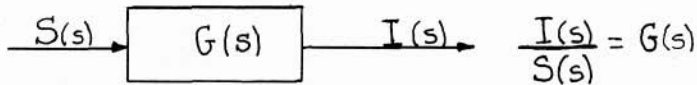


BERRELKADURA (feed-back)

Luis Emaldi

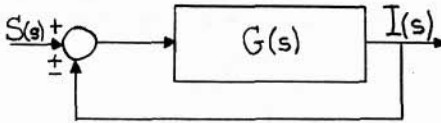
Berrelkadura Wiener-ek asmaturiko hitza dugu. Berak honela definitu zuen: «Sistemen kontrol metodo bat da, aurrez lorturiko irtekin sistema berrean sartzean datzana». Hau da, sistema baten aldiuneko emaitza sarrerako parametroen gain eragin erazten dugu.

Sistema gisa $S(s)$ funtzioa sartuz $I(s)$ lortzen den kutxa bat kontsideratzen baldin badugu:



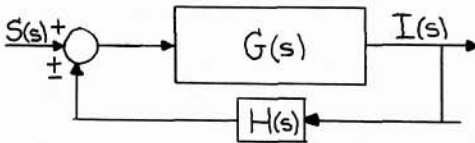
$$\frac{I(s)}{S(s)} = G(s)$$

sistema berrelkatua hau dateke:



$$\frac{I(s)}{S(s)} = \frac{G(s)}{1 \pm G(s)}$$

Kasu honetan irtekinak zuzenki sarkizunaren gain eragiten du, eta berrelkadura moeta hau unitaria deitzen da. Gehienetan berrelkadura lakioak sub-sistema bat osatzen du, zeini ondoko eskema hau baitagokio:



$$\frac{I(s)}{S(s)} = \frac{G(s)}{1 \pm G(s)H(s)}$$

Kutxa hauen lana seinale bat aldatuz beste bat sortzea da. Lan hau funtzio batez deskriba dezakegu. Funtzio horren izena transferentzi funtzioa da sistema linealen kasuan eta funtzio deskribatzailea sistema ezlinealen kasuan.

Ematen duen abantailetatik bat funtzio guztiak Laplaceren transformatuak izatea da eta horregatik s aldakaria darabilgu.

Gehienetan $S(s)$ funtzioa erreferentzi seinale bat baizik ez da eta horregatik $E(s)$ funtzioa akats seinale deitzen dugu.

ADIBIDEA

Formulatu dugunez, ez da erraz berrelikadura zer den ulertzea. Edonork uler dezan, adibide bat emanen dugu.

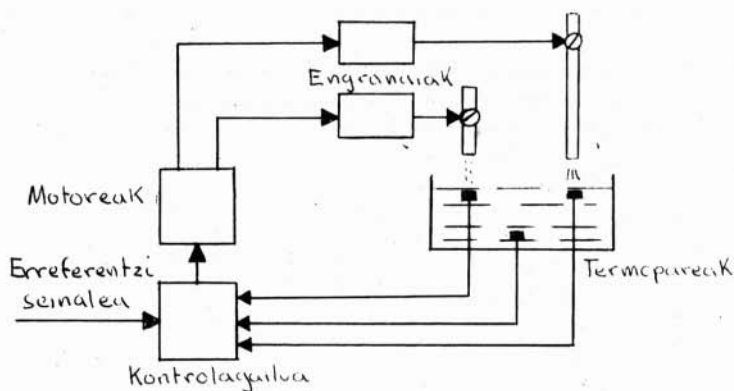
Demagun ontzi bat bete behar dugula, 15°C -koa temperaturatako urarekin, eta lan horretarako iturri bi ditugula, bati 4°C temperaturatako ura daria eta besteari 50°C -koa. Iturriak bi posizio soilik dituztela supozatzen dugu, hertsirik edo zabalik.

Sistema horren parametroak ondoko hauk ditugu: Sarkizuna, sarreran dugun funtzioa iturrien posizioak dira eta irtekin, ontziko uraren aldiuneko temperatura.

Ongi kalkula dezakegu iturri bakoitzak zenbat denbora egon behar duen zabalik, jarri ditugun baldintza guztiak betetzeko. Honela irterako funtzioak ez du inolako eraginik sarkizunaren gain; beraz, ez dago berrelikadurik.

Baina normalki beste era batera egiten dugu lan hori. Iturriak zabaltzen baditugu eta noiz behinka termometro batez uraren temperatura neurtu eta honen arauera iturriak hertsiki eta zabaldu egiten baditugu, berrelikatze bat egiten dugu.

