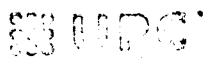


APORTACIÓ A LA IDENTIFICACIÓ PARAMÈTRICA DE SISTEMES DINÀMICS

Memòria presentada al departament
d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial,
per accedir al grau de
Doctor Enginyer Industrial


BIBLIOTECA RECTOR GABRIEL FERRATE
Campus Nord

per
Teresa Escobet i Canal
1997

Director
Joseba Quevedo i Casín
Dept. ESAII

7.3 Interfícies amb l'usuari

Pel desenvolupament de l'entorn *Graphical User Interface for Time Domain System Identification (tdgui)* s'ha seguit el patró del programa implementat per Ceri Evans i Michel Weiss de la Universitat de Glamorgan, *Graphical User Interface for Frequency Domain System Identification (fdgui)*, ja que un dels objectius futurs serà desenvolupar conjuntament una eina que abasti els dos camps: freqüencial i temporal.

El menú gràfic principal permet visualitzar les diferents tasques realitzades pel programa desenvolupat. Aquest constarà de cinc parts, les dues últimes ja implementades:

- Estudi previ de les característiques del procés. Tindrà per objectiu determinar l'interval de freqüències més significatives del procés a estudiar i seleccionar el període d'adquisició de dades. La metodologia a utilitzar s'ha descrit en l'apartat 2.4 de la tesi.
- Disseny de senyals excitació. A partir de les característiques estimades del procés es podran dissenyar diferents tipus de senyals d'excitació. Les característiques d'aquests senyals es classificaran segons: tipus, periodicitat i ample de banda.
- Experimentació amb el procés. Tindrà per objectiu excitar el procés amb el senyal dissenyat i adquirir els senyal de sortida. Per a la realització d'aquest etapa s'ha pensat utilitzar la *Toolbox Real Time* del programa *MATLAB*.
- Anàlisi de les dades. El programa desenvolupat permet analitzar les dades d'entrada i sortida del procés estudiat des de diferents camps: temporal, freqüencial i correlacions.
- Identificació del model òptim i validació. Es pretén aconseguir un model discret que es comporti de forma semblant al procés real, amb aquest objectiu s'utilitzen les funcions exposades en l'apartat anterior.

7.3.1 Anàlisi de les dades d'entrada i sortida

La figura 7.3 mostra el menú d'anàlisi de dades. Hi ha una part informativa dels senyals: nom, nombre de períodes, freqüència d'adquisició de dades, amplitud dels senyals, valors mitjos i estimació de la relació del senyal útil senyal soroll (SNR) quan l'excitació sigui periòdica. Consta a més a més de diferents opcions:

- Visualització temporal dels senyals.
- Covariància de la sortida.
- Visualització de la correlació del senyal d'entrada i la correlació creuada entre entrada i sortida.
- Estudi freqüencial dels senyals.
- Coherència dels senyals.
- Estimació de la resposta freqüencial.

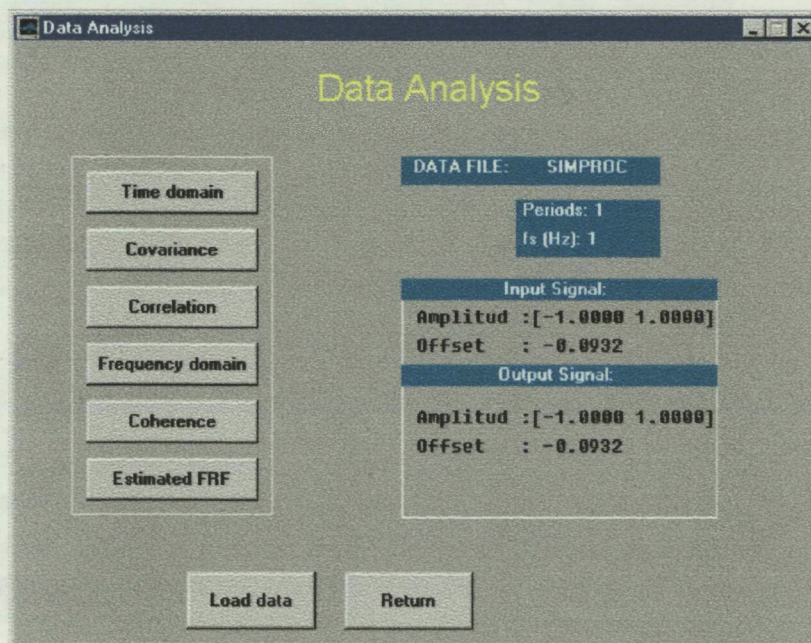


Figura 7.3. Menú de l'anàlisi de dades.

La coherència dels senyals s'avalua a nivell espectral. Es defineix com a coherència la relació [Johansson, 1993]:

$$\Gamma_{uy} = \frac{|S_{uy}(j\omega)|}{\sqrt{S_{uu}(j\omega)S_{yy}(j\omega)}}$$

el valor de Γ_{uy} es mou en l'interval $0 \leq \Gamma_{uy} \leq 1$ i s'aproxima a 1 quan el nivell de soroll es baix ($S_{vv} \ll S_{uu}$).

El procediment utilitzat per l'estimació de la funció de transferència freqüencial, depèn del tipus de senyal d'excitació:

- en senyals periòdics es fa servir directament la transformada de Fourier:

$$\hat{G}(j\omega) = \frac{Y(\omega)}{U(\omega)}$$

on $Y(\omega)$ i $U(\omega)$ són les transformades de Fourier del senyals $y(t)$ i $u(t)$ respectivament

- per senyals no periòdics s'utilitza el quocient dels espectres:

$$\hat{G}(j\omega) = \frac{\hat{S}_{yu}(\omega)}{\hat{S}_u(\omega)}$$

on $\hat{S}_{yu}(\omega)$ és l'espectre creuat dels senyals $y(t)$ i $u(t)$ i $\hat{S}_u(\omega)$ és l'espectre del senyal d'excitació, $u(t)$, per a la seva estimació es fa servir una finestra Hamming [Ljung, 1994].

7.3.2 Identificació de l'estructura, estimació dels paràmetres i validació

El menú d'identificació del model s'observa en la figura 7.4. Aquest, a més a més de disposar de les alternatives descrites en l'apartat 7.2.2, presenta altres possibilitats:

- diferenciar entre processos amb mantenidor d'ordre zero o sense i, conseqüentment, poder modificar el senyal de sortida incorporant-hi l'error generat de la reconstrucció d'un ZOH (apartat 5.5)
- processar les dades mostrades, anul·lant el valor mig (fet que es realitza automàticament quan el valor mig dels senyals processats no és nul) i filtrat freqüencial de les dades quan els senyals són periòdics amb l'objectiu de millorar la relació senyal útil senyal soroll.

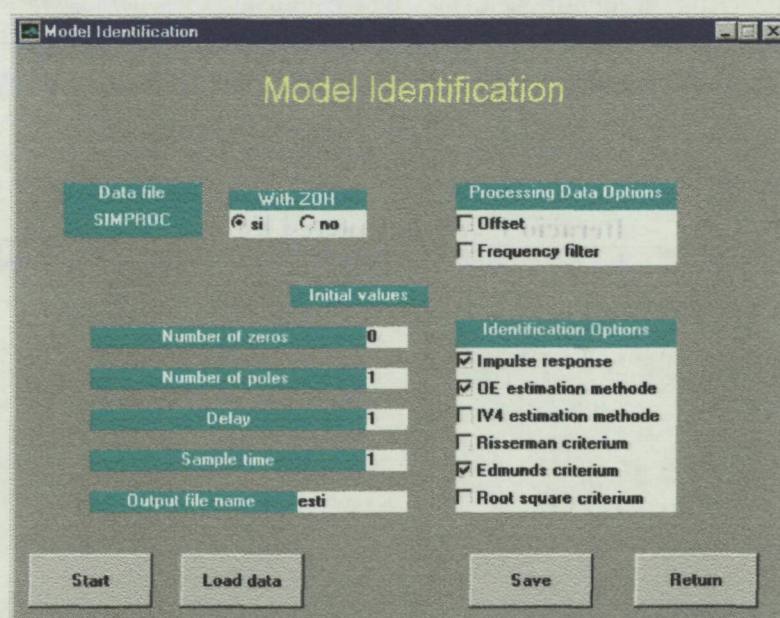


Figura 7.4. Menú d'identificació del model.

En l'etapa d'estimació de la resposta impuls, es mostra a l'usuari la resposta impuls estimada i la informació obtinguda a partir d'ella (figura 7.5): l'interval de valors estimats pel retard pur, l'estructura bàsica del model (ordre 1 o 2) i el valor a partir del qual el paràmetre b_0 es considerarà significatiu.

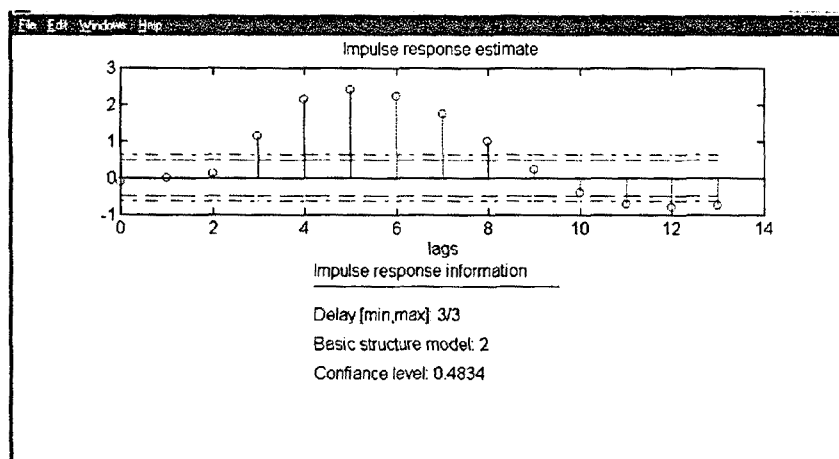


Figura 7.5. Informació obtinguda a partir de la resposta impuls estimada.

En l'etapa de selecció de l'estructura es mostra a l'usuari, per cada iteració: els residus, la correlació creuada entre els residus i el senyal d'entrada, la situació dels pols i zeros del model estimat, el valor del criteri d'identificació i el test estadístic t-Student dels paràmetres del polinomi $B(q^{-1})$. Les figura 7.6 i 7.7 mostren les dues iteracions realitzades per a la identificació de l'estructura del procés estudiat (figura 6.1).

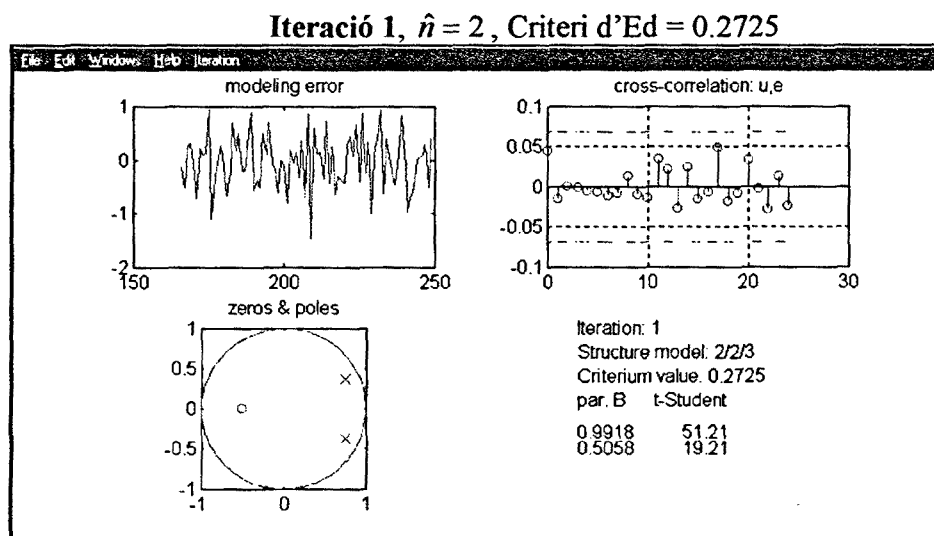


Figura 7.6. Primera etapa per a la selecció de l'estructura del model.

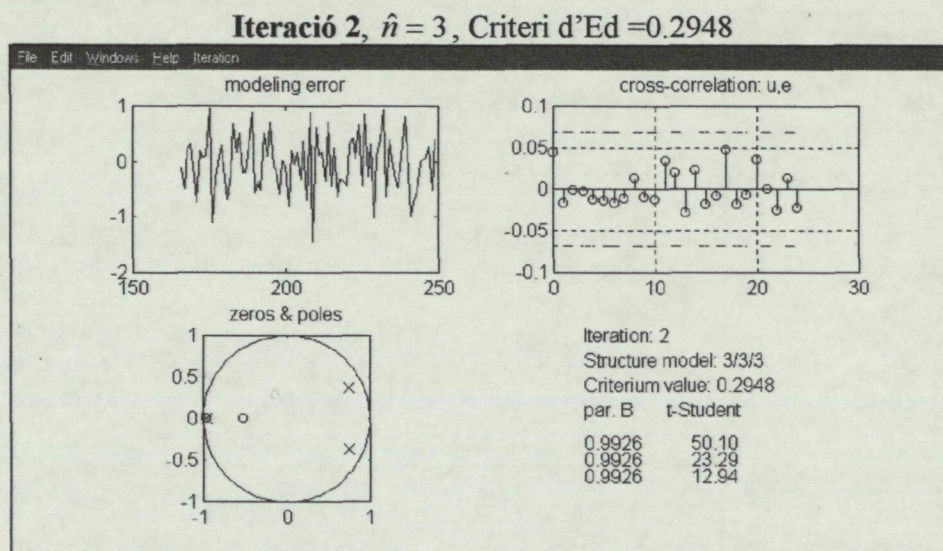


Figura 7.7. Segona etapa per a la selecció de l'estructura del model.

