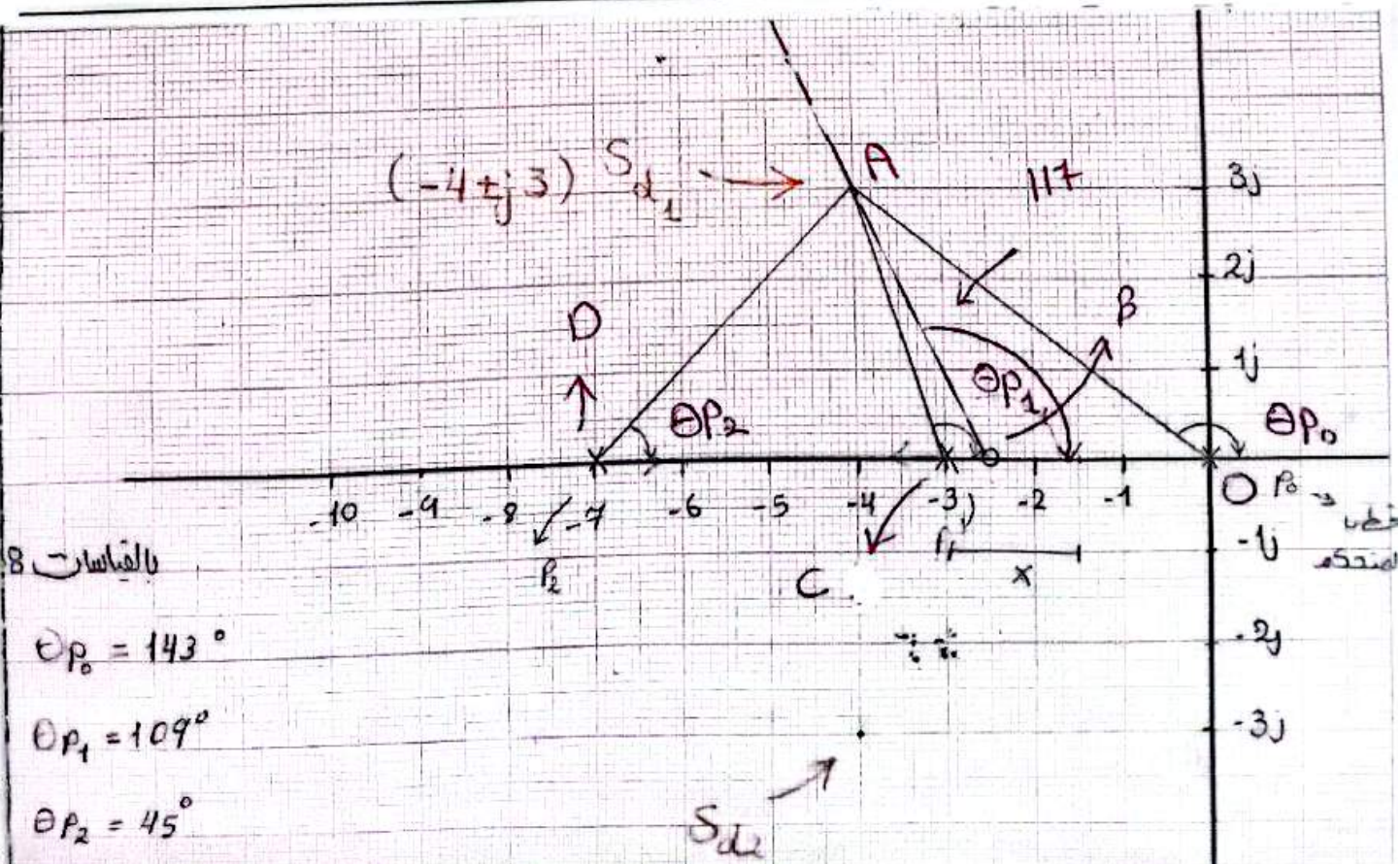
$$e_{ss} = \frac{1}{1 + K_p} - \frac{1}{1 + \infty} = 0$$