Horrela, noski, ez dugu aurreratze handirik egiten. Benetan interesgarria kontrol hori automatikoki egitea zaigu. Uraren temperatura termopare batzurekin neur dezakegu, eta hauen seinale elektrikoa kontrolagailu baten bitartez desiratutako temperaturarekin gonbara. Hemendik akats seinale bat lor, honekin motore bat mugi eraz eta engranaia batzuz herts ala zabal ditzakegu. Honela, kontrolea automatikoki egitea lortu dugu.



KLASIFIKAPENA

Berrelikadura moeta bi bereiz daiteke: positiboa eta negatiboa.

Positiboaren kasuan irtekin sarkizunari gehitu egiten zaio eta negatiboan, aldiz, kendu.

Berrelkadura positiboak egoera ezegonkoi batetara darama sistema, negatiboak, egonkoitu egiten duen bitartean.

Sistemen teoria klasikoan berrelkadura negatiboa ikertzen da, sistemen egonkoitasunari ematen baitzaio garrantzi handiena. Baina sistema askotan ezegonkoitasun hori bilatzen da, elektronika digitala kasu, eta sistemak positiboki berrelkatzen dira.

Lantto honetan berrelkadura negatiboaz arituko gara.

SISTEMAK BERRELKATZEAREN ONDORIOAK

- a/ **Sistemen irabazpena guttitzea:** Irtekin eta sarkizuna moeta berdineko parametroak direnean, transferentzi funtzioa irabazpena bezala kontsidera dezakegu.

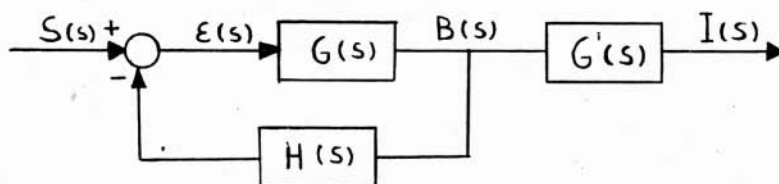
Sistema ez berrelkatu batetan, irabazpena zera da: $\frac{I(s)}{S(s)} = G(s)$

Baina sistema berrelkatzen baldin badugu: $\frac{I(s)}{S(s)} = \frac{G(s)}{1+G(s)H(s)}$

Beraz, sistema bat berrelkatzean, irabazpena $[1+G(s)H(s)]^{-1}$ guttitu egiten da.

$G(s)$ -k eta $H(s)$ -k frekuentziaren dependentsia baldin badute, orduan kasu batzutan, frekuentziaren arauera, irabazpen hori guttitu edo handitu egiten da.

- b/ **Barneparametroen aldaketarekiko sentikortasuna guttitzea:** Demagun ondoko eskema hau dugula:



Eskema honen transferentzi funtzioa hauxe dugu:

$$M_b = \frac{I(s)}{S(s)} \quad \text{Bainan } \begin{aligned} I(s) &= G'(s) B(s) \\ B(s) &= G(s) E(s) \\ E(s) &= S(s) - H(s) B(s) \end{aligned} \quad \text{dugu} \quad \text{eta}$$

$$\text{Operatuz: } \begin{aligned} B(s) &= G(s) S(s) - G(s) H(s) B(s) \quad \text{eta} \quad B(s) = \frac{G(s) S(s)}{1+G(s)H(s)} \\ I(s) &= G'(s) B(s) = \frac{G' G}{1+GH} S(s) \end{aligned}$$

$$\text{Beraz: } M_b = \frac{G' G}{1+GH} = \frac{\frac{G'}{G}}{\frac{1}{G} + H} \quad \text{izanen da}$$

G^{-1} , H baino askoz handiagoa balitz, orduan tranferentzi funtzioa $G \cdot H^{-1}$ litzateke eta G blokeko parametroen aldaketak sentigaitzak lirateke.

Hau da, $G \gg H^{-1}$ edota $GH \gg 1$ denean, G -ren aldaketarekiko sentikortasuna deuseztatzeraino guttitu egiten da. Beste era batetara esateko, berrelikatutako adarraren tranferentzi funtzioaren eragina desagertu egiten da.

Dakusagun orain, Bode-ren sentikortasunaren definizioa, eta hau erabiliz berrelikaduraren akzioa.