Un cop el programa ha seleccionat l'estructura òptima, es disposa de la possibilitat de validar el model identificat. La validació es fa a partir de l'anàlisi de: la situació dels pols i zeros, la correlació creuada entre el residu i entrada, la comparació entre resposta freqüencial del model estimat i la resposta estimada directament de les dades (figura 7.8), i la comparació de la resposta real del procés amb la resposta predita però a partir d'un altre fitxer de dades. Es té també accés a un resum de les característiques del model identificat (figura 7.9).

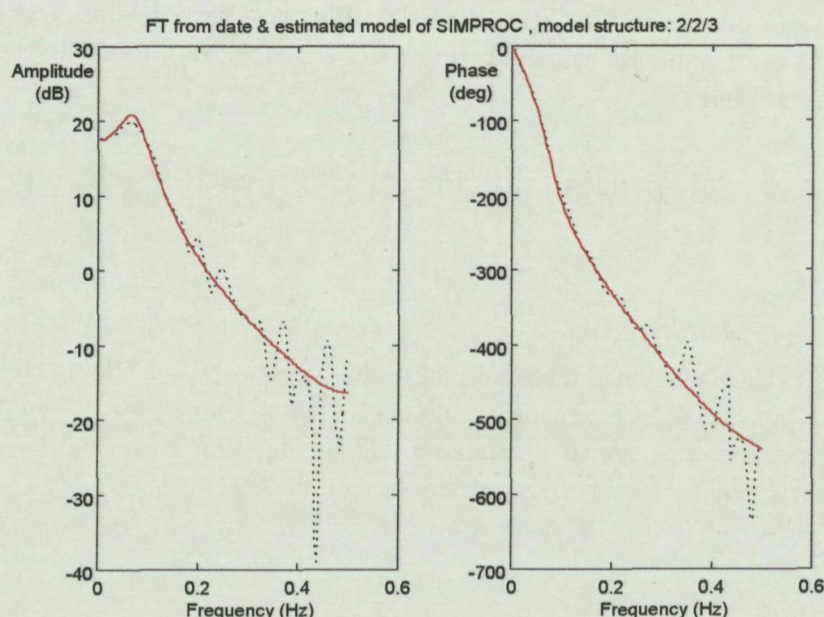


Figura 7.8. Validació del model estimat a partir de la resposta freqüencial.

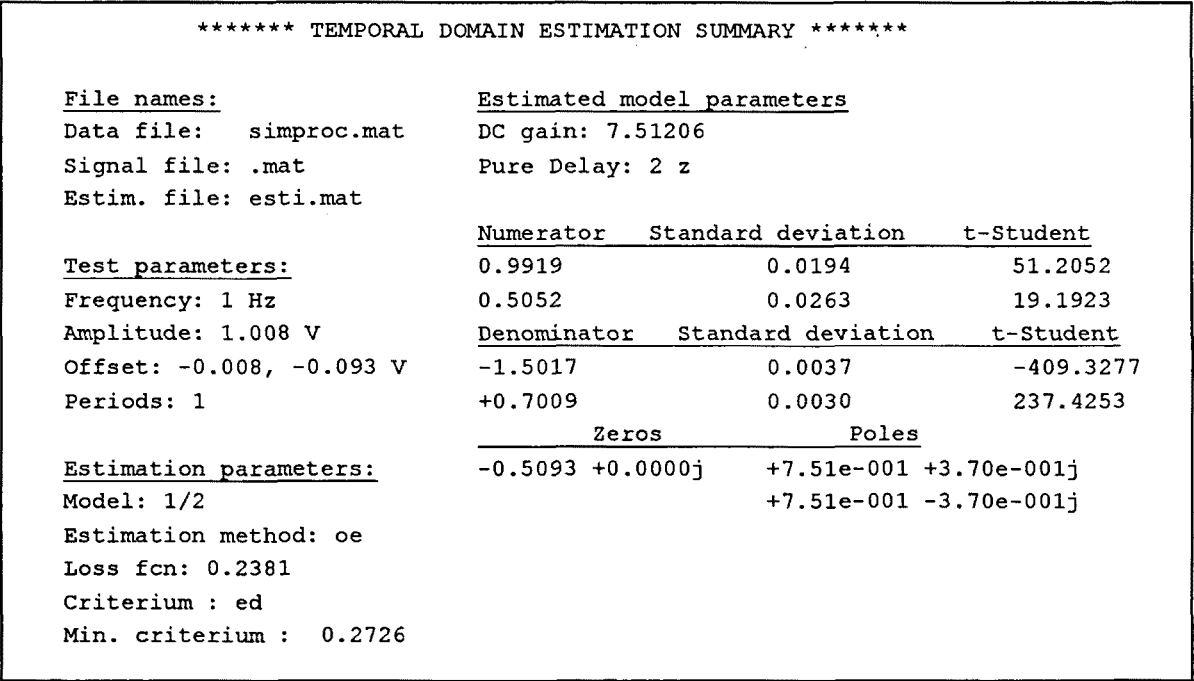


Figura 7.9. Resum de les característiques del model identificat.

7.4 Aplicació a l'estudi de casos reals

Aquest apartat té per objectiu mostrar el funcionament del programa desenvolupat i validar-lo. Com a procés simulat s'utilitza el "ECC bench-mark" utilitzat al llarg dels primers capítols de la tesi. Els processos reals utilitzats han sigut: un procés de cabal, un procés de temperatura i un motor de corrent continu.

7.4.1 Modelització del procés simulat "ECC bench-mark" amb soroll colorat

7.4.1.1 Resultats de la identificació

Un procés que ens permet validar la metodologia d'identificació proposada és el "ECC benk-mark" proposat en l'apartat 4.4.Els senyals resultants d'excitar aquest procés" en presència de soroll colorat i emprant com a senyal d'excitació ml7, es mostren en la figura 7.10. En ella s'han superposat els senyal de sortida dels 6 períodes estudiats.

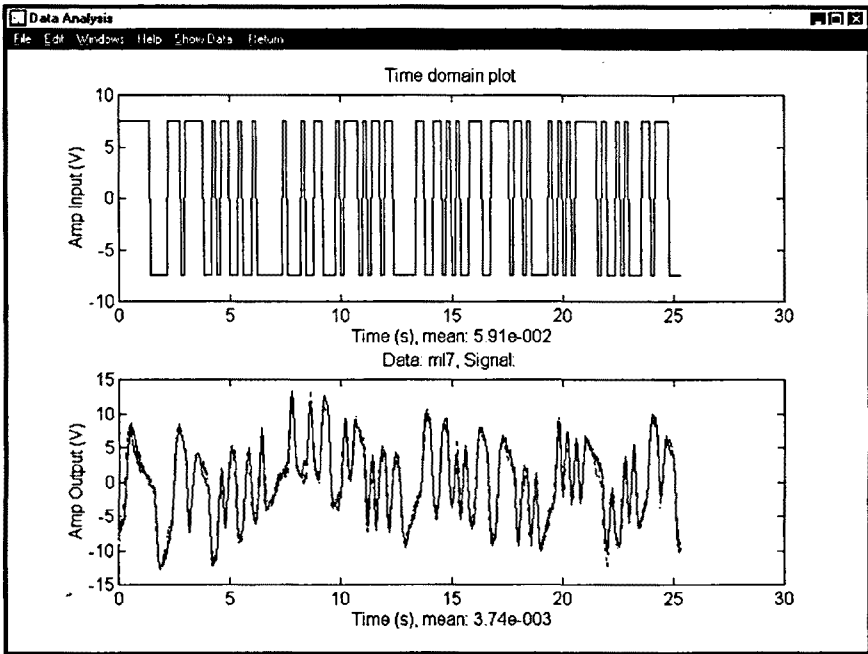


Figura 7.10. Evolució temporal dels senyals d’entrada i sortida del procés simulat “ECC bench-mark”.

Amb la resposta impuls estimada, figura 7.11, s’ha identificat correctament el valor del retard pur del procés simulat, $n\hat{k} = 3$. Es proposa, a més a més, una estructura bàsica d’ordre 2 i un valor de 0.0173 a partir del qual el paràmetre b_0 serà considerat significatiu.

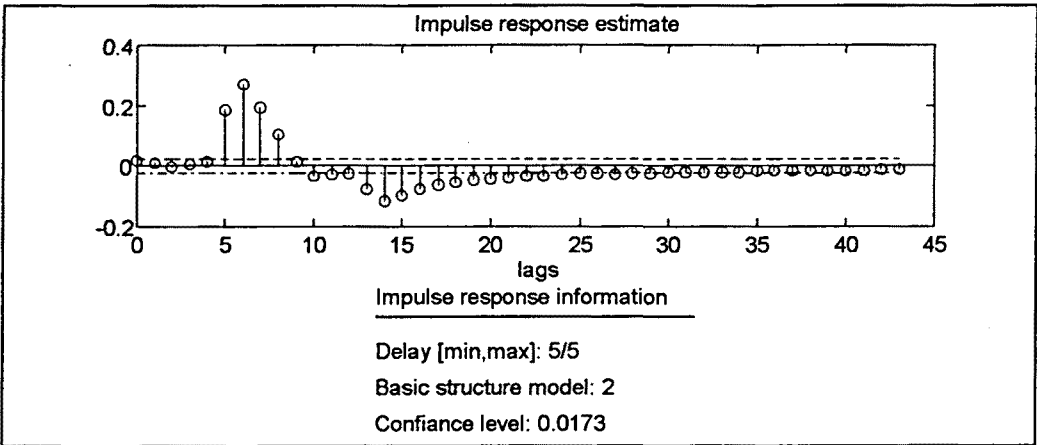
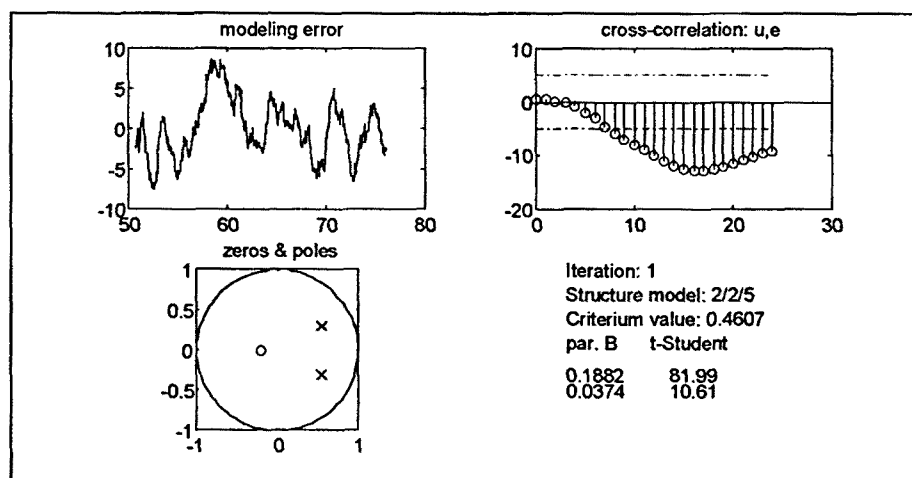


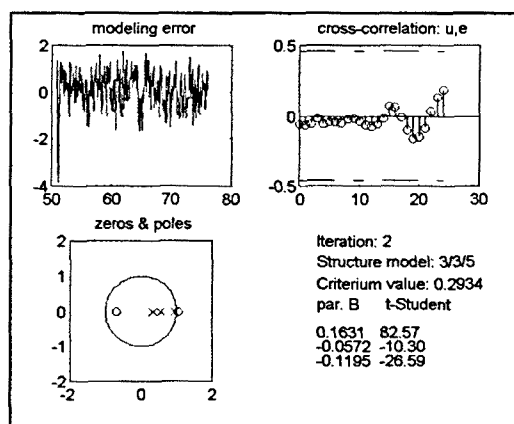
Figura 7.11. Informació obtinguda a partir de la resposta impuls estimada, procés “ECC bench-mark”.

