

Florin SANDU

Ioana Corina BOGDAN

# SEMNALE ȘI SISTEME

Analiza și Sinteza  
Circuitelor Electronice



- 2023 -



EDITURA  
UNIVERSITĂȚII  
TRANSILVANIA  
DIN BRAȘOV

## RTGHC C

Vgocvkec" ceguvgk" nwet tk" g" ,pecftcv " ,p" Dc |gng" Gngevtqpkkek. " 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 gngevtqpkge. "ew" crnkecdknkv cvg" ownvfkfkuekrnpct 0"

Hqtoctgc" wpqt" fgrtkpfgtk" fg" ecnewn" xk |gc | " ock" cngu" hwpe iile de ektewkv" ,p" rgturgevkv " cpcnk vke " 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" xgfgtg" ,peqtrqt tkk" ceguvqt" "nuclee active" în circuite integrate fg" ,pcnv " htgexgp " fg" vkr" "analog & mixed signal". Aceste nuclee cevkg" önkdgctcnk |gc | " ugopgngö" ,p" ukpvg | ." hkkpf" rqukdkng" i cdqtf tkng" vtcfk ionale de sinteză pasivă fce "ug" cfcwi "e-vg" wp" EKP" (Convertor în Impedan " Pgi cvkx + " ucw" wp" Ik tcvqt" \*ectg" vtcpuhqt " 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. "Vczppqokg
  - 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 kknng" kpvtctg" - stare ö kg ktg
  - Sisteme analogice variabile în timp.
  - Hwpe kk" fg" vtcpuhgt" rgpvtw" ukuvvgog" pwogtkeg0"
  - Diagrame 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" urgevctcn
      - Criterii de stabilitate algebrice: Criteriul Routh ; Etkvgtkwn" Jwtykv | " = " Rtkpekrkwn" xctkc kgk" ctiwogpvnwkw" = Metoda Evans ; Metoda Nyquist
- f. Tgnc kk" cnigdtkeg" ,pvtg" r t kng" wpgk" hwpe kk" fg" ektewkv0"
  - Tgnc kknng" Dc {ctf-Bode
- g. Controlul sistemelor - *introduce*



5. Sinteza circuitelor analogice liniare, Realizabilitate: func ii de energie, immitan a; matrice pozitiv-reale,
  - a. Sinteza uni- / di- por ilor pasivi : LC, RC (RL), RLC,
  - b. Sinteza circuitelor active si / sau nereciproce, Modelul nulator-norator-nulor (NNN) pentru sisteme diferen iale si generalizarea tranzistoarelor si AO, Sinteza repetoarelor de curent si de tensiune, Sinteza amplificatoarelor ( $A_{u,i,z,y}$ ) cu câstig pozitiv sau negativ, intrare sau iesire în curent sau tensiune, Aplica ii pe circuite complexe, Sinteza cu AO ; convertoare în impedan "pgicvkv " \*EKP ó schemele Larky, Myers, Linvill) ; giratoare (schemele Sheno, Sypress-Witt, Antoniou); convertoare de semnal ( $A_{u,i,z,y}$  cu câ tig pozitiv sau negativ) ;.
6. Metode de aproximare în sinteza filtrelor Butterworth, Cebî ev, Bessel, eliptice,
 

Ob inerea filtrelor pe baza prototipului trece-lqu."Vtcpuhqto tk" de frecven ."Vtcpuhqto tk"fg"tgcevcp , (De-)Normarea:.
7. Anexe - Ektewkv"ew"ecrcekv k"eqowcvg. Circuite PLL
8. Teste propuse

No iunile teoretice sunt completate de exemple de probleme propuse i de multe probleme rezolvate ó calcule complete, literale i numerice; crtqzko tk." vtgegtk" nc" nkokv " \*fg" gzgornw" nc" htgexgp e joase sau înalte) k" xgtkhke tk" fkogpukqpcng." eqorctc ii metodologice i xgtkhke tk" fg" consisten " = " uwpv" k" q" ugtkg" fg" tg|qnx tk" uejk ate (par iale), cu scopul de a acoperi o diversitate de metode i structuri.

