ETSEIAT – ENGINYERIA EN AUTOMÀTICA I ELECTRÒNICA INDUSTRIAL

Disseny i implementació d'un nou sistema de control per a simulador de compressió

Programes
Càlcul controlador inferior

Alumne: Albert Olivella Matutes

Director del Projecte: Jaume Saura Perisé

Curs 2009-10 1ºQuadrimestre

Índex Programa i càlculs

1. Programa LabView

En aquest primer capítol s'adjunta tota la informació proporcionada pel programa LabView sobre el programa de control creat. Tota aquesta informació s'estructura per subVI, proporcionant la informació de cadascun creat i utilitzat. No s'adjunten els subVI utilitzats pel mateix programa per a l'adquisició de dades ja que aquests no s'han creat en aquest projecte.

2. Informes d'assajos

Seguidament es detallen les pàgines corresponents als informes programats en el CatmanEasy. En la memòria es detalla la funcionalitat i la informació proporcionada per a cadascun dels informes. Els gràfics apareixen buits ja que es mostra el creat amb el programa i no el resultat d'un assaig.

3. Programa Matlab

Mostra el programa creat amb matlab com a suport per a l'obtenció del model. Aquest programa en format .m permet obtenir conjunts de paràmetres per a situar els pols i els zeros. Segons la situació dels pols i dels zeros es pot obtenir una determinada resposta del sistema.

4. Obtenció controlador inferior

Seguidament es detalla la obtenció del controlador inferior no detallat en la memòria d'aquest projecte i en que es mostra els resultats obtinguts aquí detallats.

4.1. Pas 1 de disseny sistema inferior

La funció de transferència del sistema superior ve donat per la següent funció de transferència:

$$G_p(s) = k\frac{1}{s(1+Tp_2 * s)}$$

On els coeficients són els següents:

$$k = 0,2189$$
$$Tp_2 = 0,0161$$

Primerament s'arregla aquesta funció de tal forma que sigui més còmode d'operar amb ella:

$$G_p(s) = k\frac{1}{s(1+Tp_2 * s)} = k\frac{1}{Tp_2 s(1/Tp_2 + s)} = K\frac{1}{s(1/Tp_2 + s)}$$

on K ve donada per l'agrupació de coeficients:

$$K = \frac{k}{Tp_2} = \frac{0,1949}{0,0403} = 13,5963$$

Per a dissenyar els dos controladors primerament s'ha d'observar la funció de transferència en llaç tancat de Y(s)/D(s):

$$\frac{Y(s)}{D(s)} = \frac{G_p}{1-G_p(G_{c1}+G_{c2})}$$

Per a simplificar aquesta notació es defineix

$$G_c = G_{c1} + G_{c2}$$

Llavors,

$$\frac{Y(s)}{D(s)} = \frac{G_p}{1 - G_p(G_{c1} + G_{c2})} = \frac{G_p}{1 - G_p G_c} = \frac{K\dfrac{1}{s(1/Tp_2 + s)}}{1 - K\dfrac{1}{s(1/Tp_2 + s)}G_c} = \frac{K}{s(1/Tp_2 + s) - KG_c}$$

En segon lloc es disposa de la funció de transferència en llaç tancat de la sortida en funció de l'entrada de referència de posició:

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{-G_{c1}G_p}{1 - G_p G_c} = \frac{-G_{c1}K}{s(1/Tp_2 + s) - KG_c}$$

Les dos funcions tenen el mateix polinomi característic, el sistema només pot disposar d'un sol polinomi característic.

Prèviament s'ha definit el controlador $G_c(s)$ com un controlador PID de la forma següent:

$$G_c(s) = \frac{\alpha s + \beta + \gamma s^2}{s}\frac{1}{A(s)}$$

Llavors substituint a la funció de transferència de Y(s)/D(s) el controlador per la seva forma genèrica, s'obtindrà la funció de transferència en que es podrà analitzar el comportament del llaç en funció dels paràmetres constants del controlador PID, en aquest cas, funció dels dos controladors:

$$\frac{Y(s)}{D(s)} = \frac{K}{s(1/Tp_2 + s) - K\dfrac{\kappa(s+\alpha)(s+\beta)}{s}\dfrac{1}{A(s)}} = \frac{sK}{s^2(1/Tp_2 + s) - K\kappa(s+\alpha)(s+\beta)}$$

