

Florin SANDU

Ioana Corina BOGDAN

SEMNALE ȘI SISTEME

Analiza și Sinteză
Circuitelor Electronice



- 2023 -



EDITURA
UNIVERSITĂȚII
TRANSILVANIA
DIN BRAȘOV

RTGHC C

Vgocvkec" ceguvvgk" nwet tk" g" ,pecftcv " ,p" Dc|gng" Gngevtqpkekk." hkkpf" qtkgpvcv " rg" metodele fg" cpcnk| " uk" ukpvg| " c" ektewkvgnqt" i sistemelor i mai pu in pe func ie sau *structură*. Se are în vedere însu irea instrumentelor generale de abordare a sistemelor gngevtqpkeg."ew"crnkecdknkvcvg"ownvkfkuekrnkpc 0""

Hqtoctgc" wpqt" fgrtkpfgtk" fg" ecnewn" xk|gc| " ock" cngu" hwpe iile de ektewkv" ,p" rgturgevkk " cpcnkvke " qrgtc kqpcn " rtgewo" i în vederea sintezei pe baza unor prototipuri i modele *active* care *transcend* categoriile uzuale (dintre care, mai des întâlnite, sunt amplificatoarele). Accentul se pune adesea pe dualitate i simetrie, ,p" xgfgtgc" ,peqtrqt tkk"ceguvqt" "nuclee active" în circuite integrate fg" ,pcnv " htgexgp " fg" vkr" "analog & mixed signal". Aceste nuclee cevkxg" önkdgtnk|gc| " ugopgngö" ,p" ukpvg| ." hkkpf" rqukdkng" i cdqtf tkng" vtcfk ionale de *sinteză pasivă* fce "ug" cfcwi "e-vg" wp" EKP" (Convertor în Impedan " Pgicvkk + ucw" wp" Iktcvqt" *ectg" vtcpuhqto " q" capacitate într-o inductan " ucw" kpxgtu." egc" ectg" öug" t uweg vgö" ö öiktgc| ö" hkkpf." rtcevke." gzrtgukc" korgfcp ei în care pulsa ia trece fg"nc"pwokvqt"nc"pwo t vqt"ucw"kpxgtu+0

Organizarea ocvgtkgk" g" wto vqctgc<

1. Sisteme electronice - No iuni introductive. Fghkpk kk."Vczqpqokg
a. Caracteristici. Terminologie

- Cauzalitate; - / in- variabilitate în timp ; Liniaritate ; Stabilitate ; Realitate ; Determinism

b. Analiza generala a sistemelor analogice: -/ in- variabile in timp

c. Analiza generala a sistemelor numerice : -/ in- variabile in timp
-/ in- finite, -/ ne- recursive

f0" Hwpe kk"fg" vtcpuhgt

Gewc kkng"kpvtctg"- stare ö kg ktg

Sisteme analogice variabile în timp.

Hwpe kk"fg" vtcpuhgt"rgpvtw"ukuvgog"pwogtkeg0"

Diagramme Bode

e. Stabilitatea sistemelor electronice

Stabilitatea sistemelor analogice / numerice liniare invariabile in timp

- Hwpe kk"fg" rqpfgtg"uvcdkng" ö cpcnk|c"vgorqtcn

- Hwpe kk"fg" vtcpuhgt"uvcdkng" ö cpcnk|c"urgevtcn

- Criterii de stabilitate algebrice: Criteriul Routh ; Etkvgtkwn" Jwtykv|" = "Rtkpekrkwn" xctkc kgk" ctiwogpvwnwk" = Metoda Evans ; Metoda Nyquist

f. Tgnc kk"cnigdtkeg", pvtg"r t kng" wpgk"hwpe kk"fg" ektewkv0"