Cwvqtkk"cw", pegtecv"u "lwuvkhkeg"ejkct" k"egng"ock"eqornkecvg"hqtowng. S-c" crgncv"nc"ocvgocvkekg"urgekncg" \*ock" cngu"nc"hwpe kknng"eqorngzg+." fgoqpuvtc kknng" uwpv" cfgugc" co pwp kvg." rtqegfwtkng" k" etkvgtkknng" cnigdtkeg" hkkpf" ,pu "nkrukv" 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"ewtuwtknng"fg"ogecpke "vgqgtgve " ucw" fg" tg|kuvgp c" ocvgtkcnngnt" ,p" kpikpgtkc" ogecpke +." urgt o" e " co" tgw kv"u "r uvt o"q"rgturgevkx "öfg"uwuö."ecnkvckx ."ajutând viitorii ingineri u "fgr gcue "j k wn"tgnc kknqt"ocvgocvkeg k"al wpwk"pwo t" gzcigtcv" fg" gzegr kk." eqpfk kk" fg" gzkuvgp ." eqpfk kk" fg" eqpxgtigp " etc. Pwo twn" octg" fg" hqtowng" k" vgjppq-redactarea care s-a întins pe ock"own k"cpk"pg-cw"uknk"u crgn o"nc"hqpvwtk"öoqpqurc kcvgö" \* k"ock" rw kp"nc"egng"rtqrqt kqpcn-urc kcvg).

Q" ,pv-orncctg"cfgx tcv "pg"rwpg" k"pqw ."kpikpgtknqt."q"octg"rtqdngo <" fqk"ngxk"cfnguegp k"fkuewv "cu îngrijorarea despre hwpe kc000"Sinus. La un moment dat, spre a- k"nkpk vk"rtkgvgpwn."wpwn"fkp"gk"ueqcvg"fkp" ghiozdan un calculator de buzunar k" ,k" urwpg<" öcxgo" ckek" wp" dwvqp" UKP." g" hqctvg" ukornw#ö" " Rtdngoc." rgpvtw" xkkvqtkk" kpikpgtk" fkp" fqogpkwn" gngevtqpke " k" vgngeqowpkec kk" k." ock" cngu." rgpvtw" rtqhgugtktk" nqt." guvg" e-v" fg" ownv" fkp" ghqtvwn" fg" ecnewn" ug" rqcvg" n uc" ,p" uctekpc"rtqitcognqt" fg" cpcnk| -simulare-ukpvg| "eqorwvgtk|cv " \*GFC" ó Electronic Design Automation)?

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

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

F.Sandu & I.C.Bogdan

Dtc qx."4245



# 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 "fluente" lor. Astfel, se pot, in general, deosebi "intrari" sau "comenzi", incluse intre cauze si "iesiri" sau "raspunsuri", 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 descrieri "minimale" a sistemului  
( in sensul minimizarii informatiei ),
- fie comodatii 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 propriuzise" 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 evidentiaza 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  $\{ "0" \text{ logic}, "1" \text{ logic} \}$ .





respectiv

$$\left[ \begin{array}{l} \text{starea initiala } \{ z_{r,0} \} \\ \{ z_{r,n+1} \} = T_d( \{ x_{p,n} \}, \{ z_{r,0} \} ) \text{ (cu } z_{r,n} \text{ determinabile} \\ \text{prin recurenta direct} \\ \text{din excitatiile } x_{p,n} ) \\ \{ y_{q,n} \} = H_d( \{ x_{p,n} \}, \{ z_{r,0} \} ) \end{array} \right.$$

Formalismul e si mai simplu pentru sistemele diferentiale 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 "parametrice" (de exemplu amplificatoarele parametrice de microunde) descriabile 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

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

(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 ecuatiile 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." diferentiale:

$$\left[ z_r(t) \right]_{(1 \times R)} = \left[ z_r(t) \right]_{(1 \times R)} \cdot A_{(R \times R)} + \left[ x_p(t) \right]_{(1 \times P)} \cdot B_{(P \times R)}$$

$$\left[ y_q(t) \right]_{(1 \times Q)} = \left[ z_r(t) \right]_{(1 \times R)} \cdot C_{(R \times Q)} + \left[ x_p(t) \right]_{(1 \times P)} \cdot D_{(P \times Q)}$$

(pentru S.A.V.L. diferentiale, matricile se scriu A(t), ..., 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 atat 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:

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

## 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 compuneri 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) --> SAI, neliniar

b)  $y_n = n \cdot x_n$  --> 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)  $y_n = 3 \cdot x_n + 5 \cdot x_{n-1}$  --> 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 --> SAI neliniar

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