أو $K = x$ عنده قيمة كلما كانت

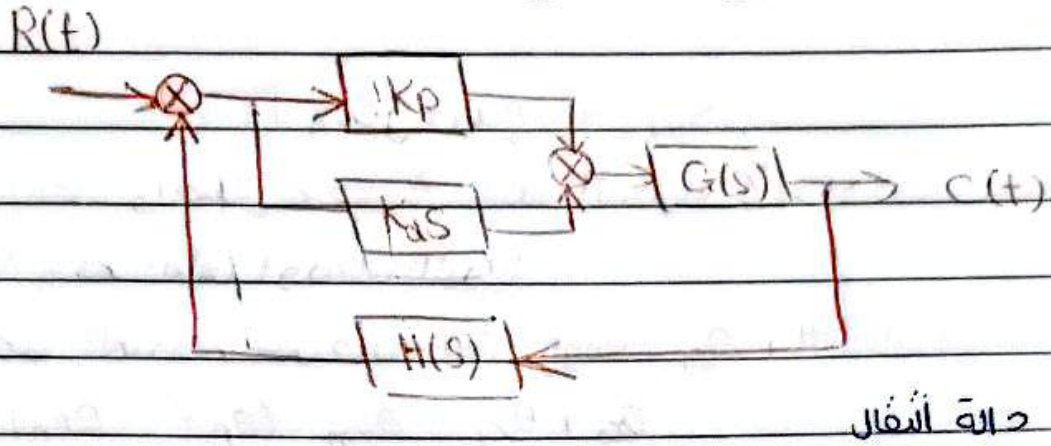
بقي مضاً "بارة" أو كبر كلما كان النظام أوضح

المستقرة (ن) ← يقل مضاً الحالة المستقرة

رسل



المتحكم التفاضلي PD



$$G_c(s) = K_p + K_d s$$

$$K_d \left(s + \frac{K_p}{K_d} \right)$$

①

$$G_c(s) = K_d (s - z_0) \rightarrow z_0 = -\frac{K_p}{K_d}$$

إضافة صفر في المتقدمة

كما نلاحظ من المعادلة أن المتحكم PD مكافئ لـ إضافة صفر عند $s = -\frac{K_p}{K_d}$

لدالة التفاضل المضافة للنظام

ليُبين هذا المتحكم فيما يلي:

1. تحسين الاستجابة العابرة حيث يقلل زمن الصعود والتأخير والتذبذب ويقلل أقصى تجاوز للهدف.

2. زيادة عرض النطاق BW - زيادة أسرع.

3. هذا المتحكم يعمل على تقليل خطأ الحالة المستقرة للنظام إذا كان هذا

الخطأ يتغير مع الزمن (مثل ثابت). أما إذا كان خطأ الحالة المستقرة ثابت

مع الزمن فإن الجزء التفاضلي ليس له أي تأثير. - تقاضد التفاضل

1. ارسم المخطط الهندسي للأحد لدالة انتقال الحلقة المقفولة.

2. من مواضع التصميم حدد موقع الأقطاب المسيطرة لل الحلقة المغلقة

$$s_{d1,2} = -\eta \omega_n \pm j \omega_n \sqrt{1 - \xi^2}$$

3. وصل كل أقطاب وأصغار منضومة الحلقة المفتوحة لأحد الأقطاب المسيطرة للحلقة المغلقة وقم بقياس أو حساب الزوايا

4. حدد موقع المتحكم عن طريق حساب زاوية θ_{x0} ب العلاقة الآتية :

$$\theta_{x0} + \theta_{z1} \dots \theta_{zm} - (\theta_{p1} + \dots \theta_{pn}) = -180^\circ$$

5. حدد قيمة أطوال المتجهات من الأقطاب المسيطر للحلقة المغلقة إلى جميع الأقطاب والأصغار ومنها حدد قيمة K_p

$$K_d = \frac{\text{طول متجه من الأقطاب المسيطر إلى الأقطاب}}{\text{طول متجه من الأقطاب المسيطر إلى الأصغار}}$$

أوجد قيمة K_p من العلاقة الآتية

$$K_p = -K_d z_0$$

6. حدد دائرة انتقال المحوض ب العلاقة الآتية :