D'aquesta funció es pot extreure que la resposta d'una pertorbació en estat estacionari tendirà a zero quan sigui del tipus graó, això es degut a la presencia de *s* en el numerador de la funció de transferència. Si es desenvolupa el polinomi característic de la funció en llaç tancat després es podrà realitzar l'assignació de zeros. Aquest polinomi característic és:

$$P(s)=s^3+s^2(\frac{1}{Tp_2}-K\kappa)+s(-K\kappa(\alpha+\beta))-K\kappa\alpha\beta$$

Aquest polinomi es de tercer grau, això significa que disposa de tres pols que s'han d'assignar per a crear la resposta desitjada al nostre procés. Es suposa que hi ha dos pols dominants en llaç tancat i que es desitgen complexes i conjugats i estan donats per:

$$s=-a\pm jb$$

I el pol restant és real i està localitzat a:

$$s=-c$$

Per a resoldre aquest problema hi ha tres requisits a complir. El primer es que la resposta a la entrada d'una pertorbació en graó s'elimini ràpidament. El segon és que la sobreelongació màxima a la resposta d'una entrada tipus graó no sobrepassi aquesta referència i que el temps d'assentament sigui el menor possible, definirem una sobreelongació màxima d'un 5%. El tercer és que els errors en estat estacionari a les entrades de referència de tipus rampa i acceleració siguin zero.

Per tal de trobar aquest conjunt de pols, s'ha de buscar valors de a, b i c.

4.1.1. Cerca de valors de a, b i c

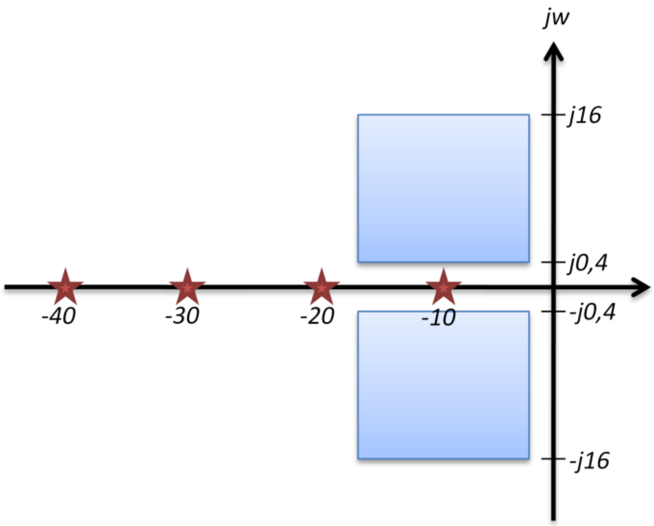
Per a buscar aquests valors s'ha creat un programa amb Matlab que busca uns valors dintre d'una regió prefixada per l'usuari. El programa assigna valors als tres coeficients i analitza la resposta del sistema, en cas de ser una resposta satisfactòria la guarda en memòria. Al finalitzar la cerca dona els conjunts de valors que són possibles.

Per a facilitar la cerca i disminuir el temps total utilitzat el pol real es tria de tal forma que el seu comportament sigui despreciable, situant-lo lluny del zero.

Es fixa una regió de cerca dintre d'un conjunt de valors per a cada pol. Per a satisfer el primer requisit la regió de cerca que s'utilitza és la següent:

$$0,4\le a\le 16 \qquad 0,4\le b\le 16 \qquad c=[10;20;30;40]$$

La gràfica 1 es mostra aquesta regió. Si els pols dominants $s = -a \pm jb$ en llaç tancat estan localitzats en qualsevol punt de la regió ombrejada, la resposta a una entrada de pertorbació en esglaó s'amortiguarà ràpidament. Llavors el primer requisit es complirà. Els coeficients a i b es troben localitzats en la regió de color blau, mentre que el paràmetre c s'indica amb estrelles de color vermell les quatre possibilitats existents.



