ERREGULAZIO-ZIRKUITUEN KALKULUA (Eta II)

5. ERREGULAZIO-ZIRKUITUEN KALKULU ESTATIKOA

Zehaztasuna eta konstantzia jakiteko, erregulazio-zirkuitua egoera geldikorrean behatzen da. Erregulazio-zirkuituko elementuen arteko erlazioak eta beraiengan jokatzen duten magnitudeak seinaleen fluxu-eskemez adieraz daitezke apal eta garbi.

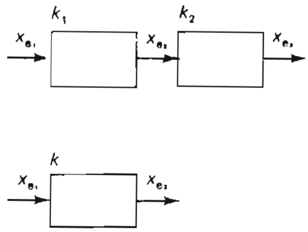
5.1. Anplifikazioa

Bitez x_e eta x_a erregulazio-zirkuitu bateko elementu baten sarrera eta irteerako magnitudeak. Kasu geldikorrean, x_a eta x_e arteko erlazioak ezartzen duen k faktoreari anplifikazioa deritzo. Nola x_a eta x_e erregulazio-zirkuituko magnitudeak diren (hau da, seinaleak) k-ri sarritan seinale-anplifikazioa deritzo.

Kontutan eduki behar da, noski, seinale-anplifikazioa ez dela potentzi anplifikazioa, eta ondo deritzat bigarren hau *erregulazio-teknikan* ez dela interesgarria esateari.

k faktorea zenbaki dimentsiogabea da: magnitude normalizatuz kalkulaturik dago.

Anplifikazio orokorra 13.iruditik lortzen da, erregulazio-zirkuitu bateko zenbait elementu seriean konektatuta, eta hauen faktoreen biderkadura eginez.



13. IRUDIA: Erregulazio-zirkuituko elementuen serieango konexioa

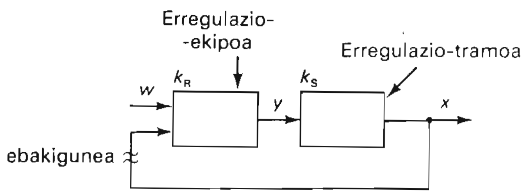
$x_{e_2} = k_1 \cdot x_{e_1}$ $\qquad$ $x_{e_3} = k_2 \cdot x_{e_2}$

$x_{e_3} = k_1 \cdot k_2 \cdot x_{e_1}$

$k = k_1 \cdot k_2$

5.2. **Erregulazio-zirkuituaren anplifikazio estatikoa**

Erregulazio-zirkuitua puntu batean ebakitzen badugu, katea ireki bat gertatzen zaigu (Ikus 14. irudia)

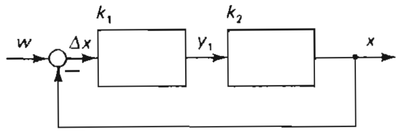


14. IRUDIA: Erregulazio-zirkuitua

Erregulazio-zirkuitu ebakiaren anplifikazioa, erreguladorearen anplifikazioa eta erregulazio-tramoa biderkatuz lortzen da. Emaitza honi erregulazio-zirkuituaren V_o anplifikazio estatikoa deritzo.

$$v_o = k_R \cdot k_S$$

15. irudian, asaldura-magnitudерik ez duen erregulazio-zirkuitu bateko seinale fluxu/eskema adierazten da.



15. IRUDIA: Asaldura-magnituderik ez duen erregulazio-zirkuitua

Izan bedi erregulazio zirkuituan w oinarri-magnitudea, eta x erregulazio-magnitudea. Beraz:

$$w - x = \Delta x \quad ; \quad y_1 = k_1 \, \Delta x \quad ; \quad x = k_2 \cdot y_1$$

$$x = k_1 \cdot k_2 \cdot (w - x) \quad ; \quad v_o = k_1 \cdot k_2$$

$$x = v_o \cdot (w - x) \quad ; \quad x = v_o \cdot w - v_o x$$

$$x = v_o x = v_o \cdot w \quad ; \quad x\,(1 + v_o) = v_o w$$

$$\boxed{x = \frac{v_o}{1 + v_o} \cdot w} \qquad (5.1)$$

Emaitza honek zera adierazten du: Zenbat eta v_o anplifikazio estatikoa handiagoa izan, x oinarri-magnitudea eta w erregulazio-magnitudea hainbat eta errazago topatuko direla.

