

Automatika eta Kontrola

6.Gaia Kontrolagailuen Diseinua

Sistemen Ingeniaritza eta Automatika Saila



Gai zerrenda

- Irakasgaiaren edukiak
 - Aurkezpena
 - Sarrera
 - Sistema dinamikoen ereduak
 - Sistema dinamikoen Kanpo adierazpidea
 - Denboraren eremuko adierazpidea
 - Sistema berrelikatuak
 - Kontrolagailuen diseinua**
 - Maiztasunaren eremuko adierazpidea

□ Helburuak

- ☑ Kontrol-sistema berrelikatu sinpleak garatzen ikastea, perturbazioen eraginpean egonda ere, kontrolatutako irteerak erreferentzia bati jarrai diezaion.

□ Norberegianatu beharreko gaitasunak:

- ☑ Oinarrizko *kontrol-akzioak noiz eta zelan erabili* jakitea
- ☑ Erantzun-eskakizun zehatzak beteko dituzten *kontrolagailuak diseinatzea*:
 - Erroen Toki hurbilduaren eraikuntzaren bidez, eskakizunak beteko dituen PID kontrol-algoritmo errazena aukeratuz.
 - Kontrolagailuaren parametroen balioak analitikoki kalkulatzuz.



Kontrolagailuen Diseinua

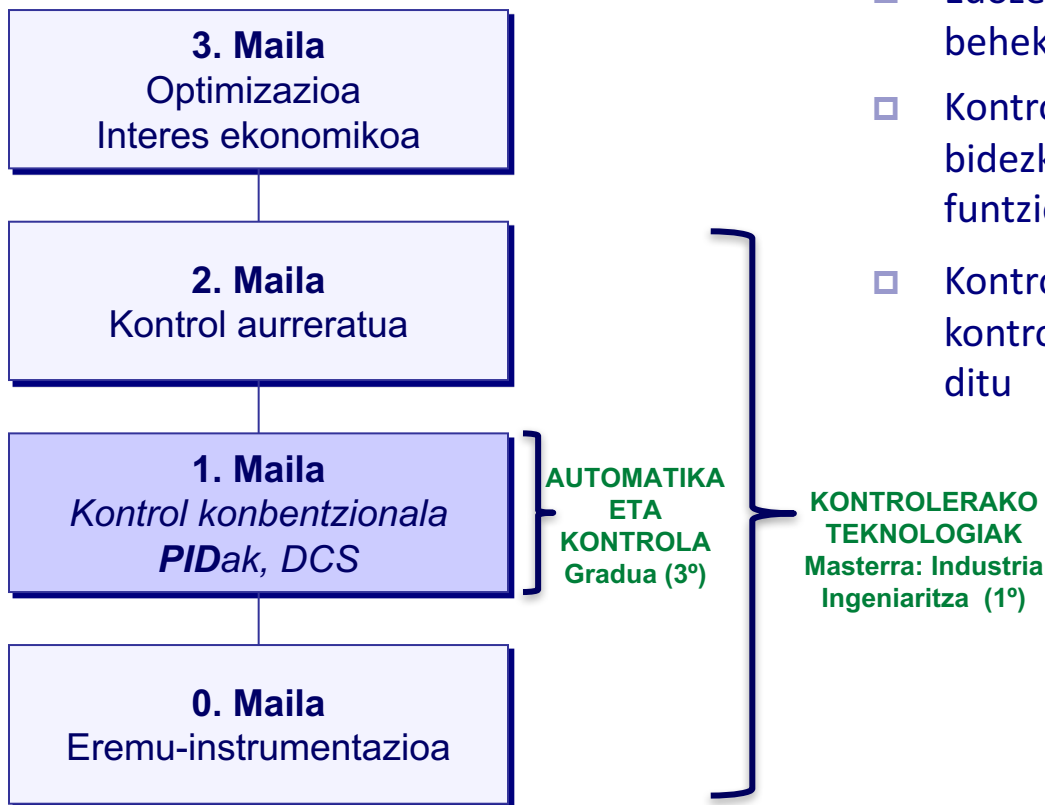
Edukiak:

- ❑ **Sarrera**
- ❑ PID: Akzioak eta parametroak
- ❑ PID-en sintonizazio-metodoak

Kontrolagailuen Diseinua

■ Sarrera

✓ Kontrol-ierarkia



- Edozein mailako problemei aurre egiteko, beheko mailak egoki funtzionatu behar dute
- Kontrol aurreratua, bereziki, PIDaren bidezko erregulazio-begizta sinpleek egoki funtziona dezaten behar du.
- Kontroleko goreneko mailak PID kontrolagailuentzako erreferentziak sortzen ditu

■ Kontrol-Sistemen Diseinua

✓ Sarrera

Berrelkaduraren helburuak:

Kontrolatutako aldagaiak (Y) erreferentziari (R) jarraitzea, perturbazio-aldagaien (D_1 eta D_2) eragina konpensatuz

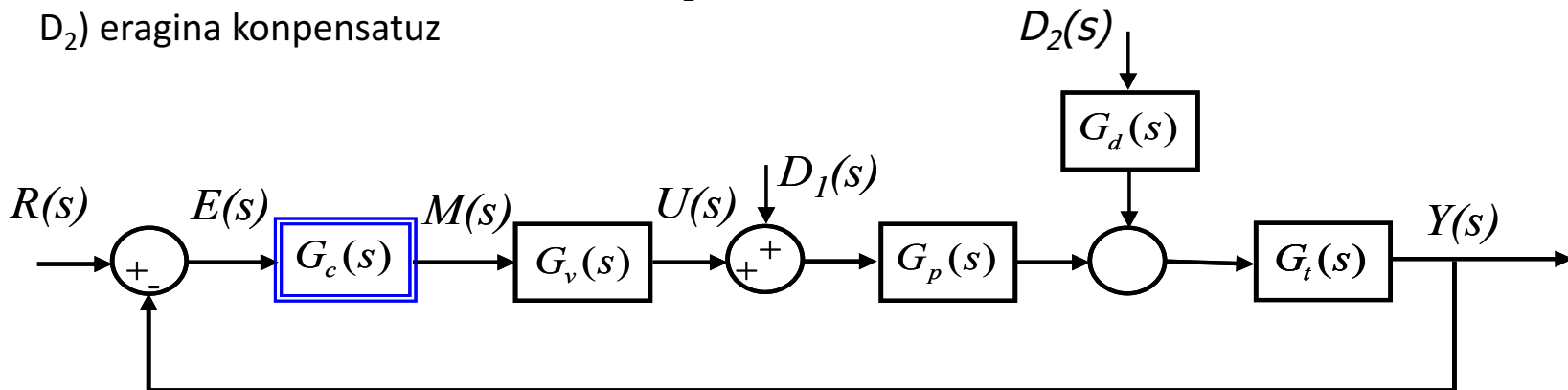
Aldagai esanguratsuak:

Kontrolatutako aldagaia, $y(t)$

Manipulatutako aldagaia, $m(t)$

Manipulatutako prozesuko aldagaia, $u(t)$

Perturbazio-aldagaia, $D_1(t)$ eta $D_2(t)$



Berrelkadura-begiztako osagaiak:

Kontrolagailua (G_c)

Eragingailua (G_v)

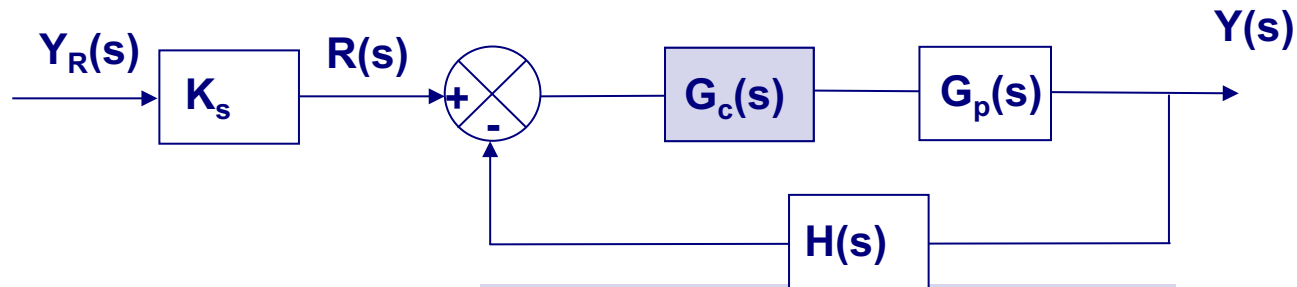
Prozesua (Planta) (G_p eta G_d)

Sentsorea (G_t)

■ Kontrol-Sistemen Diseinua

✓ Sarrera

- Bloke-diagrama (ingeniaritza-unitateak)



- Begizta itxiko TF:
$$G_{BC}(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G_c(s)G_p(s)}{1 + G_c(s)G_p(s)H(s)}$$

- Ekuazio Karakteristikoa: $1 + G_c(s)G_p(s)H(s) = 0 \longrightarrow$ Begizta Itxiko Poloak

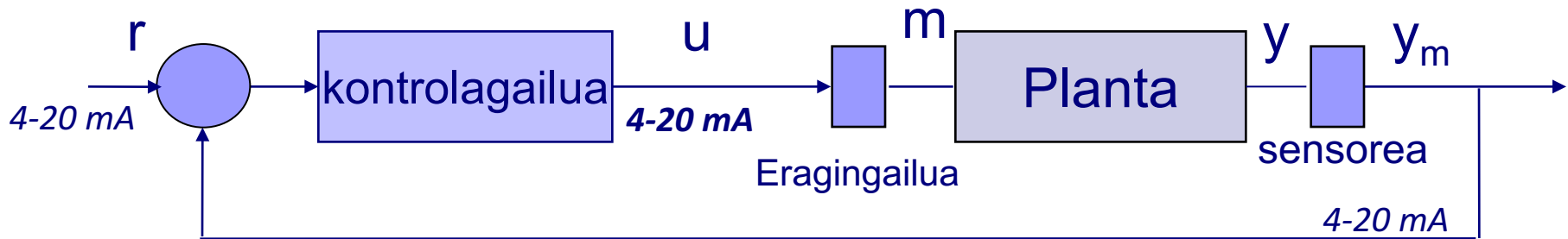
- **Helburua:** Kontrolagailua ($G_c(s)$) diseinatzea, begizta itxiko sistemaren polokokapena zehaztuta eta sistemaren erantzunak eskakizun zehatz batzuk izateko (gaindiketa maximoa, egoera iraunkorreko errorea, egonkortze-denbora,...)

Kontrolagailuen Diseinua

■ Kontrol-sistemen Diseinua

✓ Sarrera

- Bloke-diagrama (kontrol-unitateak)



Kontrolagailuaren sarrera eta irteera-seinalek normalizatuta daude, normalean $4-20\text{ mA}$ (kontrol-unitateak)

Irteera-aldagaiak ingeniari-tz-unitateetan definitzen dira, hortaz, sentsore baten bitartez, kontrolagailuak ulertzen dituen kontrol unitateetara bihurtu behar dira.

Soluzio bat %-tan adieraztea da (seinale-tarte osoarekiko)

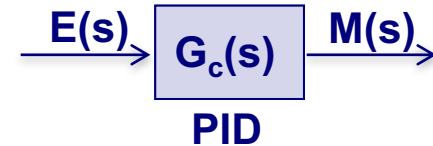
Normalean % (u : % eragingailuaren tartea, y_m : % sentsorearen tartea)

Kontrolagailuen Diseinua

Edukiak:

- Sarrera
- PID: Akzioak eta parametroak
 - ✓ P akzioa
 - ✓ I akzioa
 - ✓ D akzioa
 - ✓ Algoritmo erabiliak
- PID-en sintonizazio-metodoak

■ PID: Akzioak eta parametroak



- ❑ Kontrolagailurik erabiliena da
- ❑ Seinaleetan oinarritutako kontrolagailua da (ez erduetan)

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

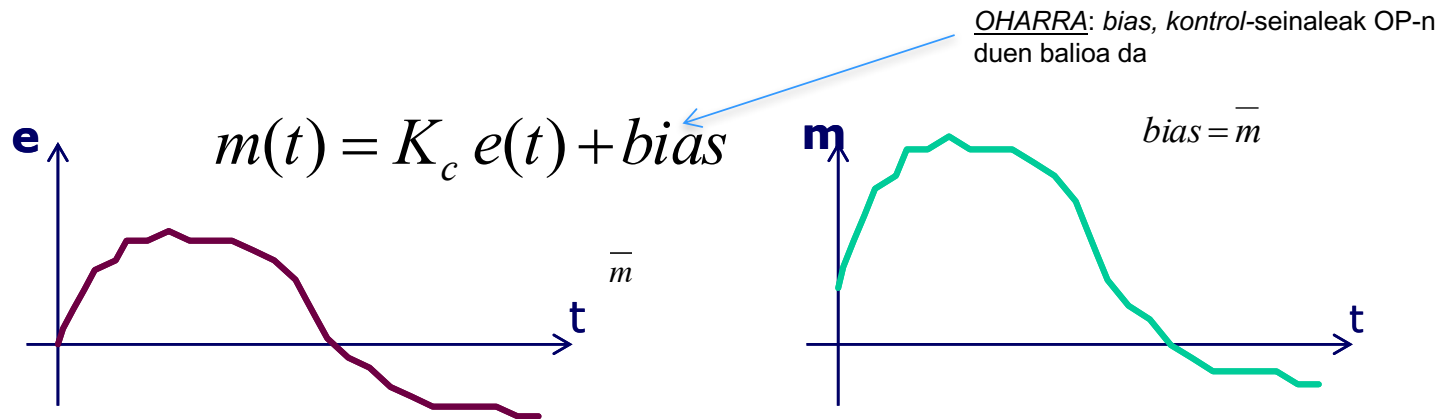
PID kontrolagailu ideala:

$$m(t) = K_c \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right]$$

- ❑ Hiru akzio ditu:
 - ☑ Errorearekiko proportzionala
 - ☑ Errorearen deribazioarekiko proportzionala
 - ☑ Errorearen integrazioarekiko proportzionala
- ❑ Hiru parametro ditu:
 - ☑ **Kc**: irabazpen proportzionala, (% eragingailu tarte/ % sentsoare tarte)
 - ☑ **Td**: deribatze-denbora, (minutu edo segunduak)
 - ☑ **Ti**: integratze-denbora, (reset time: minutu edo segunduak)

■ PID: Akzioak eta parametroak

□ P akzioa: P kontrola



- x % -ko erroreak, $m=K_c x$ (%) kontrol ekintza sortarazten du eragingailuaren seinalean.
- **Sistema baten erantzuna azkartzeko erabiltzen da**
- Limiteak:
 - ✓ Egonkortasuna (K_{cr})
 - ✓ Eragingailuaren limite fisikoak (**asetasuna**)

■ PID: Akzioak eta parametroak

□ Integrazio akzioa: I

$$m(t) = \frac{K_c}{T_i} \int e(t) dt$$

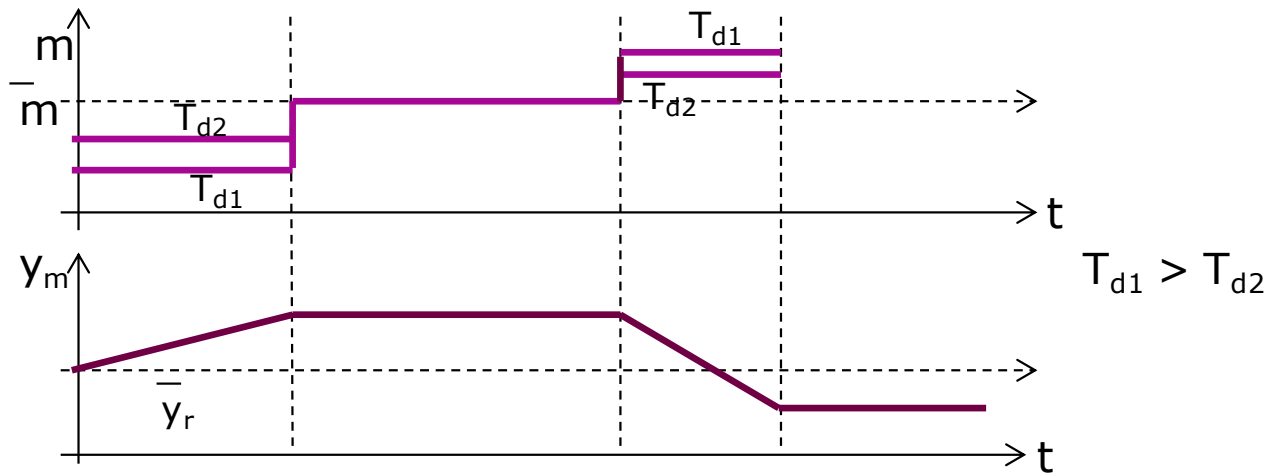
- Errora zero ez den bitartean, ekintza integralaren eboluzionatzen du
- Sistema berrelikatuaren ***mota handitzeko erabilia***.
- Zenbat eta handiagoa izan ekintza integrala (***T_i*** txikiagoa) orduan eta **abiadura handiagoz kenduko da errora**
- Balio minimo batetik aurrera, (oszilazioak handitzen ditu)
- Integrazio akzioa ez da inoiz bakarrik erabiltzen, sistemaren erantzuna oso motela izango litzatekeelako. **Akzio proportzionalarekin batera erabiltzen da beti (PI kontrolagailua)**