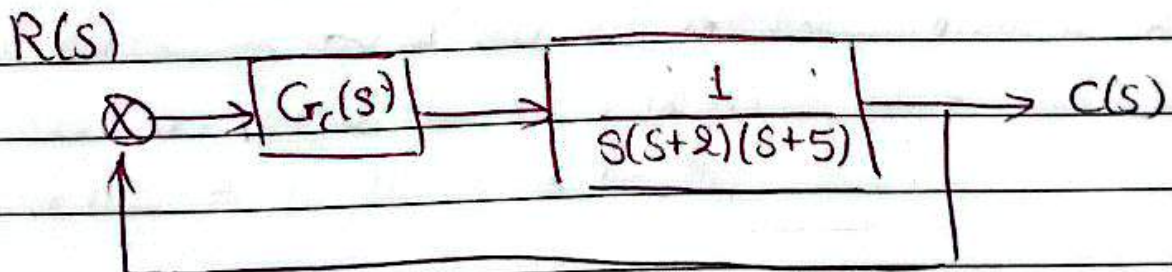
$$G_c(s) = K_p + K_d s$$

$$\frac{(s^2 + 2s)(s+5)}{s^3 + 5s^2 + 2s^2 + 10s} = K_d(s - z_0)$$

$$s^3 + 5s^2 + 2s^2 + 10s$$

$$s^3 + 7s^2 + 10s$$

المنضومة التحكم المبنية بالشكل التالي



أوجد : أ. إذا كانت $G(s)$ عبارة عن متحكم P ، حدد قيمة K_p التي ترفع معامل تمديد الأقطاب المسيطرة للحلقة المغلقة $\xi = 0.707$ ب. حدد مواقع هذه الأقطاب و كذلك قيمة ثابت الزمن لها

2. إذا كانت $G_c(s)$ منظم PP، صمم هذا المتحكم ليحل المشكلة

أ. محامل تجميع الأقطاب الميسرة $\xi = 0.707$

ب. تردد جميع الأقطاب $\omega_n = 2.828 \text{ rad/sec}$

1. ارسم المثل المتناسق للجنور

Open loop

$$\frac{K_P}{S(S+2)(S+5)} \rightarrow \begin{matrix} S=0 \\ S=-2 \\ S=-5 \end{matrix}$$

$$m=0 \quad n-m=3 \rightarrow \begin{matrix} \text{عدد خطوط} \\ \text{التقارب} \end{matrix}$$

$$\frac{180(2k-1)}{n-m} = +60$$

$$\frac{180(2k-1)}{3} = +60 \rightarrow \frac{-2-5}{3} = -2.333$$

$$1 + \frac{K_P}{S(S+2)(S+5)}$$

$$K + (s^2 + 2s)(s+5) = 0$$

$$K = -(s^3 + 5s^2 + 2s^2 + 10s) = 0$$

$$K = -(s^3 + 7s^2 + 10s) = 0$$

$$\frac{dK}{ds} = -(3s^2 + 14s + 10) = 0$$

$$S = -0.88$$

$$S = -3.79$$

مروضة زفانج المثل المتناسق للجنور

$$S^3 \quad 1 \quad 10 \quad S^3 + 7s^2 + 10s + K = 0$$

$$S^2 \quad 7 \quad K \quad (j\omega)^3 + 7(j\omega)^2 + 10j\omega + K = 0 \quad \phi = \cos^{-1} 0.707$$

$$S^1 \quad 40-K \quad 0 \quad -j\omega^3 - 7\omega^2 + 10j\omega + K = 0 \quad \phi = 45^\circ$$

$$S^0 \quad K \quad j(10\omega - \omega^3) = 0 \quad K =$$

$$40-K=0 \quad j\omega(10-\omega^2)=0 \quad K-7\omega^2=0 \rightarrow K-7(\sqrt{10})^2=0$$

$$K=70$$

$$\omega = \pm 3.1622$$

$$K=70$$

$$0 < K < 70$$

$$\phi = 45^\circ$$

$$\alpha = 1.15$$

$$S_d = -0.8 + j0.8$$

$$OB = 1.4$$

موقع القطب الأول للبقعة

$$OC = 4.25$$

المطلة 4

$$K_p = 7.1$$

$$1$$

من الرسم وليس

بالحسابات

$$K_v = \lim_{s \rightarrow 0} s * \frac{6.84}{s(s+2)(s+5)}$$

$$K_v = 0.684$$

$$e_{ss}^1 = 1.462$$

$$\tau = \frac{1}{\epsilon \omega_n}$$

$$\eta \epsilon = 0.707$$

لنوع η في المعادلة
قيمة الزيد مع η

$$0.8 = -\eta \omega_n$$

$$\omega_n = 1.132 \text{ rad/sec}$$

$$\tau = \frac{1}{\epsilon \omega_n} = 1.25 \text{ sec}$$

$$K_p = 7.1$$

$$S_{d1,2} = -0.8 \pm j0.8j$$

$$\tau = 1.25 \text{ sec}$$

$$\epsilon = 0.707$$

$$\omega_n = 2.828 \text{ rad/sec}$$

$$S_{d1,2} = -\epsilon \omega_n \pm j \omega_n \sqrt{1 - \epsilon^2}$$

$$\theta_{p1} = 136^\circ$$

$$S_{d1,2} = -2 \pm j2$$

$$\theta_{p2} = 90^\circ$$

$$\theta_{p3} = 46^\circ$$

$$\theta_{z0} + \theta_{z1} + \dots + \theta_{zn} - (\theta_{p1} + \theta_{p2} + \dots) = -180^\circ$$