Tgnc kkng" Dc{ctf-Bode

g. Controlul sistemelor - introducere

2. Modele ideale pentru componente analogice, unipor i si dipor i, Eqpegrvwn" fg" örqctv ö" ,p" rgturgevkxc" eqpugtx tkk" uctekpkk" electrice.
3. Analiza cu grafuri a circuitelor electronice,
- Metode topologice în analiza circuitelor, Grafuri liniare orientate (G.L.O.), Matrice topologice , Formularea ecua iilor circuitelor cu matrice topologice, Teorema Tellegen, Cuplarea ecua iilor topologice cu cele structurale (Ecua iile curen ilor ciclici, Ecua iile poten ialelor nodurilor / E.P.N., Ecua iile tensiunilor ramurilor). Compatibilitatea ecua iilor matriciale, G.L.O. duale.
 - Grafuri Mason (g.M.) de fluen ." Igpgtcnv i, Ecua iile Cramer-Mason, Aplica ii ale grafurilor Mason în studiul circuitelor si sistemelor liniare, Rezolvarea circuitelor electronice pe baza E.P.N. (g.M. care au, în plus si topologia circuitului), Rezolvarea circuitelor electronice cu surse de tensiune comandate în tensiune (STCT) si AO de tensiune, g. M. în analiza circuitelor cu tranzistoare, g. M. în studiul oscilatoarelor, g. M. în analiza filtrelor active cu rezisten e si condensatoare (FARC), g. M. în analiza sistemelor numerice liniare - filtre (recursive si nerecursive), pwo t vqctg"ew"tgce kg"="eqfqctg."igpgtcvqctg"fg" ugexgp "etc.
- Grafuri Mason oqfkhkecvg" *cuqekcvg" G0R0P0." ew" kg ktg" ,p" tensiune dar cu intrare în curent) ó ecnewnwn" korgfcpc k" fg" kpvtctg." cn" korgfcpc gk" fg" kg ktg" k" cn" vtcpo-korgfcpc gk" ec" hwpe kk" fg" vtcpuhgt" =" lwuvkhkectgc" tgekrtqekv kk" fkrqt knqt" pasivi.
- Crnkec kkng"i000",p"cpckn|c" k"ukpvg|c"ukuvgnqt"fkhtgp kcng (G8). Scheme G8 de ordin superior. Tehnica MASH. Lattice Itakura ó algoritmul Levinson-Durbin k"lwuvkhkectgc" testului Schur-Cohn de stabilitate a sistemelor numerice
4. Circuite multi-rqtv"**ö"p"ö rqtv"ö"+
- No iuni generale. Formele Thevenin si Norton ale sistemului de n ecua ii cu 2n necunoscute asociat ó probleme de compatibilitate. Reciprocitate ; reciprocitatea dipor ilor rcukxk0" Ukogvtkg" *uk" ukogvtk|ctg+" hk|ke 0" öUkogvtkgö" gngevtke 0
 - Cpckn|c" ocvtkekcn " c" fkrqt ilor, Analiza unipor ilor pasivi. Oqfgng"cng"rtqrci tkk"wpfgnqt"nc"kpvgthc a generator ó rqtv ." rqtv "ó uctekp 0" Eqghkekgp i de transmisie si de reflexie, Analiza dipor ilor pasivi. Matrice [z], [y], [A], [B], [h], [g]. Rela kkng"ocvtkekcn" cng"kpvgteqpgev tkk"]",p" lan **"ecuecf "+."rctcngn"**"~~"+."ugtkg"**"-"+."~~" +, + _ ||], Parametrii imagine, Dipor i duali, Teorema bisec iei *Dctvngvv+."Vgqtgoc"fkxk| tkk."Rctcogvttkk"fg"nwetw."Cvgpwctgc" eqorwu . Semicircuite.