■ PID: Akzioak eta parametroak

□ Deribazio-akzioa: D

$$m(t) = K_c T_d \frac{de(t)}{dt}$$

- Aurreratze-akzioa da (errorea-aldaketei aurrea hartzen die)
- Egoera egonkorrean ez du eraginik (errorea konstante denean zero da)



■ PID: Akzioak eta parametroak

□ Algoritmo erabilienak

□ Proporzionala (P) $m(t) = K_c [e(t)]$

□ Proporzionala+ Integrazioa(PI) $m(t) = K_c \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt \right]$

□ Proporzional+ Deribatiboa(PD) $m(t) = K_c \left[e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt} \right]$

□ Proporzional+ Integral + Deribatiboa (PID)

$$m(t) = K_c \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right]$$

Kontrolagailuen Diseinua

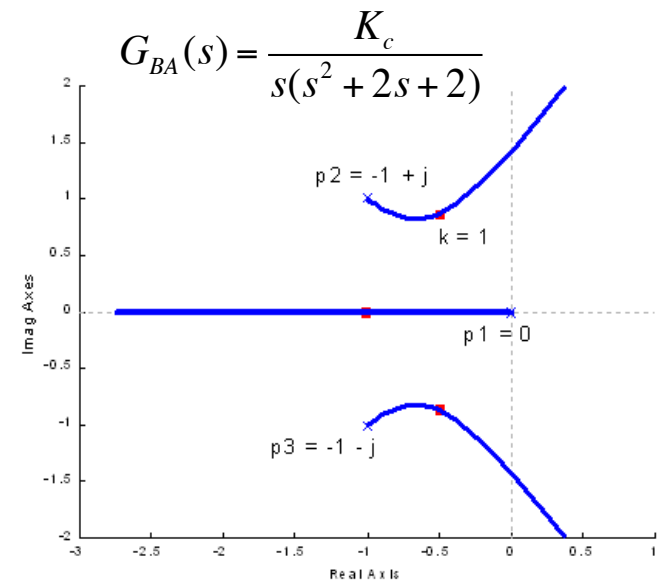
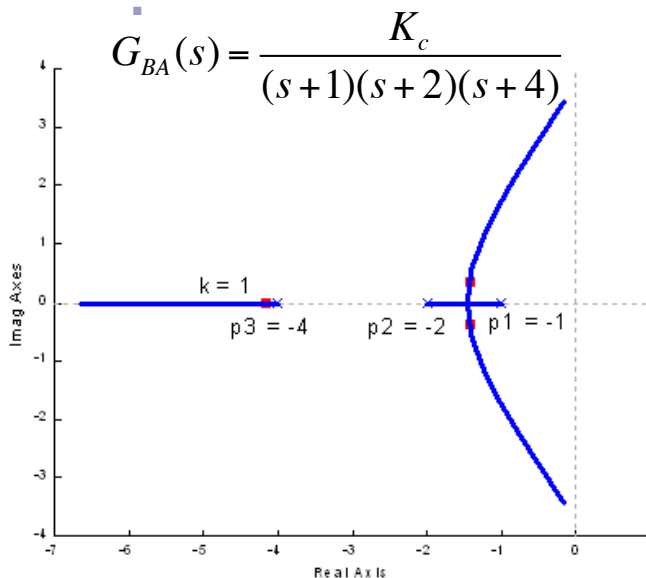
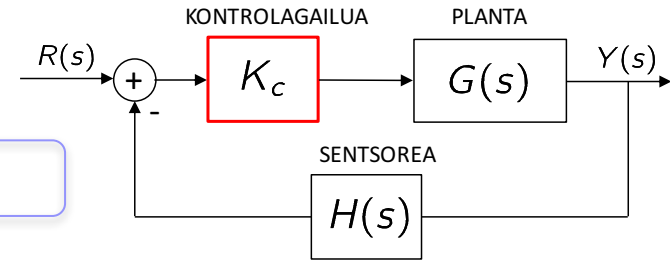
■ PID: Akzioak eta parametroak

□ Algoritmo erabilienak

□ Proporzional kontrola (P)

□ Bere eragina ET-n ikus daiteke

- Bigarren ordeneko sistemak ez dira desegonkortzen P batekin
- Goi ordeneko sistemetan, K-ren balioak muga bat du, hortik aurrera sistema desegonkoritu egiten da



eman ta zabal zazu



Kontrolagailuen Diseinua

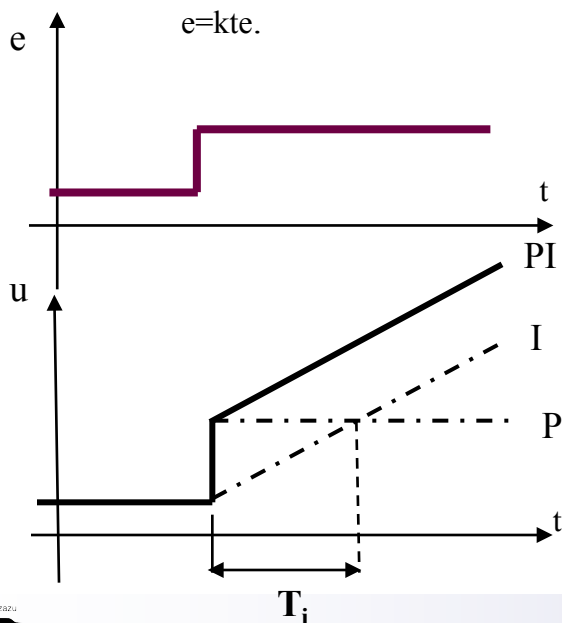
■ PID: Akzioak eta parametroak

□ Algoritmo erabilienak

□ Proporzional-Integral kontrola (PI)

$$m(t) = \bar{m} + K_c \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt \right)$$

□ Transferentzi funtzioa: $G_c(s) = \frac{K_c}{T_i} \frac{1 + T_i s}{s}$



T_i : errore konstante baten aurrean, ekintza integralak, ekintza proporzionalak hartzen duen balioa berdintzeko behar duen denbora da (errepikapen bat)
Zenbat eta txikiagoa izan T_i , gero eta handiagoa izango da ekintza integrala.

Integrazio-akzioa = akzioa proporzionala

$$\frac{K_c}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau = \frac{K_c}{T_i} e t^{t=T_i} = K_c e$$



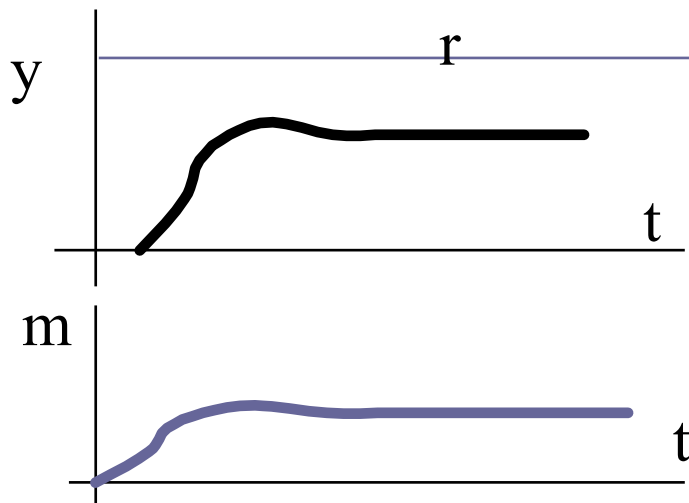
Kontrolagailuen Diseinua

■ PID: Akzioak eta parametroak

□ Algoritmo erabilienak

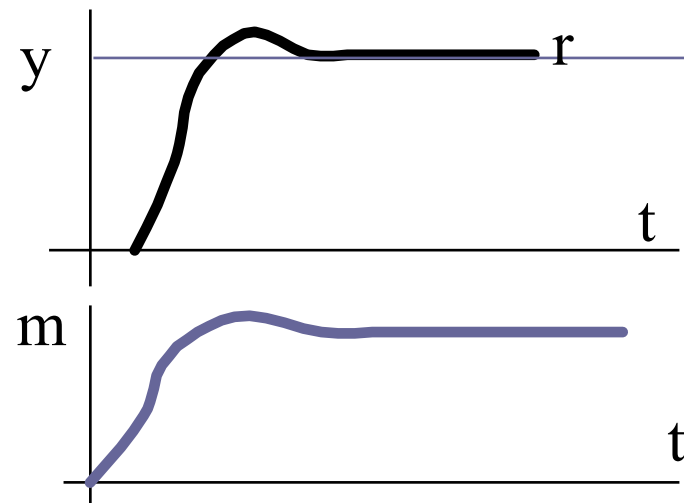
□ Proporzional-Integral kontrola (PI)

P kontrola



espaloi-sarrera baten aurrean ez du errorea kentzen

PI kontrola



Integrazio-akzioak errorea kentzen du (sistema egonkorra bada)

■ PID: Akzioak eta parametroak

□ Algoritmo erabilienak

□ Proporzional-Integral kontrola (PI)

- ✓ Polo bat jatorrian eta zero bat ($s=-1/T_i$) sartzen ditu
- ✓ Jatorriko poloak ($s=0$, integratzailea) sistema mota handitu baina egonkortasuna kaltetzen du
- ✓ Zeroaren kokapena T_i -ren araberakoa da eta ET-ren forman eragina izango du, eta beraz, begizta itxiko poloen kokapenari ere, K_c -ren balio zehatz baterako
- ✓ Orokorrean, zeroaren eragina ET ezkerretara mugi araziko du, sistema egonkortuz.
- ✓ Iragankorreko eskakizunak betzeko helburuarekin finka daiteke T_i -ren balioa.
- ✓ Ikus dezagun zelan aldatzen den ET T_i -ren balioarekin.

Kontrolagailuen Diseinua

■ PID: Akzioak eta parametroak

□ Algoritmo erabilienak

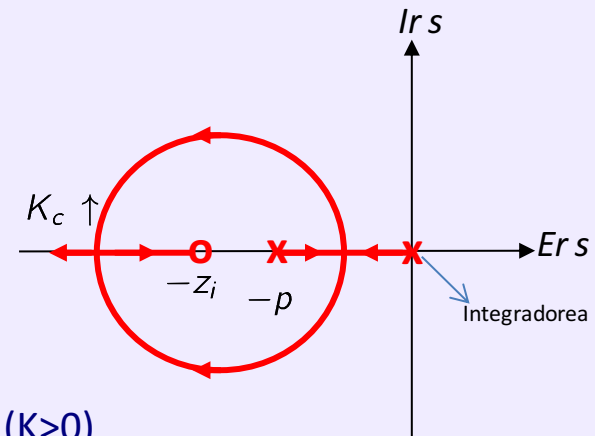
□ Proporzional-Integral kontrola (PI)

- ✓ Lehen ordeneko sistema, PI-aren zeroa dominatzailea ez denean, $z_i > p$

$$G_{BA}(s) = \frac{K_c(s+z_i)}{s} \frac{K}{(s+p)}; \quad z_i = 1/T_i$$

ET hurbilduaren marraketa:

- Adar-kopurua= $n= 2$
- ET ardatz errealean: $(-\infty, -z_i)$ eta $(-p,0)$
- Asintota-kopurua= $n-m = 1$
 $\theta=180^\circ$, $\sigma=z_i-p$
- Ebaki-puntua ardatz irudikarian:
ez dago. Sistema egonkorra da K-ren edozein baliorako ($K>0$)



Kontrolagailuen Diseinua

■ PID: Akzioak eta parametroak

□ Algoritmo erabilienak

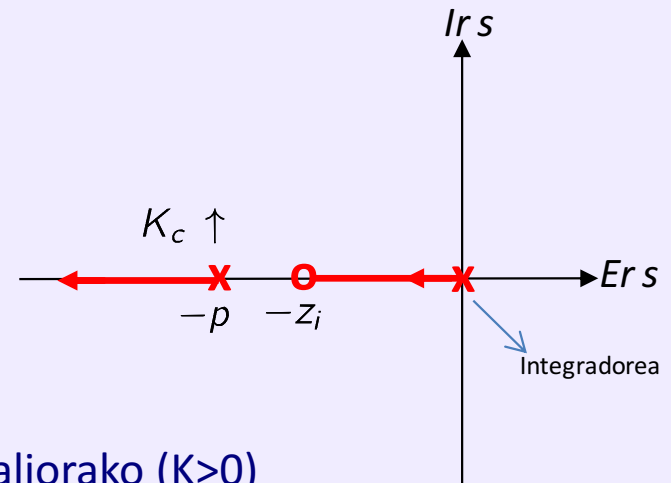
□ Proportzional-Integral kontrola (PI)

- ✓ Lehen ordeneko sistema, PI-aren zeroa dominatzailea denean, $z_i < p$

$$G_{BA}(s) = \frac{K_c (s + z_i)}{s} \frac{K}{(s + p)}; \quad z_i = 1/T_i$$

ET hurbilduaren marraketa:

- Adar-kopurua= $n = 2$
- ET ardatz errealean: $(-\infty, -p)$ eta $(-z_i, 0)$
- Asintota-kopurua= $n - m = 1$
 $\theta = 180^\circ$, $\sigma = z_i - p$
- Ebaki-puntua ardatz irudikarian:
ez dago. Sistema egonkorra da K-ren edozein baliorako ($K > 0$)



Kontrolagailuen Diseinua

■ PID: Akzioak eta parametroak

□ Algoritmo erabilienak

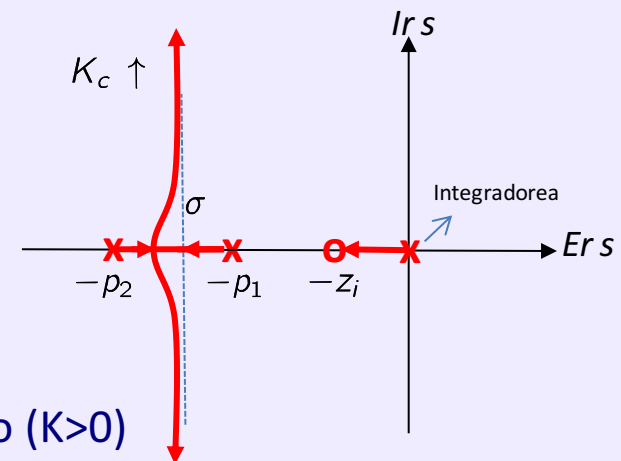
□ Proportzional-Integral kontrola (PI)

- ✓ Bigarren ordeneko sistema, PI-aren zeroa dominatzailea ez denean, $z_i < p_j$

$$G_{BA}(s) = \frac{K_c(s + z_i)}{s} \frac{K}{(s + p_1)(s + p_2)}; \quad z_i = 1/T_i$$

ET hurbilduaren marraketa:

- Adar-kopurua = $n = 3$
- ET ardatz errealean: $(-p_2, -p_1)$ eta $(-z_i, 0)$
- Asinota-kopurua = $n - m = 2$
 $\theta = \pm 90^\circ$, $\sigma = z_i - p_1 - p_2$
- Ebaki-puntua ardatz irudikarian:
ez dago. Sistema egonkorra da K-ren edozein baliorako ($K > 0$)



Kontrolagailuen Diseinua

■ PID: Akzioak eta parametroak

□ Algoritmo erabilienak

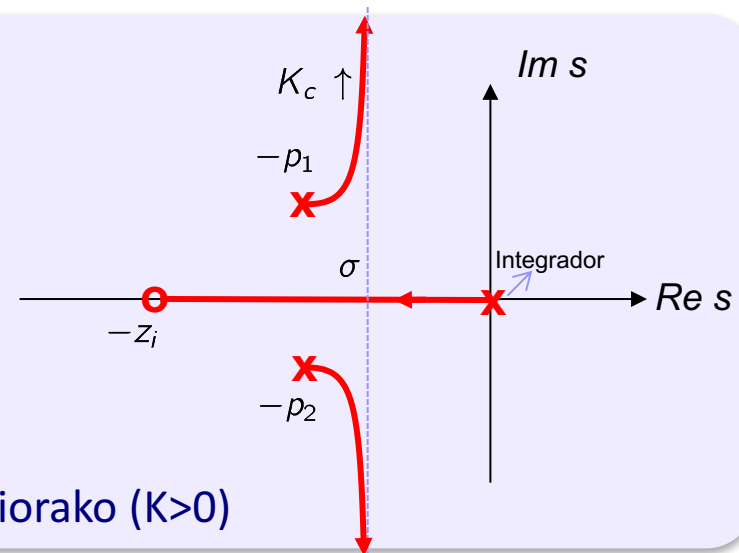
□ Proportzional-Integral kontrola (PI)

- ✓ Bigarren ordeneko sistema, PI-aren zeroa dominatzailea ez denean, $z_i < \text{Er}(p_{1,2})$

$$G_{BA}(s) = \frac{K_c(s + z_i)}{s} \frac{K\omega_n^2}{s^2 + 2\delta\omega_n s + \omega_n^2}; \quad z_i = 1/T_i$$

ET hurbilduaren marraketa:

- Adar-kopurua= $n=3$
- ET ardatz errealean: $(-z_i, -0)$
- Asintota-kopurua= $n-m=2$
 $\theta = \pm 90^\circ$, $\sigma = -2p + z_i$
- Ebaki-puntua ardatz irudikarian:
ez dago. Sistema egonkorra da K-ren edozein baliorako ($K > 0$)



eman ta zabal zazu



■ PID: Akzioak eta parametroak

□ Algoritmo erabilienak

□ Proporzional-Deribazio kontrola (PD)

Deribazio akzioa erabiltzen da bere eragin egonkortzaileak K_c handitzeko aukera ematen duelako, eta ondorioz sisetma ebrrelikatuaren abiadura ere (dinamika geldoa duten sistemetan erabiltzen da soilik)

Deribazio akzioaren **eragozpenak**:

- Kontsigna-puntuan emandako jauziek, balio oso altuak eragiten dituzte $m(t)$ - n aldaketa-unean.
- Prozesuko seinale zaratsuak kontrol-seinalean aldaketa nabarmenak eragiten dituzte
- Prozesuaren denbora hila handia bada, eragin egonkortzailea desagertzen da.