$$\theta_{z0} = -180 + 45 + 90 + 146 = 101$$

$$z_0 = -2.4$$

$$\theta_{z0} = -180 + 136 + 90 + 33 = 79$$

$$K_d = \frac{2.8 \times 2 \times 3.6}{2.4} = 9.6 \quad | \quad |$$

$$K_p = -K_d \times 20 \Rightarrow 20.1515$$

* قيم أقطاب المنحنيات

صفر 2.1

$$\therefore K_d = 9.6$$

قطب 2.8

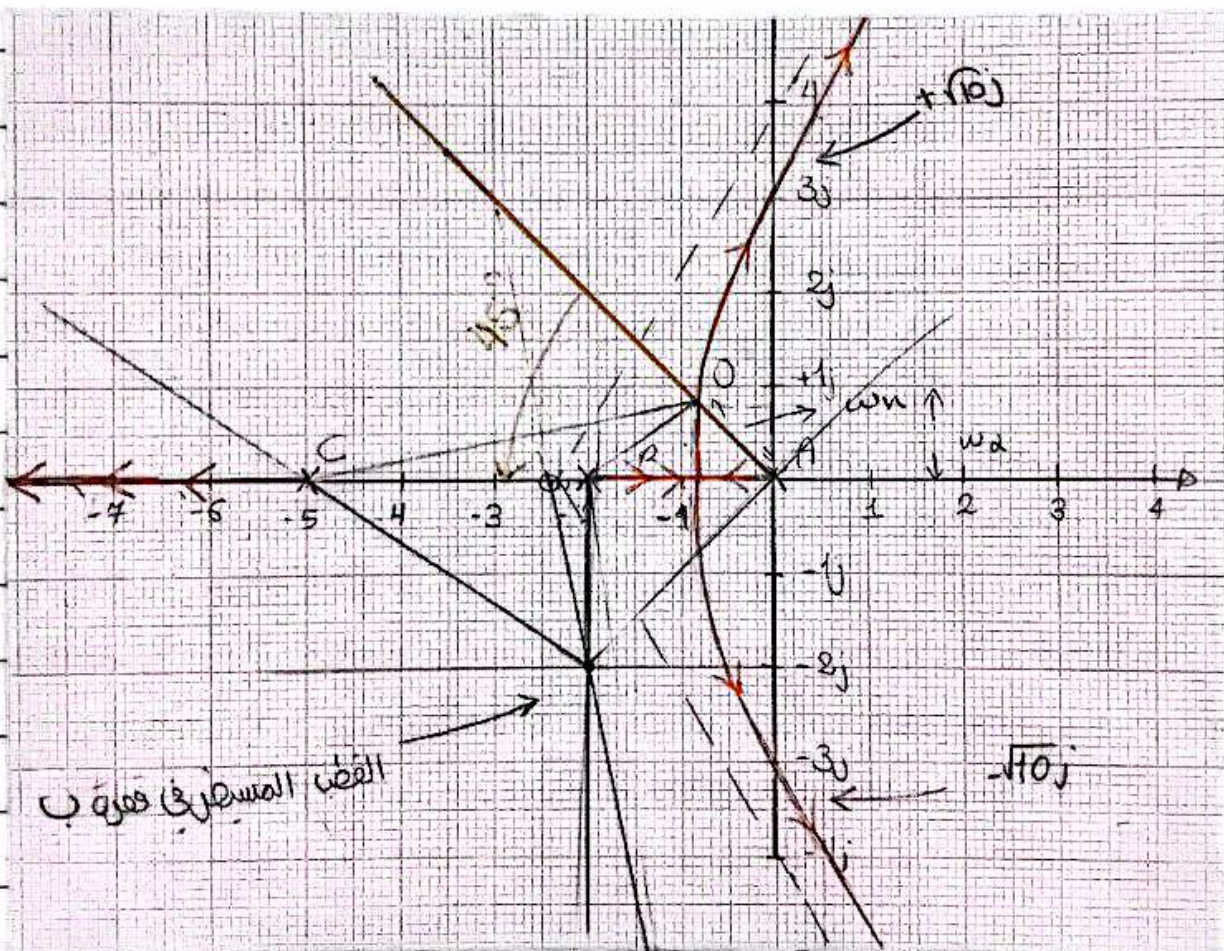
$$K_p = 23.04 \quad K_v = 0.9$$

قطب 2

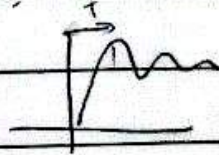
$$K_v = \lim_{s \rightarrow 0} s \times \frac{9.6}{s(s+2)(s+5)}$$

$$e_{ss} = 1.111$$

قطب 3.6



ناقصة زخم



$$\omega_1 = 0.8 \quad \omega_2 = 2$$

$$\omega_1 = 0.8 \quad \omega_2 = 2$$

تحكم P/D يقوم بإضافة وضبط عند نقطة الحد حسب الحد الكامل

يقلل من خطأ الحالة المستقرة إلى الصفر

إضافة صفرين حسب الحسب والتفاضل $1/s + 1/s^2$

(جزيء للمعادلة التربيعية في السط) عن طريق الحد الثاني للبار حاسبك

تسريع سرعة الاستجابة وتقلل التجاوز

PD

PI

P

* يلم خطأ الحالة المستقرة

* يلم

يضيف وضبط

* يلم خطأ الحالة المستقرة