5. Sinteza circuitelor analogice liniare, Realizabilitate: funcii de energie, immitante; matrice pozitiv-reale,

- a. Sinteza unidirectionala / bidirectionala pasiva: LC, RC (RL), RLC,
- b. Sinteza circuitelor active si / sau nereciproce, Modelul nulator-norator-nulor (NNN) pentru sisteme difereniale si generalizarea tranzistoarelor si AO, Sinteza reperoarelor de curent si de tensiune, Sinteza amplificatoarelor ($A_{u,i,z,y}$) cu cästig pozitiv sau negativ, intrare sau iesire în curent sau tensiune, Aplicații pe circuite complexe, Sinteza cu AO ; convertorare în impedanță "pgicvzx" *EKP și schemele Larky, Myers, Linville ; giratoare (schemele Shenoi, Cypress-Witt, Antoniou); convertorare de semnal ($A_{u,i,z,y}$ cu câstig pozitiv sau negativ) ;.

6. Metode de aproximare în sinteza filtrelor Butterworth, Cebișev, Bessel, eliptice,

Obtinerea filtrelor pe baza prototipului trece-liniu "Vtcpuhtk" de frecvență . "Vtcpuhtk" fg"tgcevcp , (De-)Normarea: .

7. Anexe - Ektewkv "ew" ecrcekv k"eqowvcvg. Circuite PLL

8. Teste propuse

Noi iunile teoretice sunt completate de exemple de probleme propuse și de multe probleme rezolvate și calcule complete, literale și numerice; crtqzko tk." vtgegk " nc" nkokv " *fg" gzgornw" nc" htgexgp este joase sau înalte) k" xgthkhe tk" fkogpukqpcng." egorctc ii metodologice și xgthkhe tk" fg" consistent " = " uwpv" k" q" ugkkg" fg" tg|qnx tk" uejk atât (paralele), cu scopul de a acoperi o diversitate de metode și structuri.

Cwvqtkk "cw" , pegtecv "u " lwuvkhkeg" ejkct" k" egng" ock" eqornkecv "hqtowng . S-c " crgnv " nc" ocvgocvkekng" urgekng" *ock" cngu " nc" hwpe kkng" eqorngzg + . fgoquvtc kkng" uwpv" cfgugc" co pwp kvg ." rtqegfwtkng" k" etkvgtkkng" cnigdtkeg" hkkpf" , pu " nkrukvg" fg" rtgc" ownvg" detalii - wpgng" kpfwe kk" ocvgocvkeg" uwpv" fqct" uejk cvg0 " Fg k" ewtuwn " CUE " g" wp" hgn" fg" öocvgocvke " c" ektewkvgnqt " gngevtqpkegö" *ukoknct " ew" ewtuwtkng" fg" ogecpke " vgqtgvke " ucw" fg" tg|kuvgp c" ocvgatkcnqnt" , p" kpikpgtkc " ogecpke + ." urgt o" e " co" tgw kv" u " r uvt o" q" rgturgevkx " öfg" uwuo . " ecnkvcv " . ajutând viitorii ingineri și " fgr gcue " j k wn " tgnc kknqt " ocvgocvkeg k" al wpwk " pwo t " gzcigtcv " fg" gzepr kk . " eqpfk kk" fg" gzkuvgp . " eqpfk kk" fg" eqpxgtigp " etc. Pwo twn " octg" fg" hqtowng" k" vgjpq-redactarea care să întins pe ock" own k" cpk" pg-cw" uknkv " u crgn o" nc" hqpvwtk " öoqpqurc kcvgo" * k" ock" rw kp" nc" egng" rtqrqt kqpcn-urc kcvg).