En la següent figura es mostren les iteracions realitzades per la funció *e_ordre*. Per a l’estimació dels paràmetres del model s’ha utilitzat el mètode IV òptim i com a criteri

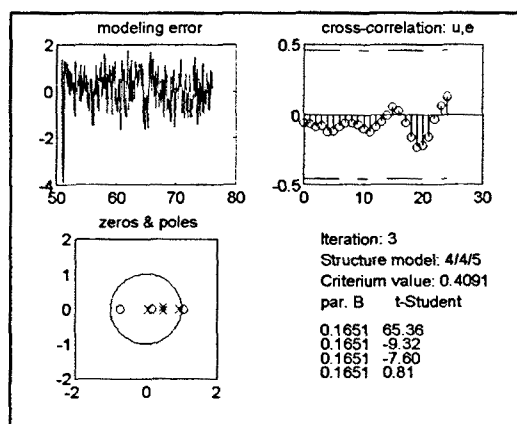
d'identificació Edmunds (criteri per defecte). El model identificat ha sigut d'ordre $\hat{n}=3$, fet que concorda amb l'ordre real del procés.



Iteració 1, $\hat{n}=2$, $n\hat{k}=5$, criteri d'Ed. 0.4607



Iteració 2, $\hat{n}=3$, $n\hat{k}=5$, criteri d'Ed. 0.2934



Iteració 3, $\hat{n}=4$, $n\hat{k}=5$, criteri d'Ed. 0.4091

Figura 7.12. Iteracions realitzades per a la identificació de l'estructura del model, procés "ECC bench-mark".

La figura 7.13 mostra, a més a més, de les condicions en que s'ha realitzat la identificació del procés estudiat, els valors dels paràmetres del model estimat amb la seva desviació estàndard i el valor de t-Student, i la situació dels pols i zeros.

***** TEMPORAL DOMAIN ESTIMATION SUMMARY *****			
<u>File names:</u>	<u>Estimated model parameters</u>		
Data file: ml7.mat	DC gain: -0.950552		
Signal file: .mat	Pure Delay: 4 z		
Estim. file: esti.mat			
	<u>Numerator</u>	<u>Standard deviation</u>	<u>t-Student</u>
<u>Test parameters:</u>	0.1631	0.0020	82.5665
Frequency: 20 Hz	-0.0572	0.0055	-10.3020
Amplitude: 7.500 V	-0.1195	0.0045	-26.5853
Offset: 0.000, 0.000	<u>Denominator</u>	<u>Standard deviation</u>	<u>t-Student</u>
Periods: 6	-1.8612	0.0138	-135.2884
	+1.0613	0.0240	44.2437
<u>Estimation parameters:</u>	-0.1859	0.0108	-17.2543
Model: 2/3	<u>Zeros</u>	<u>Poles</u>	
Estimation method: iv	+1.0490 +0.0000j	+9.50e-001	+0.00e+000j
Loss fcn: 0.2833	-0.6985 +0.0000j	+5.65e-001	+0.00e+000j
Criterion: ed		+3.46e-001	+0.00e+000j
Min. criterium : 0.2934			

Figura 7.13. Resum dels resultats d'identificació del model "ECC bench-mark".

7.4.2 Modelització d'un procés de cabal

7.4.2.1 Descripció del procés

El procés estudiat consisteix en un recipient per líquids dividit en dues parts (figura 7.14). La part inferior conté el líquid de reserva. La part superior simula un tanc de magatzematge, en ell hi ha instal·lats diferents mesuradors de nivell. Una bomba és l'encarregada d'impulsar el líquid de la part inferior a la superior del recipient. El pas d'aigua de la part superior a la inferior es fa mitjançant una vàlvula accionada manualment des de l'exterior. La maqueta disposa de dos mesuradors de cabal: diferència de pressió i turbina.

L'objectiu a assolir en aquests apartat és el d'identificar un model pel conjunt: motobomba, circuit hidràulic i mesurador de turbina.

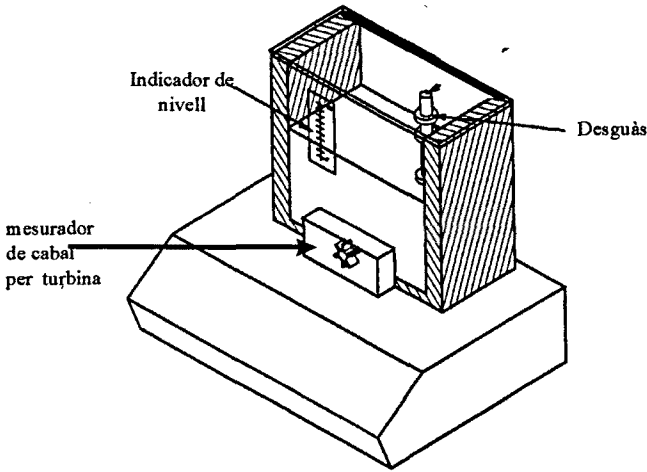


Figura 7.14. Esquema del procés de cabal.

7.4.2.2 Disseny del senyal d'excitació

El senyal excitació que es vol utilitzar per a la identificació d'aquest procés és un senyal multisinusoidal. Per calcular l'interval de freqüències d'aquest senyal, s'ha realitzat l'estudi previ descrit en l'apartat 2.5.

S'ha fet oscil·lar el procés amb un relè de característiques:

Experiment	Histèresi (ε)	Amplitud
1	0.5 V	5 ± 3 V
2	2.0 V	5 ± 3 V

Els resultats obtinguts es visualitzen en la figura 7.15. Utilitzant l'equació (2.41), s'ha calculat el valor aproximat de la constant de temps del procés:

$$T = 0.223 \text{ s.}$$

Amb les equacions (2.42) i (2.43), s'ha determinat la banda de freqüències del procés estudiat:

$$f_{\min} \approx 0.0714 \text{ Hz}$$

$$3.57 \text{ Hz} < f_{\max} < 7.14 \text{ Hz}$$

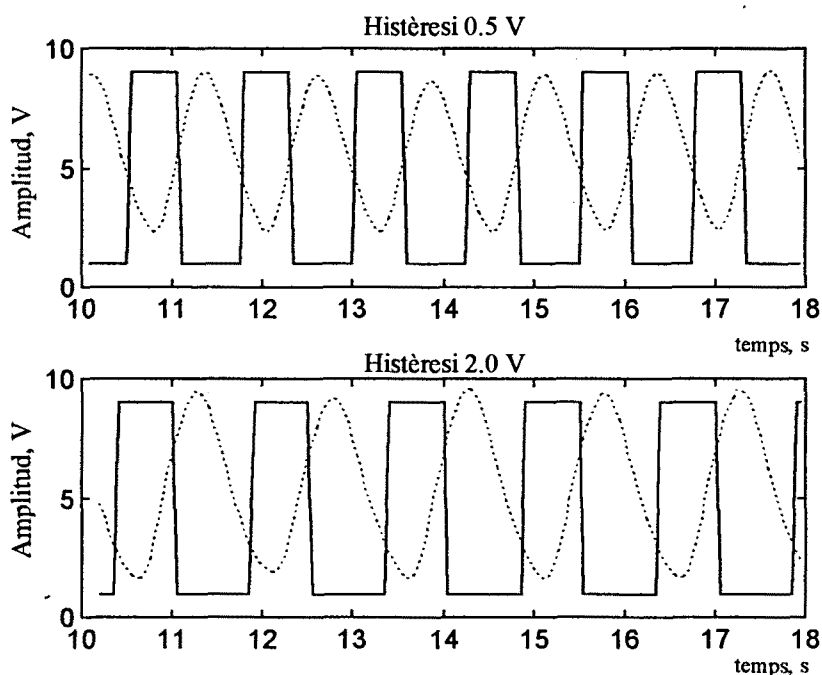


Figura 7.15. Senyals de sortida del relè (—) i sortida del procés (---).

Les característiques del senyal d'entrada dissenyat segons mètode Schroeder seran:

frequència fonamental, $f_0 = 0.064$ Hz

frequència màxima, $f_{\max} = 4.16$ Hz

frequència de disseny del senyal, $f_d = 1000$ Hz

nombre d'harmònics, $F = 65$

nombre de períodes, $m = 5$

amplitud en el domini temporal, $A = [4.5 \text{ V}, 9 \text{ V}]$

energia total, RMS = 7.15

factor de cresta, CF = 1.31

amplitud mínima en el domini freqüència, $|U_N(\omega)| = 0.255$

La freqüència d'adquisició de dades seleccionada ha estat de $f_s = 40$ Hz

7.4.2.3 Anàlisi dels senyals d'entrada i sortida

En la figura (7.16) es mostren les respostes temporals dels senyals d'entrada i sortida al llarg del 5 períodes. S'observa un comportament repetitiu en els diferents períodes del procés estudiat.

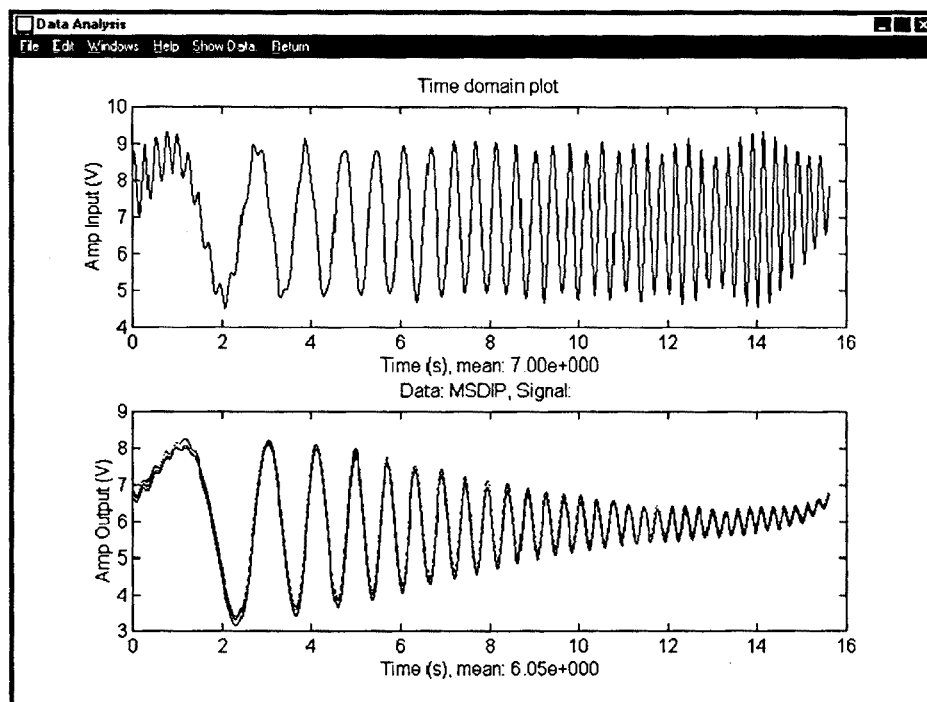


Figura 7.16. Evolució temporal dels senyals d'entrada i sortida superposant els diferents períodes, procés de cabal.

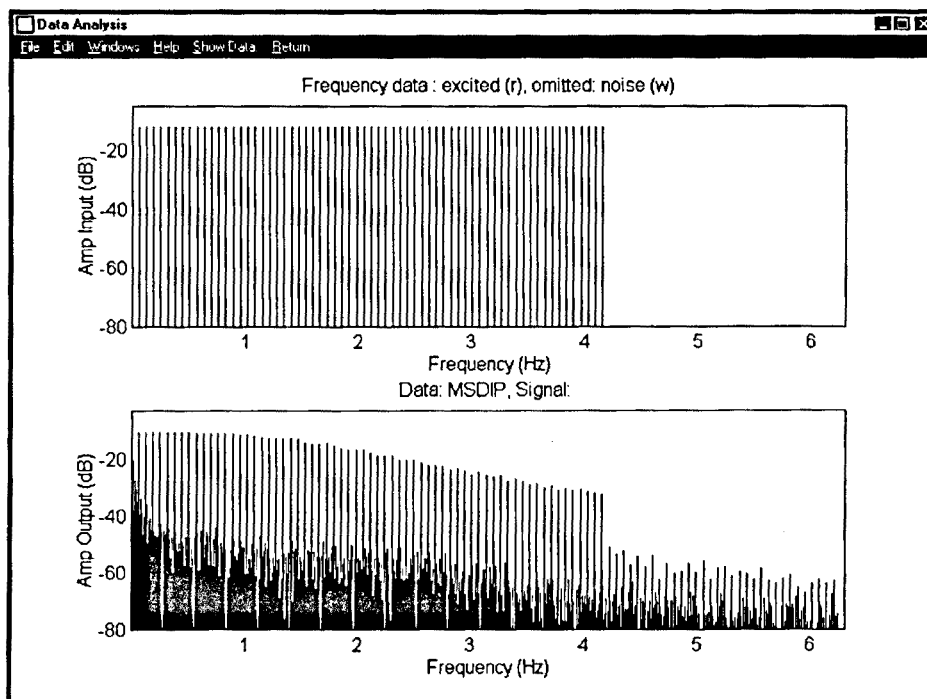


Figura 7.17. Contingut freqüencial dels senyals d'entrada i sortida, procés de cabal.

Les característiques freqüencials dels senyals d'entrada i sortida s'observen en la figura 7.17. De l'estudi freqüencial del senyal de sortida es dedueix que el procés estudiat incorpora soroll d'altres freqüències. La relació senyals útil senyal soroll és aproximadament de 2.92. La covariància del senyal de sortida es mostra en la figura 7.18. El seu estudi confirma que el senyal de sortida es repeteix al llarg dels cinc períodes estudiats.