عند الحد

* ساعد على الحد في كل

بزيادة وضبط للمستقرة

* سرعة الاستجابة

كل نوع متحكم يعتمد على متعلبات

جاء من الصفر

والخصائص الأساسية

للمجموعة open loop

كل متحكم يحتاج صلا

PID في كل

في معادلات

PI or PID العصاد على خطأ الحالة

$K_p / K_i / K_d$

تسريع

كلية معادلة للمعادلة

تسريع سرعة الاستجابة

P / PD / PID

التي تسمى

فوزية الخطأ

دس $\times$ خطأ

خطوة بعد

تسريع الحد

PD or P.I.D

كل

PID

طريقة المتحكمات ؟ مقارنة القيمة الفعلية المقاسة (مثل حرارة أو سرعة أو ضغط) مع القيمة المطلوبة ومن ثم حساب ونسب الأثر التصحيحي اللازم لجعل القيمة الفعلية تتطابق مع القيمة المطلوبة

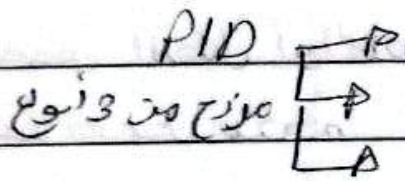
فكرة العمل :

استقبال إشارة الخطأ

معالجتها من خلال دوائر معالجة PID

لإصدار الأشارة بعد التصحيح

أجزاء الخطأ P:



تبريد الخطأ

تجنب الاستقرار بطول
Overshoot

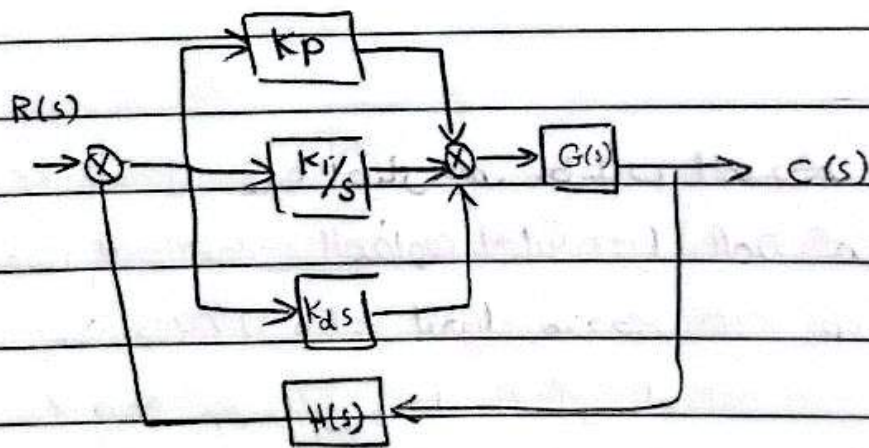
لكن تتسبب في ذلك ؟

* التذبذب

* تأخر في الاستقرار

قل خطأ الحالة بسرعة

المتحكم التفاضلي الكامل - التفاضلي :