5.3. Asaldura-magnitude batukor eta biderkakorrak

Erregulazio-zirkuituko seinaleekin zirkuituetan batuketaz jokatzen duten asaldura-magnitudeei asaldura-magnitude batukorrak esaten zaie. Asaldura-magnitude biderkakorrak erregulazio-zirkuituko elementuengan jokatzen dutenak dira. Hauek matematikoki asaldura-magnitudezko funtzio eta anplifikazioaren biderkaduraz adierazten dira.

5.4. Kalkulu-printzipioa

Asaldura-magnitudeek erregulazio-zirkuituan nola jokatzen duten jakiteko, asaldura-magnitude batukor eta biderkakorra banan-bana analisatzen dira.

5.4.1. *Asaldura-magnitude batukorrak*

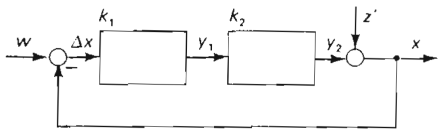
Baldin y_2 seinalearengan z asaldura-magnitudeak jokatzen badu, 16. irudiko bloke eskema lortzen da.

Zuzena da:

$$x = y_2 + z'$$

$$y_2 = k_1 \cdot k_2 \,(w-x)$$

$$x = \frac{v_o}{1 + v_o}\, w + \frac{1}{1 + v_o}\, z' \qquad (5.2)$$



16. IRUDIA: Asaldura-magnitudea batukorreko erregulazio-zirkuitua
z' = 'f (z) asaldura-magnitudearen efektua

$x = y_2 + z'$ ekuazioari dagokion asaldura magnitudearen z' efektua; erregulazioz $\frac{1}{1 + v_o}$ faktoreaz gutxitzen da, hau erregulazio-magnitudearekin topatzen denean.

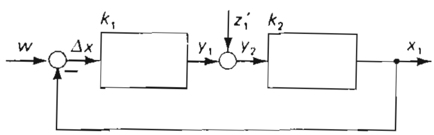
$\frac{1}{1 + v_o}$ ri erregulazio faktore deritzo.

$$R = \frac{1}{1 + v_o}$$

z' efektu hau erregulazio gabeko ekipo batean, x magnitudean sartuko litzateke bere osotasunean.

Erregulazio-zirkuituarengan jokatzen duten asaldura-magnitude efektuak, R bidez kalkula daitezke.

Kontuan eduki behar da 16.irudiko batuketa-puntuaren gain jokatzen ez duten asaldura-magnitudeak, lehendabizi batuketa-punturaino mugitu behar direla, ondorengo adibideak adierazten duen bezala (17.irudia).

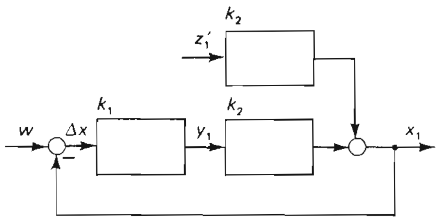


17. IRUDIA: Y_1-en gain asaldura-magnitudezko efektuak dituen erregulazio-zirkuitua

17.irudiak dioenez, ondo dago:

$$y_2 = y_1 + z_1'$$
$$x_1 = k_2\,(y_1 + z_1')$$
$$x_1 = k_2\,[(w - x_1)\cdot k_1 + z_1']$$
$$x_1 = k_2\cdot k_1 w - k_2 k_1 x_1 + z_1' k_2 \qquad (5.3)$$
$$x_1 = \frac{v_o}{1+v_o}\,w + \frac{1}{1+v_o}\cdot z_1'\cdot k_2$$

Ikusten den bezala x_1 erregulazio-magnitudearen gain z_1 k_2 asaldurak jokatzen du. (5.2) ekuazioa hartzen badugu garbi agertzen da $z' = z_1'$ k_2 beraz kalkulua errazteko edo ez egiteko batuketa-puntua lekuz alda dezakegu (18.irudia).



