

ESTUDI DE SISTEMES MITJANÇANT TÈCNiques DE CàLCUL HÍBRID

TONI GUASCH

Es presenta un programa híbrid que permet l'anàlisi de sistemes dinàmics de paràmetres concentrats simulats total o parcialment en un calculador analògic.

L'estudi del sistema es pot fer en el domini freqüencial o temporal i en temps real si cal, també permet l'anàlisi de sensibilitat a la variació de certs paràmetres seleccionats, així com treure documentació gràfica y numèrica dels resultats.

S'analitsa els tipus de sistemes sobre els quals es pot treballar, el repartiment de tasques entre el digital i l'analògic i l'anàlisi dels resultats fins ara obtinguts. Finalment, es fa un resum de les característiques més importants del treball.

Aquest programa ja ha sigut utilitzat per identificar els paràmetres del model d'una central hidroelèctrica, cosa que va permetre fer una primera validació pràctica del programa i millorar les seves prestacions.

1. INTRODUCCIÓ.

Amb aquest programa s'ha pretès crear una eina pràctica per a l'estudi i anàlisi de sistemes; on l'usuari només s'ha de preocupar de modelitzar el sistema que vol estudiar o connectar el sistema físic a l'analògic (fig. 1).

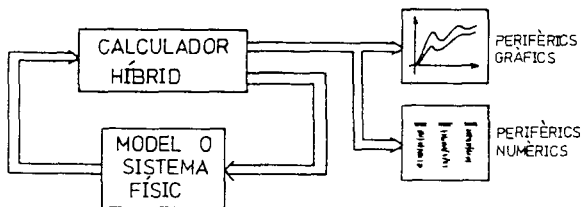


Fig. 1. Esquema simplificat de l'actuació del programa.

S'ha utilitzat el calculador híbrid per l'implementació del treball per ser la seva velocitat de càlcul superior a eines de cos equivalent, degut a la seva capacitat de treball en paral·lel. Però, si l'avantatge del calculador híbrid és la velocitat, la desavantatge es la seva precisió, que és inferior a eines purament digitals; ara bé, es mostrarà que la precisió del programa es suficient dins del contexte pràctic en el qual s'aplicarà (Apar-

tats 5.3 i 5.4).

El paquet presentat permet actualment l'estudi de sistemes, en el domini freqüencial i temporal. El pas a l'identificació i optimització de paràmetres és afegir-li dos segments amb els algorismes adients i que actuïn sobre els moduls ja existents.

En els sistemes no lineals, al estudiar el model en un domini, es desajusta normalment en l'altre domini, el paquet permet canviar quasi instantàneament de domini, permetent un estudi simultani en el domini freqüencial i temporal.

2. DESCRIPCIÓ DELS SISTEMES.

El model dels sistemes que es volen estudiar es poden simular en el calculador analògic o bé es poden connectar els sistemes físics mitjançant els canals d'entrada i sortida ("TRUNKS").

El programa presentat s'aplica principalment

- Toni Guasch Petit - Institut de Cibernètica de la Universitat Politècnica de Barcelona
Av. Diagonal, 647 - Barcelona. 28

- Article rebut el Decembre del 1982.

als sistemes SISO, (una entrada i una sortida) pero molts sistemes amb més d'una entrada i/o més d'una sortida poden ser representats i estudiats com un conjunt de sistemes SISO connectant cada entrada a cada sortida, (sistemes desacoplats).

Els sistemes poden ser lineals i no lineals. El mètode de la resposta freqüencial generalment només s'aplica per a sistemes lineals, però és possible, a la pràctica, utilitzar-lo per a sistemes no lineals tenint en compte les següents restriccions: el sistema ha de mantenir la freqüència, el desfasament es mesura en el pas per 0. i el guany es calcula amb l'amplada màxima positiva (fig. 2)

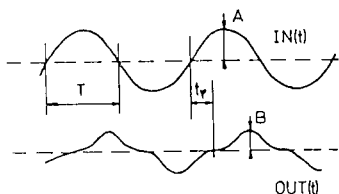


Fig. 2.- Càlcul de la freqüència i de la fase.

$$\psi = - \frac{t_p}{T} \cdot 360 \quad (1)$$

$$G = \frac{B}{A} \quad (2)$$

3 MODELITZACIÓ I ANÀLISI

A la fig. 3, s'esquemmatitza els passos a seguir per aconseguir un model d'acord amb les nostres necessitats.

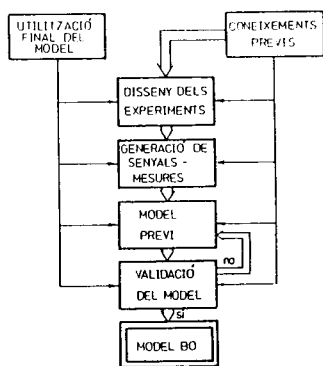


Fig. 3.- Procés general per la modelització d'un sistema

Inicialment, es disposa del sistema i/o d'un conjunt de dades experimentals i teòriques, a partir d'aquest punt i coneixent el millor possible el sistema que es vol modelitzar i el que es vol fer amb el model, es simula el

model analògic.

El següent pas és el de la validació, on interve d'una forma molt efectiva el programa desenvolupat, al permetre ajustar i actuar en temps real sobre els paràmetres del model.

Així, aquest treball cobreix l'etapa de validació, al permetre ajustar el model teòric al sistema físic. I, en l'anàlisi coneixer la influència de cada paràmetre sobre la resposta del model.