Q" , pv-ornctg "cfgx tcv " pg" rwpq " k" pqw . " kpikpgtknqt . " q" octg" rtqdngo < " fqk" gngxk " cfqnguegp k" fkuevv " cu îngrigorarea despre hwpe kc000 " sinus. La un moment dat, spre deosebire a - k" nkpk vk" rtkvgvpwn . " wpwn " fkp" gk" ueqcv " fkp" ghiozdan un calculator de buzunar k" , k" urwpq < " öcxgo" ckek" wp" dwvqp " UKP . " g" hqctvg" ukornw #ö" " Rtqdngoc . " rgpvtw" xkkvqtkk" kpikpgtk" fkp" fqogpkwn" gngevtqpke " k" vgngeqowpkec kk" k . " ock" cngu . " rgpvtw" rtqhguqtkk" nqt . " guvg" e-iv" fg" ownv" fkp" ghqtvvn" fg" ecnewn" ug" rqcv " n uc" , p" uctekpc" rtqitcognqt " fg" cpcnk | -simulare-ukpvg | " eqorwvgtk | cv " *GFC" și Electronic Design Automation) ?

Doar informaticienii vor fi cei care vor rgthge kqpc acele MatLab öFiltering Tool-Mkvö" ucw" Ecfgpeg" 1" QtECF" öFgukip" (" Xgtkhkecvkqp" Vqqnuö? Nu va fi nevoie u " eqpvtkdwkg" k" inginierii, u " uwu kp" rtkpekrkkng." u " formuleze urgehkec kkng" hwpe kqpcng" ew" kornkec kk" vkkp khkeg (,pe " fkp" rtqhwp|kogc" uvkxgk" QUK) asupra modelelor matematice?

Sau kpikgptkk"rtqkgevcp k"vor ajunge doar u "kc"fkpvt-q"dkdnkqvge "wp" macro-oqfgn."ew"e-vgxc"cornkhkecvqctg"qrgrtc kqpcng" k"u -l adauge la o uvtwevwt " eqorngz " kpvgitcdkn " ,p" uknkekew" * vkkpf" e " xc" qewrc" wp" urc kw"kphko+."qfcv "ucw"fg"ock"ownvg"qtk.",p"nqe"u "xcf "e "ceqnq"g" pgxqkg" fqct" fg" wp" öpwncvqtö" *fgek" e " ug" rqcvg" rwpg" fqct" wp" vtcp|kuvqt+A" Cfgx tcvwn" cxcpu" vgpqnnike" ,p"ektevkvgng" kpvgitcvg" fg" vgngeqowpkec kk"*ew"iktcvqctg"ectg"hwpe kqpgc| "la GHz) ó de exemplu ó va putea fi posibil doar prin inovare, prinr-q" i-pfktg" rtqhwpf " uwu kpvv "fg"ewpq vkp g"ugtkqcug."fg"q"dwp ",p gngigtg"c"rtkpekrkklor: nc"ceguvg" hwpfcogpvg."nc" ödc|gng" gngevtqpkekkö." , k" fqtg vg"cegcuv " nwetctg"u - k"cfwe "eqpvtkdw kc0