18. IRUDIA

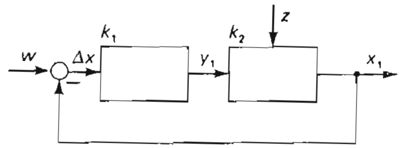
Magnitude erlatiboez kalkulatzen denez gero $\frac{1}{1+v_o}\cdot z_1'$ 100 balioak, z' asaldurak sortutako desbidaziotik gelditzen den zatia portzentaian ematen du.

5.4.2. *Asaldura-magnitude biderkakorrak*

Erregulazio-zirkuitu batean asaldureak ez badute inongo eraginik 5.4.1. atalak dioen bezala,

$$x = \frac{v_o}{1+v_o}\cdot w \qquad \text{(5.1) izango da.}$$

Erregulazio-zirkuituko elementu baten gain asaldura batek jokatzen badu, 19.irudian errepresentatu den bezala, honi asaldura biderkakorra deritzo.



19. IRUDIA: asaldura-magnitude biderkakorra duen erregulazio-zirkuitua

z-ren eraginez k_2-ak ondoko aldakuntza jasaten du:

$$k_{2,} = k_2 \cdot z, \; z' = f(z) \text{ izanez.}$$

Eta horrekin x erregulazio-magnitudea

$$x_1 = \frac{V_o \cdot z'}{1 + V_o \cdot z'} \text{ w-ra pasatzen da} \qquad (5.4)$$

z efektupeko erregulazio-magnitudearen desbidazioarentzat

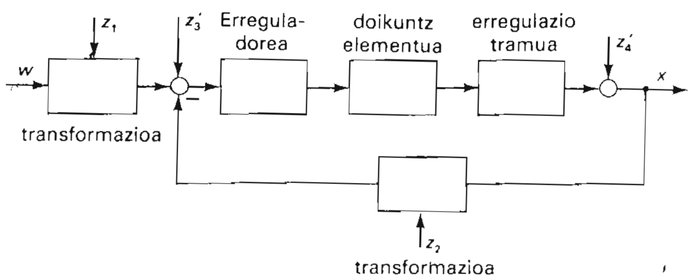
$$x_1 - x = \left(\frac{V_o \cdot z'}{1 + V_o \cdot z'} - \frac{V_o}{1 + V_o} \right) w \qquad (5.4a)$$

balore izendatuaren ekuazioa parentesi-parearen barruan dagoen adierazpenak 100-ekin biderkatuz gelditzen den erregulazio desbidazioa, portzentaian adierazten du.

5.5. **Errore erregulagarriak eta erregulaezinak**

Orain arte ikusitako asaldura-magnitudeak erregulazioz kontrolatu dira, gelditzen den erregulazio desbidazioa ez ezik.

Ondoren, Z_1-etik Z_4-ra asaldura-magnitudeen eraginpean dagoen zirkuitu bat aztertuko dugu (20.irudia).



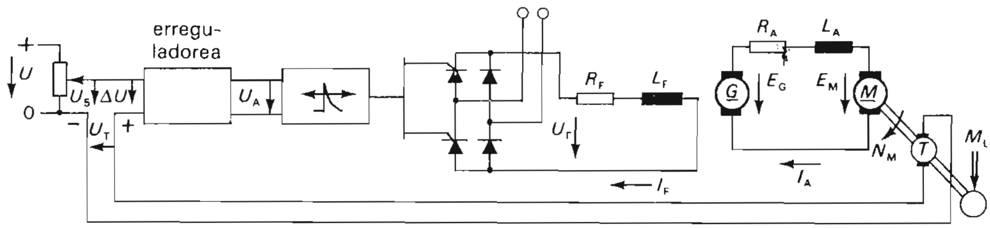
20. IRUDIA

Z_1'-ez oinarri magnitudearen eraldakuntzan erroreak sortzen dira (adibidez, U tentsioaren oszilazioak 8. irudiko erregulazioan) Z_2'-ak erregulazio-magnitudearen eraldakuntzan balio errealaren aldaketa bat sortzen du (adibidez: Takodinamoaren tenperaturarekiko menpekotasuna). Z_3'-ak balio teoriko eta errealen arteko diferentzia gezurtatzen du (erregulazio anplifikadorearen lerradura). Z_4' karga talka baten asaldura-magnitudearen efektua da.