S'ha de diferenciar clarament l'anàlisi de models analògics de l'anàlisi de sistemes físics connectats a l'analògic. En aquest segon cas, es vol coneixer la influència de cada paràmetre sobre la resposta del sistema i/o ajustar el sistema físic per a que es comporti igual que un sistema teòric connectat.

L'anàlisi del model o sistema es pot fer des de la consola digital i des de la consola analògica treballant en temps real (fig.4)

Al treballar amb la consola analògica s'utilitza l'oscil·loscopi com a perifèric gràfic d'alta velocitat de forma que una variació en qualsevol paràmetre del sistema es reflecteix instantàneament en la representació gràfica de la resposta. Des de la consola digital s'utilitzen perifèrics lents que no permeten l'estudi en temps real, però s'obté una completa documentació gràfica i numèrica dels anàlisis.

Les tasques que es poden manar des de la consola digital són:

- variar els paràmetres del model o sistema.
- variar l'escala de temps del calculador analògic i del model.
- anàlisis freqüencial.
- estudiar la resposta transitòria (domini temporal).
- generar documentació gràfica i numèrica.
- estudiar la sensibilitat de l'anàlisi freqüencial i temporal a la variació d'un o més paràmetres del model (fig. 5).

i des de la consola analògica:

- variar en línia els paràmetres del model o sistema.
- canviar l'escala de temps del calculador

analògic.

- estudi freqüencial en temps real.
- estudi temporal en temps real.

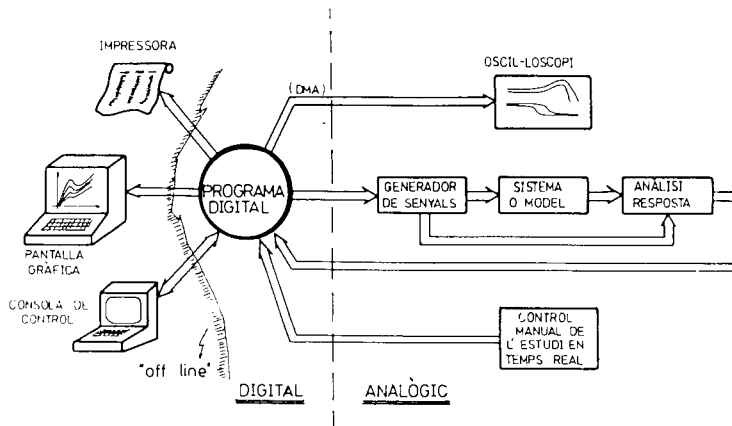


Fig. 4.- Estructura del programa.

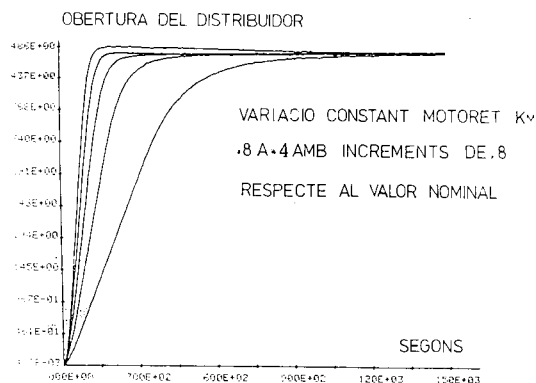


Fig. 5.- Estudi de sensibilitat de la resposta transitoria del model d'una central hidroelèctrica.

Si coneixem les respostes teòriques del model que estem estudiant, les gràfiques i els llistats es treuran comparant les respostes teòriques amb les experimentals.

El programa híbrid ha sigut dissenyat per obtenir una elevada velocitat de treball sense perdre precisió en els resultats (Apartat 5). El rang de freqüències de treball és de $0,05$ Hz a 10000 Hz i es pot treballar amb transitoris de 1 msec de temps mínim de la resposta.

Es de destacar, que quasi sempre és possible escalar el model analògic per treballar dins del rang de freqüències i de respostes transitories en les quals treballa el programa.

I, que la velocitat de treball és independent de la complexitat del model a estudiar.

4. ORGANITZACIÓ DEL PROGRAMA HÍBRID

A la gràfica 6. hi ha un esquema simplificat de l'estructura del programa híbrid, on la cosa més interessant és el repartiment de tasques i el fluxe de la informació entre el digital i l'analogic.

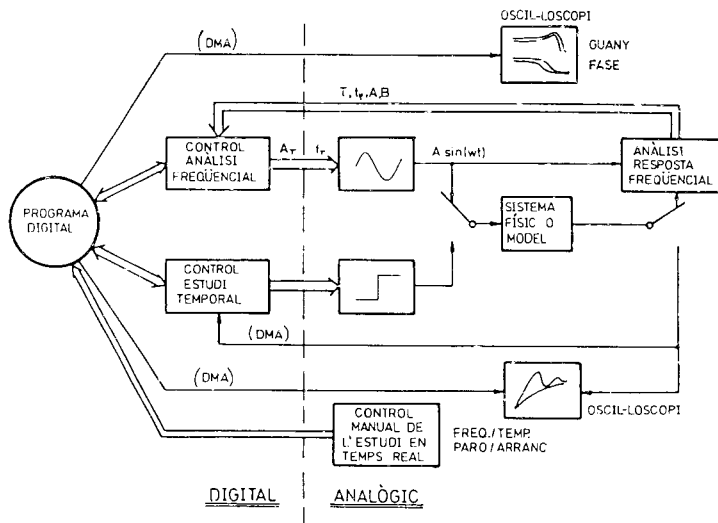


Fig. 6.- Estructura del programa híbrid.