F.Sandu & I.C.Bogdan

Dtc qx."4245

CUPRINS

SISTEME ELECTRONICE.....	7
S~ ↔ ^↔Á↔^＼ã~ä ´\↔{æ	8
Ô ^` ↔→æÁäæÁ＼ãá^bàæãÁá→æÁb↔b\æ↑æ~¬ãÁæ→æ`＼ã~^↔`æ	12
Stabilitatea	24
Controlul Sistemelor	43
GRAFURI PENTRU ANALIZA CIRCUITELOR	98
Grafuri liniare orientate (GLO)	98
Grafuri Mason (g.M.)	128
Grafuri Mason modificate	174
CIRCUITE MULTI-PORT	178
N^á↔^áÁ↑á＼ã↔^á→ ÁáÁä↔*~ã ↔~ã	179
N^á↔^áÁ ^↔*~ã ↔~ãÁ*áb↔{↔	186
N^á↔^áÁä↔*~ã ↔~ãÁ*áb↔{↔	188
Semi-circuite	207
MODELUL NULATOR - NORATOR - NULOR ("N-N-N")	231
Sinteza amplificatoarelor	233
N^á↔^áÁ ↔Áb↔^\æ^áÁ ^~ãÁä↔*~ã ↔Á^æ`~^{\æ^ ↔~^á↔	240
O~^{\æ\~áäæÁë^Á↔^*æäá^ Á^æ&á\↔{	240
Giratoare	242
UØSÚÓXNÁSHNUØÜ	246
U↔^{\æ^áÁ ^↔*~ã ↔~ãÁ*áb↔{↔	246
U↔^{\æ^áÁ ^↔*~ã ↔~ãÁQO	246
U↔^{\æ^áÁ ^↔*~ã ↔~ãÁPOÁ ↔ÁPQ	258
Sinteza Darlington a unui uniport pasiv RLC	290
U↔^{\æ^áÁä↔*~ã ↔~ãÁ*áb↔{↔	294
SINTEZA CIRCUITELOR ACTIVE	300
U↔^{\æ^áÁ Áá↑*↔à↔^á\~áäæÁ~*æäá ↔~^á→æ	301
Ô↔→\ãæÁá`leftrightarrow{æÁ` Áäæ^leftrightarrow{b\~áäæÁ ↔Á`á*á`leftrightarrow{~áäæÁÇÖNÞODÁ`âleftrightarrow{@ áä`	301
U`åæ↑áÁb*æ`leftrightarrow{á→ Á` ÁGÁNS	306
Sinteza cu CIN	311
Schema Linvill	311
Schema Yanagisawa	312
Sinteza cu giratoare	313
Uæ`leftrightarrow{^æáÁäæÁSŠQÁ ↔ÁUæ`leftrightarrow{^æáÁäæÁXÓÞŠ	315
FILTRE - ÔÜSO ØØÁNSÞŠVØRNSÚ	317
Aproximarea MLA (Butterworth)	318
Aproximarea MLP (Bessel)	320
Aproximarea "mini-↑á[ÄÁOæâë æ{	323
Aproximarea Cauer - Oæâë æ{	327
ANEXE	348
BIBLIOGRAFIE	362

SISTEME ELECTRONICE

Notiuni introductive

1. Caracteristici . Terminologie

Conceptul de sistem e foarte general, cu diferite formulari, inevitabil afectate (deci mai mult sau mai putin particularizate) de contextul in care sunt prezentate. In cursul nostru, consideram sistemul ca un ansamblu de elemente fizice si de reguli de interdependenta a lor.

Sistemele electronice au elementele fizice denumite generic "hard" si reguli de functionare (eventual modificabile sau, mai mult, programabile din exterior) ce pot fi denumite "soft".

Din punct de vedere "informational", descrierea calitativa, "observarea" succesiunii cauza-efect in functionare, este in general insotita de o descriere cantitativa, "masurare", prin semnale, prin "fluenta" lor. Astfel, se pot, in general, deosebi "intrari" sau "comenzi", incluse intre cauze si "iesiri" sau "raspunseri", incluse intre efecte. Lor li se asociaza hard "terminale" sau "porti" (perechi de terminale) de intrare / iesire. In acest context poate fi necesara, o informatie suplimentara, "structurala", interna, numita "stare".

Starea e asociata

- fie unei descrierii "minimale" a sistemului
(in sensul minimizarii informatiei),
- fie comoditatii descrierii (analitic sau experimental).

Exista sisteme cu stari ne-masurabile, "cutii negre".

La sistemele cu stari masurabile la borne, aceste stari pot fi eventual incluse intre semnalele de iesire, alaturi de "iesirile propriu-zise" care, in plus, sunt "utile".

Sistemele cu structura interna (stare) observabila (masurabila) se zic "structurabile".

"Analiza sistemelor" consta in determinarea relatiilor *intrare - stare - iesire* [" i - s - o "].