Normalizazio bidez bloke-eskema lortzen da (21.irudia) sinplifikatzeko, asaldura-magnitudeak batukortzak hartzen dira.

Asaldura gabeko egoerarentzat, $z_1 = z_2 = z_3 = z_4 = 0$ balio dute

$$x = \frac{v_o}{1 + v_o} \cdot w$$



21. IRUDIA: Leonard akzionamendu-taldea bira-kopuruaren erregulazioarekin

z_1, z_2, z_3, z_4, asaldura-magnitudeak azaltzen badira, erregulazio-magnitudearentzat balio du:

$$x = \Delta x \cdot v_o + z_4'$$

$$\Delta x = w + z_1' + z_3' - (x + z_2')$$

$$x = v_o (w + z_1' + z_3' - z_2') - xv_o + z_4'$$

$$x = \frac{v_o}{1 + v_o} (w + z_1' - z_2' + z_2') + \frac{1}{1 + v_o} z_4'$$

Argi ikusten da z_1, z_2 eta z_3 asaldura-magnitudeak errore bezala sartzen direla erregulazioan eta z_4' asaldura erregulatzen dela soil-soilik.

Ondoko errore hauek ez dute edozein erregulaziotan eraginik, zehaztasunean sartzen bait dira erabat:

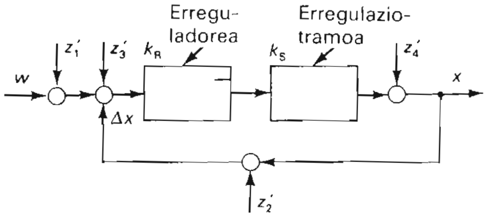
Balio teorikozko aparatu igorlearen erroreak

Balio erreaeko neurketaren erroreak

Atoi-erreguladorearen erroreak

5.6. **Kalkulu-adibidea**

21-a. IRUDIA



(Erregulazio zirkuitua era normalizatuan)

Karga-parearen efektua, asaldura-magnitude bezala, motorearen bira-kopuruaren gain ikertzen da.

5.6.1. *Doikuntz elementua eta erregulazio-tramoa*

Elhuyar 22. zenbakian kalkulatu zen elkarrekin zer nolako lotura zuten inpultsorezko aginte-aparatuaren sarrera-magnitudeak, m_L karga-pareak eta n_M bira-kopuruak (3.7), ekuazio hau lortuz:

$$n_M\, u_A - \frac{1}{k_A}\, m_L \qquad (5.5)$$

5.6.2. *Erreguladorea*

Erreguladorearen portaera egonkorra V_o anplifikazio estatikoarekin ondoko ekuazio honek adierazten du

$$\boxed{U_A = V_o\,(U_S - U_T)} \qquad (5.6)$$

$U_{SN} = U_{TN}$ suposatzen badugu, normalizazioak zera emango du:

$$\frac{U_A}{U_{AN}} = V_o \cdot \frac{U_{SN}}{U_{AN}} \left(\frac{U_S}{U_{SN}} - \frac{U_T}{U_{SN}} \right)$$

$u_A = v_o \cdot (u_S - u_T)$ eta aipatutako anplifikazioarekin

$$v_o = V_o\, \frac{U_{SN}}{U_{AN}}$$

Irteera eta sarrerako magnitudeek balio izendatu berdinak izaten dituzte normalean (adibidez, tentsio izendatua 10) Orduan

$U_{SN} = U_{TN} = U_{AN}$ egia da

beraz, $\boxed{v_o = V_o}$ (5.7)

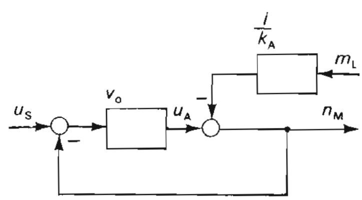
5.6.3. *Neurri-elementua*

Takometro-makinaren irteerako tentsioa bira-kopuruaren proportzionala da. Era normalizatuan,

$U_T = n_m$ lortzen da.