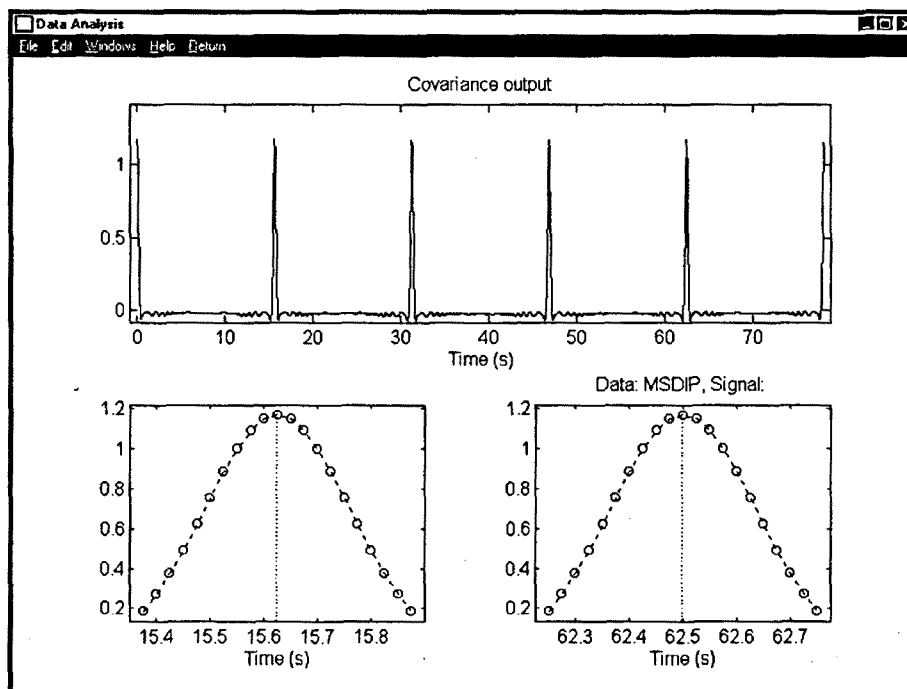


Figura 7.18. Covariància del senyal de sortida, procés de cabal.

7.4.2.4 Resultats d'identificació

Les etapes realitzades en la determinació de l'estructura del model es visualitzen en les figures 7.19 i 7.20.

A partir de la resposta impuls (figura 7.19) s'ha obtingut com informació que el retard pur del procés pot estar comprès entre 4 o 5 mostres, l'estructura bàsica serà com a mínim d'ordre dos, i el valor a partir del qual el paràmetre b_0 pot considerar-se significatiu serà de 0.0261.

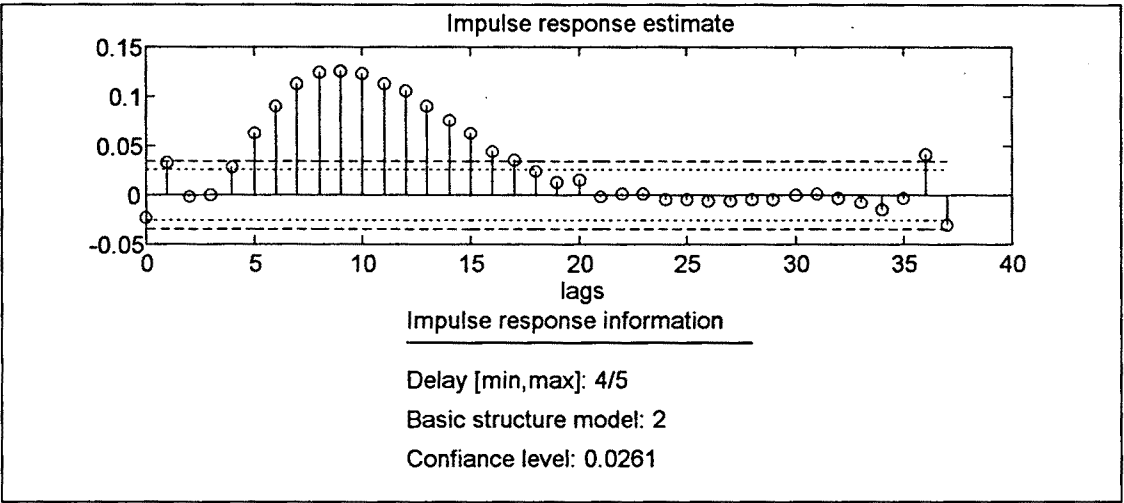


Figura 7.19. Informació obtinguda a partir de la resposta impuls estimada, procés de cabal.

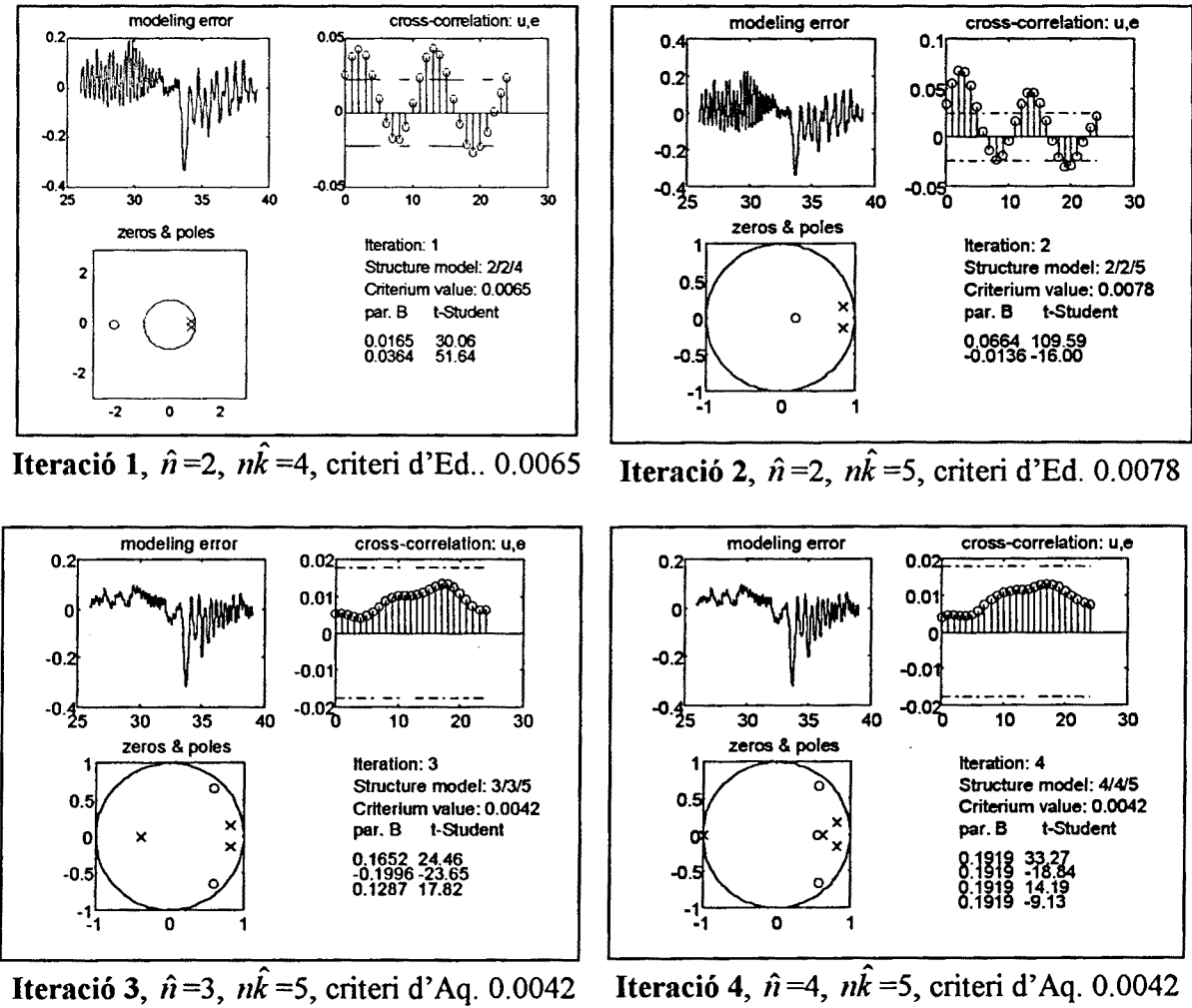


Figura 7.20. Iteracions realitzades per a la identificació de l'ordre del model, procés de cabal.

En la figura 7.20 s'observen les diferents iteracions realitzades per identificar l'ordre òptim del model, s'opera amb el senyal de sortida filtrat freqüencialment. En la primera iteració el paràmetre b_0 és poc significatiu, $b_0 < 0.0261$, per aquest motiu s'incrementa el valor del retard pur. L'ordre que minimitza el criteri d'identificació d'Edmunds és 3/3/5.

Les característiques del model identificat es mostren en la figura 7.21. S'observa que el model estimat presenta un pol de part real negativa. En l'apartat 6.7 s'ha demostrat que un model discret era representatiu d'un model continu sempre que les seves arrels siguin de part real positiva, fet que no succeeix en aquest cas.

***** TEMPORAL DOMAIN ESTIMATION SUMMARY *****			
<u>File names:</u>	<u>Estimated model parameters</u>		
Data file: msdip.mat	DC gain: 1.19344		
Signal file: .mat	Pure Delay: 4 z		
Estim. file: esti.mat			
	<u>Numerator</u>	<u>Standard deviation</u>	<u>t-Student</u>
<u>Test parameters:</u>	0.1652	0.0068	24.4586
Frequency: 40 Hz	-0.1996	0.0084	-23.6514
Amplitude: 2.500 V	0.1287	0.0072	17.8200
Offset: 7.000, 6.047	<u>Denominator</u>	<u>Standard deviation</u>	<u>t-Student</u>
Periods: 5	-1.2417	0.0940	-13.2143
	+0.0510	0.1554	0.3281
<u>Estimation parameters:</u>	+0.2697	0.0664	4.0645
Model: 2/3	<u>Zeros</u>	<u>Poles</u>	
Estimation method: oe	+0.6040 +0.6434j	+8.16e-001	+1.52e-001j
Loss fcn: 0.0040	+0.6040 -0.6434j	+8.16e-001	-1.52e-001j
Criterion : ed		-3.91e-001	+0.00e+000j
Min. criterium : 0.0042			

Figura 7.21. Resum dels resultats d'identificació del procés de cabal, $n\hat{a} = n\hat{b} = 3$ i $n\hat{k} = 5$.

En el cas de voler un model representatiu d'un procés continu, es poden considerar i comparar dues estructures diferents. La primera consistiria en avaluar el comportament d'un model d'ordre inferior 2/2/5, i la segona, consistiria en estudiar el cas d'un model d'ordre 2/3/5. Aquesta segona estructura quedaria justificada pel fet de que el retard pur no fos múltiple del període d'adquisició de dades i, en conseqüència, el model discret estimat tindria un zero demés [Ogata, 1987]. La comparació d'aquest dos models té lloc en les figures 7.22 i 7.23.

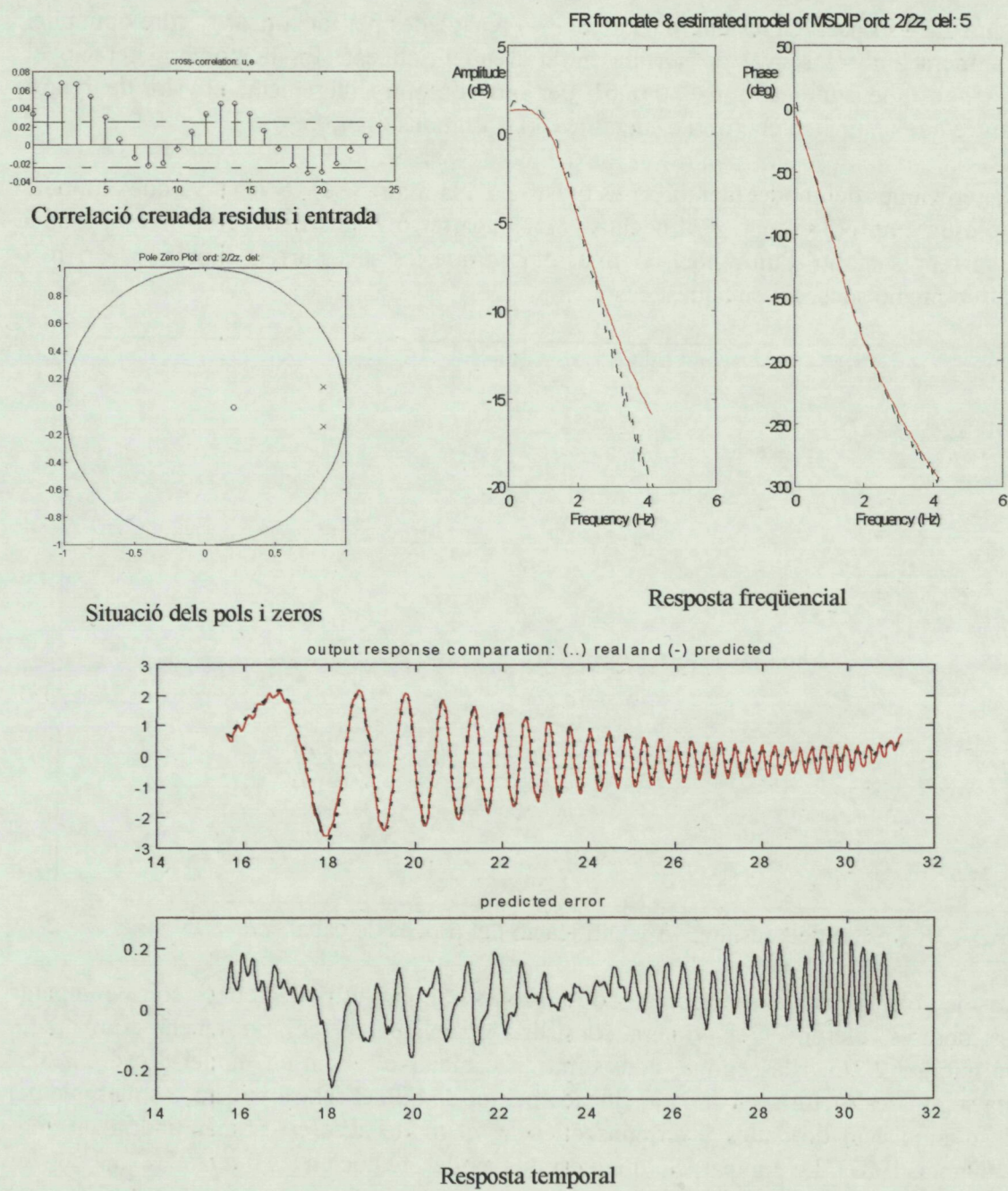


Figura 7.22. Estructura del model $\hat{n}\hat{a} = \hat{n}\hat{b} = 2$ i $\hat{n}\hat{k} = 5$, procés de cabal.