Exemplu: stare : tensiunea initiala pe un condensator

intrare : $i(t)$
iesire : $u(t)$

Pentru sisteme "multi-port" poate fi utila reprezentarea vectoriala a:

- intrarilor, prin $\{ x_p(t) \}$, $p = 1, \dots, P$, unde P este numarul portilor de intrare
- starilor , prin $\{ z_r(t) \}$, $r = 1, \dots, R$, unde R se zice "ordinul sistemului"
- iesirilor , prin $\{ y_q(t) \}$, $q = 1, \dots, Q$, unde Q este numarul portilor de iesire

Daca x_p , z_r , y_q sunt functii continue, sistemele se zic "analogice" (SA).

Daca x_p , z_r , y_q sunt secvente numerice, sistemele se zic "numerice" (SN).

(in cazul SN se pot folosi notatiile generice $x_{p,n}$, $z_{r,n}$, $y_{q,n}$)

- in continuare, notam generic $x_p(t)$ pentru ambele cazuri, etc.

Functiile x_p se zic si "variabile" de intrare, deci vectorul -

- semnal de intrare are P variabile.

Din punct de vedere temporal, se evidențiaza sisteme "dinamice", care depind esential de timp, spre deosebire de sistemele "statice (stationare)" .

Sistemele "finite" sunt cele care au codomeniile x, z, y finite - un aspect esential mai ales la SN , in special la SN "digitale", la care i - s - o iau valori din { "0" logic, "1" logic } .

$$\{z_r(t)\} = T [(\{z_r(v)\} : (-\infty, t]), (\{x_p(v)\} : (-\infty, t])]$$

"evolutia" starii "evolutia" intrarii
 anterior lui t anterior lui t
 evolutia globala - "istoria" sistemului - anterioara lui t

- a iesirii, pe baza "functiei de iesire (de raspuns)"
 (de acelasi argument ca T) :

$$\{y_q(t)\} = H [\quad \quad \quad " \quad \quad \quad]$$

Sistemele cu memorie - reprezinta o categorie particulara de sisteme cauzale, la care, pentru orice moment t de incepere a observarii [fixare a originii (relative) a timpului]

$$(\underbrace{\{y_q(u)\}}, \underbrace{\{z_r(u)\}}) = s_c [\underbrace{\{z_r(t)\}}, (\underbrace{\{x_p(v)\} : [t, u]}_{\substack{\text{starea in} \\ \text{momentul } t \\ \text{intre momentele } t \text{ si } u}})]$$

iesirea starea starea in "evolutia" intrarii
 in momentul u anterior lui u momentul t intre momentele t si u
 respectiv descrie / inlocuieste
 "istoria" sistemului,
 anterioara lui t
 (reprezinta "memoria"
 sistemului la momentul t)

Memoria poate fi uni- / multi-dimensionalala. De exemplu m-dimensionalala la SN recursive de ordin m de recurenta (vezi exemplele din cap. urm vgt In particular, la SN digitale, un exemplu il constituie registrele de deplasare cu m celule, in categoria carora se poate inscrie si memoria cu m locatii (registre) organizata ca stiva LIFO (Last In - First Out / ultimul intrat - primul iesit).

Alegind originea timpului la $t=0$, spunem despre un sistem cauzal cu $y_q(v) = 0$, $z_r(v) = 0$, pentru orice $v \leq 0$ ca este "initial in repaus", avand proprietatea evidentă de a raspunde cu $y_q(v) = 0$ pentru $x_p(v) : (v \leq 0) = 0$.

O categorie de sisteme cauzale (cu originea de timp aleasa, de exemplu, in $t = 0$) sunt sistemele "diferentiale", total descriptibile prin

starea initiala $\{z_r(0)\}$

$$\left[\begin{array}{l} \dot{\{z_r(t)\}} = T_d(\{x_p(t)\}, \{z_r(t)\}) \quad \text{(pentru SA)} \\ \{y_q(t)\} = H_d(\{x_p(t)\}, \{z_r(t)\}) \end{array} \right]$$

(Ecuatiile de stare si cele de iesire pot fi, in aceasta descriere, ecuatii Kirchoff in domeniul temporal pentru circuite R,L,C, etc.)