4.1. Anàlisi freqüencial

El digital carrega el generador senoidal a la freqüència teòrica a la qual vol excitar el model o sistema i l'amplada teòrica de la senoide, i obté de l'analògic el període i l'amplada real de la senoide, el desfasament en msec. i l'amplada del senyal de sortida del sistema.

4.2. Estudi temporal

El digital controla la generació del senyal analògic de perturbació i obté d'ell per DMA ("Direct Memory Access") la resposta transitoria (domini temporal) digititzada.

4.3. Treball en temps real

A l'anàlisi freqüencial en temps real, l'analògic genera interrupcions cada 2 msec -- perquè el digital transmeti per DMA el guany i el desfasament que es representaran en l'oscil·loscopi. La freqüència de transmissió ve forçada per l'analògic.

A l'estudi temporal es sincronitza l'excitació del sistema amb la transmissió per DMA de la resposta transitoria coneguda. El control és digital i la freqüència de transmissió ve forçada per l'analògic.

5. MÒDULS ANALÒGICS

A la figura 7 s'han esquematitzat els diferents blocs amb els quals està compost el programa analògic.

Aquests són:

- Blocs analògics
 - Generador del sinus: encarregat d'excitar freqüencialment el sistema.
 - Generadors de senyals no periòdics: per estudiar el comportament transitori del model.
 - Detector de pics: troba l'amplada màxima del senyal de sortida i d'entrada a l'anàlisi freqüencial.
- Blocs de lògica paral·lela
 - Mesura del període i de la fase: mesura el període del senyal d'entrada al sistema i el desfasament entre la sortida i l'entrada.
 - Control de la representació gràfica en temps real: lògica de control interruptiu per a la representació gràfica en temps real de l'anàlisi freqüencial del model i lògica de control de la representació en temps real de la resposta temporal.
 - Control de la digitització de la resposta transitoria: lògica de control de la digitització i de la transferència per DMA de la resposta transitoria del model.

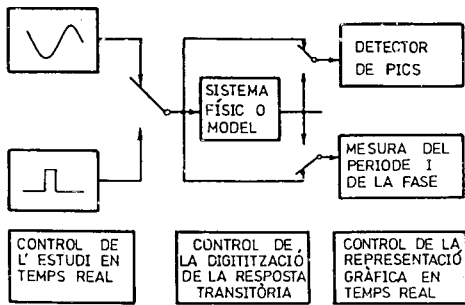


Fig. 7. Esquema de blocs del programa analògic.

5.1. Generador senoidal

S'han analitzat diverses maneres de generar la funció sinus. Les alternatives inicials més interessants varen ser tres: generador senoidal extern al calculador analògic, modul analògic que genera la funció sinus al ser escombrat amb una rampa i la generació de la funció sinus a partir de la seva equació diferencial.

En els generadors externs estudiats, la freqüència de la funció sinus es controla mitjançant la tensió V (fig. 8). La limitació d'aquest mètode són els reduïts rangs de freqüències que es poden obtenir actuant automàticament sobre V .



Fig. 8.- Generador senoidal extern.

El model analògic es va descartar perquè el senyal té distorsió a partir dels 500 Hz.

El control de la freqüència del generador senoidal creat a partir de l'equació diferencial del sinus és molt fàcil però degut al comportament no ideal dels elements electrònics emprats, la funció és inestable. Per a corregir la desestabilització s'aplica el mètode del gradient per a minimitzar l'error quadràtic /3/. El seu rang experimental de freqüències és des de 0,1 Hz a 15900, Hz.

5.2. Generadors de senyals no periòdiques

Les funcions no periòdiques que normalment s'utilitzant són de molt fàcil implementació.

A la fig. 9 hi ha el model analògic de diversos d'aquests senyals.

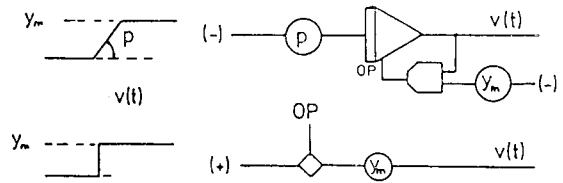


Fig. 9. Generadors de senyals no periòdics.

5.3. Detector de pics

El detector es comporta com un sistema de primer ordre quan $X > -Y$ i manté la sortida si $X \leq -Y$ (fig. 10). La seva funció de transferència en el pla s val:

$$X/Y = - \frac{1}{(a/g s + 1)} \quad \text{si } X > -Y$$

$$X/Y = \text{darrer valor trobat si } X \leq -Y \quad (3)$$

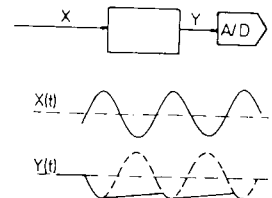


Fig. 10.- Detector de pics

on la seva constant de temps val a/g . Si el guany g es petit, es tarda molt en detectar el pic, i si al contrari, és grand, el valor trobat es degrada ràpidament degut al comportament no ideal del detector (fig. 11), i la lectura, al no estar sincronitzada, té generalment un error elevat. Si l'ajust del detector es fa, per exemple, per a 100 Hz, al treballar a 1000 Hz ens trobem en el cas (a) i si treballem a 1 Hz en el (b).