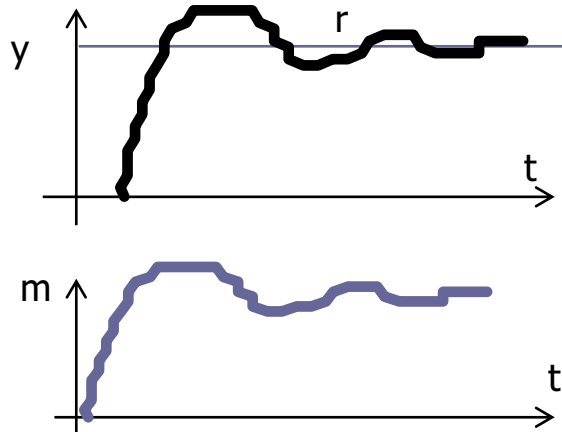
Kontrolagailuen Diseinua

■ PID: Akzioak eta parametroak

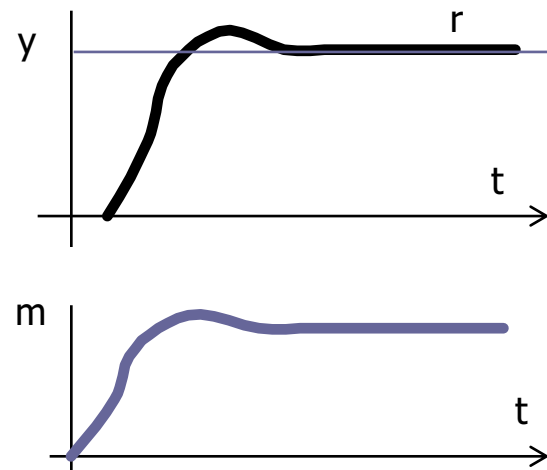
□ Algoritmo erabilienak

□ Proportzional-Deribazio kontrola (PD)

P kontrola



PD kontrola



P kontrolak, erantzuna azkartu nahi badu, irabazpena handia behar izaten du eta gehigizko akzioa ren ondorioz oszilazioak sor ditzake sisteman (poloen zati irudikaria handia da).

Deribazio akzioak (**PD kontrola**), e igotzean kontrol-seinalea azkartuko du eta e txikitzean moteldu (sistemaren poloak higitzen ditu δ aldatuz eta ondorioz oszilazioak sahiestuz).

eman ta zabal zazu.

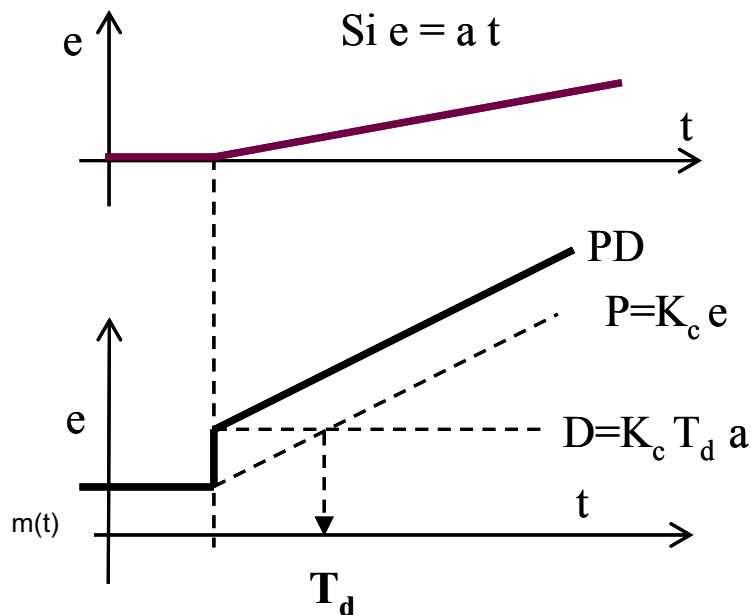


■ PID: Akzioak eta parametroak

□ Algoritmo erabilienak

□ Proportzional-Deribazio kontrola (PD)

$$m(t) = \bar{m} + K_c \left(e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$



□ Transferentzi funtzioa:

$$G_c(s) = K_c (1 + T_d s) E(s)$$

T_d : ekintza proportzionalak ekintza deribatiboaren balio bera lortzeko behar duen denbora (arrapala sarreraren aurrean).

deribazio-akzioa = proportzional-akzioa

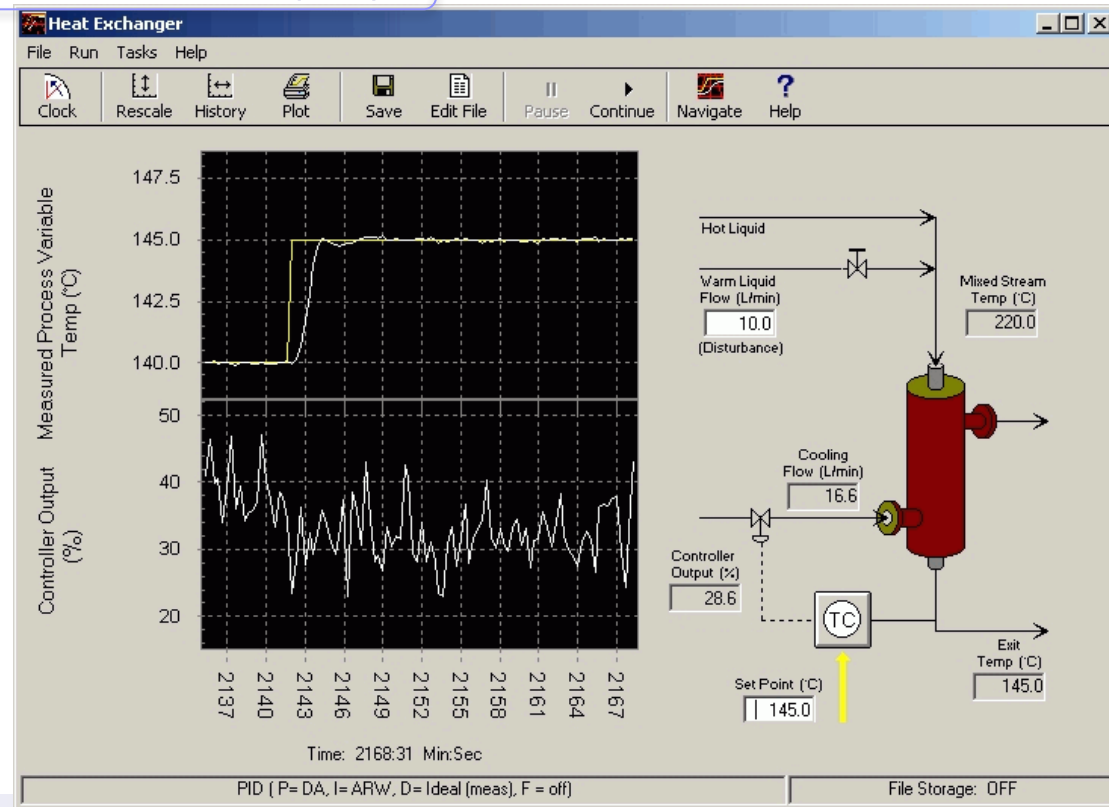
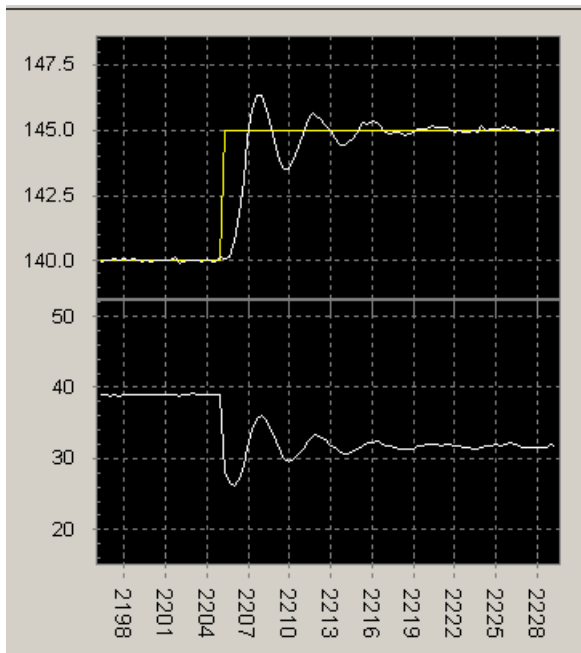
$$K_c T_d \frac{de}{dt} = K_c T_d a = K_c a t \Rightarrow t = T_d$$

Kontrolagailuen Diseinua

■ PID: Akzioak eta parametroak

□ Algoritmo erabilienak

□ Proportzional-Deribazio kontrola (PD)



eman ta zabal zazu.



■ PID: akzioak eta parametroak

✓ Algoritmo erabilienak

□ Proporzional-Deribazio kontrolagailua (PD)

- ✓ Zeroa sartzen du, $s = -1/T_d$
- ✓ Zeroaren kokapena T_d -ren araberakoa da eta ET-ren forman eragina izango du, eta beraz, begizta itxiko poloen kokapenari ere, K_c -ren balio zehatz baterako.
- ✓ Orokorrean, zeroaren eragina ET ezkerretara mugi araziko du, sistema egonkortuz.
- ✓ Iragankorreko eskakizunak betzeko helburuarekin finka daiteke T_d -ren balioa.
- ✓ Ez du eraginik iraunkorrean, errorea aldatzen ez bada deribazio akzioa nulua delako.
- ✓ Ikus dezagun zelan aldatzen den ET T_d -ren balioarekin.

■ PID: akzioak eta parametroak

✓ Algoritmo erabilienak

□ **Proporzional-Deribazio kontrolagailua (PD)**

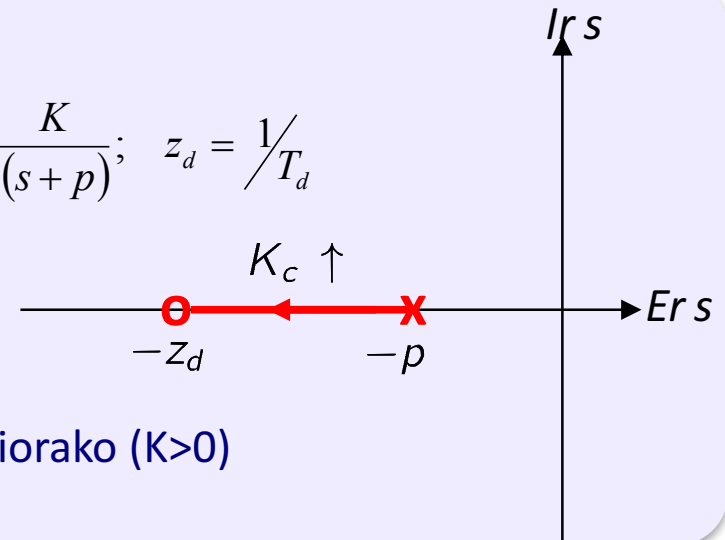
- ✓ Adibidea: Lehen ordeneko sistema. PD kontrolagailuak zeroa sartzen du. Demagun ez dela dominatzailea (poloarekiko), $z_d > p$

ET hurbilduaren marraketa:

- Adar-kopurua= $n = 1$
- ET ardatz errealean ($-z_d, -p$)
- Asintota-kopurua= $n - m = 0$

- Ebaki-puntua ardatz irudikarian: ez dago. Sistema egonkorra da K-ren edozein baliorako ($K > 0$)

$$G_{BA}(s) = K_c (s + z_d) \frac{K}{(s + p)}; \quad z_d = 1/T_d$$



■ PID: akzioak eta parametroak

✓ Algoritmo erabilienak

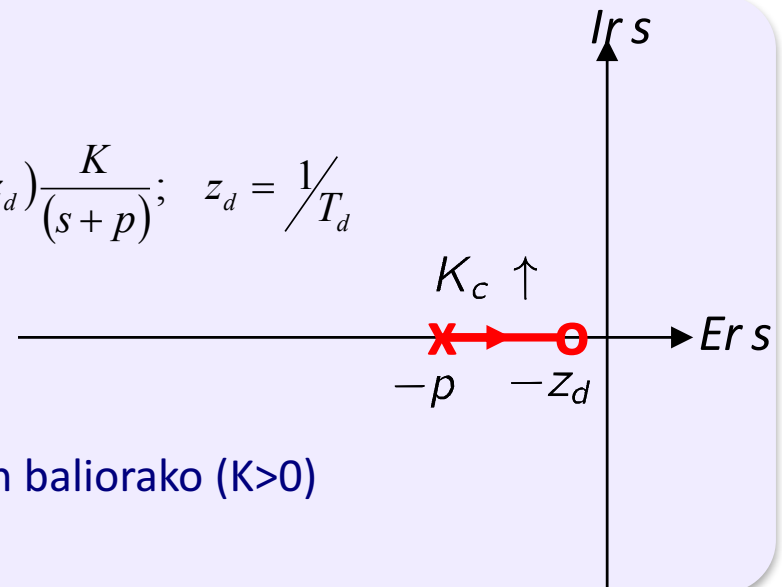
□ **Proporzional-Deribazio kontrolagailua (PD)**

- ✓ Adibidea: Lehen ordeneko sistema. Demagun zeroa dominatzailea dela (poloarekiko), $z_d < p$

ET hurbilduaren marraketa:

- Adar-kopurua= $n = 1$
- ET ardatz errealean $(-p, -z_d)$
- Asintota-kopurua= $n - m = 0$
- Ebaki-puntua ardatz irudikarian: ez dago. Sistema egonkorra da K -ren edozein baliorako ($K > 0$)

$$G_{BA}(s) = K_c (s + z_d) \frac{K}{(s + p)}; \quad z_d = 1/T_d$$



■ PID: akzioak eta parametroak

✓ Algoritmo erabilienak

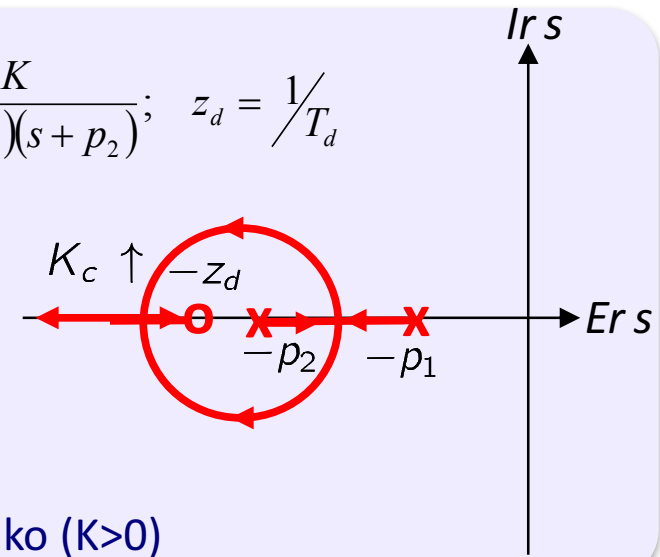
□ Proporzional-Deribazio kontrolagailua (PD)