5.6.4. *Seinaleen fluxu-eskema*

(5.5) eta (5.7) ekuazioak ditugunez gero, erregulazio-zirkuituko seinaleen fluxu-eskema egin daiteke



22. IRUDIA: Erregulazio-zirkuituko seinaleen fluxu-eskema, (21-a) irudiak dioenez, kargaparea duelarik asaldura-magnitude bezala (egoera egonkorra)

5.6.5. *Emaitza*

Labur bilduz, oinarri, asaldura eta erregulazio-magnitudeen erlazioaren ekuazioa behin betiko gelditzen da:

$$n_M = v_o (u_S - n_M) - \frac{1}{k_A} m_L$$

$$\boxed{n_M = \frac{v_o}{1 + v_o} u_S - \frac{1}{1 + v_o} \cdot \frac{1}{k_A} m_L} \qquad (5.8)$$

Akzionamendu gabeko erregulazioan (ikus Elhuyar 22.zenbakiko 5. irudia) $\frac{1}{k_A}$ m_L asaldura-magnitudearen efektua $\frac{1}{1+v_o}$ faktoreaz (21-a irudiko erregulazioz gutxitzen da.

ZENBAKIZKO ADIBIDEA

$$k_A = 10 \qquad v_o = 1000$$

$$n_M \approx u_S - \frac{1}{10^4} \cdot m_L$$

motorearen pare izendatuaren % 100-ko karga-talka batez bira-kopurua ‰ 0,1 jaixten da.

Orokorki, ondo dago zera esatea:

Erreguladoreak anplifikazio estatikoa altua badu, erregulazio baten, zehaztasuna edo konstantzia errore erregulaezinen menpean daude.

Anplifikazio estatikoa oso altua badu ($v_o > 10^4$) nahikoa da errore erregulaezinak jakitea errore erregulagarriak eragindako erregulazioaren desbidazio txiki-txikia kontutan hartu gabe.

Kasu hauetan ez da erregulazio-zirkuituaren inongo kalkulu estatikorik behar.

6. ERREGULAZIOAREN DINAMIKAREN OINARRI MATEMATIKOAK

Bi ekuazio-motaz deskriba daiteke sistema erreal bat.

1.—Egoera egonkorra deskribatzen dutenez, eta
2.—Prozesu dinamikoak deskribatzen dituztenez.

Orain arte egin diren kontsiderazio guztietan prozesu egonkorrak ukitu izan dira soil-soilik; hots, adierazi diren ekuazioek egoera egonkorrerako balio dute, ez beste egoeretarako.

Baina erregulazio baten ikasketa egiteko, egoera egonkorra eta jokaera dinamikoa ezaugarritzen dituzten ekuazioak behar dira.

Ondoko orrialdeetan definituko da zer motatako ekuazioak betetzen dituzten aipatutako beharrak.

6.1. Ekuazio diferentzialak

Sistema erreal guztiak zenbait kanpo-magnitudez eraginda daue (adibidez, oinarri-magnitudea, asaldura-magnitudeak). Magnitude hauen egoera-aldakuntza baten ondoren, sistema prozesu dinamikoen menpe gelditzen da. Sistemaren magnitudeak denborarekin aldatu egiten dira.

Ekuazioak planteatzeko garaian goraxeago aipatutakoa gogoratu behar da. Honekin ikusten denez, sistema baten egoera orokorra ekuazioen bidez deskribatzen da.

Ekuazio hauetan, noski, zerak azalduko dira: sistemaren magnitudeak eta hauekin batera denborarekin izan dituzten aldakuntzak.

Ekuazio hauei diferentzialak deritze.

Akzionamenduen teknikan, prozesu dinamikoak ondoko balio ezaugarriz eraginda daude.

L Induktibitatea

C Kapazitatea

Ⓗ Inertzi momentua $Ⓗ = \frac{GD^2}{4g}$

GD^2 inertzi faktorea eta $g = 9{,}81\ m/s^2$ grabitatearen azelerazioa izanez.