$$G_c(s) = K_p + K_d s + K_i / s$$

دالة الانتقال

$$= K_p \left[1 + T_d s + \frac{1}{T_i s} \right]$$

حيث : K_p : الكسب التكاملي

K_d : الكسب التفاضلي

K_i : الكسب الكلي

T_i زمن التكامل

T_d زمن التفاضل

$$T_d = \frac{K_d}{K_p}$$

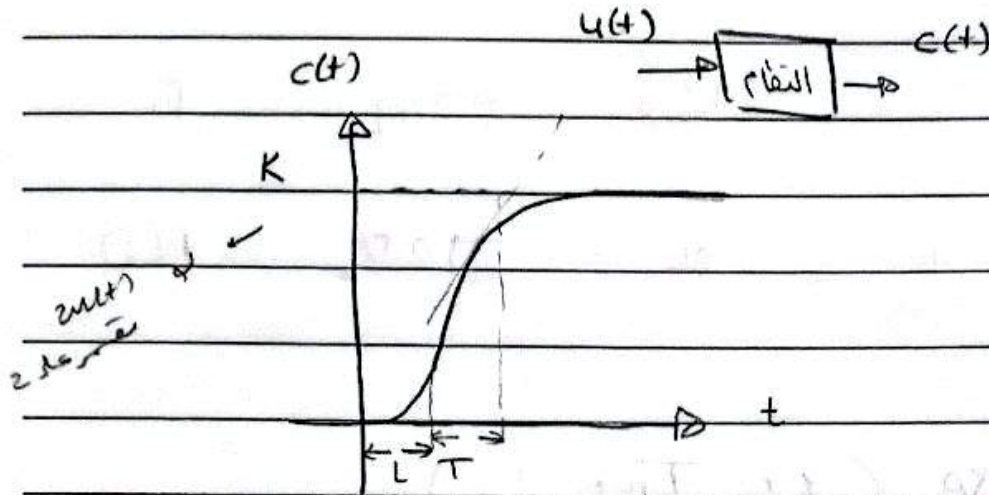
$$T_p = \frac{K_p}{K_i}$$

لنستخدم متحكم PID لتعويض الاستجابة العابرة إلى تقليل الحالة المستقرة عند استخدام المتحكم التفاضلي فإن زيادة كسب المتحكم (K_p) ستقلل زمن الصعود و دفأ الحالة المستقرة من ناحية أخرى إذا كان النظام من الرتبة الثالثة أو أكثر فإن القيم الكبيرة لـ K_p ستجعل النظام غير مستقر. العملية التفاضلية تساهم بتعويض كلا من أقصى تجاوز للاهداف وزمن الوصول للحالة المستقرة T_d ، 1 تزيد صنف المنقومة بمقدار 1 وعليه يمكن التقليل أو التخلص من الحالة المستقرة $K_i = K_p = 1$ لوقت متساوي عند تصميم متحكم PID نقوم أولاً بوضع قيمة كبيرة لـ K_p للحصول على استجابة سريعة للنظام مع المحافظة على الاستقرار (التوازن) ثم نضبط الكسب التفاضلي K_d ونقوم بتعديل قيمته حتى نحصل على الاستجابة العابرة المنقومة إذا لزم الأمر تقليل دفأ الحالة المستقرة أو التخلص منه نقوم بـ استخدام المتحكم التكاملي نقوم بإعادة التصميم وذلك بإعادة تعديل قيم K_p ، K_i ، K_d للحصول على الاستجابة المرغوبة نراي آند ليرور

تعديل متحكم PID هو لتعويض عالية اختيار قيم معاملات المتحكم للحصول على أداء المنقومة طبقاً للمواصفات المطلوبة لعملية تعديل المتحكم ، اقترح كل من زكاري ونكوس سنة 1942 قواعد لتعديل متحكم PID بناءً على استجابة دالة الخطوة أو على قيمة K_p التي تجعل النظام على حافة التوازن (التوازن هشت) (إيقاف على المصدر التالي) عندما نستخدم متحكم P فقط

1. طريقة الاستجابة الزمنية لدالة الخطوة (الطريقة الأولى لتعديل متحكم PID) :-

نصمد / هذه الطريقة على الجاه الاستجابة الزمنية للمنظومة لدالة وحدة الخطوة ، إذا كان النظام لا يحتوي على أقطاب ثنائية مسيطرة فإن الاستجابة الزمنية لدالة وحدة الخطوة تكون على شكل منحني