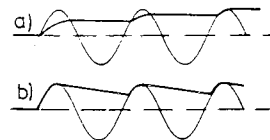


Fig. 11.- Comportament del detector de pics.

Per a millorar el comportament del detector en tot el rang de freqüències de treball, el guany g és funció de la freqüència del generador senoidal. En una propera versió s'in-

tentarà sincronitzar la lectura del pic amb el màxim de la funció $x(t)$.

L'error màxim en el guany detectat val 0.02 (valor absolut) i un error promitjat de .001. El temps que tarda en detectar el pic val $2 T$.

5.4. Lectura de la freqüència i del desfasament.

A fi d'aconseguir una precisió elevada s'ha preferit utilitzar tècniques digitals en lloc de les analògiques.

El mètode emprat consisteix en escombrar amb pulsos d'elevada freqüència la finestra que s'obra alternativament durant un període del senyal d'excitació i la que s'obra per trobar el desfasament entre el senyal de sortida i el d'entrada (fig. 12).

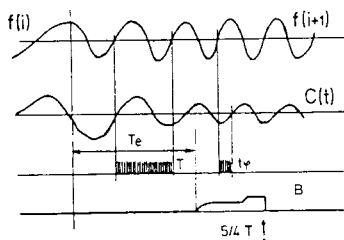


Fig. 12.- Mesura de la freqüència i del desfasament.

Aquests trens de pulsos es conten per trobar T i $t\psi$

$$T = Nt \cdot 1/f_p \quad (5)$$

$$t\psi = N\psi \cdot 1/f_p \quad (6)$$

La freqüència d'excitació val

$$f = 1/T \quad (7)$$

i el desfasament

$$\psi = \frac{N\psi}{NT} \cdot 360 \quad (8)$$

L'error màxim en el càlcul de T i de $t\psi$ val $2/f_p$, fet que és comproba experimentalment.

Per a reduir aquest error al mínim, la freqüència d'escombrat de la finestra (f_p) ha de ser la més elevada possible. Aquesta freqüència màxima es de 500 KHz.

L'error màxim de la freqüència és de

$$\epsilon_f = 1/T^2 f_p / (2 + T) \quad (9)$$

i l'error relatiu màxim val (fig. 13)

$$\epsilon_{rf} = \epsilon_f \cdot t \cdot 100 = \frac{100}{\frac{2,5 \cdot 10^5}{f} + 1} \quad (10)$$

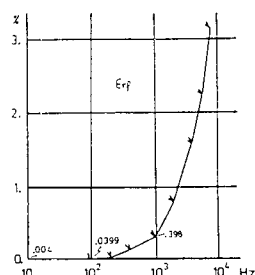


Fig. 13.- Error relatiu en el càlcul de la freqüència.

Es necessari remarcar que cal comprobar la freqüència de la funció sinus perquè la que es for a al generador senoidal no és la que exactament tindrà, aquest error és degut a la imprecisió, inherent a l'analògic, del quart dígit decimal dels atenuadors que forçant la freqüència.

L'error màxim absolut en el càlcul del desfasament val,

$$\epsilon\psi = 2/f_p \cdot f \cdot 360 = 1.44 \cdot 10^{-3} \cdot f \quad (11)$$

Mitjançant aquest mòdul lògic, s'ha aconseguit tenir un error peti treballant per sota de 1 KHz. L'usuari ha de tenir en compte els errors en el càlcul de la fase sempre que treballi per sobre de 1000 Hz.

5.5. Lògica de control de la representació gràfica en temps real.

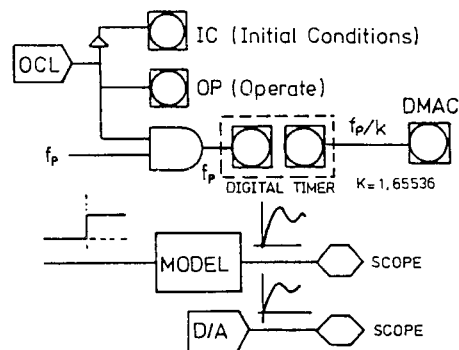


Fig. 14. Representació de la resposta temporal en temps real.

La representació de la resposta temporal es fa sincronitzant la perturbació del model - amb la transmissió per DMA de la resposta - transitòria teòrica. La freqüència màxima de la transferència per DMA és de 300 KHZ (fig. 14).

Els punts de la resposta teòrica que s'envien es troben a partir dels punts coneguts e interpolant linealment. El nombre màxim de punts interpolats que es poden enviar és 1000 (fig. 15).

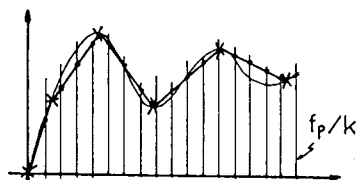


Fig. 15.- Resposta transitòria interpolada.

Inicialment, a la primera versió del programa, la generació de la resposta transitoria teòrica es feia mitjançant un generador de funcions (DCFG), carregant-lo previament a l'estudi en temps real i escombrant-lo amb una rampa sincronitzada amb el senyal de OP (fig. 14). La limitació més important és el reduït nombre de punts (16) que es poden carregar en el DCFG. Amb el mètode actual, el nombre de punts significatius s'amplia a 75.