Akzionamenduen teknikaren erregulazio-zirkuituetan denborarekiko magnitude aldakorrak lehen aipatutako ezaugarriekin ondorengo oinarrizko hiru ekuazioen bidez lotuta daude:

Bobina bat korronte batez erasoz gero, bertan azaltzen den tentsioarentzat.

$$\boxed{U(t) = L \frac{dI(t)}{dt}} \qquad (6.1)$$

Kapazitate batean barrena doan I (t) korrontea tentsio erasotzailea denborarekiko deribatuz lortzen da.

$$\boxed{I(t) = C \frac{dU(t)}{dt}} \qquad (6.2)$$

Sisteman jokatzen duten momentu guztien batura abiadura angeluarraren denborarekikon aldaketaren proportzionala da

$$\Sigma M(t) = M_B(t) = M_M(t) - M_L(t) = \frac{dw(t)}{dt} \cdot Ⓗ$$

M_B (t), pare azeleratzailea da, eta motore-parea [M_M (t)] eta karga-parearen [M_L (t)] kenketaz definitua dago, w (t) = dw (t) (dt azelerazio angeluarrean). Akzionamenduen teknikan w (t)-ren orden, N (t) bira-kopurua erabiltzen da eta Ⓗ -ren ordez GD^2 inertzi faktorea.

$$w(t) = 2\pi f = \frac{2\pi}{60} N(t)$$

$$Ⓗ = \frac{GD^2}{4g} = \frac{GD^2}{4 \cdot 9{,}81}$$

Honekin, azelarazio-parearentzat zera lortzen da

$$M_B(t) = \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{1}{4 \cdot 9{,}81} \cdot GD^2 \frac{dN(t)}{dt}$$

$$\boxed{M_B(t) = \frac{GD^2}{375} \frac{dN(t)}{dt}} \qquad (6.3)$$

(6.1), (6.2) eta (6.3) formulek adierazten dutena hauxe da hain zuzen:

1. Bobina batean barrena zirkulatzen duen korrontea ezin daiteke bat-batean aldatu.
2. Kapazitate batean tentsioa ezin daiteke bat-batean aldatu.
3. Masa biratzaileen bira-kopurua ezin daiteke bat-batean aldatu.

Hau guztiau sinets arazteko, sistema erreal bateko magnitudeak mugatuak direnekoan oinarritzen gara.

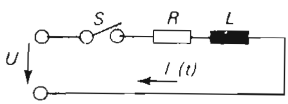
Denborarekiko bat-bateko aldaketa baten deribatua magnitude mugagabe batez lor daiteke soil-soilik.

Beraz, honek zera esan nahi du, aginte edo erregulazio baterako egoera egonkor baten ondoren ezin dela beste egoera egonkor batera bat-batean igaro.

Beraz, kanpo-magnitudeen aldakuntzaz, lehendabizi trantsizio-egoera bat aurkeztu behar da (trantsizio-egoerari ere prozesu oszilatzaile deritzo).

1. Adibidea

23. irudiko zirkuitua dugu (adibidez, generadore baten eremua).



23. IRUDIA: Induktantzia eta erresistentzia okmikoa tentsio-iturrian

Galdera

S etengailua itxi ondoren zein izango da korrontearen denborarekiko garapena?

Emaitza

$$\boxed{RI(t) + L\frac{dI(t)}{dt} = U} \qquad (6.4)$$

Erlazio hau lehen mailako ekuazio diferentzial lineal ez-homogeno bat da.

Lineala: R eta L koefizienteak konstanteak dira.

Ez-homogenoa: Ekuazio diferentzialaren emaitza ez da zero, egoeraren asaldura bat bait dago, asaldura hau U kanpo-magnitudeak sortzen duelarik.

Lehen mailakoa: Sistemaren I (t) aldagaiaren denborarekiko lehen deribatua azaltzen da soil-soilik.

(6.4) formularen eztabaida

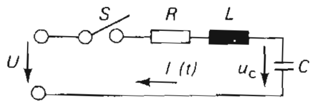
Ekuazioan $\frac{dI(t)}{dt}$ azaltzen da, beraz I (t) korrontea ezin daiteke tarteka-marteka alda, zirkuitua konektatu ondoren. Korrontea zero zen S etengailua itxi baino lehen. Hau itxi ondoren, aldiz, korronteak zerotik azken baliora arte igo behar du.

Korrontearen azken balioa sistemaren egoera egonkorrak ematen du eta hau bera U kanpo-magnitudez (egonkorra noski) zehazturik dago. Kasu honetan, nola U = konstante (korronte zuzena) izan behar duen, egoera egonkorrerako $\frac{dI(t)}{dt} = 0$ eta korrontearen azken balioa $I_{egonkorra} = U/R$ izango da.