الاستجابة الزمنية لدالة وحدة الخطوة

من منحنى الاستجابة نلاحظ وجود زمينين هما : الزمن تأخير L وثابت زمن المنظومة T . كل من هذين الزمين ليدان بواسطة رسم الميل عند نقطة انحراف (انقلاب) في منحنى الشكل . وعليه فإن دالة الانتقال للنظام يمكن كتابتها على الصورة التالية :

$$G(s) = \frac{K}{Ts+1} e^{-Ls} \quad \text{--- ①}$$

من الناحية العملية يوجد العديد من الأنظمة يمكن تمثيلها تقريباً على صورة معادلة 1. إذا اخترنا السطوح النموذج الرياضي للنظام رياضياً ، علينا إذا أمكن تطبيق إشارة دالة وحدة الخطوة على النظام وكان بالإمكان قياس الخرج ورسمه كما هو موضح بالشكل الماضي والسطوح قيم K, L, T لأنه يمكن بناء النموذج الرياضي صيفاً للمعادلة 1.

من قيم L و T يمكن حساب قيم حاملتي المتحكم صيفاً أصبح شكله نكس الموصوف بالبول الناح

ثابت الزمن المتوقع

/ /

المنقومة الخلفية
المقلقة

T_d

T_i

K_p

المتحكم

4L

0

∞

T/L

P

5.7L

0

$4/0.8$

$0.9T/L$

PI

3.4L

0.5L

2L

$1.2T/L$

PID

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

$$= 1.2T/L \left(1 + 0.5Ls + \frac{1}{2Ls} \right)$$

$$= 0.6T \frac{(s + 1/2)^2}{s}$$

عليه فإنه يمكن تمثيل متحكم PID بقطب عند الأصل و صفرين عند $-1/2$.

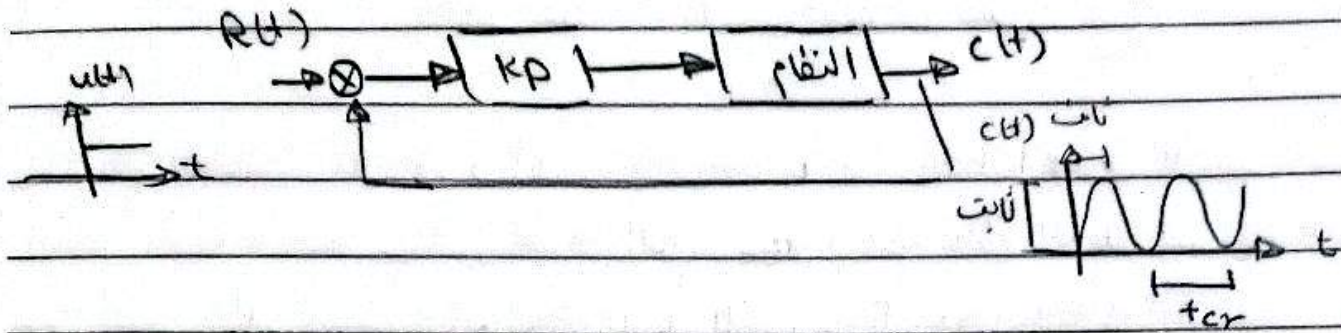
2. طريقة التثبيت الذاتي (الطريقة الثانية لتثبيت PID):

كما أشرنا سابقاً تعتمد هذه الطريقة على إيجاد قيمة K_p التي تجعل النظام على حافة الاستقرار وذلك بإتباع الخطوات التالية:

1. رفع قيمة T_i (∞) و T_d (صفر).

2. السماح للمتحكم بالتأرجح فقط، نزيد قيمة K_p من الصفر إلى القيمة الحرجة K_{cr} و التي يكون عندها الترانزيتان للنظام هش (وقوع أقطاب على المحور التخيلي) حيث تكون السجاية المنقومة بتثبيت مستمر.

و مقدار ثابت



3. من الخرج يتم تحديد الزمن الدوري T_{cr} .