- ✓ Adibidea: Bigarren ordeneko sistema (gainmoteldua). Demagun PD-aren zeroa ez dela dominatzailea, $z_d > p_1, p_2$

ET hurbilduaren marraketa:

$$G_{BA}(s) = K_c (s + z_d) \frac{K}{(s + p_1)(s + p_2)}; \quad z_d = 1/T_d$$

- Adar-kopurua = $n = 2$
- ET ardatz errealean $(-\infty, -z_d)$ eta $(-p_2, -p_1)$
- Asintota-kopurua = $n - m = 1$
 $\theta = 180^\circ$, $\sigma = (z_d - p_1 - p_2)/1$
- Ebaki-puntua ardatz irudikarian: ez dago. Sistema egonkorra da K-ren edozein baliorako ($K > 0$)



■ PID: akzioak eta parametroak

✓ Algoritmo erabilienak

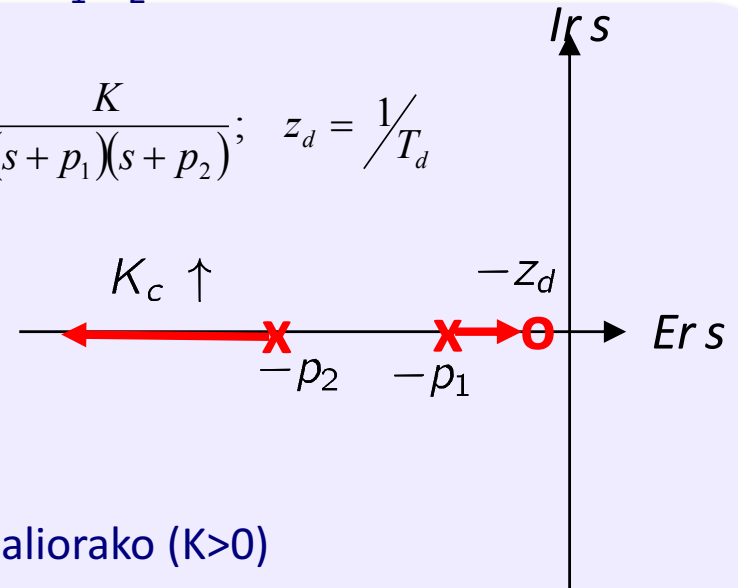
□ **Proporzional-Deribazio kontrolagailua (PD)**

- ✓ Adibidea: Bigarren ordeneko sistema (gainmoteldua). Demagun PD-aren zeroa dominatzailea, dela $z_d < p_1, p_2$

ET hurbilduaren marraketa:

$$G_{BA}(s) = K_c (s + z_d) \frac{K}{(s + p_1)(s + p_2)}; \quad z_d = 1/T_d$$

- Adar-kopurua = $n = 2$
- ET ardatz errealean $(-\infty, -p_2)$ eta $(-p_1, -z_d)$
- Asintota-kopurua = $n - m = 1$
 $\theta = 180^\circ$, $\sigma = (z_d - p_1 - p_2) / 1$
- Ebaki-puntua ardatz irudikarian:
ez dago. Sistema egonkorra da K-ren edozein baliorako ($K > 0$)



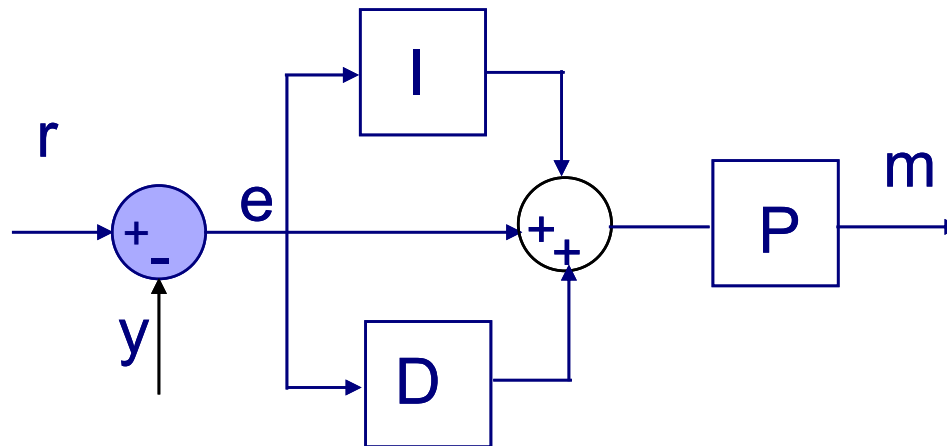
Kontrolagailuen Diseinua

■ PID: akzioak eta parametroak

✓ Algoritmo erabilienak

- PID kontrolagailu ez interaktibo ideala

$$m(t) = \bar{m} + K_c \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right]$$



■ PID: akzioak eta parametroak

✓ Algoritmo erabilienak

□ PID kontrolagailu ez interaktibo ideala

□ Transferentzi funtzioa

$$G_c(s) = K_c \left[1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right] = K_c \frac{T_i s + 1 + T_i T_d s^2}{T_i s}$$

□ Ezaugarriak:

- ☑ **Ezin da fisikoki implementatu** (poloak baino zero gehiago dago).
- ☑ **Maiztasun handiko zaratarekiko sentikortasun handia** (zeroek maiztasun handiko seinaleak anplifikatzen dituzte)
- ☑ $T_i > 4T_d$ denean zeroak errealak dira.

■ PID: akzioak eta parametroak

✓ Algoritmo erabilienak

- PID kontrolagailu ez interaktibo ideala: iragazkia deribazio akzioan

$$m(t) = \bar{m} + K_c \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de_f(t)}{dt} \right]$$
$$\frac{T_d}{N} \frac{de_f}{dt} + e_f = e(t) \quad \text{Iragazkia errorean}$$

- Transferentzi funtzioa

$$G_c(s) = K_c \left[1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{1 + T_d s / N} \right]$$

- ✓ **Fisikoki implementa daiteke** (deribazio akzioan iragazkia duelako)
- ✓ **Ekintza deribatiboaren irabazpen maximoa mugatuta dago maiztasun handiko seinaleetan** $K_c * N$.
- ✓ **N: deribazio-irabazpen maximoa finkatzen du.** Normalean $N=10$.

■ PID: akzioak eta parametroak

✓ Algoritmo erabilienak

□ PID kontrolagailu ez interaktiboa

- PID kontrolagailuak zero bi eta polo bat sartzen ditu $G_{BA}(s)$ -n

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_c \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) = K_c T_d \frac{s^2 + s/T_d + 1/(T_d T_i)}{s}$$

- $T_i > 4 T_d$ bada, zeroak errealak dira

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_c T_d \frac{(s + z_1)(s + z_2)}{s}$$

- Ikus dezagun integratzailea eta zeroak sartzearen eragina ET-n

■ PID: akzioak eta parametroak

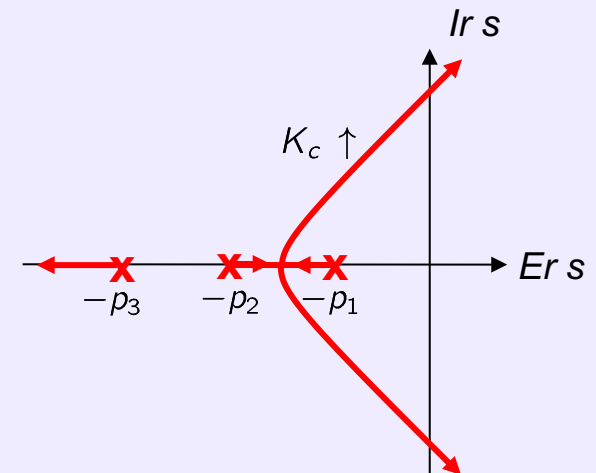
✓ Algoritmo erabilienak

□ PID interaktiboa ez dena

- Adibidea: hirugarren ordeneko sistema (polo errealak dituena)

ET-ren marraketa hurbildua:

- Adar-kopurua= $n = 3$
- ET ardatz errealean: $(-\infty, -p_3)$ y $(-p_2, -p_1)$
- Asintota-kopurua= $n-m = 3$
 $\theta_1 = 180^\circ$, $\theta_{2,3} = \pm 60^\circ$, $\sigma = (-p_1 - p_2 - p_3)/3$
- Ebaki-puntua ardatz irudikarian:
RH –en egonkortasun irizpidea ezarriz eta K_u y ω_u kalkulatzuz



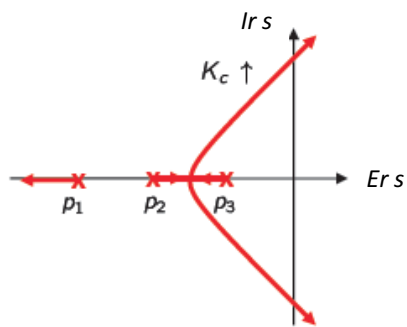
(a) P kontrolarekin

Kontrolagailuen Diseinua

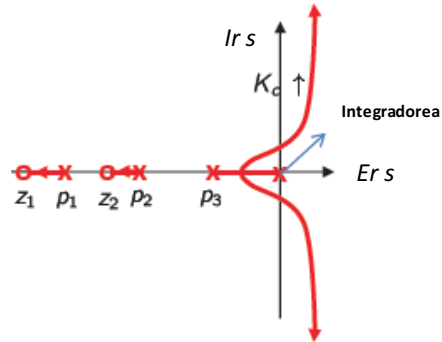
■ PID: akzioak eta parametroak

✓ Algoritmo erabilienak

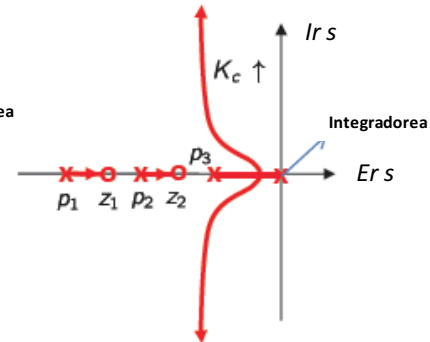
- PID kontrolagailua: ET PID-aren zeroen kokapenaren arabera



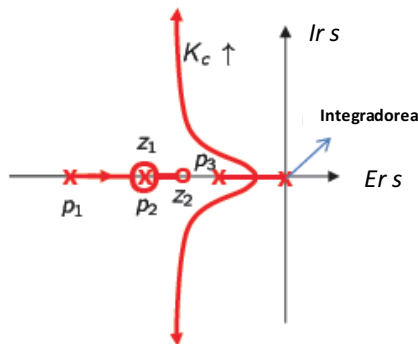
(a) Kontrolagailurik gabe



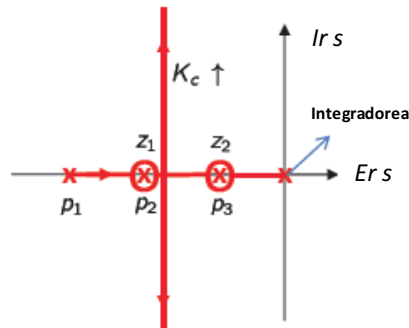
(b) PID kontrolarekin



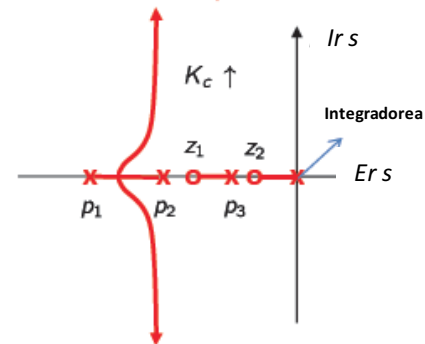
(c) PID kontrolarekin



(d) PID kontrolarekin



(e) PID kontrola poloak indargabetuz



(f) PID kontrolarekin

eman ta zabal zazu



■ PID: akzioak eta parametroak

✓ Algoritmo erabilienak

□ PID kontrolagailua: PID-aren eragina ET-n

- Integradoreak egonkortasuna kaltetzen duela ikus daiteke (P-ren bidez berreikatutako sistemarekin alderatuta K_u txikiagoa da)
- Zeoen eragina ET ezkerretara mugi araztea da, eragin egonkortzailea da hain zuzen ere
- Eragin egonkortzailea handiagoa izango da zenbat eta dominatzaileagoak izan zeroak
- ET-ren marraketa hurbilduak, edozein kontrolagailuk diseinueskakizunak beteko dituen jakiteko balio du. Gero, analitikoki kalkulatzeko da.

Edukiak:

□ Sarrera

□ PID: Akzioak eta parametroak

□ **PID-en sintonizazio-metodoak**

✓ **Sarrera**

✓ Froga eta errorea

✓ Diseinu analitikoa erduetan oinarritua

✓ Esperimentuetan oinarritutak

■ PID-en sintonizazio-metodoak

✓ Sarrera

- Kontrolagailua sintonizatzeko jarraitu beharreko urratsak:
 1. Algoritmoa aukeratu (**P, PI, PD, PID**)
 2. Parametroak aukeratu (**Kc, Ti, Td**): *sintonizazioa*



Sintonizazioa burutzeko beharrezkoa da:

- ☑ Kontrolatu behar den prozesuaren **portaera dinamikoa ezagutzea**
- ☑ Sistemak **begizta itzian izan behar dituen ezaugarriak zehaztea (diseinu analitikoa)**

■ PID-en sintonizazio-metodoak

✓ Sarrera

□ 1. URRATSA: Algoritmoaren aukeraketa

□ **P erabili:**

- ☑ Egoera iraunkorreko errorea onartzen denean.
- ☑ Sistema berrelikatua 1. motakoa bada.
- ☑ Adibideak: andeletako maila-kontrola, posizio-kontrola,...

□ **PD erabili:**

- ☑ Iragankorreko eskakizunak betetzeko beharra dagoenenan. Hau da, ET eta erantzun-eskakizunen artean intersekziorik ez dagoenean.

■ PID-en sintonizazio-metodoak

✓ Sarrera

- 1. URRATSA: Algoritmoaren aukeraketa

□ **PI erabili:**

- ✓ Egoera iraunkorreko errorerik onartzen ez denean (derrigorrezkoa denean sistema mota handitzea).
- ✓ Adibide tipikoak: emari-begiztak (errorerik ez, dinamika arina), ardatz baten abiadura-kontrola,...