z se zice si "sensibilitate"

respectiv

starea initiala $\{z_{r,0}\}$

$$\left[\begin{array}{l} \{z_{r,n+1}\} = T_d(\{x_{p,n}\}, \{z_{r,n}\}) \quad [\text{in loc de diferența} \\ \text{finita de ordinul} \\ 1 \text{ in } n, \{z_{r,n+1} - z_{r,n}\}] \\ \{y_{q,n}\} = H_d(\{x_{p,n}\}, \{z_{r,n}\}) \quad \text{(pentru SN)} \end{array} \right]$$

O categorie particulara de sisteme diferențiale admite o descriere simplificata, starea fiind reprezentata in argumentele T_d si H_d doar prin valorile initiale, $z_r(0)$, respectiv $z_{r,0}$:

starea initiala $\{z_r(0)\}$

$$\left[\begin{array}{l} \dot{\{z_r(t)\}} = T_d(\{x_p(t)\}, \{z_r(0)\}) \quad (\text{cu } z_r(t) \text{ determinabile} \\ \text{prin integrare direct} \\ \text{din excitatiile } x_p(t)) \\ \{y_q(t)\} = H_d(\{x_p(t)\}, \{z_r(0)\}) \end{array} \right]$$

respectiv

$$\begin{cases} \text{starea initiala } \{ z_{r,0} \} \\ \{ z_{r,n+1} \} = T_d(\{ x_{p,n} \}, \{ z_{r,0} \}) \text{ (cu } z_{r,n} \text{ determinabile prin frecventa direct din excitatiile } x_{p,n} \text{)} \\ \{ y_{q,n} \} = H_d(\{ x_{p,n} \}, \{ z_{r,0} \}) \end{cases}$$

Formalismul e si mai simplu pentru sisteme diferențiale initial in repaus.

3. Invarianta in timp

Daca $T, H, (S)$ sunt independente de $(t) / (n)$ sistemele se zic invariante in timp ("SAI", respectiv "SNI"). La acelasi complex intrari-stari dar decalat in timp va corespunde acelasi complex stari-iesiri, cu acelasi decalaj temporal.

In general invarianta in timp e o idealizare pe intervale de timp limitate a sistemelor variabile in timp ("SAV", respectiv "SNV"), ale caror componente au proprietati fizice ce se schimba in timp, reversibil sau nu ("imbatrinire"), in general dependent de mediul ambiant.

O categorie de SAV si SNV sunt sistemele "paramétrice" (de exemplu amplificatoarele paramétrice de microunde) descriptibile prin relatii i-s-o cu parametri (de exemplu coeficienti de ecuatii integro-diferentiale sau liniare) variabili in timp. In cazul (coeficientilor-) parametrilor variabili polinomial in timp, respectivele ecuatii integro-diferentiale pot fi algebrizate cu transformata Mellin.

4. Liniaritatea

Daca T, H sunt liniare, sistemele se zic "liniare".
Pentru orice evolutie combinata, la SA

$$T \left[\sum_{k=1}^N a_k \cdot (\{ x_p(t) \}, \{ z_r(t) \}) \right] = \sum_{k=1}^N a_k \cdot T \left(\{ x_p(t) \}, \{ z_r(t) \} \right)_k$$

(presupunind ca a_k apartin unui acelasi corp de coeficienti care poate fi asociat cu domeniile x, z, y constituind spatiile vectoriale aferente).

Analog se pot compune efectele la iesire, prin H .
Analog se scriu relatiile recursive la SN.

Pentru liniaritate e suficient ca ecuatiiile functionale cu T, H sa reprezinte un sistem liniar, exprimabil si matricial, (cu unitatile de masura aferente coeficientilor matricelor care sa asigure sumabilitatea), scrise, de exemplu, pentru "S.A.I.L." diferențiale:

$$\begin{aligned} [z_r(t)]_{(1xR)} &= [z_r(t)]_{(1xR)} \cdot A_{(RxR)} + [x_p(t)]_{(1xP)} \cdot B_{(PxR)} \\ [y_q(t)]_{(1xQ)} &= [z_r(t)]_{(1xR)} \cdot C_{(RxQ)} + [x_p(t)]_{(1xP)} \cdot D_{(PxQ)} \end{aligned}$$

(pentru S.A.V.L. diferențiale, matricile se scriu $A(t), \dots, D(t)$).