M funtzioak α parametroarekiko dependentzia badu, M -ren α -rekiko Bode-ren sentikortasuna ondoko hau da:
$$S_{\alpha}^M = \frac{\frac{dM}{d\alpha}}{M} = \frac{\alpha}{M} \frac{dM}{d\alpha}$$

Lakio zabalduan, berrelikatu gabeko sistemaren tranferentzi funtzioa hau dugu:
$$M_o = \frac{I(s)}{S(s)} = G'(s) G(s)$$

G -ren sentikortasuna funtzio honekiko hauxe dugu:
$$S_G^{M_o} = \frac{G}{M_o} \frac{dM_o}{dG} = 1$$

Lakio hertsian, sistemak berrelikadura adarrarekin M_b du tranferentzi funtzio bezela, eta G -ren sentikortasuna hauxe ukanen dugu:

$$S_G^{M_b} = \frac{G}{M_b} \frac{dM_b}{dG} = \frac{1}{1 \pm HG}$$

Beraz, sentikortasuna guttitu egiten dela berrelikadurarekin esan dezakegu.

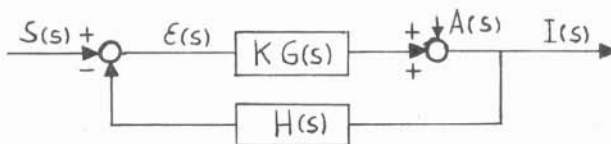
Lortu ditugun ondoriak bi puntutara labur ditzakegu:

1. — Berrelikatuz, adar berrelikatuaren tranferentzi funtzioaren garrantzia guttitu egiten da, berrelikadura adarrarena gehituz.
2. — Adar ezberrelikatuaren eragina, aldiz, ez da batere aldatzen beste adar batzuek berrelikatu arren.

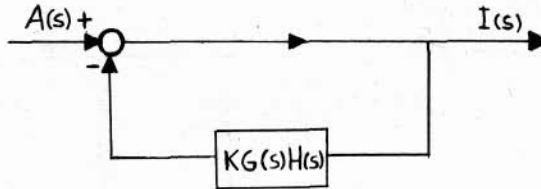
c/ **Irtekin asaldurarekiko sentikortasuna guttitzea:** Sistema bat osatzen duten elementuek barneko edo kanpoko kausaren bategatik, maiz seinale estrainu bat sortzen dute, guk sortu nahi duguna gutzituz aldatuz. Seinale horiei barnezarata esaten zaie ere, batez ere amplifikagailuetan.

Zarata seinale horik, ahal dugun neurrian, deuseztatu egin behar ditugu. Berrelikatuz lor dezakegu hori.

Asaldura kanpotik datorren A seinale bat bezala kontsidera dezakegu, nahiz eta sistema barruan sortu, etengabeki agertzen baitzaigu:



Suposa dezagun $S(s)$ zero dela. Kasu horretan sistema hori ondoko eran marraz dezakegu:



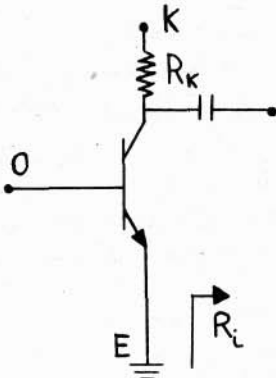
Sistema horren transferentzi funtzioa zera izanen da: $\frac{I(s)}{A(s)} = \frac{1}{1+KGH}$

Sistema ezberrelikatu bat bagenu transferentzi funtzioaren balioa bat izanen litzateke. Beraz, berrelikadurak irtekinaren asaldura $(1+KGS)^{-1}$ faktorean guttitu duela esan dezakegu.

- d/ **Erantzun iragankorra kontrolatzeko ahalmena:** Berrelikatze larkioan dugun transferentzi funtzioa guk aukera dezakeguna denez, honen bitartez sistema batetan nahi ditugun polo eta zeroak sar ditzakegu, eta honela altxatze eta ezarkuntza denborak guk nahi ditugunak izanen dira.
- e/ **Irtekinaren banda-zabalera kontrolatzea:** Sistema guztiek ez dute frekuentziarekiko dependentziarik erakusten eta horregatik kasu konkretu bat aztertuko dugu.

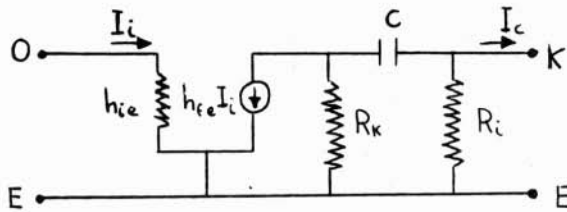
BJT - NPN transistorea azter dezagun. Lehen hurbiltze batetan zera ikus dezakegu: frekuentzia baxuetan, amplifikagailu bezala erabiliz, irabazpen gutti du, baina handituz doana, gero tarte zabal baten balio bat lortzen du eta bertan tinko geratzen da eta frekuentzia altuetan arintto ttitkitzen da.