Gràfica 1 - Localització de pols i zeros

El polinomi característic a trobar és el següent:

$$P(s) = (s + a + jb)(s + a - jb)(s + c)$$

Aquest polinomi s'ha de desenvolupar per a poder-lo introduir en el programa creat i buscar els valors de a i de b. Si es desenvolupa s'obté el següent polinomi característic:

$$P(s) = s^3 + s^2(2a + c) + s(a^2 + b^2 + 2ac) + c(a^2 + b^2)$$

Com que els denominadors de Y(s)/D(s) i Y(s)/R(s) són els mateixos, el denominador de Y(s)/D(s) també determina les característiques de la resposta per a l'entrada de referència. Per satisfer el tercer requisit s'utilitza el mètode d'assignació de zeros i s'escull la funció de transferència següent:

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{s^2(2a + c) + s(a^2 + b^2 + 2ac) + c(a^2 + b^2)}{s^3 + s^2(2a + c) + s(a^2 + b^2 + 2ac) + c(a^2 + b^2)}$$

En aquest cas el tercer requeriment, el d'error en règim permanent zero, es complirà. Per a realitzar la cerca d'aquests valors s'ha desenvolupat un mètode computacional utilitzant Matlab. Amb aquest programa creat es va donant diferents conjunts de valors als coeficients a, b i c, i al final es genera una taula dels valors que compleixen les condicions desitjades.

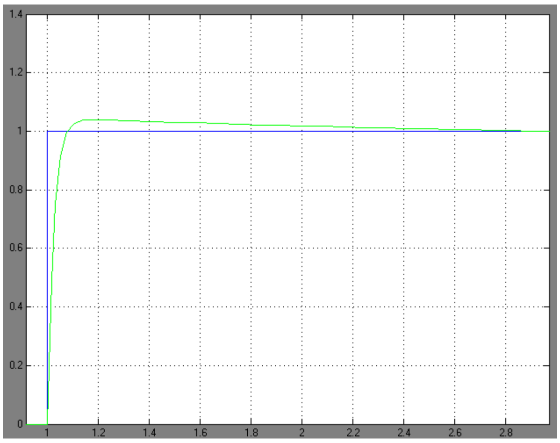
En el programa es desenvolupa un sistema d'anar provant tots els conjunts de valors donats dins de l'àrea de cerca. Per a buscar dintre de l'àrea s'ha de donar un valor d'increment per a cada valor que busca, en el cas del programa creat és de 0,4. Un cop finalitza el programa retorna una taula amb els conjunts de paràmetres que satisfan els requisits demanats. A la taula s'adjunta els valors de la sobrelongació màxima i del temps d'establiment. El programa es mostra en el capítol tres d'aquests mateix annex.

Amb el programa creat s'ha obtingut el següents conjunts de valors possibles.

a	b	c	m	ts
0,4	0,4	30	1,0238	0,67
0,4	0,4	40	1,0183	0,08
0,4	0,8	40	1,0204	0,48
0,8	0,4	40	1,0329	0,61
0,8	0,8	40	1,0343	0,69
1,2	0,4	40	1,0456	0,6
1,2	0,8	40	1,0467	0,63

Taula 1 - Conjunts de pols i zeros

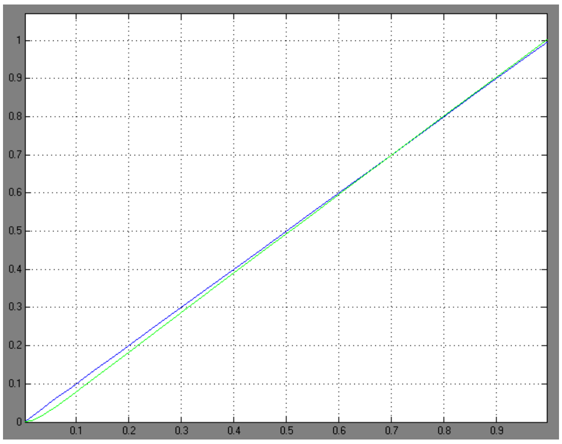
S'han obtingut 7 conjunts de valors possibles que satisfan el requisit. Les corbes de resposta a un graó unitari són semblants per a qualsevol dels 7 conjunts. En la figura següent es mostra la resposta a un graó unitari pel primer conjunt de valors obtinguts: a=0,4 b=0,4 c=40.