Neurketak eginez zera ikusten da, korronteak azken balioraino jarraitzen duen bidea funtzio exponentzial batena dela, alegia, ekuazio diferentzialaren emaitza funtzio exponentzial eta konstante batez osaturik egongo dela. Aurrerago ikusiko dugu hori.

2. **Adibidea**

24. irudiko zirkuitua eman ondoren



24. IRUDIA: Ohm erresistentzia, Induktantzia eta Kapazitatea

Galdera

Zenbatekoa izango da kapazitatean tentsioaren denborarekiko garapena?

Emaitza

$$R \cdot I(t) + L\frac{dI(t)}{dt} + U_c(t) = U \qquad (6.5)$$

(6.2) ekuazioak dioenez

$$I(t) = C\frac{dU_c(t)}{dt}$$

I (t) hau (6.5)-ean aldatuz

$$LC\frac{d^2U_c(t)}{dt^2} + RC\frac{dU_c(t)}{DT} + U_c(t) = U \qquad (6.6)$$

(6.6) ekuazioa diferentzial lineala da, ez-homogenoa eta bigarren mailakoa.

Orain arte ezarritakoari jarraituz, ez U_c (t)-k eta ez I_c (t)-k ezin dezakete jasan aldakuntza bat-batekorik.

S etengailua itxiz gero U_c (t) eta $\frac{dU_c(t)}{dt}$-ren balioak egoera egonkorrek agintzen duen tamainan hazi behar dute azken balioetaraino. 2. adibidean U = konstante hartu da; beraz, honek zera adierazten du, U_c-ren azken balioak U tentsio eŕasotzailearen berdina izan behar duela; eta U, konstantea da.

Beraz $\frac{dU_c(t)}{dt}$-ren azken balioak zero izan behar du.

Neurketek erakusten dutenez, R, L eta C egoki aurkeztuz gero U_c (t) tentsioa, bai oszilazio indargetu baten eran eta bai prozesu aperiodiko baten eran hazten da azken balioraino. Ekuazio diferentzialaren emaitzak egiaztatzen ditu orain arte esandakoak.

Ekuazio diferentzial lineal ez-homogeno baten emaitza, emaitza partzial homogenoez eta emaitza partzial ez-homogenoez osaturik dago.

Emaitza partzial homogenoek fenomeno trantsitorioa adierazten dute, eta ez-homogenoek egoera egonkorra.

Emaitza partzial homogenoa orokorki aldagai exponentzialaren aldaketaz lortzen da

$$x_A = A\ e^{\alpha t} \qquad (6.7)$$

x_A sisteman bilatu behar den aldagaia izanik (1. eta 2. adibideetan I (t) eta U_c (t)).

Ekuazio diferentzial batean

$$x_A + a_1\dot{x}_A + a\ddot{x}_A = kx_E \qquad (6.8)$$

$$\frac{d}{dt}x_A = \dot{x}_A \cdot \frac{d^2}{dt^2}\ x_A = \ddot{x}_A$$

(6.7) aldagai berriaren berretzailea lor daiteke (6.8) ekuazioan lortu ditugun balioak aldatuz.

$$A\ e^{\alpha t} + a_1\ A\ e^{\alpha t}\ \alpha + a_2\ A\ e^{\alpha t}\ \alpha^2 = 0 \qquad (6.9)$$

Ekuazioaren aldakuntzaz zera lortzen da

$$A\ e^{\alpha t}\ (1 + a_1\alpha + a_2\alpha^2) = 0 \quad ; \quad 1 \ddot{+} a_1\alpha + a_2\alpha^2 = 0 \qquad (6.10)$$

$$\alpha_{1,2} = -\ \frac{a_1}{2a_2} \pm \sqrt{\left(\frac{a_1}{2a_2}\right)^2 - \frac{1}{a_2}}$$

Honekin, ekuazio diferentzial lineal ez-homogenoari dagokion ekuazio homogenoaren soluzioaren berretzailea lortu dugu.

(6.10) emaitza partzial homogenoaren berretzailearen ekuazioari ere, ekuazio diferentzialaren "ekuazio karakteristikoa" deritzo.