Moeta honetako transistore bat honela marraz dezakegu:



Sarkizuna O oinharritik sartuko dugu eta irtekin kolektoretik, lortuko. Eskema horri emititzaile komuneko konfigurapena esaten zaio. Transistoreak zirkuitu baten barnean azaltzen dira. Zirkuituko beste elementu guztien eragina transistorearen gain inpedantzia batez, $R_{delakoaz}$, simula dezakegu.

Hau guztiau kontutan harturik, transistore horri ondoko zirkuitu baliokide sinplifikatua dagokio, frekuentzia baxu eta erdi-koetan:



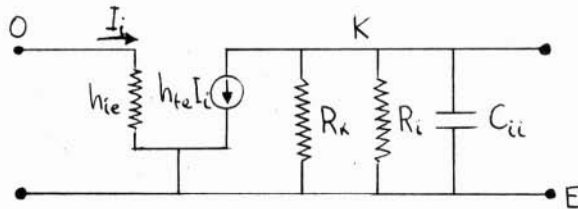
Frekuentzia oso baxutan izan ezik, jarri dugun kondentsagailu deselkartzatzaileak ez du inolako eraginik. Beraz, erdiko frekuentzietarako ondoko transferentzi funtzioa izanen dugu. $A_{I_o} = \frac{I_o}{I_i} = -\frac{h_{fe} R_k}{R_k + R_i}$

Frekuentzia baxuetan, aldiz, hau izanen da:

non $f_1 = \frac{1}{2\pi C(R_i + R_k)}$ baita. $A_I = -\frac{h_{fe} R_k}{R_i + R_k + \frac{1}{j\omega C}} = -\frac{A_{I_o}}{1 - j(f/f_1)}$

Honek erakusten digu, kondentsagailuak polo bat sartzen duela transferentzi funtzioan f_1 frekuentzietarako.

Frekuentzia altuetarako, transistoreetan efektu kapazitibo batzuek agertzen dira. Horien artean garrantzitsuenak P-N bilketaren alderantzizko polarizatzearen kausaz sortzen dena. Beraz, orain gure zirkuitu baliokidea honela geratuko litzake:

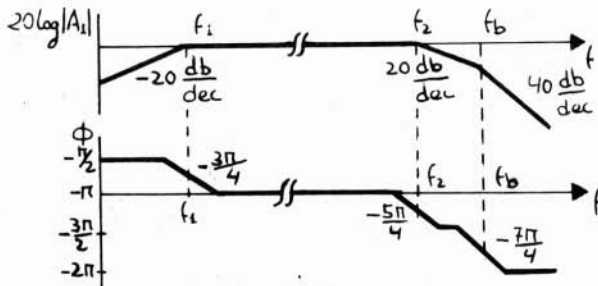


Orain transferentzi funtzioak kondentsagailuari esker polo bat agertzen da f_2 frekuentzietarako: $A_I = \frac{A_{I_o}}{1 + j(f/f_2)}$ non $f_2 = \frac{R_k R_i}{2\pi C_{ii}(R_k + R_i)}$ baita.

A_0 Konstante bezala erabili dugu orain arte; baina ez da benetako konstante bat, frekuentzia altuetan polo bat baitu.

Polo hori h_{fe} delakoaren bitartez sartzen zaio f_b frekuentzian.

Hau guztia Bode-ren diagrama batetan errepresenta genezake.



Demagun transistore horri berrelikapen lakio bat jartzen diogula, transferentzi funtzioa duena. Frekuentzia baxuetako transferentzi funtzio berria hau izanen da:

$$A_{I_f} = \frac{\frac{A_{I_o}}{1-j(f_1/f)}}{1+\beta \frac{A_{I_o}}{1-j(f_1/f)}} = \frac{\frac{A_{I_o}}{1-\beta A_{I_o}}}{1-j \frac{f_1}{f} \frac{f_1}{1+\beta A_{I_o}}}$$

Beraz, orain izkina frekuentzia berria $(1 + A)$ aldiz zaharra baino tti-kiagoa dugu, eta jarri dugun transferentzi funtzioarekin nahi dugun bezainbestekoa egin dezakegu.