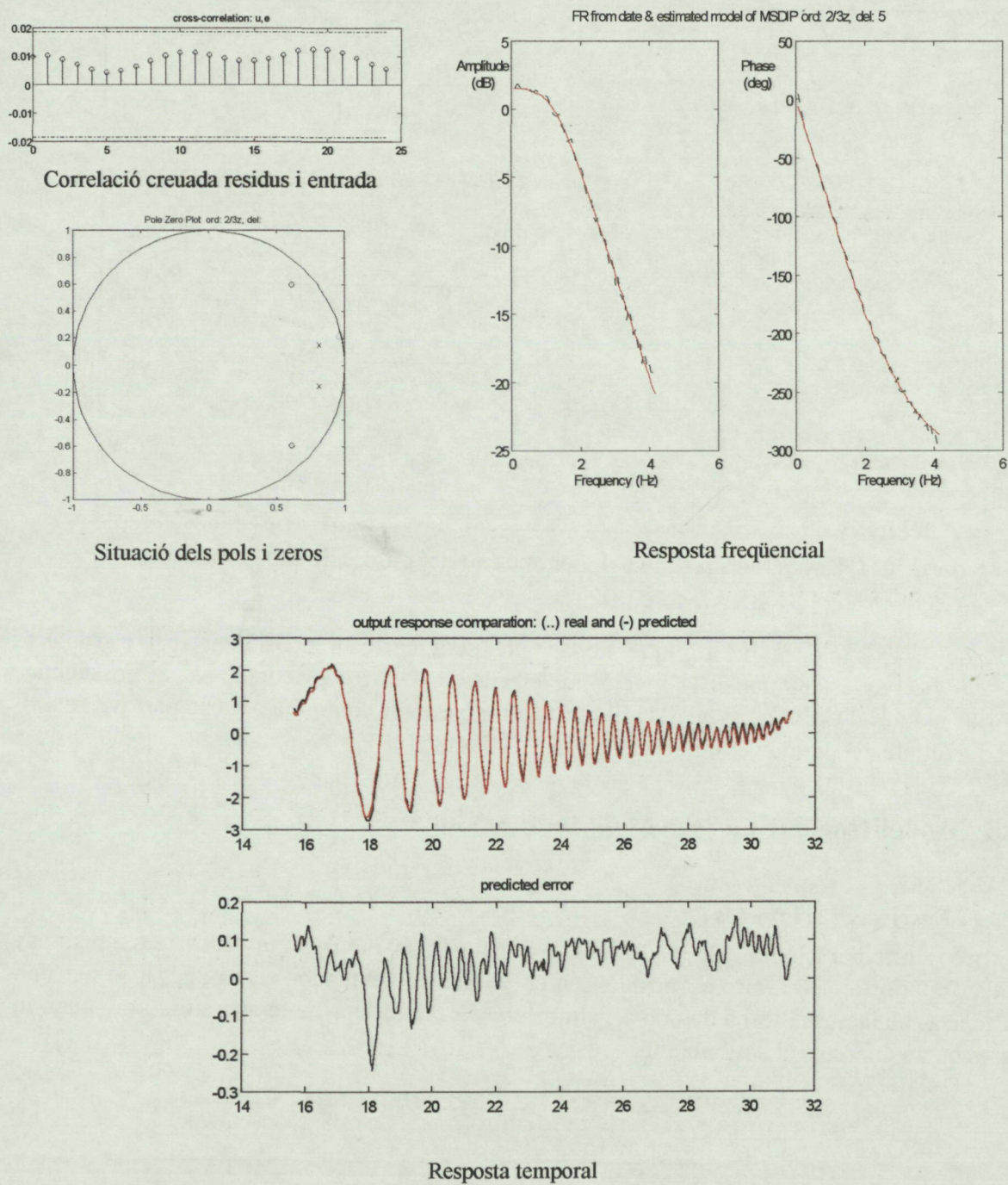


Figura 7.23. Estructura del model $\hat{n}a = 2$, $\hat{n}b = 3$ i $\hat{n}k = 5$, procés de cabal.

El segon model s'ajusta millor que el primer a freqüències altes, aquest fet s'observa tant en la resposta temporal com freqüencial. A més a més, el model $\hat{n}a = 2$, $\hat{n}b = 3$ i $\hat{n}k = 5$, figura 7.24, minimitza el criteri d'Edmunds, en conseqüència serà considerat com el model òptim.

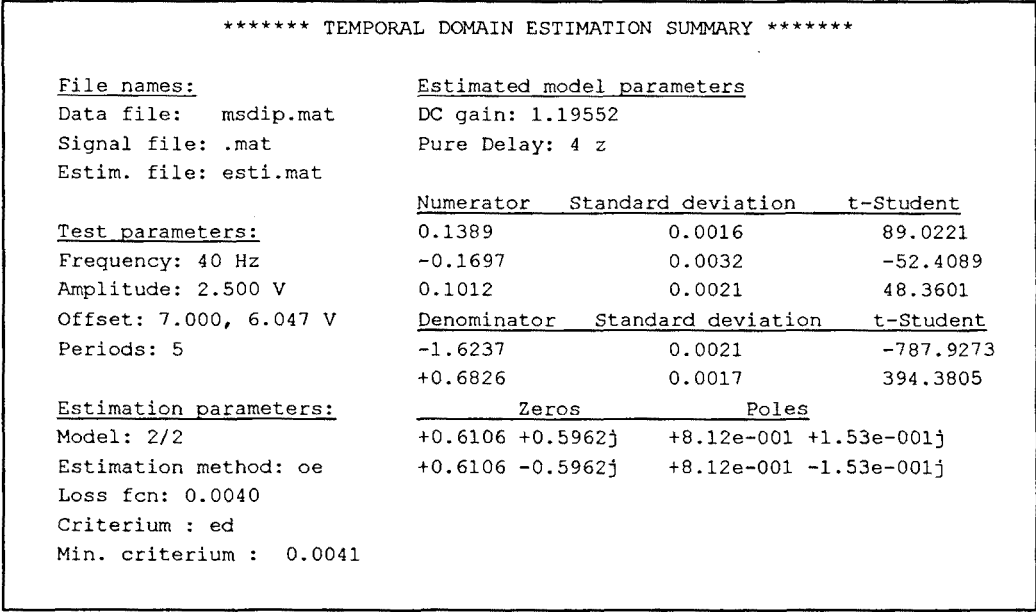


Figura 7.24. Resum dels resultats d'identificació del procés de cabal, model $n\hat{a} = 2$, $n\hat{b} = 3$ i $n\hat{k} = 5$.

Amb aquest exemple es mostra que no sempre serà correcta considerar una estructura $na = nb$, per aquest motiu en la funció implementada *e_ordre* es contempla la possibilitat d'ajustar models d'ordre $nb = na + 1$. El nou zero incorporat contindrà aquella part del retard pur no múltiple del període d'adquisició de dades [Ogata, 1987].

7.4.3 Modelització d'un procés de temperatura

7.4.3.1 Descripció del procés

El procés a estudiar (figura 7.25) escalfa l'aire que flueix pel tub fins a un valor de temperatura desitjat, inferior a 60°. L'aire és introduït en el tub per un ventilador centrífug, passa per una resistència calefactora i torna de nou a l'atmosfera. El mesurador de temperatura pot situar-se en tres punts diferents al llarg del tub.

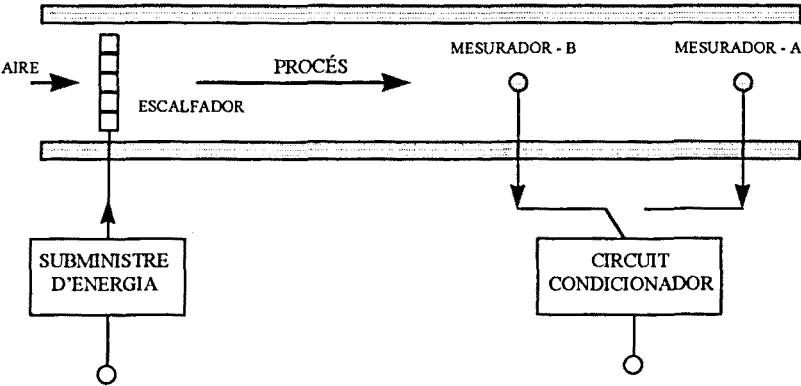


Figura 7.25. Esquema del procés de temperatura.

L'objectiu d'aquest estudi serà modelitzar el procés en dues posicions diferents del mesurador: A i B. L'experiment s'ha realitzat mantenint la velocitat del ventilador constant i pertorbant el procés amb la tensió enviada a la resistència calefactora.

7.4.3.2 Anàlisi dels senyals d'entrada i sortida

Per l'estudi d'aquest procés es disposa d'uns fitxers de dades. El senyal d'entrada utilitzat és MLBS i té com a característiques:

màxima freqüència d'interès: 1.62 Hz
freqüència fonamental: 0.06 Hz
longitud dels registres, $m = 6$
nombre de mostres per bit: 10
amplitud dels senyal: [0.9328, 2.1123]

La freqüència de mostreig és de $f_s = 37.8$ Hz

En les figures 7.26, 7.27 i 7.28 es mostren les característiques temporals i freqüencials dels senyals d'entrada i sortida. El senyal de sortida correspon al cas en que el sensor de temperatura està situat en la posició B.

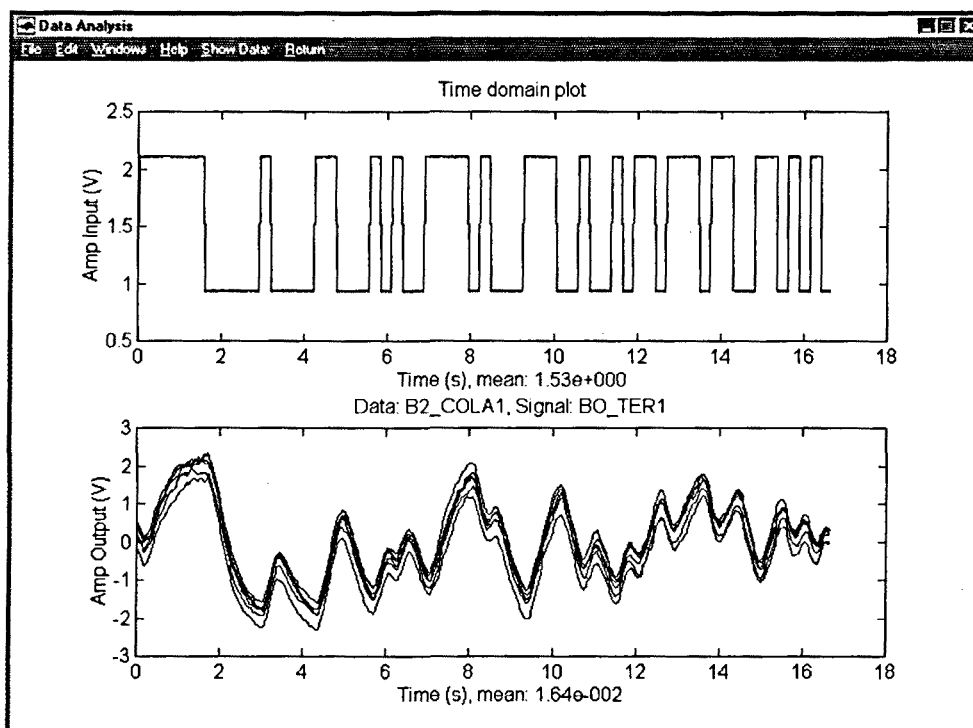


Figura 7.26. Evolució temporal dels senyals d'entrada i sortida del procés de temperatura.