La representació gràfica de l'anàlisi freqüencial és fa mitjançant control interruptiu, transferint-se per DMA les respostes teòriques i experimentals a fi de deixar disponible la major part del temps del calculador digital per al control de l'excitació freqüencial i el càlcul del guany i del desfasament.

La lògica paral·lela de control és l'encarregada d'interrompre el programa digital i de controlar la transferència per DMA. Per a tenir un refresc continuat de la pantalla gràfica, l'interrupció es produeix cada 2 mseg.

Per aprofitar al màxim l'estudi en temps real és interessant escalar el sistema en el temps a fi de tenir transitòris ràpids (1 mseg a 100 mseg), i que el rang de freqüències a estudiar estigui per sobre dels 10 Hz. L'objectiu principal de l'escalament en el temps és que qualsevol canvi en el model es reflexi quasi instantàneament en la representació gràfica de les seves respostes.

5.6. Control de la digitització de la resposta transitòria.

El problema més important que es presenta a l'hora d'adquirir la resposta transitòria és el de poder digititzar els transitòris ràpids. Per poder abarcar el camp de les respostes ràpides és imprescindible utilitzar la transferència per DMA. Aconseguint-se, treballant a la màxima freqüència de 30 KHZ, imposat per l'hardware A/D disponible, digititzar respostes fins a 1 mseg. El control lògic, és el mateix que el de la figura 15.

6. PROGRAMA DIGITAL.

El programa digital s'ha estructurat en forma modular, distribuint-se els diferents mòduls en forma d'arbre (fig. 16). A l'estar molt limitats en l'espai de memòria disponible. (19 k) ha sigut necessari dividir el programa en 5 segments, on cada un té una tasca ben diferenciada dels altres. Cada segment es correspon amb una branca de l'arrel principal.

6.1. Estructura del programa.

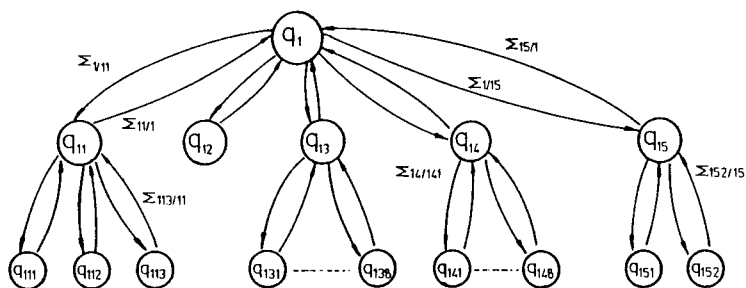


Fig. 16.- Estructura del programa digital.

Les relacions i la comunicació entre els mòduls més importants del programa digital es poden descriure mitjançant un autòmat A /8/, d'estats finits

$$A = (\Sigma, Q, \delta, q_1, F) \quad (12)$$

on

Σ : conjunt de comandes que controlen l'autòmat.

$$\Sigma = \{\Sigma_{1/11}, \Sigma_{11/1}, \dots, \Sigma_{15/152}, \Sigma_{152/15}\}$$

Q: conjunt de tots els estats possibles de l'autòmat

$$Q = \{q_1, q_2, \dots, q_{151}, q_{152}\}$$

δ : funció de comunicació entre els estats

$$\text{p.e. } \delta(q_1, \Sigma_{1/11}) = q_{11}$$

q_1 : estat inicial

$$(q_1 \in Q)$$

F: conjunt d'estats finals

$$(F \subseteq Q)$$

Sent, per exemple, q_1 , el controlador de l'accés als diferents segments i, q_{13} , el supervisor de l'anàlisi freqüencial la comunicació des de q_1 a q_{13} es fa a través de la comanda FREQ (freqüencial).

$$\delta(q_1, \text{FREQ}) = q_{13}$$

$$\Sigma_{1/13} = \text{FREQ}$$

Els segments de que es compona l'actual versió del programa són:

- 1.- Inicialitzacions
- 2.- Diagnòstic del cablejat analògic
- 3.- Anàlisi freqüencial
- 4.- Estudi de les respostes transitòries (domini temporal)
- 5.- Estudi freqüencial i temporal en temps real

Els mòduls més importants del programa digital són els que controlen l'estudi de les respostes freqüencial i temporal i l'estudi en

temps real. Són els intrínscament híbrids, - al ser els subprogrames que controlen i es comuniquen amb el calculador analògic. De les seves prestacions particulars, fiabilitat i velocitat, depent en gran manera el rendiment global del programa híbrid.

Es interessant tornar a remarcar que a diferència del càlcul digital, amb el càlcul híbrid el temps emprat en fer l'anàlisi freqüencial i l'estudi temporal és independent de la complexitat del sistema.

6.2. Anàlisi freqüencial

Les tasques encomanades al subprograma d'anàlisi freqüencial són:

- Controlar l'excitació freqüencial del sistema tenint en compte l'escalat en el temps del sistema i l'escala de temps del calculador analògic.
- Càlcul del guany del sistema per cada freqüència d'excitació a partir de les amplitudes dels senyals de sortida i d'entrada al sistema.
- Càlcul de cada freqüència d'excitació i del desfasament corresponent.