□ **PID erabili:**

- ✓ Zaratarik ez badago eta abiadura handitu nahi bada
- ✓ Dinamika motela izatekotan, D ekintzak erantzuna egonkortuko du, K_c igotzea ahalbidetuz.
- ✓ ET-n PI batekin iragankorreko eskakizunak beteko ez direla ikusten bada (intersekziorik ez badago)

Kontrolagailuen Diseinua

■ PID-en sintonizazio-metodoak

✓ Sarrera

- sintonizazio-metodoak:

1. Froga eta errorearen bidezko metodoak

2. Ereduetan oinarritutako metodo analitikoak

3. Esperimentuetan oinarritutako metodoak

Erantzun osoan oinarrituta

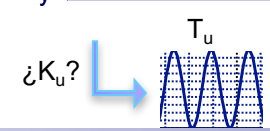
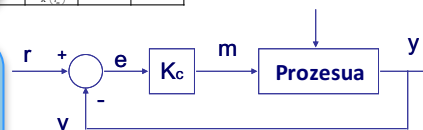
Ezaugarri zehatzetan oinarrituak (moteldura-erlazioa 1/4)

Ziegler Nichols begizta irekian

Ziegler Nichols begizta itxian

Kontrol-mota	K_c	T_i	T_d
P	$\frac{1}{K} \left(\frac{1}{\tau_c} \right)$	-	-
PI	$0.5 \left(\frac{1}{K} \right) \left(\frac{1}{\tau_c} \right)$	$3\tau_c$	-
PID	$\frac{1.2}{K} \left(\frac{1}{\tau_c} \right)$	$2\tau_c$	$0.5\tau_c$

Kontrol-mota	K_c	T_i	T_d
P	$0.5K_u$	-	-
PI	$0.4K_u$	$0.8T_u$	-
PID	$0.6K_u$	$0.5T_u$	$0.125T_u$



eman ta zabal zazu





Kontrolagailuen Diseinua

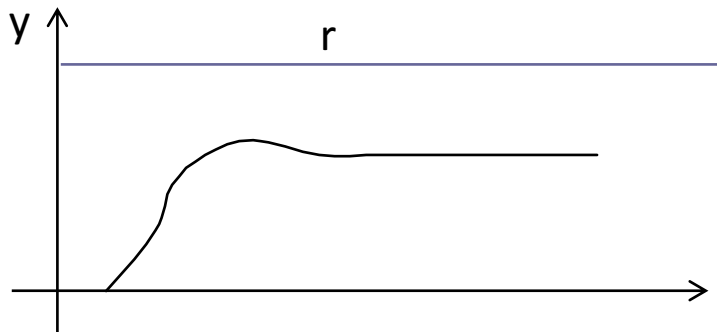
Edukiak:

- ❑ Sarrera
- ❑ PID: Akzioak eta parametroak
- ❑ PID-en sintonizazio-metodoak
 - ✓ Sarrera
 - ✓ **Froga eta errorea**
 - ✓ Diseinu analitikoa erduetan oinarritua
 - ✓ Esperimentuetan oinarritutak

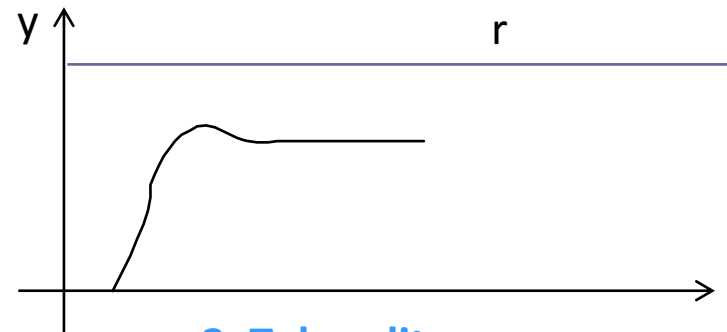
Kontrolagailuen Diseinua

■ PID-en sintonizazio-metodoak

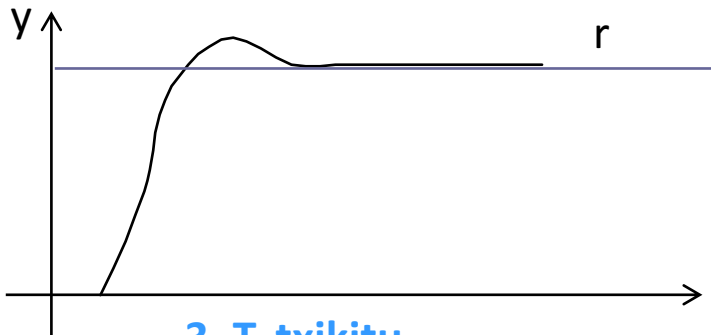
✓ FROGA ETA ERROREA



1. K_c handitu



2. T_d handitu



3. T_i txikitu

K_c -ren balio txikitatik abiatuta, eta akzio integralik gabe (T_i oso handia):

1. K_c handitu kurbak nahi dugun forma lortu arte, kontrol-seinalearen balioak oso handiak ez direlarik.
2. T_d handitu erantzuna hobetzeko (K_c handitzea ahalbidetzen du).
- 1 eta 2 errepikatu erantzunaren kurbak nahi dugun forma izan arte
3. T_i txikitu egoera egonkorreko errorea kendu arte (osilazioak ekiditu)



Kontrolagailuen Diseinua

Edukiak:

□ Sarrera

□ PID: Akzioak eta parametroak

□ **PID-en sintonizazio-metodoak**

✓ Sarrera

✓ Froga eta errorea

✓ **Diseinu analitikoa erduetan oinarritua**

✓ Esperimentuetan oinarritutak

■ PID-en sintonizazio-metodoak

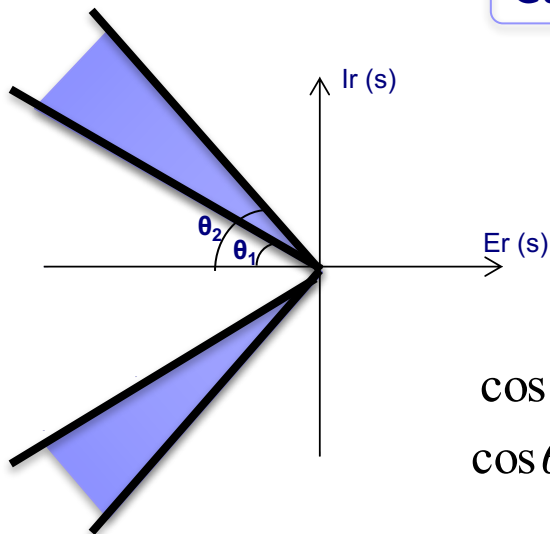
✓ Diseinu analitikoa erduetan oinarritua

- Erantzun-eskakizunak: begizta itxiko sistemaren **polo nagusiak s planoan non** kokatu behar diren (**eremua**) definitzen dute.

✓ EGOERA IRAGANKORREKO ESKAKIZUNAK

- Gaindiketarentzako balio-tartea (M_p):

- Polo dominatzaileek ardatz errealarekiko izan behar duten angelu maximo eta minimoa definitzen dute
- Polo dominatzaileen moteldura-koefizienteak izan behar duen balioa mugatzen dute



$$\cos \theta_1 = \delta_1$$

$$\cos \theta_2 = \delta_2$$

$$\delta_2 < \delta < \delta_1$$

Kontrolagailuen Diseinua

■ PID-en sintonizazio-metodoak

✓ Diseinu analitikoa erduetan oinarritua

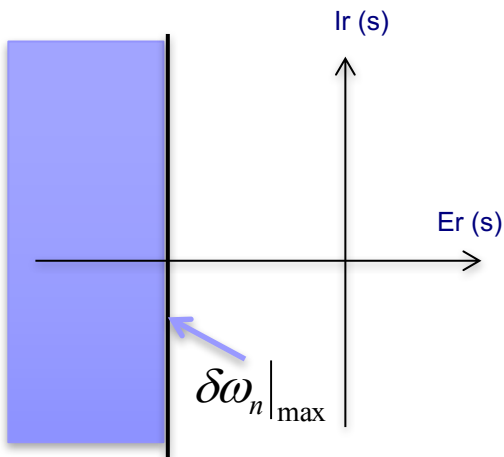
- Erantzun-eskakizunak: begizta itxiko sistemaren **polo nagusiak s planoan non** kokatu behar diren (**eremua**) definitzen dute.

✓ EGOERA **IRAGANKORREKO** ESKAKIZUNAK

- Egonkortze-denbora (t_s):

- Polo dominatzaileen (konplexu konjokatuak badira) edo polo erreal dominantzailearen zati errealaren balio maximoa definitzen dute.
- Polo dominatzaileen moteldura-koefizientearen balioa mugatzen dute

$$t_s \leq \text{balioa} \Rightarrow \delta\omega_n \geq \text{balioa} \text{ o } \tau \leq \text{balioa}$$



Kontrolagailuen Diseinua

■ PID-en sintonizazio-metodoak

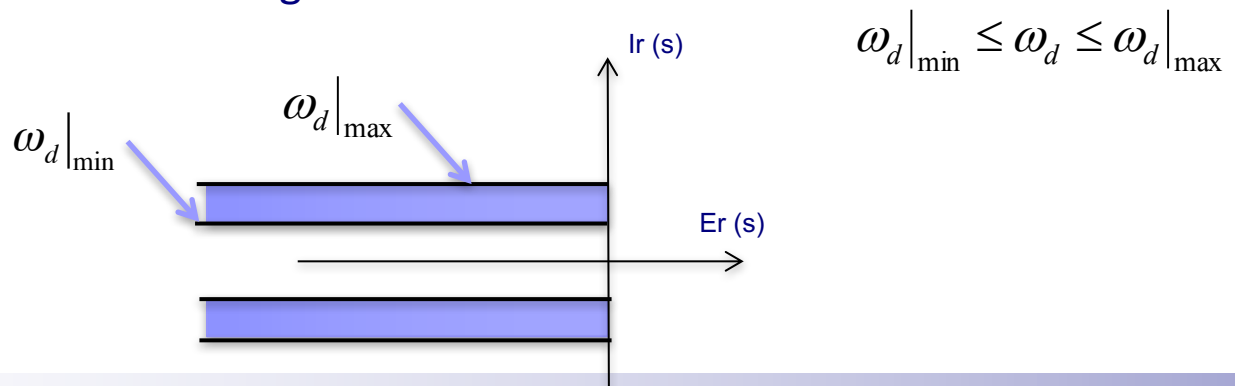
✓ Diseinu analitikoa erduetan oinarritua

- Erantzun-eskakizunak: begizta itxiko sistemaren **polo nagusiak s planoan non** kokatu behar diren (**eremua**) definitzen dute.

✓ EGOERA IRAGANKORREKO ESKAKIZUNAK

- Puntako-denbora (t_p):

- Polo dominatzaileen zati irudikariak har dezakeen balio maximoa mugatzen du



$$\omega_d|_{\min} \leq \omega_d \leq \omega_d|_{\max}$$

■ PID-en sintonizazio-metodoak

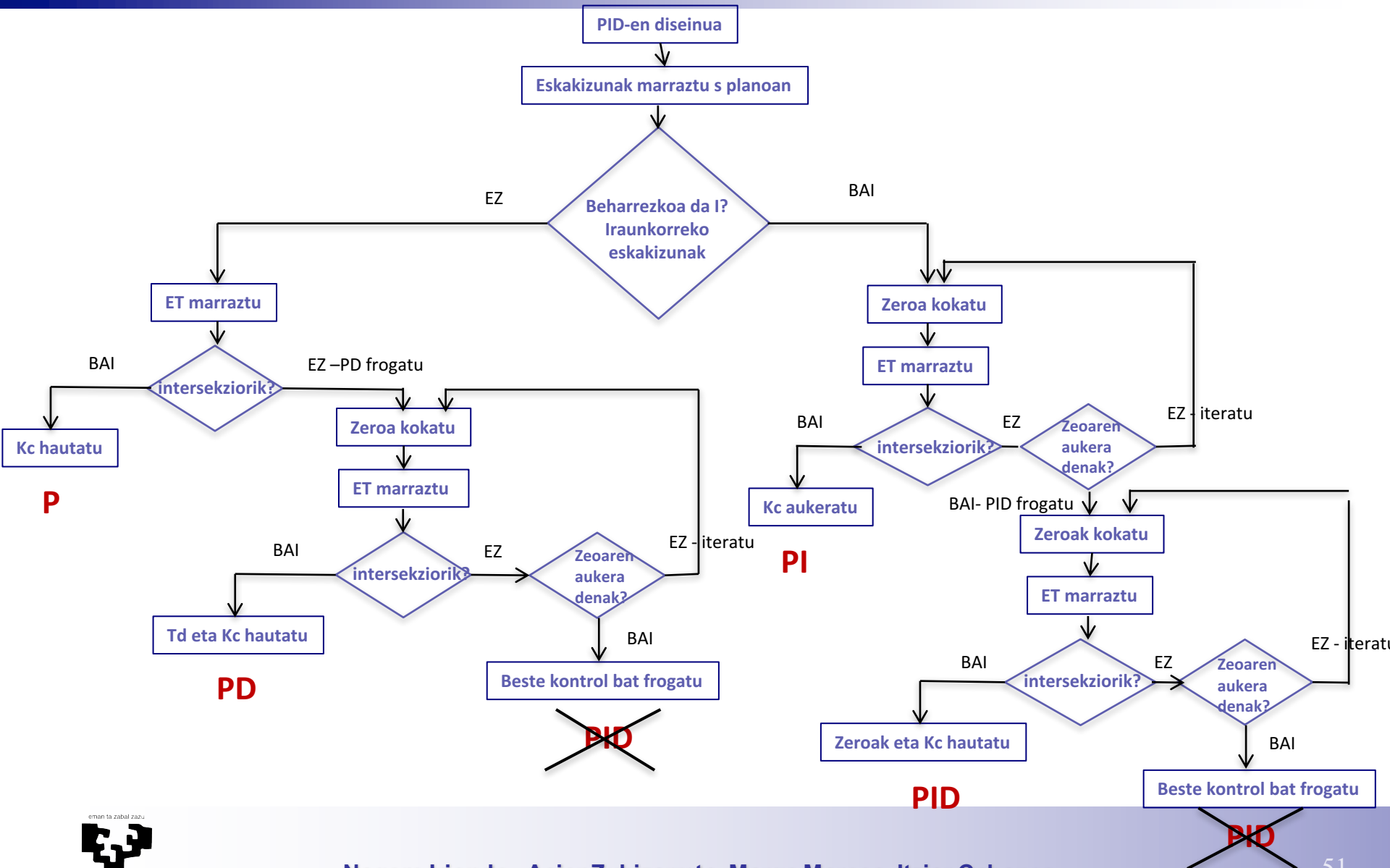
✓ Diseinu analitikoa erduetan oinarritua

- Erantzun-eskakizunak: begizta itxiko sistemaren **polo nagusiak s planoan non** kokatu behar diren (**eremua**) definitzen dute.

✓ EGOERA **IRAUNKORREKO** ESKAKIZUNAK

- Erreferentzia-seinaleari jarraipena (posizioa, abiadura , azelerazioa) → **Sistema berrelikatu mota** definitzen du ($G_{BA}(s)=G(s)H(s)$ -ren polo kopurua jatorrian, $s=0$).
- Sarrera mota bati jarraitzean eman dezakeen errore maximoa (posizioa, abiadura , azelerazioa) → balio minimoa finkatzen du ω_n -rentzako.

Kontrolagailuen Diseinua



■ PID-en sintonizazio-metodoak

✓ Diseinu analitikoa erduetan oinarritua

■ DISEINURAKO JARRAIBIDEAK

- ✓ Sistema -mota handitu behar bada iraunkorreko eskakizunak betetzeko, I akzioa beharrezkoa da.

→ Zeroen hautaketa

- Sistemaren polo nagusiak baliogabetzeko (egonkorak direnean soilik): PI kontrolagailuak gehitzen duen zeora (PIDak bi zero) polo nagusia baliogabetzeko erabiltzen da (edo nagusi biak, PIDarekin). Normalean geldoena baliogabetzen da (T_i balioa finkatuko du, edo T_i eta T_d PIDarekin). Eta K_c parametroa iragankorreko eskakizun bat betetzeko erabiliko da (adibidez M_p (δ finkatuko du))
- Poloak nagusiak zeroekin baliogabetuta, ez badago intersekziorik ET-aren eta eskakizunen eremuaren artean, saiatu zeroak beste nolabait kokatzen intersekzioa lortu arte.

✓ K_c hautatzeko:

Begizta itxiko ekuazio karakteristikoa
hautatutako kontrolagailuarekin

=

Desio den ekuazio karakteristikoa
(poloak eskakizunen eremuan)

■ PID-en sintonizazio-metodoak

✓ Diseinu analitikoa erduetan oinarritua

■ DISEINURAKO JARRAIBIDEAK

✓ Diseinuaren emaitzak frogatuz:

- Begizta itxiko transferentzi funtzioak zeroak baditu, portaera ez da polo nagusiei dagokiena, zeroek eragina izango dute
 - Zeroa dominatzailea bada, M_p espero dena bano handiagoa izango da
 - Zeroa desegonkorra bada, egonkortze-denbora handiago izango da, sistemak hasieran kontrako zentzuan erantzungo duelako (alderantzizko erantzuna)

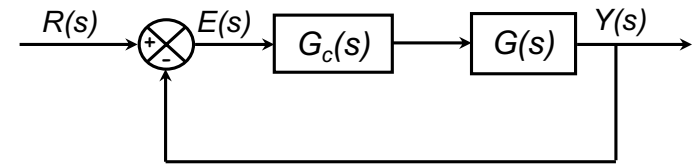
■ PID-en sintonizazio-metodoak

✓ Diseinu analitikoa erduetan oinarritua

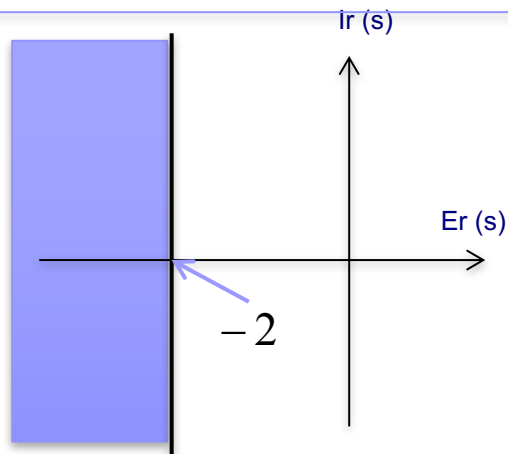
■ 1. ADIBIDEA:

- Demagun sistema hau: $G(s) = \frac{1}{s+1}$

Kontrolagailu bat diseinatu behar da, egonkortze-denbora 2 segundo dela bermatuko duena (%2ko irizpidea erabiliz)



1. Marraztu ESKAKIZUNEN ZONALDEA s PLANOAN



➤ Lehen ordeneko sistema baten t_s (2%) = $4\tau \rightarrow$

$$4\tau \leq 2 \text{ s} \Rightarrow \tau \leq 0,5 \text{ s} \Rightarrow \text{poloa: } s \leq -2 \text{ (} s = -1/\tau \text{)}$$

■ PID-en sintonizazio-metodoak

✓ Diseinu analitikoa erduetan oinarritua

■ 1. Adibidea:

4. K_c -ren kalkulua:

- K_c kalkulatzeko, ekuazio karakteristikoak konparatuko ditugu, desiaturikoa eta hautatutako kontrolagailuarekin lortutakoa

$$G_{BC}(s) = \frac{\frac{K_c}{1+K_c}}{1 + \frac{1}{1+K_c}s} \Rightarrow \tau_{BC} = \frac{1}{1+K_c} \leq 0,5 \Rightarrow K_c \geq 1$$

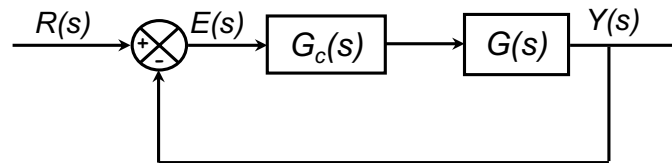
■ PID-en sintonizazio-metodoak

✓ Diseinu analitikoa erduetan oinarritua

■ 2. ADIBIDEA:

- Sistema honetan: $G(s) = \frac{1}{s^2 + 4s + 1}$

Kontrolagailu bat diseinatu behar da, sistemaren erantzunaren M_p maximoa % 16,3 eta egonkortze-denbora t_s maximoa 4 segundu izateko (% 2ko irizpidea erabilita).