Gràfica 2 - Resposta a entrada graó

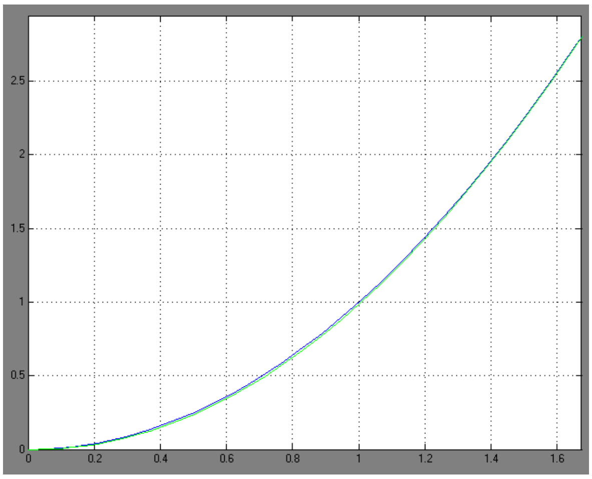
S'observa la sobrelongació existent del 4% i que s'elimina l'error en temps estacionari. Si es passa la senyal de 0,04V a escala real de mm això significa un error de 1mm. El temps d'establiment és de 0,08 segons. Cal destacar que els assajos previstos no són amb la utilització d'una referència del tipus graó. Llavors no es crítica aquesta sobrelongació màxima, en aquest cas es un efecte derivat de voler una alta velocitat de resposta del sistema. La velocitat mitja amb aquest control serà de 312mm/s. En cas de desitjar una major velocitat s'hauria de permetre una sobrelongació major.

En la següent figura es mostra la resposta del sistema a una entrada del tipus rampa unitària. L'error en règim permanent és nul i només té un petit error al inici de la rampa.



Gràfica 3 - Resposta a entrada rampa

Finalment en la darrera figura es mostra la resposta a una entrada del tipus acceleració. Igualment que l'anterior cas l'error en règim estacionari d'acceleració s'anul·la, només hi ha un petit error al inici de l'acceleració.



Gràfica 4 - Resposta a entrada acceleració

Un cop trobats aquests valors ja es disposa de la funció de transferència que es desitja aconseguir per tal de controlar el sistema. Aquesta funció de transferència objectiu serà la que es vol realitzar a partir de la sintonització dels dos controladors PID existents en el control de dos graus de llibertat.

Utilitzant els pols obtinguts en llaç tancat, el denominador Y(s)/D(s) queda de la següent forma:

$$P(s) = (s + 0,4 + 0,4j)(s + 0,4 - 0,4j)(s + 40) =$$
$$P(s) = s^3 + 40.8s^2 + 32.32s + 12.8$$

4.1.2. Obtenció de G$_c$(s) sistema inferior

Anteriorment s'ha obtingut el polinomi característic del sistema identificat amb el controlador Gc(s). Aquest tenia la forma següent:

$$P(s) = s^3 + s^2(\frac{1}{Tp_2} - K\kappa) + s(-K\kappa(\alpha + \beta)) - K\kappa\alpha\beta$$

Cadascun dels coeficients s'iguala amb el polinomi desitjat i trobat anteriorment. S'ha d'igualar els coeficients de les potències de *s* iguals, així s'obté:

$$\begin{cases} 1 = 1 \\ \dfrac{1}{Tp_2} - K\kappa = 40.8 \\ -K\kappa(\alpha + \beta) = 32.32 \\ -K\kappa\alpha\beta = 12.8 \end{cases}$$

Utilitzant Maple s'ha obtingut els possibles resultats per les igualtats anteriors. Hi ha dos combinacions possibles de valors. Si s'observa detalladament els resultats obtinguts s'observa que els valors de α i β són els mateixos però intercanviats per ambdós resultats, i el valor de k és igual pels dos conjunts. Els valors de α i β son dos números imaginaris, amb la seva part real i imaginaria, amb part real igual i part imaginaria oposada. Els resultats obtinguts són els següents:

$$\kappa = 1,5960 \qquad \alpha + \beta = -1,4894 \qquad \alpha\beta = -0,5899$$

Seguidament es pot escriure el controlador $G_c(s)$ com ha:

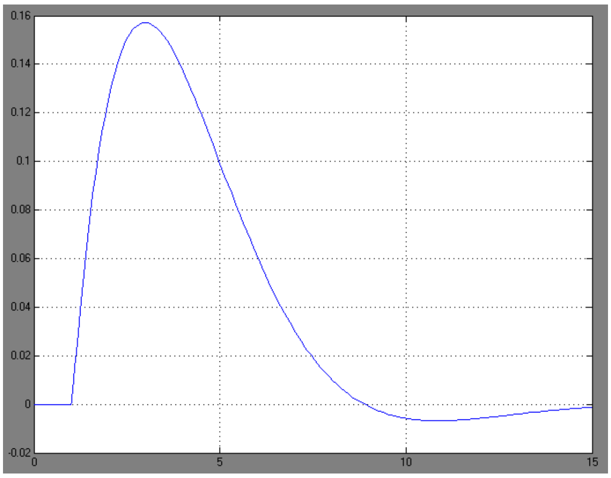
$$G_c(s) = \kappa \frac{(\alpha+s)(\beta+s)}{s}\frac{1}{A(s)} = \frac{\kappa[s^2+(a+\beta)s+\alpha\beta]}{s}\frac{1}{A(s)} = \frac{1,5960[s^2-1,4894s-0,5899]}{s}$$

$$G_c(s) = \frac{1,59s^2-2,37s-0,94}{s}$$

Un cop obtingut es pot reescriure la funció de transferència en llaç tancat Y(s)/D(s) i en funció d'aquest controlador trobat $G_c(s)$:

$$\frac{Y(s)}{D(s)} = \frac{sK}{s^2(1/Tp_2+s)-K\kappa(s+\alpha)(s+\beta)} = \frac{13,59s}{s^3+40,8s^2+32,32s+12,8}$$

Amb aquesta funció de transferència es pot observar la sortida del sistema a una entrada de pertorbació del tipus escaló unitari a la següent figura.



Gràfica 5 - Error a pertorbació graó

En la gràfica es pot observar com s'elimina ràpidament una pertorbació de graó unitari. En la posició del servosistema aquesta pertorbació modificarà la posició en 2,5 mil·límetres, un error pràcticament petit per una pertorbació d'una magnitud que hauria de suposar de fins a 25mm.

4.2. Pas 2 de disseny sistema inferior

Un cop obtinguda la funció de transferència en llaç tancat cal determinar els dos controladors PID que formen el control del sistema. Per a calcular el primer controlador s'agafa la funció de transferència en llaç tancat de la sortida respecte l'entrada. Segons com s'ha obtingut avanç aquesta és:

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{-G_{c1}G_p}{1-G_pG_c} = \frac{-G_{c1}Ks}{s(1/Tp_2+s)-KG_c} =$$
$$= \frac{-Ks\dfrac{\alpha_1 s+\beta_1+\gamma_1 s^2}{s}}{s^3+40,8s^2+32,32s+12,8} = \frac{-K(\alpha_1 s+\beta_1+\gamma_1 s^2)}{s^3+40,8s^2+32,32s+12,8}$$

Aquí el problema es transforma en dissenyar $G_{c1}(s)$ de tal forma que satisfaci els requisits sobre les entrades graó, rampa i acceleració. Com que el numerador conté "s", $G_{c1}(s)$ ha d'incloure forçosament un integrador per a anular aquesta "s". Encara que es necessita una "s" en el numerador de la funció de transferència en llaç tancat Y(s)/D(s) per obtenir error nul en estat estacionari per a una pertorbació graó, no és necessari tenir "s" en el numerador de la funció de transferència en llaç tancat Y(s)/R(s). Per eliminar l'error en la resposta a l'entrada de referència en salt i eliminar l'error a respostes del tipus rampa i acceleració, el numerador de Y(s)/R(s) ha de ser igual als tres últims termes del denominador, com s'ha assenyalat anteriorment.

$$-K(\alpha_1 s+\beta_1+\gamma_1 s^2) = 40,8s^2+32,32s+12,8$$

Llavors es pot trobar el controlador 1. Aquest és el següent:

$$\boxed{G_{c1} = \frac{-3s^2-2,37s-0,94}{s}}$$

Així el controlador 1 és un PID clàssic, i no cal afegir un filtre passabaixos a la sortida, ja que el numerador A(s) té un sol zero i es cancel·la amb un dels tres pols. Segons vist en l'obtenció del model.