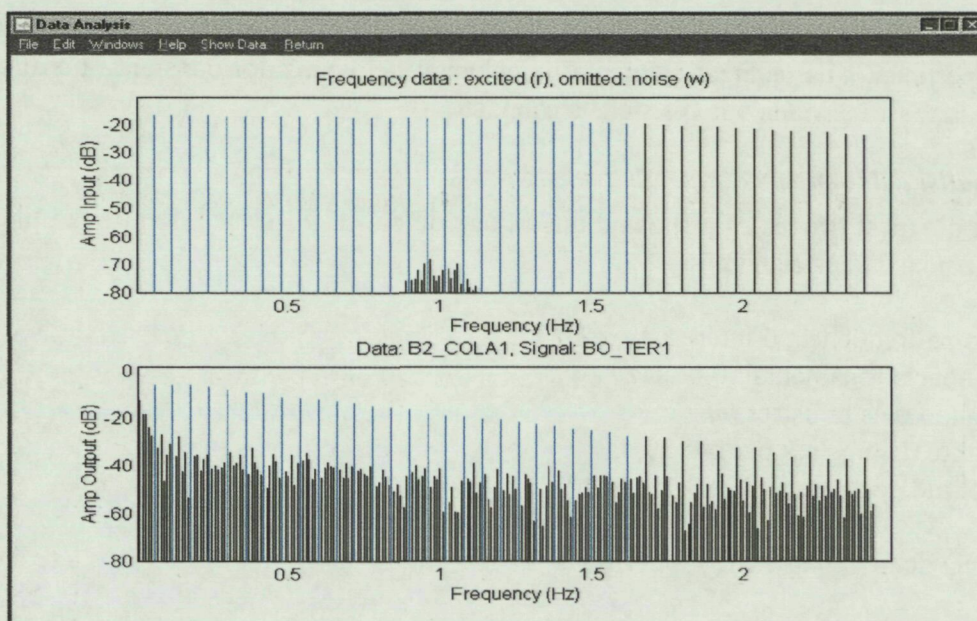


Figura 7.27. Contingut freqüencial dels senyals d'entrada i sortida, procés de temperatura.

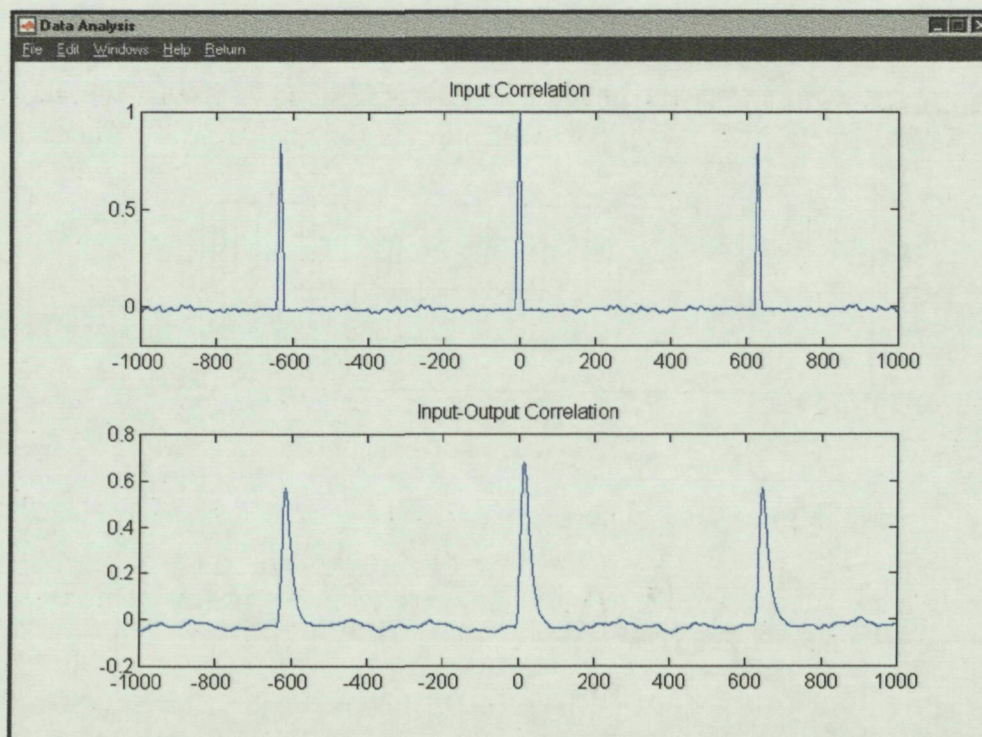


Figura 7.28. Auto correlació de l'entrada i correlació creuada entre l'entrada i la sortida, procés de temperatura.

De l'estudi temporal del senyal de sortida (figura 7.26), s'observa que el procés estudiat no té un comportament repetitiu al llarg dels sis períodes.

7.4.3.3 Resultats d'identificació

Les etapes realitzades en la determinació de l'estructura del model es visualitzen en les figures: 7.29 i 7.30.

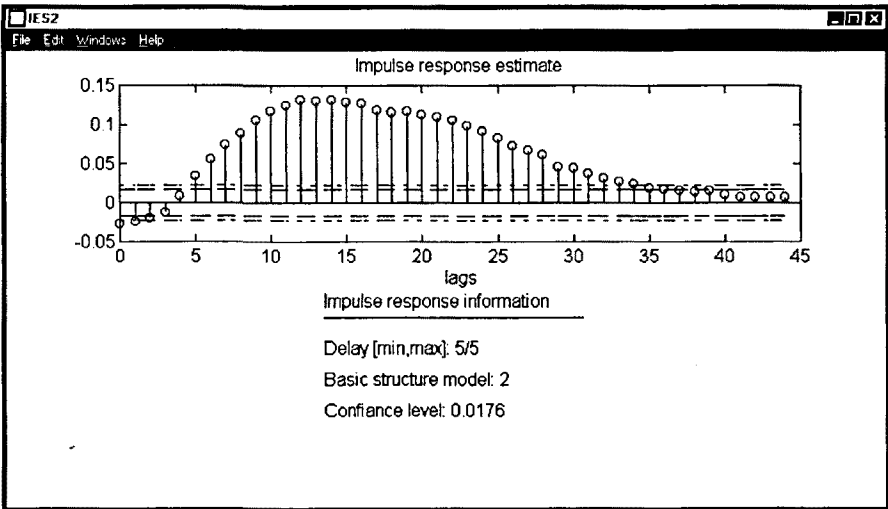


Figura 7.29. Informació obtinguda a partir de la resposta impuls estimada, procés de temperatura.

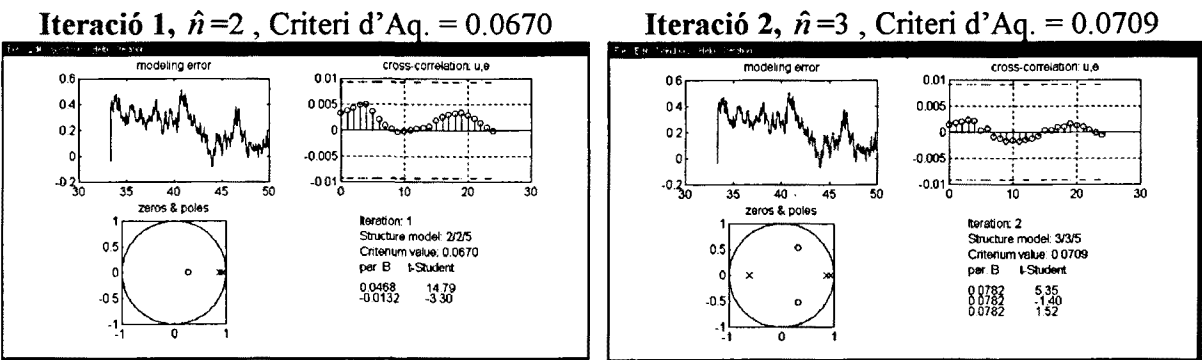


Figura 7.30. Iteracions per a la determinació de l'estructura del model, proés de temperatura.

Les característiques del model estimat es mostren en la figura 7.31. S'ha identificat un model de segon ordre amb una funció de transferència discreta:

$$G(z^{-1}) = \frac{0.0468z^{-1} - 0.0132z^{-2}}{1 - 1.8079z^{-1} + 0.8167z^{-2}} z^{-4}$$

***** TEMPORAL DOMAIN IDENTIFICATION SUMMARY *****			
<u>File names:</u>		<u>Estimated model parameters</u>	
Data file: b2_colal.mat		DC gain: 3.5335	
Signal file: bo_ter1.mat		Pure Delay: 4 z	
Estim. file: esti.mat			
		<u>Numerator</u>	<u>Standard deviation</u>
<u>Test parameters:</u>			<u>t-Student</u>
Frequency: 37.8 Hz		+0.0468	0.0032
Amplitude: 0.300 V		-0.0132	0.0040
Offset: 1.532, 0.016 V		<u>Denominator</u>	
Periods: 6			<u>t-Student</u>
		-1.7959	0.0058
		+0.8054	0.0055
			145.4544
		<u>Zeros</u>	<u>Poles</u>
<u>Estimation parameters:</u>		+0.2821 +0.0000j	+9.28e-001 +0.00e+000j
Model: 1/2			+8.68e-001 +0.00e+000j
Estimation method: oe			
Loss fcn: 0.0593			
Criterium : aq			
Min. criterium : 0.0670			

Figura 7.31. Resum dels resultats d'identificació del model, procés de temperatura.

Com a resultat de transformar el model discret estimat a un model continu, considerant la presència d'un mantenidor d'ordre zero, s'ha obtingut que aquest procés pot representar-se per la funció de transferència continua:

$$G(s) = \frac{1.24s + 53.43}{s^2 + 8.18s + 15.12} e^{-0.1s}$$

7.4.3.4 Validació del model identificat

El model identificat es acceptable ja que:

- 1. els pols discrets són de part real positiva (figura 7.30);
- 2. la correlació creuada entre residu i l'entrada (figura 7.30) pot considerar-se nul·la;
- 3. la resposta freqüencial estimada fent la transformada de Fourier dels senyals i la calculada a partir del model estimat coincideixen, figura 7.32;
- 4. la resposta temporal del procés real amb la predita a partir del model continu estimat, considerant un altre conjunt de senyals d'entrada, són semblants (veure figura 7.33).

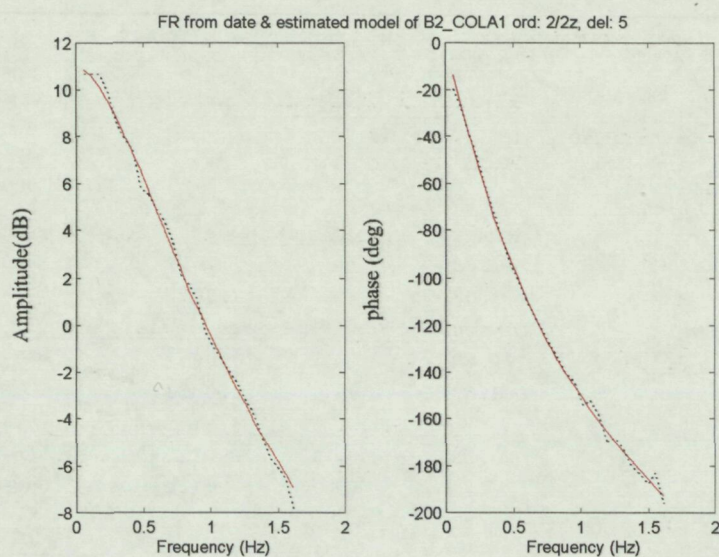


Figura 7.32. Resposta freqüencial estimada a partir dels senyals (·) i del model estimat (-), procés de temperatura.

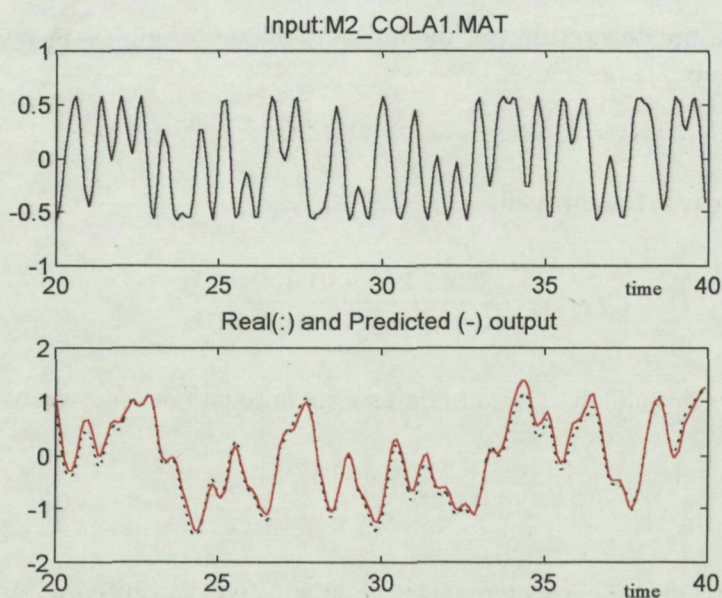


Figura 7.33. Comparació de les respostes temporals real (·) i predita (-), procés de temperatura.