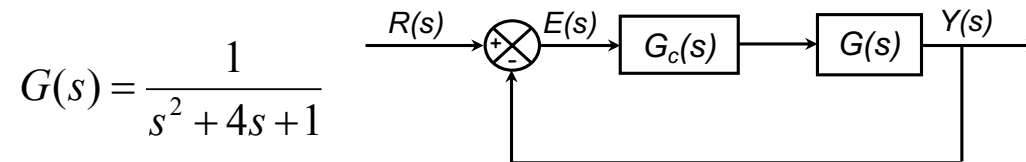


Kasu honetan bi eskakizun daude. P kontrola erabiltzen badugu, parametro bakarra (K_c) dago bietako bat beteko dela ziurtatzeko. Eta bestea betetzen dela behatu beharko da. Bestela, beste PID algoritmo bat erabili beharko da.

■ PID-en sintonizazio-metodoak

✓ Diseinu analitikoa erduetan oinarritua

- 2. ADIBIDEA:



1. Marratzu ESKAKIZUNEN EREMUA s PLANOAN :

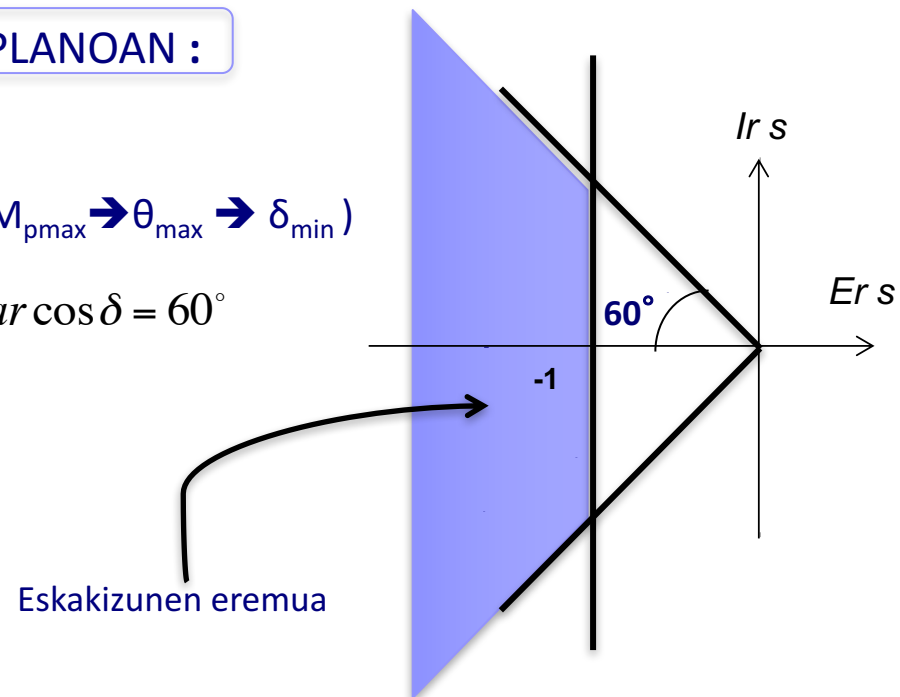
1. $M_p \leq 0,163$

Ardatz errealarekin angelua definitzen du ($M_{pmax} \rightarrow \theta_{max} \rightarrow \delta_{min}$)

$$M_p = e^{-\frac{\pi\delta}{\sqrt{1-\delta^2}}} \leq 0.163 \Rightarrow \delta \geq 0.5 \Rightarrow \theta = \arccos \delta = 60^\circ$$

2. $t_s \leq 4 \text{ s } (\%2)$

$$t_s = \frac{4}{\delta\omega_n} \leq 4 \rightarrow \delta\omega_n \geq 1$$



Kontrolagailuen Diseinua

■ PID-en sintonizazio-metodoak

✓ Diseinu analitikoa erduetan oinarritua

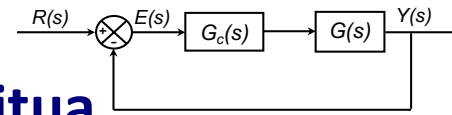
■ 2. ADIBIDEA:

2. Beharrezkoa da I akzioa?

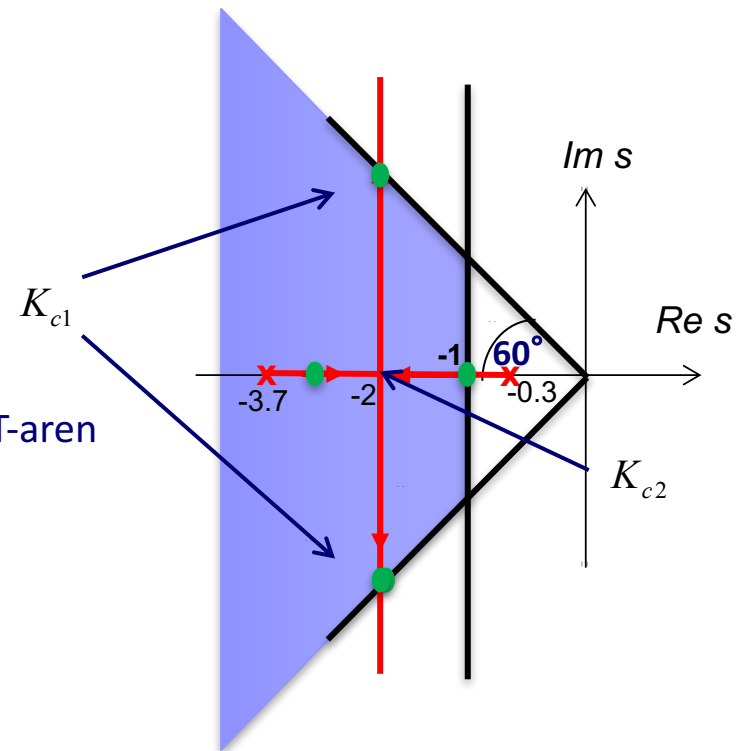
Ez, iraunkorreko eskakizunik ez dago

3. Marraztu Erroen Tokia: Ba al dago intersekzioirik?

Intersekzioa dago eskakizunen eremuaren eta ET-aren artean → **nahikoa da P kontrola**



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



■ PID-en sintonizazio-metodoak

✓ Diseinu analitikoa erduetan oinarritua

■ 2. ADIBIDEA:

4. K_c -ren kalkulua :

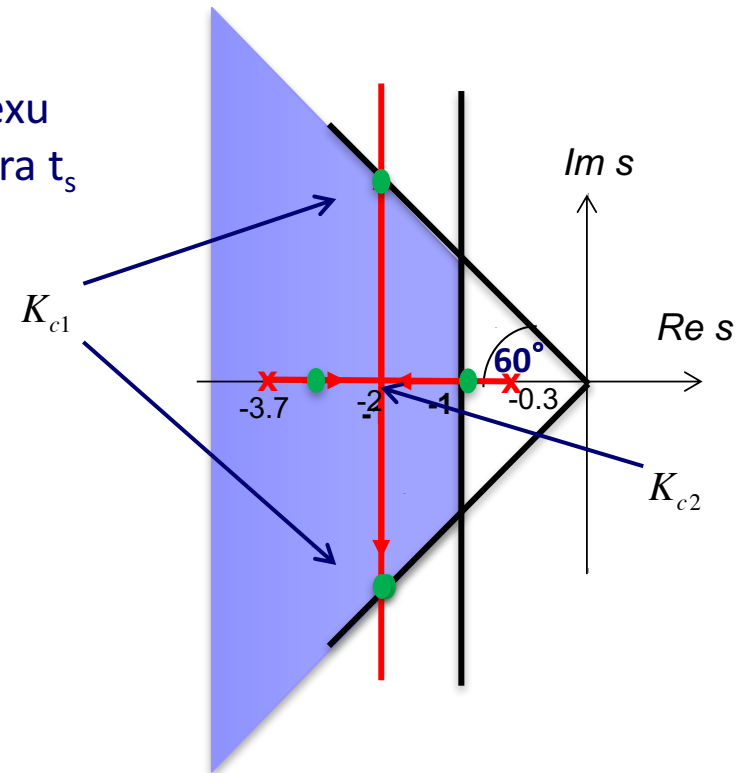
t_s eskakizuna betetzeko , poloak konplexu konjokatu egingo ditugu (errealak badira t_s ez da beteko). Beraz,

$$K_c \geq K_{c2}$$

$$G_{BC}(s) = \frac{K_{c2}}{s^2 + 4s + 1 + K_{c2}}$$

$$s^2 + 4s + 1 + K_{c2} = (s + p_1)^2 = s^2 + 2p_1s + p_1^2$$

$$\begin{cases} p_1 = 2 \\ 1 + K_{c2} = p_1^2 = 4 \Rightarrow K_{c2} = 3 \end{cases}$$



■ PID-en sintonizazio-metodoak

✓ Diseinu analitikoa erduetan oinarritua

■ 2. ADIBIDEA:

4. K_c -ren kalkulua :

M_p eskakizuna betetzeko $\delta \geq 0,5$ egin behar dugu. Beraz,

$$G_{BC}(s) = \frac{K_{c2}}{s^2 + 4s + 1 + K_{c2}}$$

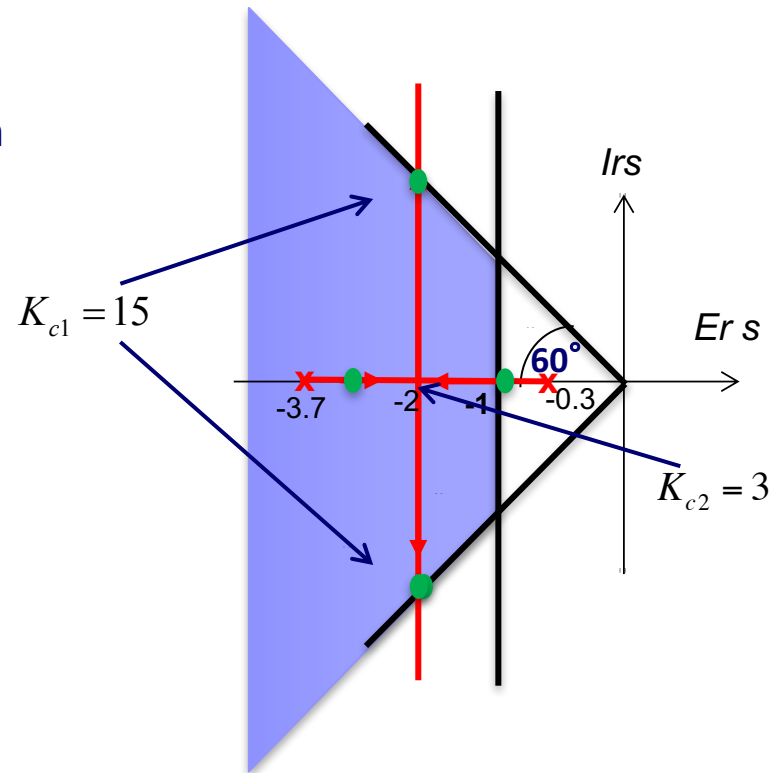
$$2\delta\omega_n = 4, \delta = 0,5 \rightarrow \omega_n = 4$$

$$1 + K_{c1} = \omega_n^2 \Rightarrow K_{c1} = 15$$

K_c ondorengo tartean badago,

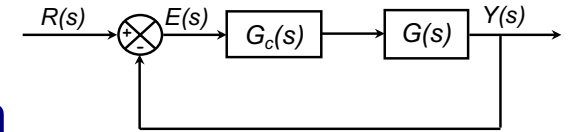
$$K_{c2} \leq K_c \leq K_{c1}$$

Bi eskakizun beteko dira



■ PID-en sintonizazio-metodoak

✓ Diseinu analitikoa erduetan oinarritua

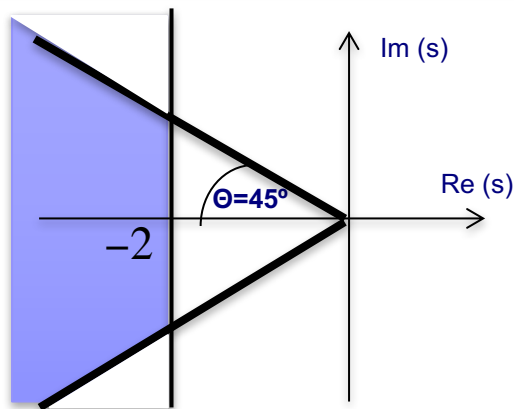


■ 3. ADIBIDEA (6-20):

□ Sistema honetan:
$$G(s) = \frac{0,5}{(s+1)(s+5)}$$

Kontrolagailu bat diseinatu behar da, sistemaren erantzunaren M_p maximoa % 4,3 eta egonkortze-denbora maximoa 2 segundu izateko (% 2ko irizpidea erabilita). Gainera, iraunkorreko posizio-errorea nulua izan behar da.

1. Marraztu ESKAKIZUNEN EREMUA s PLANOAN :



Iragankorreko eskakizunak:

- $M_p \leq 0,43 \rightarrow \delta \geq 0,707 \rightarrow \cos \theta = \delta \rightarrow \theta \leq \arccos \delta = 45^\circ$
- $t_s \leq 2s \rightarrow t_s = \frac{4}{\delta \omega_n} \leq 2 \rightarrow \delta \omega_n \geq 2$
- Poloak konplexu konjugatuak diren kasurako bakarrik

Kontrolagailuen Diseinua

■ PID-en sintonizazio-metodoak

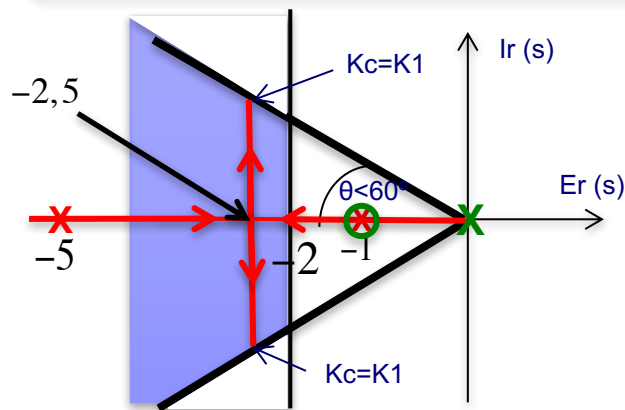
✓ Diseinu analitikoa erduetan oinarritua

■ 3. ADIBIDEA:

2. Beharrezkoa da I akzioa?

- Iraunkorreko posizio-errorea nulua izatea eskatu denez, sistema berrelikatua 1 motakoa izan beharko da. Begizta irekiko transferentzi funtzioak ez daukanez $s=0$ polorik (integratzailerik), I akzioa sartu beharko da. PI kontrolagailua frogatuko dugu.