Nola emaitza partzial homogenoak egoera dinamikoa ezaugarritzen duen, garbi adieraz daiteke igarotzen den edo nola igarotzen den sistema azken egoerara, ekuazio karakteristikoarekin.

Sistema lineal bat ekuazio diferentzial batez deskriba daiteke. Eta hau, bestetik, honela lor daiteke: erregulazio-zirkuituko elementu desberdinen ekuazio diferentzialen konbinazioaz, behar diren aldakuntzak eginaz noski.

Orokorki, erregulazio-zirkuitu bateko ekuazio diferentziala eta berarekin ekuazio karakteristikoak bigarren gradua baino handiagoa izango dute. Ekuazio hauen emaitza lortzea oso zaila da; edo, hobeki esanda, nahaslea da. Eta, gainera, kasu gehienetan ordenadorez askatu beharrekoa.

Beraz, erregulazio-arazoen ikasketan beste era batzuk erabiltzen dira jokaera dinamikoa zehazteko.

Ez da beharrezkoa sistema orokorraren ekuazio diferentziala askatzea eta lortzea. Nahikoa da erregulazio-zirkuituko elementuen ekuazio diferentzialak planteatzea.

Jokabide arrazoizkoena zera da: zirkuituko elementuen ekuazio diferentzialak ahalik ordena apalenekoak izan daitezen lortzeko, zirkuitua behar adinbat elementutan banatzea (ordena horrek bigarrenekoa izan behar du gehienik).

Ekuazio diferentzial linealak koefiziente konstantea dutenen bidez deskribatutako erregulazio-zirkuituko elementuak ere (aurrerago erakutsiko den bezala) maiztasun-erantzunen laguntzaz aski deskriba daitezke.

Nola elementu hauen maiztasun-erantzunak funtzio razionalak diren, ohiturazkoa da erregulazio-zirkuituko elementu hauei elementu razionalak esatea (R. elementua).

25. irudiko taulako ekuazioak era normalizatuan daude. Beraz, sarrera eta irteerako magnitudeak balio izendatuarekikoak dira.

k anplifikazio-faktorea dimentsiogabea da. T denbora-konstanteak segundo dimentsioa du.

R elementua	ekuazioa
P	$x_a = k \cdot x_e$
I	$T \dot{X}_a = x_e$
PI	$T \dot{X}_a = k \, (x_e + T \dot{X}_e)$
D	$x_a = T \dot{X}_e$
PD	$x_a k \quad x_e + k T X_e$
VZ_1	$T \dot{X}_a + x_a = k \cdot x_e$
VZ_2	$T^2 \ddot{X}_a + 2d T \ddot{X}_a + x_a = k \cdot x_e$
VD	$T \dot{X}_a + x_a = k \cdot T \ddot{X}_e$

P: jokaera proportzionala
I: jokaera integrala
D: jokaera diferentziala
VZ_1: lehen mailako elementu atzeratzailea
VZ_2: bigarren mailako elementu atzeratzailea
VD: atzeratze-jokaera diferentziala

25. IRUDIA: Gehien erabiltzen diren elementu razionalen erlazioa eta beraien ekuazio diferentzialak

Adibidea

(6.6) ekuazioaren, U sarrera-magnitudea balio izendatura normalizatzeak zera ematen du:

$$LC\frac{d^2u_c}{dt^2} + RC\frac{du_c}{dt} + u_c = u \qquad (6.11)$$

$$u_c = \frac{U_c(t)}{U_N} \text{ eta } u = \frac{U}{N_N} \text{ izanez.}$$

Bigarren mailako elementu atzeratzaile baten ekuazio diferentzialaren era orokorra hau da:

$$T^2\ddot{x}_a + 2dT\dot{x}_a + x_a = k \cdot x_e \qquad (6.12)$$

(6.11) eta (6.12) formulen konparazioa eginez zera lortzen da, $x_a = u_c$ eta $x_e = u$ eginez.

$$T^2 = LC \quad , \quad 2dT = RC \quad , \quad k = 1$$

T (Denbora-konstantea) eta d (indargetzea) parametroak.

$$T = \sqrt{L \cdot C} \qquad d = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}} \text{ izango dira.}$$

(jarraitzeko)

J. M. ITURRIOZ