Frekuentzia altuetan hauxe genuen: $A_I = \frac{A_{I_o}}{1+j(f/f_2)}$

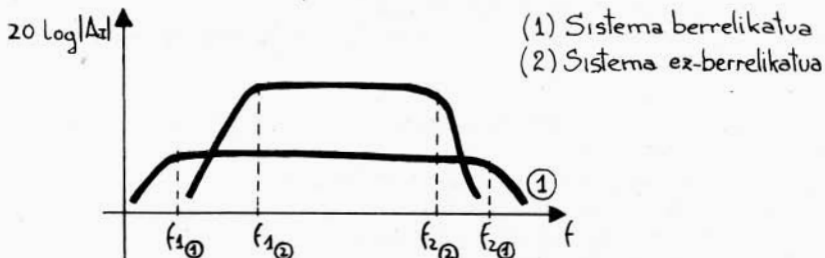
Lehen egin dugun bezalaxe, hauxe geratzen zaigu

$$A_{I_f} = \frac{\frac{A_{I_o}}{1+j(f/f_2)}}{1+\beta \frac{A_{I_o}}{1+j(f/f_2)}} = \frac{\frac{A_{I_o}}{1+\beta A_{I_o}}}{1+j \frac{f}{f_2(1+\beta A_{I_o})}}$$

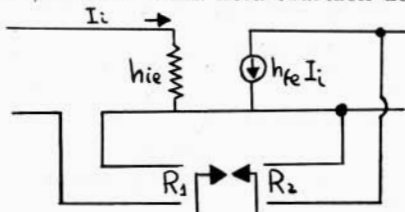
Honela, poloa $(1 + A_{o})$ bider handiago den frekuentzia batetara eramandu dugu.

Berrelikatuz banda-zabalera handitu egiten dugu, eta nahi dugun neurrian gainera, gure gustura alda baitezakegu.

Eskema batez ikus dezakegu, berrelikapenak frekuentziarekiko erantzunaren gaineko ekintza.



f/ **Sarrerako eta irteerako inpedantziaren aldatzea:** Zirkuitu sinplikatuko baliokidean, berrelikapura nola ezartzen den ikus dezakegu.



Berrelikadur lakioaren bidez, sarreran R inpedantzia bat agertzen da serietan, irteeran aldiz, R paralelotan.

Eta, froga daitekenez, hemen soilik aipatu egin duguna, sarrerako inpedantzia ($1 + A$) faktoreaz biderkatuta ateratzen da eta irteerakoa faktore berdinez zatitua.

Honela gauza positibo bat lortzen dugu: Sarrerako inpedentzia oso handia eta irteerakoa oso txikia denean zirkuituetako beste elementu batzuren eragina ahuldu egiten da.

BIBLIOGRAFIA:

Benjamin C. Kuo, Sistemas automáticos de control, 5gn., Kapituluak, CELSA Barcelona 1973

Melsa - Schultz, Linear Control Systems. McGraw - Hill. New-York.

Millman - Halkias, Electrónica integrada, 13gn., Kapituluak, Editorial Hispano Europea, Barcelona 1976

ARTIKULUAREN HIZTEGIA:

Akats seinale = señal de error

anplifikagailu = amplificador

asaldura = perturbación

banda-zabalera = anchura de banda

barneparametro = parámetro interno

barnezarata = ruido interno

berrelikadura = realimentación

berrelikadura lakio = lazo de realimentación

emitatzaile komuneko konfigurapena = configuración en emisor común

egonkoitasun = estabilidad

engranaiak = engranaje

erantzun iragankor = respuesta transitoria

ezegonkoi = inestable

laplaceren transformatu = transformada de Fourier

erreferentzi seinale = señal de referencia

ezarkuntza denbora = tiempo de asentamiento

frekuentzia altu = alta frecuencia

» baxu = baja frecuencia

funtzio deskribatzaile = función descriptiva

irabazpena = ganancia

irteerako inpedantzia = impedancia de entrada

irtekin = salida (elementua)

izkina frekuentzia = frecuencia esquina

kolektore = colector

kondentsagailu deselkartzailu = condensador desacoplador

kontrolagailu = controlador

oinharri = base
P-N bilketa = unión P-N
Sarkizun = entrada (elementua)
Sarrerako inpedantzia = impedancia de entrada
sentikortasuna = sensibilidad
sistema lineala = sistema lineal
sistema ezlineala = sistema no lineal
termopare = termopar
transferentzi funtzio = función de transferencia
zirkuitu baliokide sinplifikatua = circuito equivalente simplificado