Liniaritatea permite tratarea separata a cauzelor si obtinerea rezultatului analizei prin superpozitia efectelor, fiind esentiala in analiza spectrala a intrarilor-starilor-iesirilor.

Pentru sistemele liniare, analiza se poate simplifica atit in domeniul timp (pe baza relatiilor de convolutie) cit si in domeniul spectral (pe baza functiei de transfer).

In acest context, o categorie importanta analizata o vor reprezenta sistemele invariante in timp (cu functii pondere si de transfer invariante in timp).

Liniaritatea reprezinta deasemenea o idealizare, pe anumite intervale de amplitudine a semnalelor (variabilelor de i-s-o).

5. Stabilitatea

Un sistem e stabil daca la semnale de intrare de modul marginit corespund semnale de stare si de iesire de modul marginit.

Pentru aceasta, necesitatea generala este ca, in cazul in care exista M_i cu $|x_p(t)| \leq M_i$ pentru orice p,t

sa existe si M_s cu $|z_r(t)| \leq M_s$ pentru orice r,t

si M_e cu $|y_q(t)| \leq M_e$ pentru orice q,t

6. Realitatea

Un sistem e real daca la intrari reale corespund stari si iesiri reale. Sistemele reale si liniare au proprietatea de corespondenta intre partile reale si imaginare:

$$\begin{aligned} T [(\{x_p(t)\}, \{z_r(t)\})_1 + j \cdot (\{x_p(t)\}, \{z_r(t)\})_2] &= \\ = T (\{x_p(t)\}, \{z_r(t)\})_1 + j \cdot T (\{x_p(t)\}, \{z_r(t)\})_2 & \end{aligned}$$

7. Determinism

Sisteme "nedeterministe" - variabilele de intrare-stare-iesire sunt aleatoare.

Observabilitatea se limiteaza la proprietatile statistice ale semnalelor de i - s - o. Descrierea se poate face cu probabilitati, $P(y,z) = P(S(z,x))$, sau cu densitati de probabilitate (functii de repartitie (ex. Gauss, Poisson, etc.)).

Analiza statistica se face cu compunerile de probabilitati (probabilitati conditionate, etc.). In situatii particulare, cu variabile aleatoare independente, compunerile se fac prin produs de probabilitati.

Sistemele "partial nedeterministe" au fie intrari deterministe si stari (structuri) nedeterministe, fie intrari nedeterministe si stari (structuri) deterministe.

In ambele cazuri iesirile rezulta nedeterministe.

Exemple : 1) $P = 1 = Q$ [Mat2] :

a) $y(t) = |x(t)|$ (redresor) \rightarrow SAI, neliniar

b) $y_n = n \cdot x_n$ \rightarrow SNV liniar (parametric - coeficientii depind de timp)

(pt. $x_{2,n} = x_{1,n-k}$, $y_{2,n} = n \cdot x_{2,n} = n \cdot x_{1,n-k}$, $y_{1,n-k} = (n-k) \cdot x_{1,n-k}$)

c) $y_n = 3 \cdot x_n + 5 \cdot x_{n-1}$ \rightarrow SNI liniar (caracterizat de o ecuatie cu diferente finite liniara si cu coeficienti constanti)

d) $y(t) = a \cdot x^2(t)$ ($a > 0$) - aproximare parabolica a caracteristicii directe a unei diode semiconductoare \rightarrow SAI neliniar

e) $y(t) = x(t-u)$ (linie de intirziere cu u) \rightarrow SAI liniar