7.4.3.5 Estudi d'altres models per diferents posicions del mesurador de temperatura

Els resultats obtinguts amb el mesurador situat a la posició A es mostren en la figura 7.34.

***** TEMPORAL DOMAIN ESTIMATION SUMMARY *****			
<u>File names:</u>		<u>Estimated model parameters</u>	
Data file: b3_colal.mat		DC gain: 3.16895	
Signal file: bo_terl.mat		Pure Delay: 9 z	
Estim. file: esti.mat			
		<u>Numerator</u>	<u>Standard deviation</u>
<u>Test parameters:</u>			<u>t-Student</u>
		0.0635	0.0018
Frequency: 37.8 Hz		-0.0369	0.0022
Amplitude: 0.300 V			
Offset: 1.532, -0.137 V		<u>Denominator</u>	<u>Standard deviation</u>
Periods: 6			<u>t-Student</u>
		-1.8242	0.0034
		+0.8326	0.0033
			254.6208
		<u>Zeros</u>	<u>Poles</u>
<u>Estimation parameters:</u>		+0.5817 +0.0000j	+9.12e-001 +2.57e-002j
Model: 1/2			+9.12e-001 -2.57e-002j
Estimation method: oe			
Loss fcn: 0.0271			
Criterium : aq			
Min. criterium : 0.0307			

Figura 7.34. Resum dels resultats d’identificació del model amb el mesurador de temperatura situat a la posició A.

El model discret estimat té l’ expressió:

$$G(z^{-1}) = \frac{0.0635z^{-1} - 0.0369z^{-2}}{1 - 1.8242z^{-1} + 0.8326z^{-2}} z^{-9}$$

Resultat de convertir el model discret a continu s’obté la funció de transferència:

$$G(s) = \frac{2.06s + 41.57}{s^2 + 6.92s + 13.12} e^{-0.24s}$$

La validació del model identificat s’ha realitzat igual que en el cas anterior:

- 1. els pols discrets són de part real positiva (figura 7.35);
- 2. la correlació creuada entre residu i l’entrada (figura 7.35) pot considerar-se nul·la;

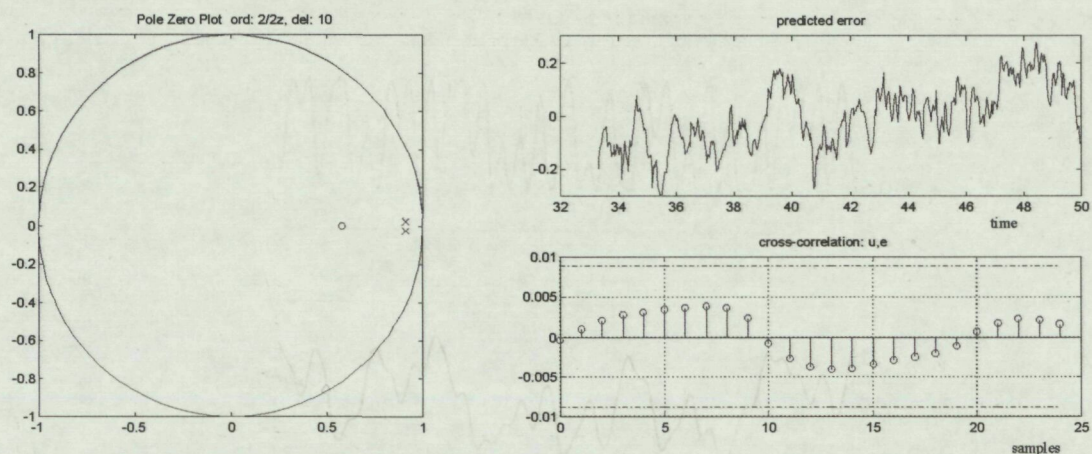


Figura 7.35. Situació dels pols i zeros del model estimat, error de predicció i correlació entre l'entrada i l'error de predicció, procés de temperatura.

3. la resposta freqüencial estimada fent la transformada de Fourier dels senyals i la calculada a partir del model estimat coincideixen, figura 7.36;
4. la resposta temporal del procés real amb la predita a partir del model continu estimat, considerant un altre conjunt de senyals d'entrada, són semblants (veure figura 7.37).

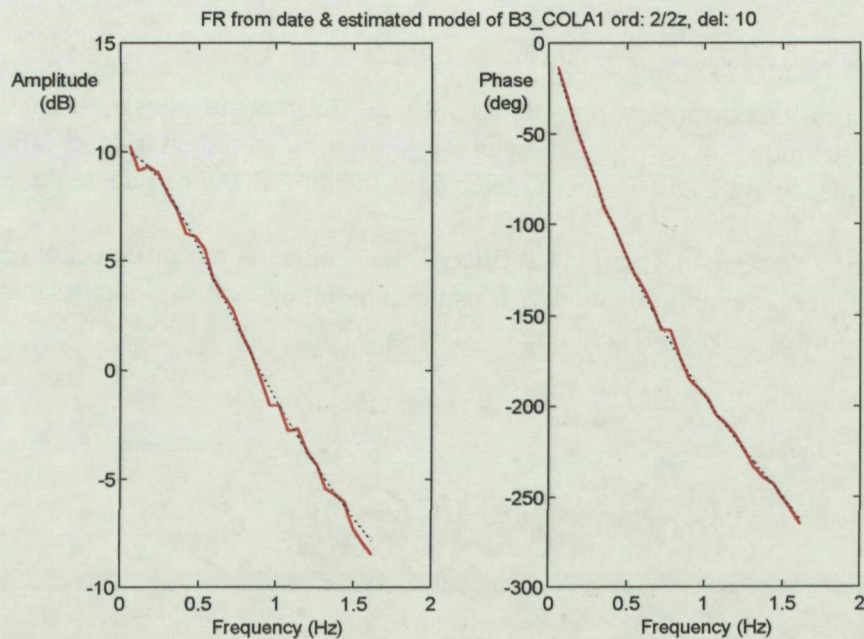


Figura 7.36. Resposta freqüencial estimada a partir dels senyals i del model estimat, procés de temperatura.

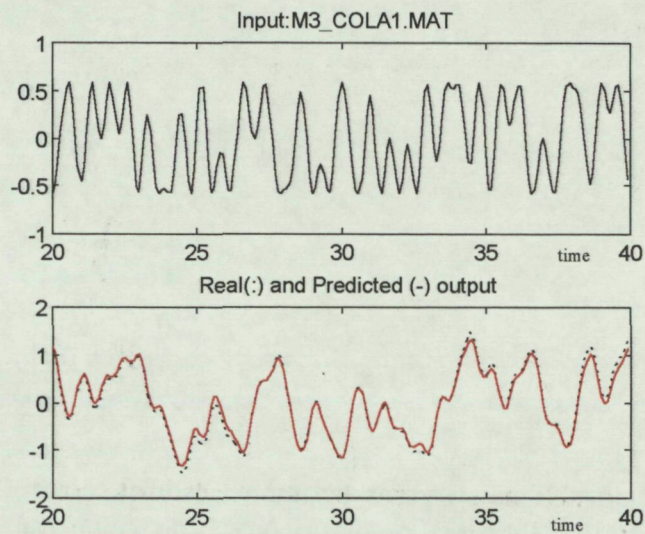


Figura 7.37. Comparació de les respostes temporals real (:) i predita (-), procés de temperatura.

7.4.4 Motor de corrent continu

7.4.4.1 Descripció del procés

Consisteix en un motor de corrent continu, figura 7.38, accionat per un senyal extern de 0 a 10 V. Associat a l'eix del motor hi ha una tacodinamo que mesura la velocitat de gir, un encoder que mesura el desplaçament angular i un reductor de velocitat que indica l'angle de gir.

Els senyals a que es té accés són: l'entrada al driver, que acciona el motor de cc; el senyal que envia la tacodinamo; i el senyal de l'encoder. L'estudi s'ha limitat a trobar una relació entre la velocitat de gir del motor i el senyal amb que s'excita el driver.

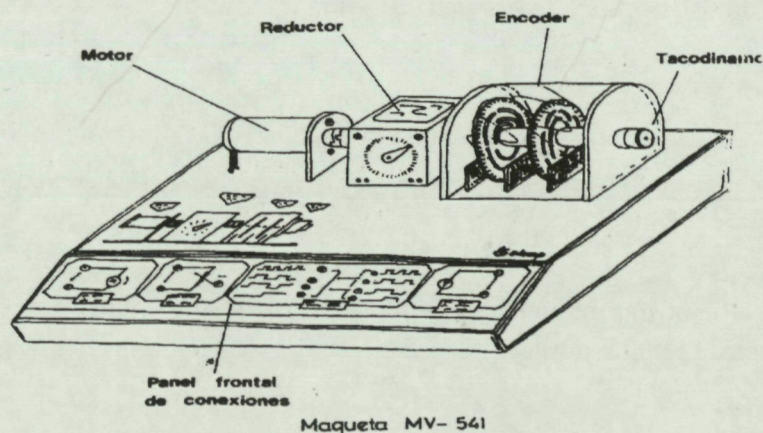


Figura 7.38. Motor de corrent continu.

7.4.4.2 Anàlisi dels senyals

El aquestes circumstàncies el senyals d'excitació ha sigut un soroll blanc de característiques:

nombre de mostres: 5000

temps de simulació: 50 s

amplitud de l'entrada: [3-8] V

temps de canvi per nombre de valor Random generat: 1 s

frequència de mostreig: 100 Hz

El comportament temporals dels senyals d'entrada i sortida del procés es visualitzen en la figura 7.39.

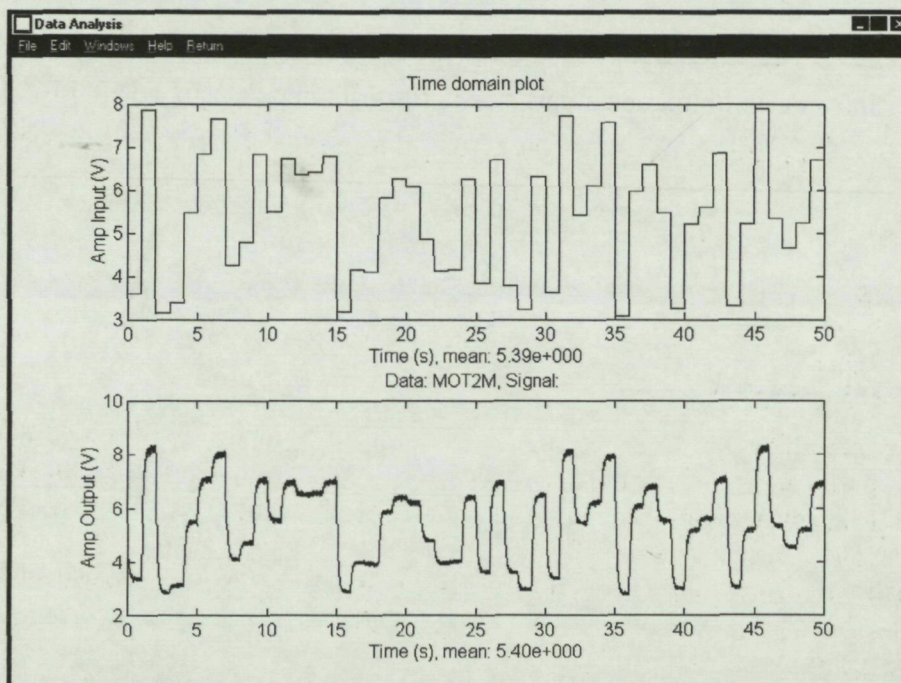


Figura 7.39. Evolució temporal dels senyals d'entrada i sortida del procés, motor cc.

7.4.4.3 Resultats d'identificació

En aquest apartat es mostren els resultats obtinguts a partir dels senyals d'entrada i sortida representats en la figura 7.38. Es visualitza la pantalla gràfica fruit d'estimar la resposta impuls (figura 7.40), i el resum sobre el model estimat (figura 7.41).