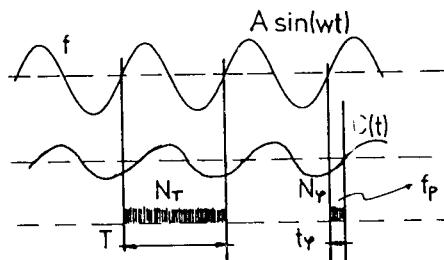


Fig. 17. Mesura de la frecuencia, de la fase.

El temps de càlcul del guany i del desfasament del sistema per cada freqüència d'excitació es pot descomposar en (fig.17):

- Temps d'estabilització i de la mesura de la freqüència d'excitació. Al ser en paral·lel el temps màxim val,

$$t_1(i) = \max(t_e, 2T(i)) \quad \beta s / \beta c \text{ msec}$$

- Temps de càlcul del desfasament i del guany

$$t_2(i) = 2T(i) \quad \beta s / \beta c \text{ msec}$$

- Temps d'execució de les instruccions

$$t_3(i) = k_1 \text{ mseg}$$

El temps màxim emprat en fer tot l'anàlisi - freqüencial val, tenint en compte els càlculs inicials:

$$t = k_2 + 2T(1)\beta_s/\beta_c + \sum_{i=1}^{Npunts} ((\max(te, 2T(i)) + 2T(i))\beta_s/\beta_c + k_1) \text{ mseg} \quad (13)$$

Per l'anàlisi freqüencial per sobre de 1 KHz, l'expressió anterior es pot simplificar si $t_e < 1 \text{ mseg}$.

$$t \approx 3 + 7 \cdot Npunts \text{ mseg} \quad (14)$$

I treballant per sota dels 1000 Hz K_1 i K_2 es poden despreciar.

$$t \approx \{2T(1) + \sum_{i=1}^{Npunts} (\max(te, 2T(i)) + 2T(i))\} \beta_s/\beta_c \quad (15)$$

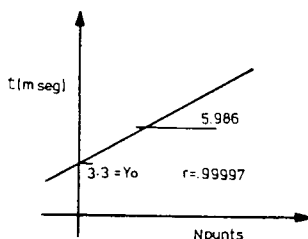


Fig. 18. Temps emprat en fer l'anàlisi freqüencial d'un filtre de Chebyscheff d'ordre 7.

6.3. Estudi temporal

La tasca principal encomanada al subprograma d'estudi en el domini temporal és el de calcular la freqüència de mostreig de la resposta transitòria tenint en compte l'escala de temps del sistema i del calculador, el temps del transitòri que es vol digititzar i el nombre de punts que es volen digititzar.

$$td = tr \cdot \beta_s/\beta_c \quad (td \geq 1 \text{ mseg}) \quad (16)$$

6.4. Anàlisi freqüencial i temporal en temps real.

El control de l'estudi en temps real es fa de la consola analògica mitjançant dos pulsadors (fig. 19).

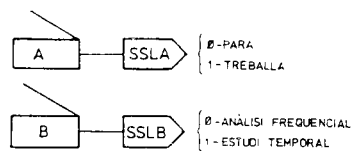


Fig. 19.- Control de l'estudi en temps real.

En funció de l'estat dels "sens lines" el programa escollirà la tasca a fer. Si l'estudi és freqüencial s'inicialitza la lògica -- per a que mentre es fa l'anàlisi es representi interruptivament el guany i el desfasament del sistema. Si l'estudi és el temporal, es sincronitza la perturbació del sistema amb la transferència per DMA de la resposta teòrica.

8. SISTEMES ESTUDIATS.

Els sistemes estudiats es distribueixen en un ampli espectre a fi d'aprofunditzar en les possibilitats pràctiques d'aplicació del paquet. El primer exemple és l'estudi del model analògic d'un sistema de segon ordre, -- exemple acadèmic, però al conèixer la resposta exacta que ha de tenir el model, es podrà valorar la precisió de l'estudi. El segon és l'estudi de la resposta freqüencial d'un filtre de Tchebyscheff de 7 ordre, connectat a l'analògic i per acabar s'aplica el paquet en l'identificació gràfica dels paràmetres del model d'una central hidroelèctrica.

8.1. Sistema de segon ordre.

El model analògic d'un sistema de segon ordre és (fig. 20).

I la seva equació de transferència val:

$$T(s) = \frac{k}{(\tau s)^2 + 2\xi\tau s + 1} \quad (17)$$

on

$$F_c = 50 \text{ Hz}$$

$$K = .5$$

$$\xi = .4$$

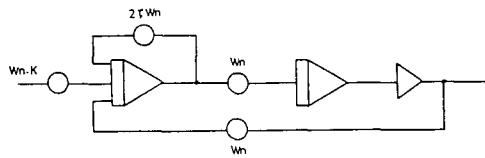


Fig. 20. Model analògic d'un sistema de segon ordre.

L'escombrat de freqüències es farà entre 10 i 100 Hz, ara bé, al treballar amb una escala del calculador 10 vegades més ràpida que en temps real, les freqüències en les que realment es treballarà estaràn entre 100 i 1000 Hz.

A la fig. 21 es compara l'anàlisi experimental amb el teòric (creus). L'error màxim en el guany val .01 en els 886 Hz i l'error màxim en la fase val .6 graus quan la freqüència val 785 Hz.

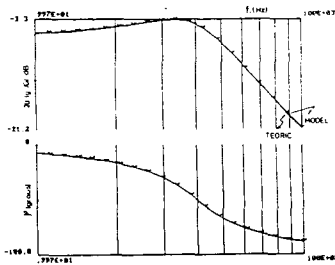


Fig. 21.- Diagrama de Bode del sistema de segon ordre.