3. Marraztu Erroen Tokia: Ba al dago intersekzioirik?

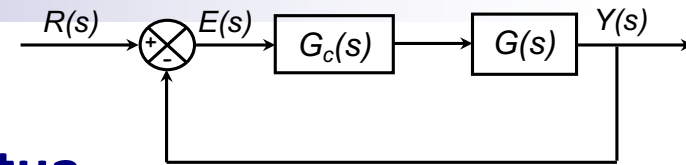


$$G_{PI}(s) = \frac{K_c(s+z)}{s} \xrightarrow{\text{siendo } z=1/T_i} G_{BA}(s) = \frac{0,5K_c(s+z)}{s(s+1)(s+5)}$$

Kontrolagailuaren zeroarekin polo nagusia baliogabetuko dugu. Beraz : $z = \frac{1}{T_i} = 1$

ET marraztu eta intersekzioa dagoela ikus daiteke →

PI kontrolagailua erabil daiteke



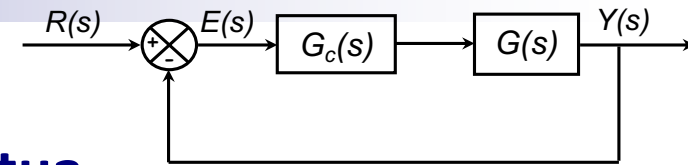
Kontrolagailuen Diseinua

■ PID-en sintonizazio-metodoak

✓ Diseinu analitikoa erduetan oinarritua

■ 3. ADIBIDEA:

4. K_c -ren kalkulua :



$$G_{BC}(s) = \frac{K_c}{s^2 + 5s + 0,5K_c} \quad \text{Ek. Karakteristikoa} \rightarrow s^2 + 5s + 0,5K_c = s^2 + 2\delta\omega_n s + \omega_n^2$$

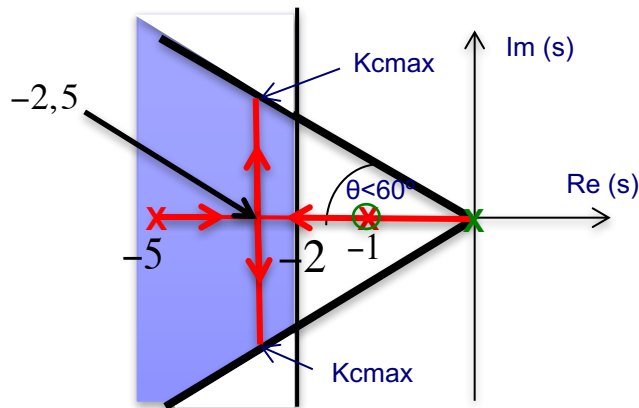
Polo konplexu konjokatuak suposatu ditugunez, baldintza hau betetzen dituzten K_c -ren balioak kalkulatu:

$$s^2 + 5s + 0,5K_c = s^2 + 2\delta\omega_n s + \omega_n^2 \xrightarrow{\delta < 1} \begin{cases} 5 = 2\omega_n \rightarrow \omega_n > 2,5 \\ 0,5K_c = \omega_n^2 \rightarrow K_c \geq 12,5 \end{cases}$$

K_c -ren balio maximoa M_p betetzeko ($\delta \geq 0,707$):

$$s^2 + 5s + 0,5K_c = s^2 + 2\delta\omega_n s + \omega_n^2$$

$$5 = 2\delta\omega_n \xrightarrow{\delta \geq 0,707} \omega_n \leq 2.82 \rightarrow K_c \leq 16$$



Orduan, nahikoa da **PI kontrola**:

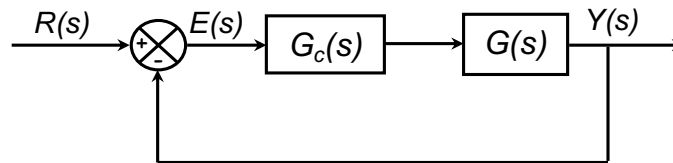
$$G_{PI}(s) = \frac{K_c(s+z)}{s} \xrightarrow{z=1/T_i} \begin{cases} T_i = 1 \\ 12,5 \leq K_c \leq 25 \end{cases}$$

Kontrolagailuen Diseinua

■ PID-en sintonizazio-metodoak

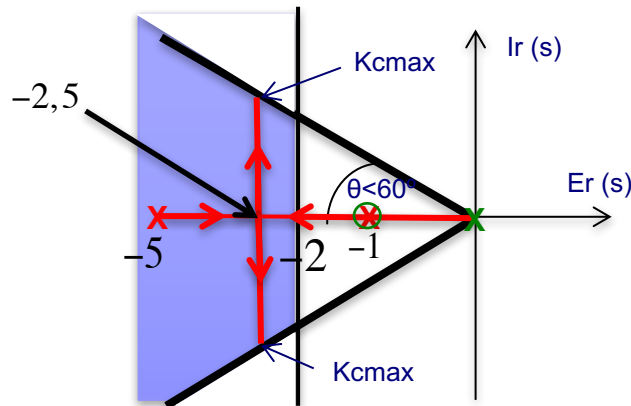
✓ Ereduetan oinarritutako metodo analitikoak

■ 3. Adibidea



$$G(s) = \frac{0,5}{(s+1)(s+5)}$$

Kontrolagailuaren transferentzi funtzioa



Hortaz, PI kontrolagailua

$$G_{PI}(s) = \frac{K_c(s+z)}{s} \xrightarrow{z=1/T_i} \begin{cases} T_i = 1 \\ 12,5 \leq K_c \leq 16 \end{cases}$$

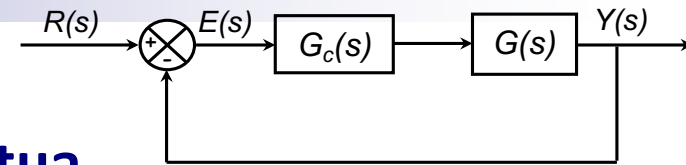
■ PID-en sintonizazio-metodoak

✓ Diseinu analitikoa erduetan oinarritua

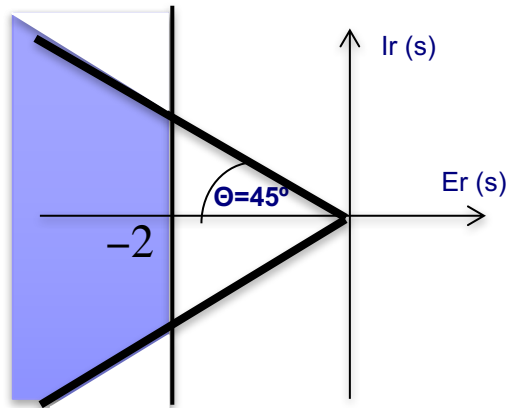
■ 4. ADIBIDEA:

□ Sistema honetan:
$$G(s) = \frac{0,5}{(s+1)(s+2)}$$

Kontrolagailu bat diseinatu behar da, sistemaren erantzunaren M_p maximoa % 4,3 eta egonkortze-denbora maximoa 2 segundu izateko (% 2ko irizpidea erabilita). Gainera, iraunkorreko posizio-errorea nulua izan behar da.



1. Marrazu ESKAKIZUNEN EREMUA s PLANOAN :



Iragankorreko eskakizunak:

- $M_p \leq 0,43 \rightarrow \delta \geq 0,707 \rightarrow \cos \theta = \delta \rightarrow \theta \leq \arccos \delta = 45^\circ$
- $t_s \leq 2s \rightarrow t_s = \frac{4}{\delta \omega_n} \leq 2 \rightarrow \delta \omega_n \geq 2$

■ PID-en sintonizazio-metodoak

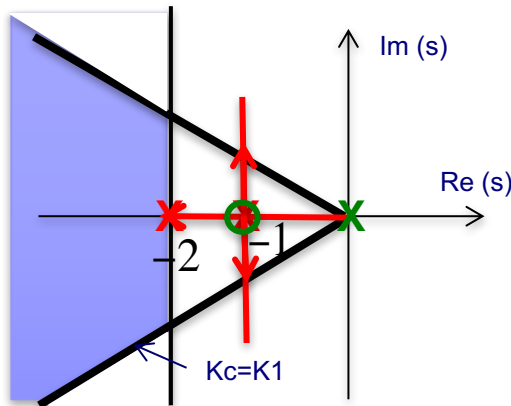
✓ Diseinu analitikoa erduetan oinarritua

■ 4. ADIBIDEA:

2. Beharrezkoa da I akzioa?

- Iraunkorreko posizio-errorea nulua izatea eskatu denez, sistema berrelikatua 1 motakoa izan beharko da. Begizta irekiko transferentzi funtzioak ez daukanez $s=0$ polorik (integratzailerik), I akzioa sartu beharko da. PI kontrolagailua frogatuko dugu.

3. Marraztu Erroen Tokia: Ba al dago intersekzioirik?



$$G_{PI}(s) = \frac{K_c(s+z)}{s} \xrightarrow{\text{siendo } z=1/T_i} G_{BA}(s) = \frac{K_c(s+z)}{s(s+1)(s+2)}$$

Kontrolagailuaren zeroarekin polo nagusia baliogabetuko dugu.

Beraz :

$$z = \frac{1}{T_i} = 1$$

ET marraztu eta intersekzioirik EZ dagoela ikus daiteke →

Beharrezkoa da ET ezkerrerantza eramatea. Froga dezagun PID kontrolagailua, eta bi zeroak sistemaren polo nagusiak baliogabetzeko erabili.

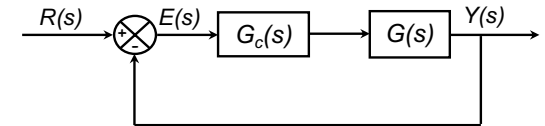
Kontrolagailuen Diseinua

■ PID-en sintonizazio-metodoak

✓ Diseinu analitikoa erduetan oinarritua

■ 4. ADIBIDEA:

4. K_c -ren kalkulua :



$$G_{PID}(s) = \frac{K(s+z_1)(s+z_2)}{s} \longrightarrow G_{BA}(s) = \frac{K(s+z_1)(s+z_2) \cdot 0,5}{s(s+1)(s+2)}$$

Kontrolagailuaren zeroekin polo nagusiak baliogabetzean, lehen ordeneko sistema bat lortuko da. Polo bakar hori 2 baino handiagoa bada, eskakizuna beteko da.

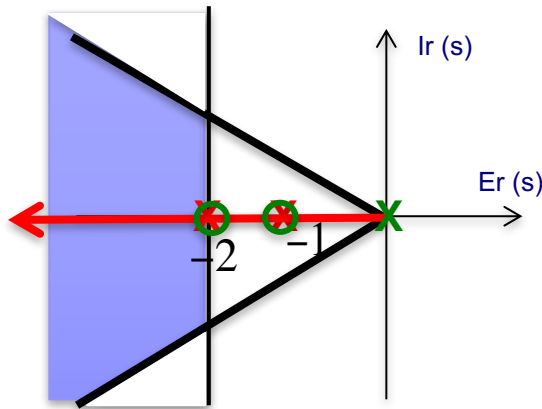
$$G_{BC}(s) = \frac{0,5K}{s+0,5K}$$

Begizta itxiko sistemaren poloa eskakizunak beteko diren eremuan egoteko, $0,5K > 2 \rightarrow K > 4$.

Kontrolagailuaren parametroen balioak identifikatzeko:

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_c \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) = K_c T_d \frac{s^2 + s/T_d + 1/(T_d T_i)}{s}$$

$$\frac{K(s+1)(s+2)}{s} = K_c T_d \frac{s^2 + s/T_d + 1/(T_i T_d)}{s} \rightarrow T_d = 1/3 \quad T_i = 3/2 \quad K_c \geq 12$$



Kontrolagailuen Diseinua

■ Kontrol Sistemen Diseinua

✓ PID-en sintonizazioa: metodo analitikoa erduetan oinarritua

✓2-3-4 Ariketak: (2013/01/23 azterketa)

Ondoren hiru sistema ezberdinen transferentzi funtzioa ematen da. Berrelikadura unitariodun begizta baten sartu eta, bakoitzarentzat, kontrolagailu errazena diseinatu behar da eskakizun batzuk betetzeko . Hiru sistemen eredia eta bete beharreko eskakizunak ematen dira.

Eskatzen dena:

1. Marraztu s planoko zein zonaldean kokatu behar diren begizta itxiko poloak eskakizunak bete daitezzen.
2. Azaldu eskakizunak bete araz dezakeela uste duzun kontrolagailurik sinpleena zein den.
3. Diseinatu kasu bakoitzean hautatutako kontrolagailua.

$G_1(s) = \frac{1}{s(s+10)}$	<ul style="list-style-type: none"> •ess=0 espaloi unitario-sarrerari •ts (%2) ≤ 4/10 s 	PD kontrola: Kc>100 y Td=0.1
$G_2(s) = \frac{(s+2)(s+5)}{4s(s^2+7s+10)}$	<ul style="list-style-type: none"> •ess=0 espaloi unitario-sarrerari •ts (%5) =1 s 	P kontrola: Kc=12
$G_3(s) = \frac{40}{(s+1)(s+2)}$	<ul style="list-style-type: none"> •ess=0 espaloi unitario-sarrerari •%12.25 < Mp < %25 •ts (%5) ≤ 6 s 	PI kontrola: 0,0826 < Kc < 0'15625 eta Ti=1

eman ta zabal zazu.

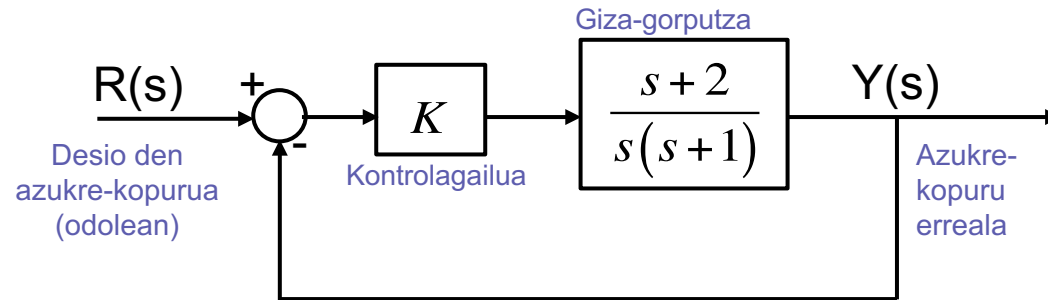


■ PID-en sintonizazio-metodoak

✓ EREDUETAN OINARRITUTAKO METODOAK

Ariketa:

Irudiko diagraman, odoleko intsulinaren kontrol-sistema automatikoa daukagu. Odoleko azukre-kopurua neurtzeko sensore bat dago, eta eragingailua ponpa bat da, insulina txertatuko duena.



Kalkulatu K -ren balioa (kontrolagailuaren irabazpena), intsulina injekzio baten ondoren, odoleko azukrearen espaloi-erantzunak ahalik eta gaindiketa txikiena izateko.