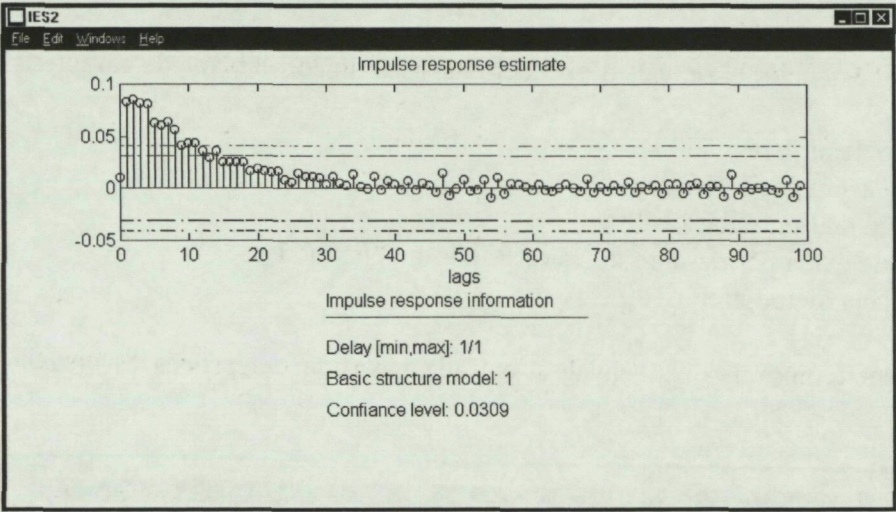


Figura 7.40. Informació obtinguda a partir de la resposta impuls estimada, motor de cc.

***** TEMPORAL DOMAIN ESTIMATION SUMMARY *****			
<u>File names:</u>		<u>Estimated model parameters</u>	
Data file:	mot2m.mat	DC gain:	1.14225
Signal file:	.mat	Pure Delay:	0 z
Estim. file:	esti.mat		
<u>Test parameters:</u>		<u>Numerator</u>	<u>Standard deviation</u> <u>t-Student</u>
Frequency:	100 Hz	0.0949	0.0002 620.6233
Amplitude:	2.495 V	<u>Denominator</u>	<u>Standard deviation</u> <u>t-Student</u>
Offset:	5.391, 5.400 V	-0.9169	0.0001 -6583.5334
Periods:	1	<u>Zeros</u>	<u>Poles</u>
			+9.17e-001 +0.00e+000j
<u>Estimation parameters:</u>			
Model:	0/1		
Estimation method:	oe		
Loss fcn:	0.0024		
Criterium :	aq		
Min. criterium :	0.0026		

Figura 7.41. Resum dels resultats d'identificació, motor de cc

7.4.4.4 Validació del model estimat

En aquest apartar la validació del model estimat s'ha fet observant la no correlació entre l'error de predicció i el senyal excitació (figura 7.42) i comparant la sortida predita quan s'excita el procés amb dos senyals diferents de característiques:

MOT4.mat	MOT1.mat
nombre de mostres: 5000	nombre de mostres: 5000
temps de simulació: 100 s	temps de simulació: 50 s
amplitud de l'entrada: [3-8] V	amplitud de l'entrada: [0-10] V
temps de canvi per nombre de valor Random generat: 1 s	temps de canvi per nombre de valor Random generat: 1 s
frequència de mostreig: 50 Hz	frequència de mostreig: 100 Hz

l'abast del primer senyal és en la zona lineal del procés estudiat i el segon es mou en la zona no lineal, els resultats observen en la figura 7.43. El model identificat representa correctament la part lineal del procés.

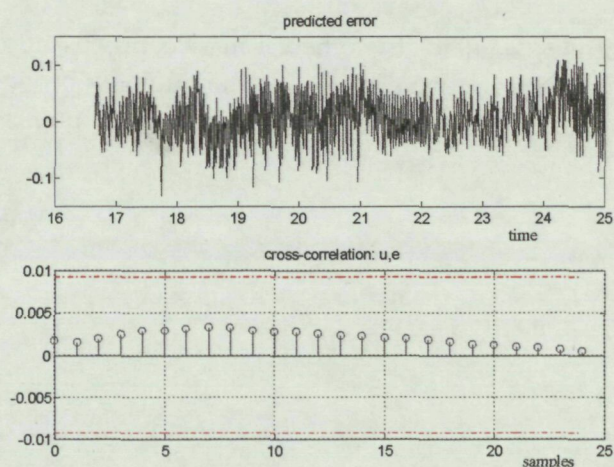


Figura 7.42. Error de predicció i correlació entre l'entrada i l'error de predicció, motor cc.

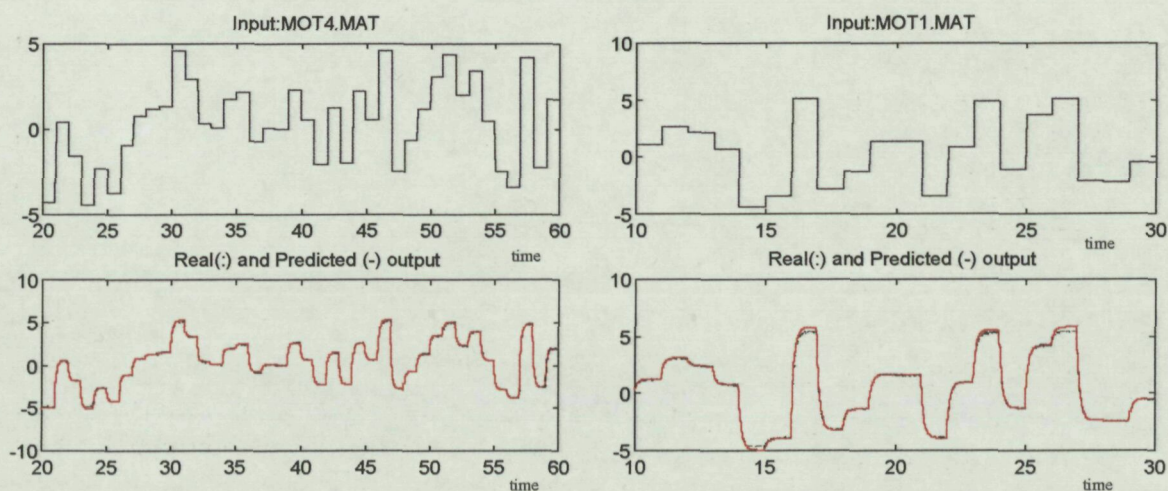


Figura 7.43. Comparació entre les respostes reals i predites per diferents rangs del senyal excitació, motor cc.

7.5 Conclusions

En aquest capítol s'ha descrit la metodologia proposada per a la identificació de l'estructura del model i s'ha utilitzat per l'estudi de tres casos reals.

La metodologia desenvolupada s'ha estructurat en dues parts. Una primera que té per objectiu determinar el valor del retard pur del procés i es fonamenta en l'estudi de la resposta impuls estimada. Una segona que té per objectiu validar o millorar el retard pur del procés, estimat en la primera etapa, i identificar l'ordre òptim del procés estudiat, aquesta etapa es realitza de forma iterativa fins aconseguir un valor mínim del criteri d'identificació seleccionat, però al llarg de les diferents iteracions s'avalua també si els paràmetres del polinomi $B(q^{-1})$ són o no significatius.

Els processos estudiats: procés simular "ECC bench-mark", procés de cabal, un procés de temperatura i el motor de corrent contínua, validen la metodologia proposada. En tots ells el model estimat es representatiu del procés real i s'arriba al model òptim realitzant un nombre reduït d'iteracions.

Capítol 8

Conclusions i Recerca futura

8.1 Conclusions

Al llarg dels diferents capítols s'han anat comentant els resultats parcials de cadascun d'ells, en aquest capítol s'intentarà donar una visió global dels resultats aconseguits més importants i de les aportacions realitzades.

- S'han analitzat els senyals periòdics des de dos punts de vista: propietats i disseny. Una propietat a destacar és que aquest tipus de senyals milloren la relació senyal útil senyal soroll (SNR) fent un filtrat freqüencial o la mitjana entre els diferents períodes, conseqüentment es pot augmentar la qualitat de les dades mesurades. Respecte al disseny, cal garantir que l'ampla de banda del senyal contingui l'interval de freqüències més significatives del procés. Amb aquest objectiu, es proposa la realització d'un experiment previ amb el procés que consisteix en tancar l'anell en presència d'un relè amb histèresi i estimar la constant de temps més significativa mesurant el període d'oscil·lació i l'amplitud dels senyals resultants.
- S'han estudiat les característiques que han de tenir els senyals d'excitació periòdics: binaris de longitud màxima i multisinuoidals, quan s'utilitzen per estimar els paràmetres d'un model discret fent servir els mètodes d'estimació paramètrics: variable instrument i error de sortida. S'ha deduït que, en general, considerar una freqüència màxima d'excitació molt gran, $f_{\max} > 10/2\pi T$, no incrementa la qualitat del model estimat. En el cas de processos amb soroll, l'energia total del senyal (RMS) esdevé una relació directament proporcional amb la qualitat del model estimat.

- La conversió d'un model discret, obtingut en presència d'un mantenidor d'ordre zero, a un model continu no repercuteix en la qualitat del model estimat. En aquesta àrea s'ha estudiat quina era la diferència entre la resposta freqüencial estimada a partir de mostres discretes en presència d'un ZOH i sense, observant-se que l'error generat era degut a l'espectre originat per a la reconstrucció d'un ZOH. S'ha proposat una metodologia per incloure en el senyal de sortida discret l'efecte d'aquest mantenidor i poder estimar un model discret que s'ajusti al model continu. Aquesta metodologia sols és útil quan els senyals excitació són de banda limitada i s'ha aplicat en el cas de la modelització d'un procés en presència d'un actuator de dinàmica ràpida però no menyspreable.
- S'ha estudiat com repercutia el filtrat freqüencial del senyal de sortida d'un procés al ser excitat per els senyals periòdics: multisinusoïdals i binaris de longitud màxima. S'ha observat que en el cas dels senyals multisinusoïdals, el filtrat freqüencial del senyal de sortida del procés, millora molt la qualitat del model estimat, mentre que no repercuteix en el cas dels senyals binaris. Aquest fet es dona en el cas de processos amb soroll i processos amb perturbacions de càrrega.
- De l'estudi de processos amb no linealitats estàtica, com és el cas de les saturacions, s'ha vist que la qualitat del model estimat és inversament proporcional al RMS, a menor RMS major qualitat. En el cas particular de saturacions a l'entrada, s'ha comprovat que era possible estimar un valor aproximat de la saturació excitant el procés amb senyals binàries de diferent amplitud.
- Dels diferents criteris testats, s'ha arribat a la conclusió que per si sols cap d'ells, excepte en casos molt concrets, permet identificar l'ordre òptim del model. Els criteris d'identificació a partir dels quals s'obtenen millors resultats són els de major penalització: AQ, LQ, EDM i RIS. La convergència millora notablement si es té coneixement del valor aproximat del retard pur, en cas contrari el procediment de selecció de l'ordre és llarg ja que cal explorar un gran nombre de possibles models. Altres test estudiats que poden aportar informació sobre l'ordre òptim són:
 - *estimació de la resposta impuls*, útil per a estimar un valor aproximat del retard pur i, també permet, fixar un valor a partir del qual el paràmetre b_0 pot ser considerat significatiu
 - *t-Student*, que pot utilitzar-se tant per detectar una possible sobre-parametrització o per ajudar en l'estimació del retard pur
 - *situació dels pols i zeros*, que s'ha proposat com a test de validació.
- La metodologia que es proposa per a la determinació de l'ordre òptim consta de dues parts. La primera consisteix en la determinació d'un valor aproximat del retard pur fent l'estudi de la resposta impuls estimada a partir de correlacions, i la segona, en la determinació de l'ordre (ordre del numerador, denominador i retard pur). Aquesta segona etapa té per objectiu aconseguir, de forma iterativa, un valor mínim del criteri d'identificació, però tenint en compte que al llarg de les iteracions s'avalua, a més a més, si els paràmetres són o

no significatius. Aquest estudi es realitza mitjançant el test estadístic t-Student i l'interval de confiança deduït de l'estudi de correlacions. La metodologia elaborada ha sigut validada amb l'estudi de casos simulats i reals.

8.2 Recerca futura

Hi ha una sèrie de punts en aquest tesi en els que es creu convenient continuar treballant. Aquests punts es comenten a continuació.

- Ampliar el tipus de processos a identificar. El treball desenvolupat s'ha limitat a l'estudi de processos en anell obert, amb un senyal d'entrada i sortida, i algunes no linealitats. Seria interessant observar si la metodologia desenvolupada és útil en la identificació de processos en anell tancat i processos MIMO, i fer les modificacions oportunes. Per altra banda, ampliar el nombre de no linealitats estudiades, tant en el cas de no linealitats estàtiques com dinàmiques.
- Implementar i millorar la metodologia proposada per l'estimació de les característiques fonamentals del procés estudiat. Aquesta metodologia té per objectiu estimar la banda de freqüències del procés estudiat. La proposta realitzada abasta solament aquell tipus de processos que la seva dinàmica es pot ajustar a un sistema de primer ordre amb retard pur. L'objectiu immediat és per una banda implementar aquesta metodologia en el programa desenvolupat i, per altra, augmentar el nombre de tipus de processos avaluats.
- Utilització de la metodologia desenvolupada en l'estimació de models paramètrics continus amb informació discreta. Experts en identificació de sistemes dinàmics [Söderström, 1997], utilitzen de forma híbrida models paramètrics continus tipus ARX, per a l'estimació dels paràmetres del model s'utilitza directament els senyals discrets. El problema plantejat és el mateix que en els models discrets, la determinació de l'ordre del model. Una proposta de treball és ampliar la metodologia desenvolupada a l'estudi d'aquest models.