La resposta temporal del model per a una perturbació amb esglaó val:

$$c(t) = k(1 - \frac{1}{\beta} e^{-\xi \omega_n t} \text{sen}(\omega_n \beta t + Q)) \quad (18)$$

$$\beta = \sqrt{1 - \epsilon^2}$$

$$Q = \text{tg}^{-1} \beta / \xi$$

A les figures 22 i 23 hi ha respectivament, la comparació entre la resposta transitòria teòrica i l'experimentació per a una perturbació amb esglaó i l'anàlisi de sensibilitat de la resposta freqüencial al variar l'esmoïment.

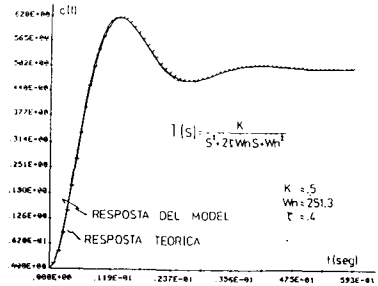


Fig. 22.- Resposta transitòria d'un sistema de segon ordre per una entrada amb esglaó.

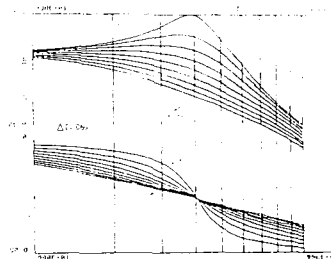


Fig. 23. Anàlisi de sensibilitat.

8.2. Filtre passa baixos de Tchebyscheff d'ordre 7.

Aquest filtre va ser dissenyat per a filtrar els senyals grabats en un registrador i que es volien digititzar mitjançant el calculador híbrid.

L'esquema elèctric del filtre és el de la fig. 24.

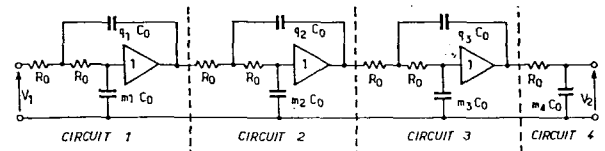


Fig. 24.- Filtre passa baixos de Tchebyscheff d'ordre 7.

i la seva funció teòrica de transferència normalitzada val /2/

$$T(p) = \frac{1}{(0.9153p^2 + 0.1534p + 1) \cdot (3.028p^2 + 2.056p + 1) \cdot (1.327p^2 + 0.6237p + 1) \cdot 2.654p + 1} \quad (19)$$

on la seva freqüència de tall val

$$F_c = 5000 \text{ Hz}$$

L'anàlisi freqüencial del filtre ens mostra que no es comporta exactament com volem (fig. 25) i que és necessari ajustar alguns paràmetres per aproximar l'anàlisi experimental al teòric.

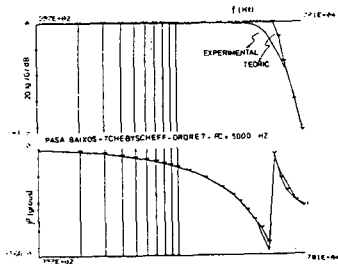


Fig. 25.- Anàlisi freqüencial del filtre.

La part més interessant d'aquest exemple és el ficar en evidència els errors en el càlcul de la freqüència, del guany i de la fase a freqüències elevades.

Si es fa el mateix anàlisi freqüencial N vegades (fig. 26 - 500 veg.) es pot observar l'error màxim que es pot produir a cada punt i que es reflexa en el gruix de les corbes.

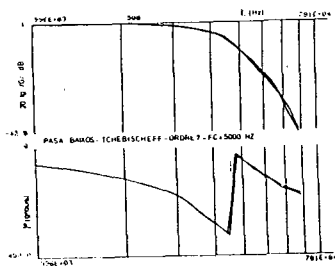


Fig. 26.- Superposició de 500 anàlisis freqüencials.

Si només s'estudia un interval petit de freqüències (5000-5500 Hz) s'aprecia clarament (fig. 27) l'error, que és degut principalment a la discretització de la lectura deguda a l'escombrat amb pulses al llegir la freqüència (apartat 5.4) i la fase.

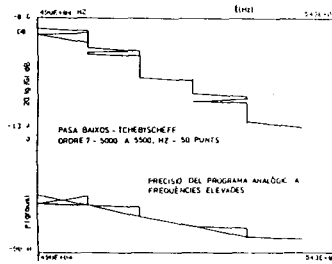


Fig. 27.- Errors produïts per la discretització en la mesura.

8.3. Model d'una central hidroelèctrica

Es preten identificar els paràmetres del model d'un grup d'una central hidroelèctrica a partir de dades experimentals i de la bibliografia existent pot dissenyar un primer model del grup (fig. 29).

L'estudi es pot dividir en dos parts: obtenció de dades "in situ", observant el comportament del grup en front de senyals de comandament.

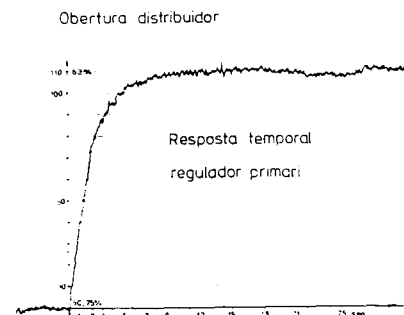


Fig. 28.- Resposta temporal experimental del regulador primari.