Kontrolagailuen Diseinua

Edukiak:

□ Sarrera

□ PID: Akzioak eta parametroak

□ PID-en sintonizazio-metodoak

✓ Sarrera

✓ Froga eta errorea

✓ Metodo analitikoak erduetan oinarrituak

✓ **Esperimentuetan oinarrituak**

■ PID-en sintonizazio-metodoak

✓ Esperimentuetan oinarrituak

Kontrolagailuaren parametroak kalkulatzeko erabiltzen dira taulak edo esperimendu baten erantzunetik estimatutako ezaugarri dinamikoetatik deduzitutako formulak

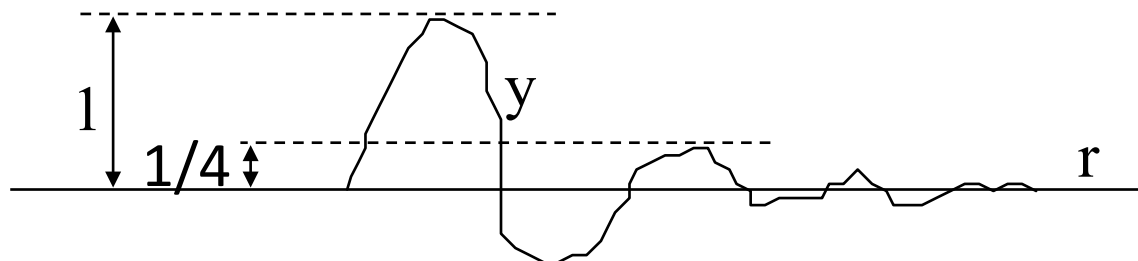
Erantzun osoan oinarrituta ($t=0$ eta $t \rightarrow \infty$ tartean)

- ◆ Errorearen integralean oinarrituta. Aukeratutako sintonizazioak, adierazle bat minimizatzen du

$$ISE = \int_0^{\infty} e^2(t)dt \quad IAE = \int_0^{\infty} |e(t)|dt \quad ITAE = \int_0^{\infty} t|e(t)|dt$$



Erantzunaren ezaugarri puntualetan oinarrituta



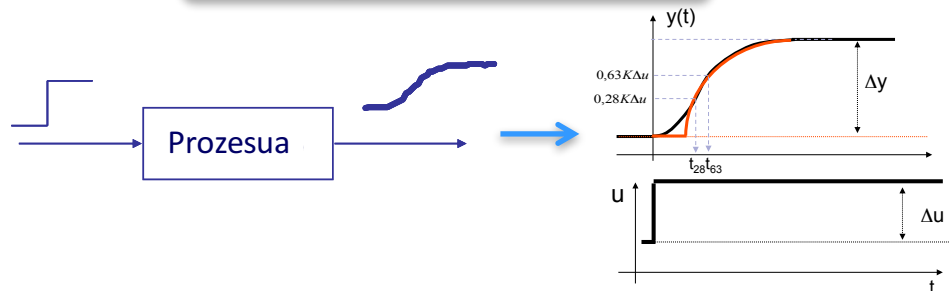
- ◆ Moteldura-erlazioa 1/4 (azpimoteldua, lehenengo gaindiketa bigarrena baino 4 aldiz handiagoa) **Ziegler-Nichols-en Metodoa**

Kontrolagailuen Diseinua

- PID-en sintonizazio-metodoak
 - ✓ Esperimentuetan oinarrituak

□ Ziegler-Nichols-en metodoa:

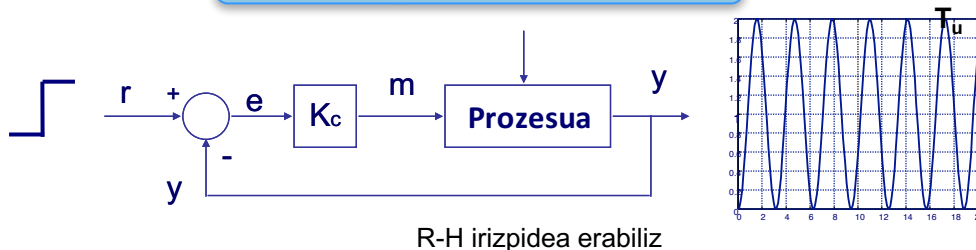
Begizta irekian:



$$G(s) = \frac{Ke^{-t_m s}}{\tau s + 1}$$

Kontrol-mota	Kc	Ti	Td
P	$\frac{1}{K} \left(\frac{T}{t_m} \right)$	-	-
PI	$\frac{0,9}{K} \left(\frac{T}{t_m} \right)$	$3 t_m$	-
PID	$\frac{1,2}{K} \left(\frac{T}{t_m} \right)$	$2 t_m$	$0,5 t_m$

Begizta itxian



$$K_u, T_u$$

Kontrol-mota	Kc	Ti	Td
P	$0,5K_u$	-	-
PI	$0,4K_u$	$0,8T_u$	-
PID	$0,6K_u$	$0,5T_u$	$0,125T_u$

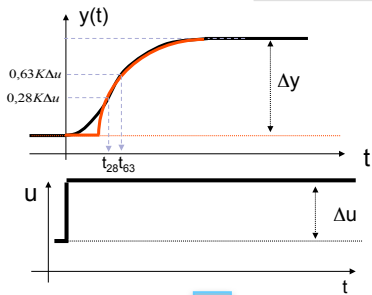
eman ta zabal zazu.



Kontrolagailuen Diseinua

- PID-en sintonizazio-metodoak
 - ✓ Esperimentuetan oinarrituak

Ziegler-Nichols-en metodoa: Begizta irekian



$$G(s) = \frac{Ke^{-t_m s}}{1 + Ts}$$

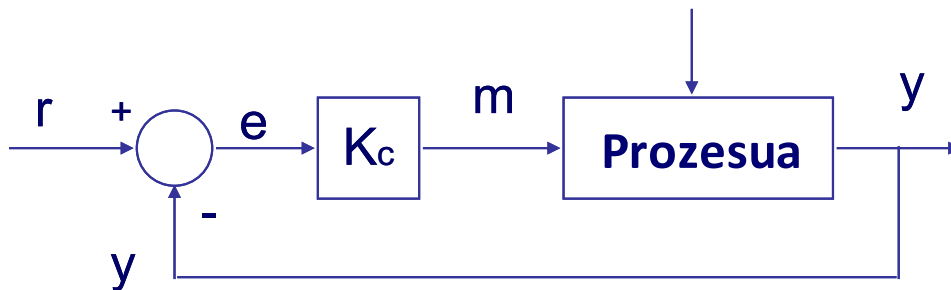
Kontrolagailu mota	Kc	Ti	Td
P	$\frac{1}{K} \left(\frac{T}{t_m} \right)$	-	-
PI	$\frac{0.9}{K} \left(\frac{T}{t_m} \right)$	$3 t_m$	-
PID	$\frac{1.2}{K} \left(\frac{T}{t_m} \right)$	$2 t_m$	$0.5 t_m$

- ✓ Moteldura-erlazioa = $\frac{1}{4}$, espaloi-sarreraren aurrean
- ✓ PID ez interaktiboa
- ✓ Erabiltze-tartea: $0,1 < Y = \frac{t_m}{T} < 1$

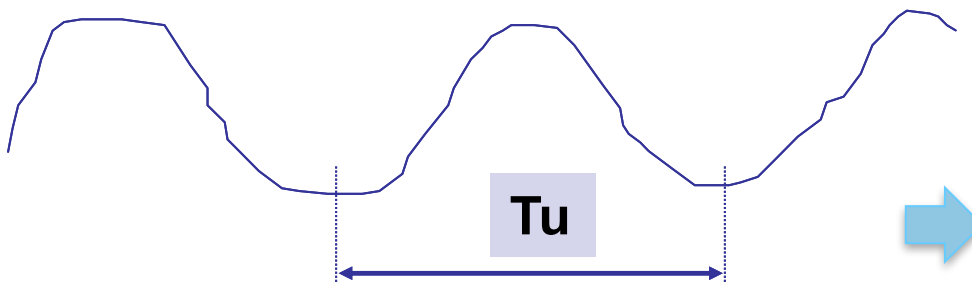
Kontrolagailuen Diseinua

- PID-en sintonizazio-metodoak
 - ✓ Esperimentuetan oinarrituak

Ziegler-Nichols-en metodoa: Begizta itxian



Begizta itxiko sistema kritikoki egonkor egiten duen K_c -ren balioa aurkitzean datza, K_u . Horretarako Routh-Hurwitz-en irizpidea erabiltzen da.



K_u : azken irabazpena
 T_u : oszilazioaren periodoa

Kontrolagailuen Diseinua

- PID-en sintonizazio-metodoak
 - ✓ Esperimentuetan oinarrituak

Ziegler-Nichols-en metodoa: Begizta itxian

- ✓ Moteldura-erlazioa $\frac{1}{4}$ espaloi-sarreraren aurrean

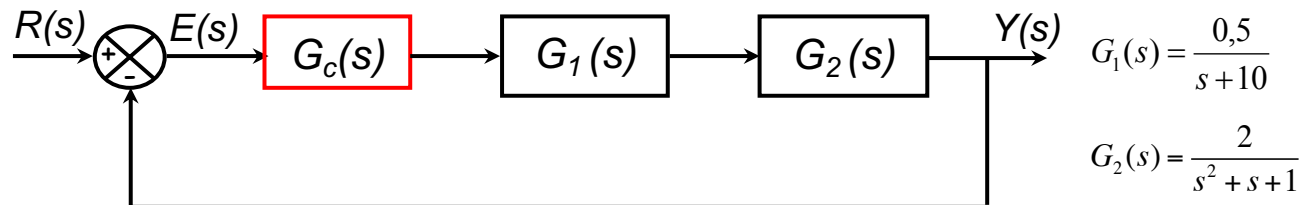
Kontrol-mota	K_c	T_i	T_d
P	$0,5K_u$	-	-
PI	$0,4K_u$	$0,8T_u$	-
PID	$0,6K_u$	$0,5T_u$	$0,125T_u$

Kontrolagailuen Diseinua

■ PID-en sintonizazio-metodoak

✓ Esperimentuetan oinarrituak

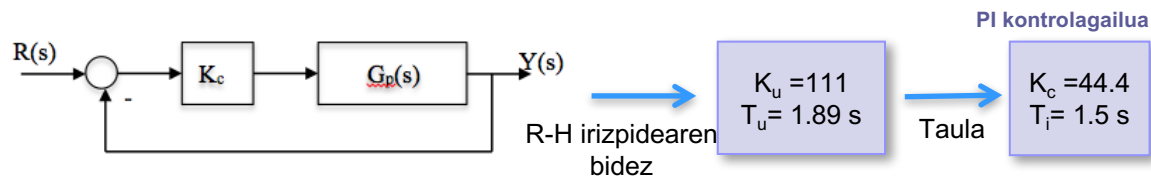
Adibidea: (2014ko ekaineko 2. problema) Sistema honetan, diseinatu kontrolagailurik sinpleena ondorengo eskakizunak betetzeko: erreferentziko espaloi-sarrerari iraunkorreko errorerik gabe jarraituz, erantzunaren moteldura-erlazioa $\frac{1}{4}$ izan dadila.



SOLUZIOA:

Lehen eta bigarren maximoen arteko erlazioa $\frac{1}{4}$ izatea eskatzen denez, eta sistema hirugarren ordenekoa denez, sintonizatorako esperimenteren bidezko metodo bat erabili behar dugu, Ziegler-Nichols-en begizta itxiko metodoa hain zuzen ere. Gainera, espaloiari errore barik jarraitu behar dionez, eta planta 0 motako denez, beharrezkoa da akzio integrala erabiltzea. Beraz, kontrolagailurik sinpleena PI izango da.

Horretarako, lehenengo P kontrolagailu modura ipini eta irabazpen eta periodo kritikoak kalkulatu ditugu (sistema kritikoki egiten duen K_c -ren balioa) :



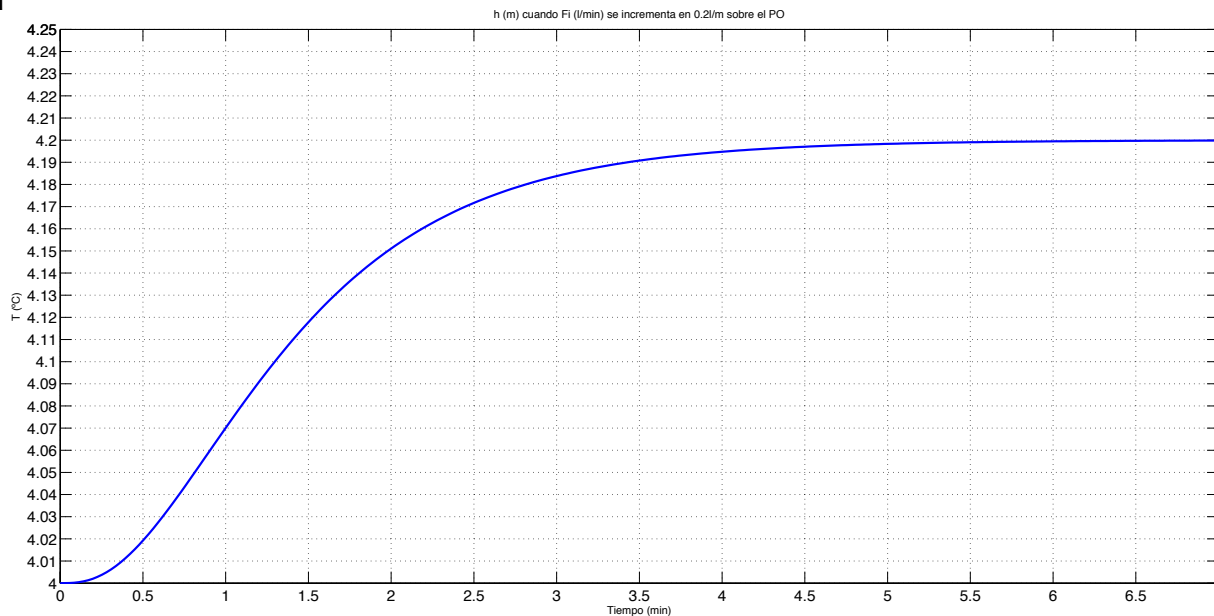
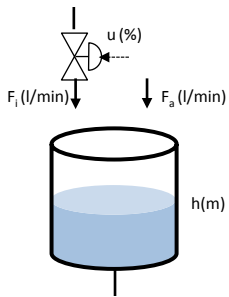
eman ta zabal zazu



■ PID-en sintonizazio-metodoak

✓ Esperimentuetan oinarrituak

Adibidea : Tanke-sistema honetan begizta irekian burututako esperimentuen bidez lortutako kurba hau ematen da, sarreran 0,2 l/min-ko espaloi-aldaketa egin denean zelan erantzun duen adierazten duena. Diseinatu kontrolagailu bat erreferentziako espaloi-sarrereri, iraunkorreko errore barik eta iragankorrean moteldura-erlazioa $\frac{1}{4}$ izango duena

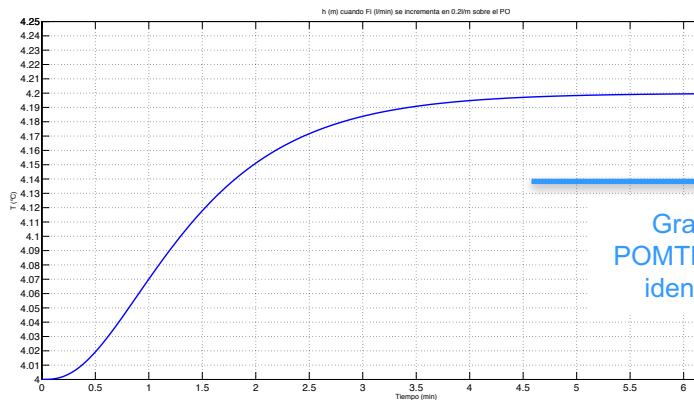
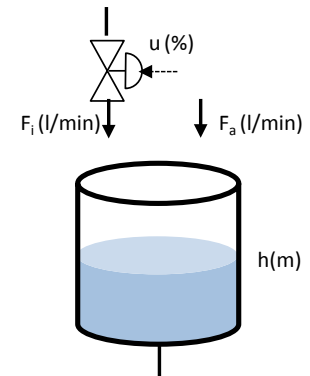


Kontrolagailuen Diseinua

- PID-en sintonizazio-metodoak
- ✓ Esperimentuetan oinarrituak

Soluzioa:

Lehen eta bigarren maximoen arteko erlazioa $\frac{1}{4}$ izatea eskatu, eta goi ordeneko sistema baten begizta irekiko espaloi erantzuna ematen denez, sintonizaziorako esperimenteren bidezko metodo bat erabili behar dugu, Ziegler-Nichols-en begizta irekiko metodoa hain zuzen ere. Gainera, espaloiari errore barik jarraitu behar dionez, eta planta 0 motako denez, beharrezkoa da akzio integrala erabiltzea. Beraz, kontrolagailurik sinpleena PI izango da.



Grafikotik
POMTM eredua
identifikatu

Irteerak 0.2 unitateko aldaketa sufritzen du, beraz:

$$y_{28}=4.056m \rightarrow t_{28}=0.875 \text{ min}$$

$$y_{63}=4.126m \rightarrow t_{63}=1.625 \text{ min}$$

Orduan:

$$\tau = 1.5(t_{63} - t_{28}) = 1.125 \text{ min}$$

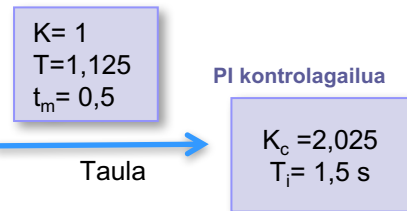
$$t_m = t_{63} - \tau = 0.5 \text{ min}$$

Irabazpen estatikoa:

$$K = \frac{4.2 - 4.01}{0.2 \text{ l/min}} = 1 \text{ m/l/min}$$

Eta horrela:

$$G_{POMTM}(s) = \frac{1}{1.125s + 1} e^{-0.5s} \frac{m}{\text{l/min}}$$



Bibliografia

- ❑ “Sistemas de Control Moderno”. Dorf, Richard C., Bishop, Robert H. (2005). **5. Kapitulua (ariketak, problemak).**
- ❑ “Ingeniería de Control Moderna” K. Ogata (traducción S. Dormido). (2010). **8. Kapitulua (1-2 atalak, problemak).**
- ❑ “Control Automático con herramientas interactivas”. JL Guzmán, R Costa, M. Berenguel y S. Dormido (2012). **7. Kapitulua (10 eta 11 atalak).**
- ❑ “Sistemas Automáticos”. F.X. Blasco Ferragud. M.A. Martínez Iranzo, J.S. Senent Español, J. Sanchis Sáez. (2000). **4. Kapitulua (1-5 atalak).**