4. من قيم الكسب الخرج K_{cr} و الزمن الدوري T_{cr} يتم حساب قيم K_p و T_i و T_d في المتحكم PID وفقاً لمبدأ زيجلر-نيكولس الموضحة بالجدول التالي:

المتحكم	K_p	T_i	T_d
P	$0.5 K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45 K_{cr}$	$\frac{1}{1.2} T_{cr}$	$1.4 T_{cr}$
PID	$0.6 K_{cr}$	$0.5 T_{cr}$	$0.125 T_{cr}$

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

$$= 0.6 K_{cr} \left(1 + 0.125 T_{cr} s + \frac{1}{0.5 T_{cr} s} \right)$$

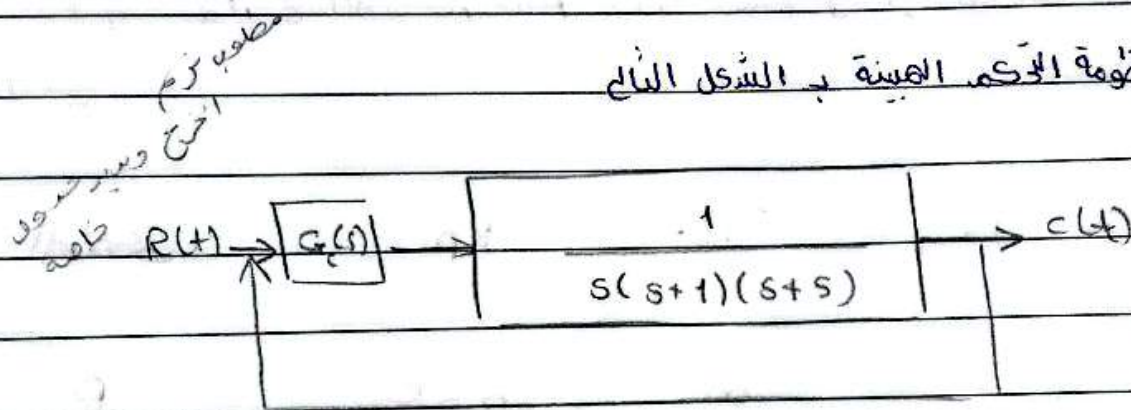
$$= 0.75 K_{cr} T_{cr} \cdot \frac{(s + 4/T_{cr})^2}{s}$$

وعليه فإن متحكم PID حسب الطريقة الثانية
يقع عند الأصل و صفرين عند $-\frac{4}{T_{cr}}$

إذا علم المتحكم الرياض أن النظام فإنه يمكن استخدام المثل الهندسي للجدول لإيجاد
القيمة العرجة لكسب K_{cr} وكذلك التردد ω_{cr} (نقطة تقاطع المثل الهندسي) للجنس
مع المحور الخيالي المستوى S و حساب الزمن الدور T_{cr} من العلاقة التالية:

$$T_{cr} = \frac{2\pi}{\omega_{cr}}$$

مثال: لمتحكم التحكم الهينة ب الشكل التالي



بعض متحكم P و PI و PID باستخدام طريقة زكر و نكلس

$$G_c(s) = K_p \quad \text{نوع}$$

دالة انتقال الحلقة المغلقة:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K_p}{s(s+1)(s+5) + K_p}$$

$$(s^2 + s)(s+5) + K_p \rightarrow s^3 + 5s^2 + s^2 + 5s + K_p$$

$$s^3 + 6s^2 + 5s + K_p$$

$$s^3 \quad 1 \quad 5$$

$$s^2 \quad 6 \quad K_p \quad \frac{30 - K_p}{6} = 0$$

$$s^1 \quad \frac{30 - K_p}{6} \quad \therefore K_p = 30$$

$$s^0 \quad K_p \quad 0 < K_p < 30 \quad \text{نشر الاثران}$$

$K_p = 0$ الاثران هس عند حيزين على المحور التلقائي

$$6s^2 + K_p = 0 \quad \therefore s = \pm \sqrt{s}$$

$$\omega_{cr} = \sqrt{s} \text{ rad/sec}$$

$$T_{cr} = \frac{2\pi}{\sqrt{s}} = 2.8$$

$$K_{cr} = 30$$

$$G(s) = 15 \quad K_{cr} = 15 \quad \text{: P سيم}$$

$$T_{cr} = 2.33 \quad K_{cr} = 13.5 \quad \text{: PI سيم}$$

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_{is}} \right) = 13.5 \left(1 + \frac{1}{2.33s} \right)$$

$$K_p = 18$$

$$T_i = 1.4 \quad \text{: PID سيم}$$

$$T_d = 0.35$$

$$G_c(s) = 18 \left(1 + 0.35s + \frac{1}{1.4s} \right)$$

$$= 6.3 \left(\frac{(s + 1.43)^2}{s} \right)$$