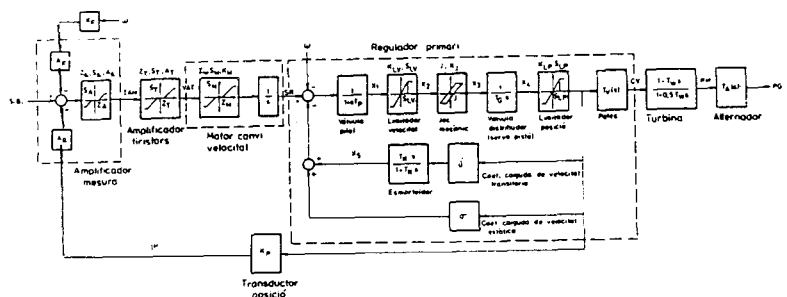


Fig. 29.- Esquema de blocs d'un grup d'una central hidroelèctrica.

da conegudes; i validació i deducció del model matemàtic a partir de l'anàlisi de la informació experimental i de la comparació de les respostes del model amb les experimentals.

En l'anàlisi de sensibilitat dels paràmetres del grup es coneix la influència d'aquests en el comportament de la central deudint-se els paràmetres que són més crítics. I ajustant els paràmetres del model s'ha aconseguit que les respostes experimentals i les del model siguin molt semblants (fig. 30 i 31), identificant-se així els paràmetres del grup.

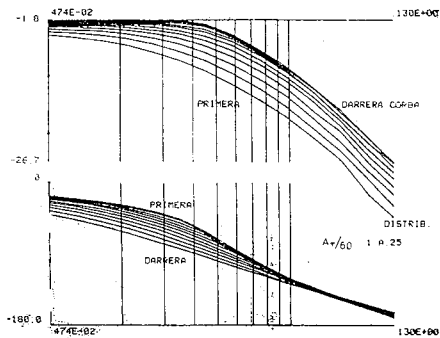


Fig. 30.- Estudi de sensibilitat de la resposta freqüencial.

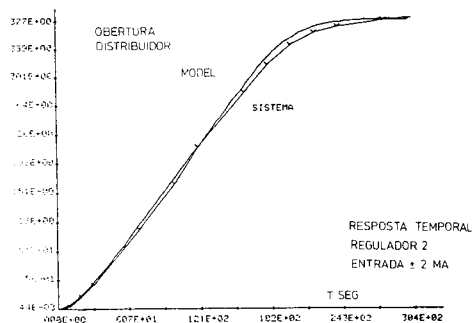


Fig. 31.- Resposta temporal del model.

9. CONCLUSIONS.

El programa presentat constitueix una eina que encara que estigui basada en tècniques de càlcul híbrid, s'ha dissenyat amb un grau de transparència que minimitza el coneixement d'aquestes tècniques per part de l'usuari en la seva explotació.

El rang de precisió es suficient per càlculs d'enginyeria i és capaç de tractar problemes de dimensió industrial al permetre estudiar models lineals i no lineals d'ordre elevat (25).

També es interessant la possibilitat de poder estudiar sistemes connectats a l'analogic.

10. RECONeixEMENTS.

L'autor agraeix els consells i suggerències rebudes del Dr. Rafael Huber i del professor Jordi Riera, així com l'ajuda i la col·laboració dels membres de l'Institut de Cibernètica.

11. BIBLIOGRAFIA.

- /1/ BEKEY i KARPLUS. "Hybrid Computation". John Wiley and Sons, 1968.
- /2/ BILDSTEIN, P. "Filtres Actifs". Editions Radio, 1976. pp. 176-181.
- /3/ HAUSNER, A. "Analog and Analog/Hybrid Computer programming". Prentice Hall, 1971. pp.390-419.
- /4/ ISERMAN, R. "Practical Aspects of Process Identification". Automàtica 16, 1980, pp.575-587.
- /5/ MILNER, E.J., i LEWIS, N. "Application of a híbrid computer to sweep frequency data processing". CAF. October, 1972.
- /6/ RAKE, H. "Step Response and Frequency Response Methods" Automàtica 16, 1980. pp. 519-526.
- /7/ STREJC, v. "Trends in Identification". Automàtica 17. 1981.
- /8/ FU, K.S. "Syntactic Methods in Pattern Recognition". Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1974. Academic Press.

12. APÈNDIXS.

LLISTA DE SÍMBOLS.

- A = Amplada de la senoide d'excitació.
- At = Id. teòrica.
- B = Amplada màxima positiva del senyal de sortida del sistema.
- f = Freqüència de la senoide d'excitació.
- ft = Id. teòrica.
- fp = Pulses de 500 KHz.
- G = Guany del sistema.
- Nt = Nombre de pulses contats en la mesura de la freqüència d'excitació.
- N Ψ = Id. del desfasament.
- T = Periode de la senoide d'excitació.
- t Ψ = Desfasament (temps).
- tr = Temps d'estudi del transitori.
- td = Id. escalat.
- te = Temps d'estabilització del sistema.
- Ψ = Desfasament del sistema.
- β_s = Escalat del sistema en el temps.
- β_c = Id. del calculador.
- ef = Error absolut en la mesura de la freqüència d'excitació.
- erf = Id. error relatiu.
- $\epsilon\Psi$ = Error absolut en la mesura del desfasament.