Com que el controlador ve donat per

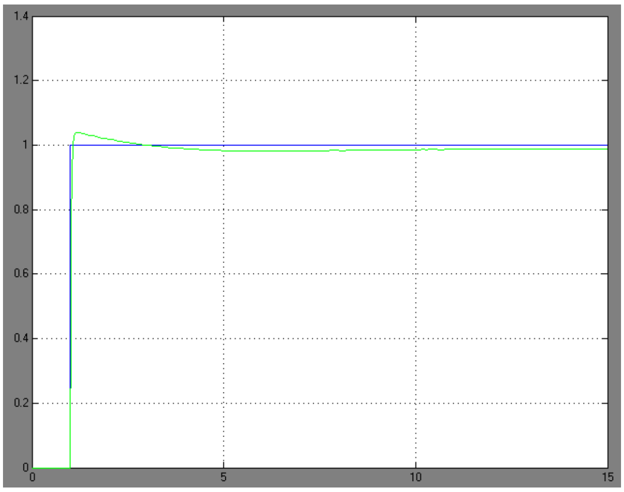
$$G_c(s) = G_{c1}(s) + G_{c2}(s) = \frac{\alpha s + \beta + \gamma s^2}{s} \frac{1}{A(s)}$$

Es pot obtenir directament el controlador $G_{c2}(s)$

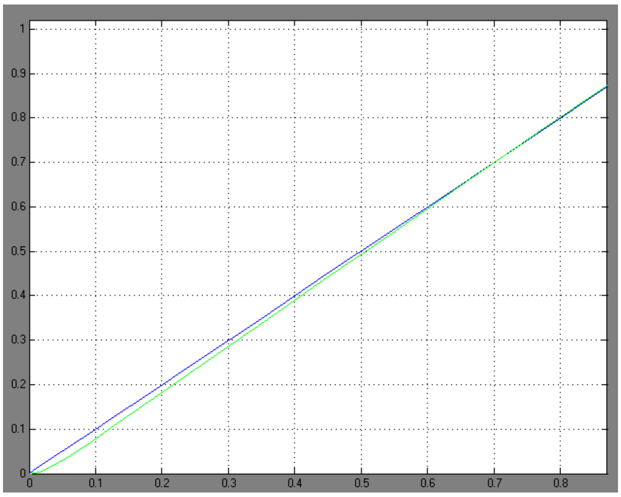
$$G_{c2}(s) = G_c(s) - G_{c1}(s) = \frac{1,59s^2 - 2,37s - 0,94}{s} - \frac{-3s^2 - 2,37s - 0,94}{s}$$

$$\boxed{G_{c2}(s) = 4,59s}$$

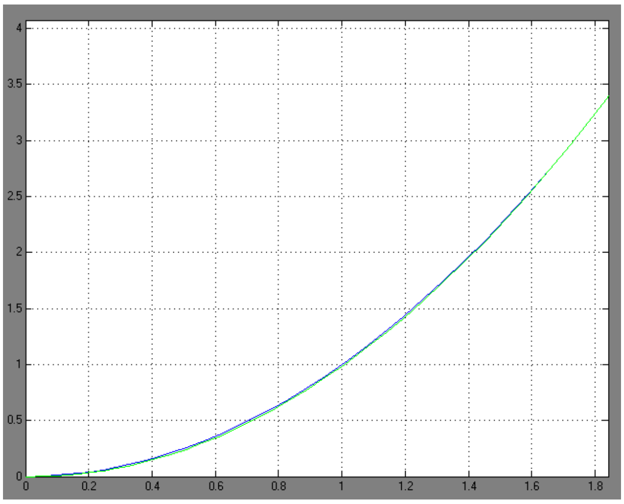
Aquest controlador és purament derivatiu. A continuació es detallen les respostes del sistema per les tres entrades en que es desitja eliminar l'error en règim permanent. Com es pot observar en els tres cassos l'error s'elimina després d'un breu temps transitori en que s'inicia el canvi d'estat.



Gràfica 6 - Resposta del nou controlador a entrades graó



Gràfica 7 - Resposta del nou controlador a entrada rampa



Gràfica 8 - Resposta del nou controlador a entrada acceleració

NOTA: Degut a que en el moment de iniciar la lectura de dades el spider8 realitza una posada a zero de les senyals. Les dades de posició van resultar negatives. Al crear el controlador, els signes de tots els paràmetres han de ser oposats als actuals.