

Capítol 4

Caracterització elèctrica del sistema

Per desenvolupar aquest capítol s'han realitzat totes les comprovacions i experiments necessaris per tal de conèixer en detall el funcionament del nostre sistema i treure paràmetres d'interès com el temps de resposta, resolució del sistema i resposta freqüencial.

4.1. SENSOR PIEZOELÈCTRIC.

A continuació es mostraran gràfiques i valors que defineixen el comportament del nostre sensor juntament amb el convertidor I – V i el circuit d'excitació, des de la realització de diagrames de BODE per conèixer la seva resposta freqüencial i paràmetres d'interès com el factor de qualitat, ample de banda, etc, fins a imatges de la vibració del sensor en funció de l'amplitud de l'ona amb la que s'excita i de la freqüència.

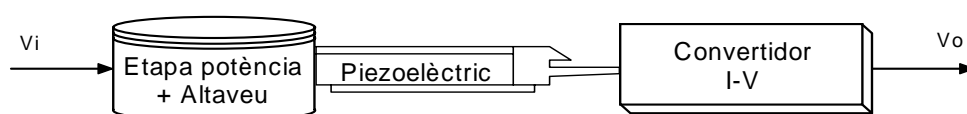


Figura 4.1. Esquema del sistema caracteritzat en aquest apartat.

4.1.1. Resposta freqüencial: Diagrames de BODE.

S'han realitzat dos diagrames de BODE per cada tipus de generador (DAQ i Generador de funcions) el qual serà la meua senyal d'entrada V_i . Al primer diagrama, s'ha fet amb un rang de freqüències properes a la freqüència de ressonància, i el segon amb un rang bastant més ampli per conèixer la seva resposta a freqüències llunyanes a la de ressonància. Cada imatge ve subdividida per dues gràfiques, on la superior ens indica el guany en dB's i la inferior del desfasament, ambdues de la relació entrada – sortida del sistema (V_o/V_i).

- o Diagrames de BODE amb la DAQ com VCO.

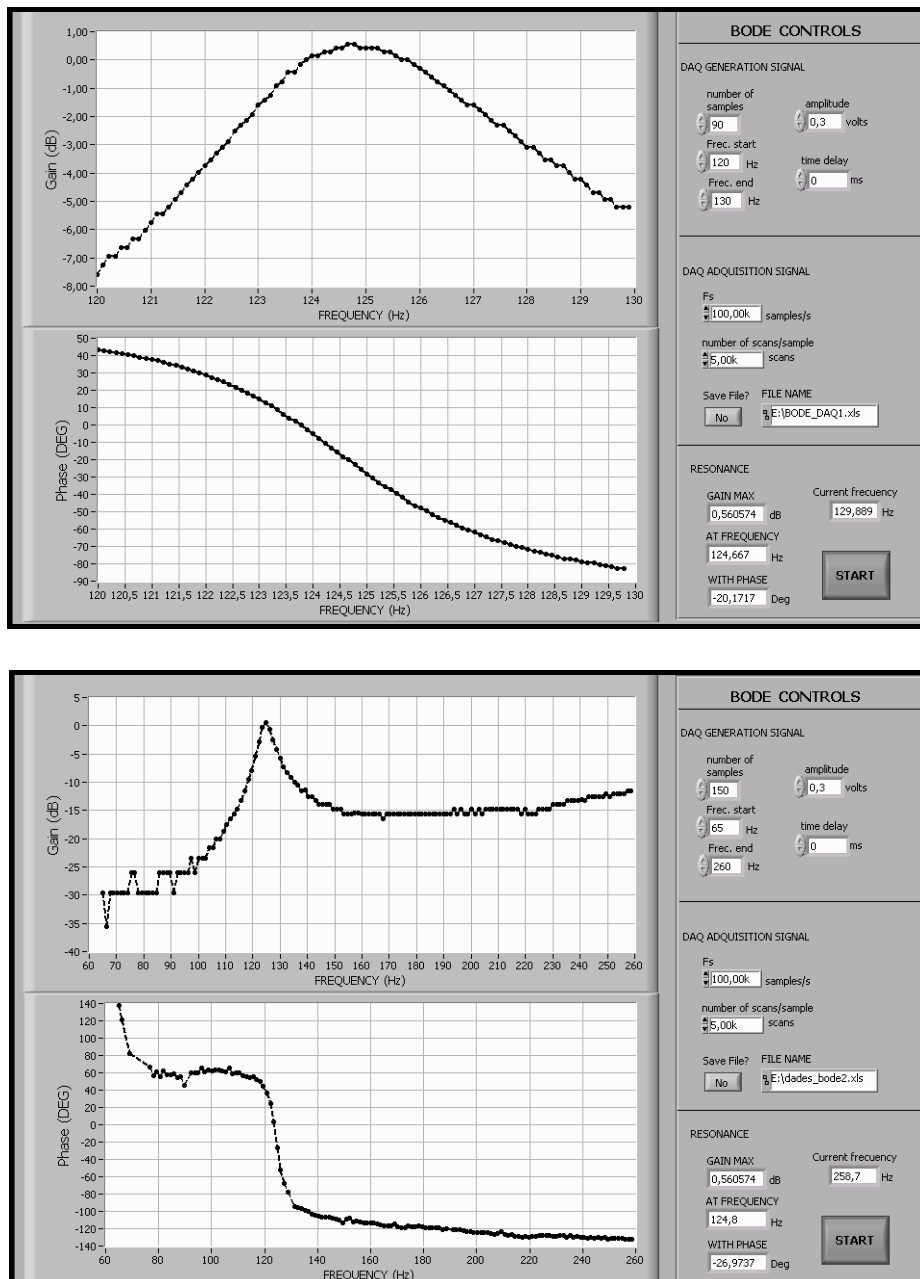


Figura 4.2. Diagrames de BODE. El de dalt s'ha realitzat per un rang de freqüències entre 120 i 130Hz i el de baix per un rang de 60 a 260Hz

Per les mesures registrades dels diagrames realitzats i mostrats anteriorment podem trobar els paràmetres del nostre piezoelèctric. Com es pot veure a la figura 4.2., per freqüències inferiors a 80Hz gairebé tenim senyal de sortida (guany=-30dBs) i fa molt mal de calcular el desfasament entre els dos senyals. L'exactitud de la freqüència de ressonància vendrà donada pel nombre de punts amb els que haguem realitzat l'escombrat per un cert rang freqüencial, sent molt més precís com major nombre de punts i menor rang, com es el cas de la figura 4.1. Així doncs, la freqüència de ressonància del nostre sensor piezoelèctric lliure de pes serà:

$$f_o F_r = 124.7 \text{ (Hz)}$$

Mirant les freqüències que tenim a una caiguda de -3dB's i si es resta tenim l'ample de banda:

$$BW = 127.7 - 122.6 = 5.1 \text{ (Hz)}$$

Per tant, amb aquest dos paràmetres podem treure el factor de qualitat, el qual ve donat per la següent expressió:

$$Q = \frac{f_o}{BW} = \frac{124.7}{5.1} = 24.5$$

o Diagrames de BODE amb el generador de funcions com VCO.

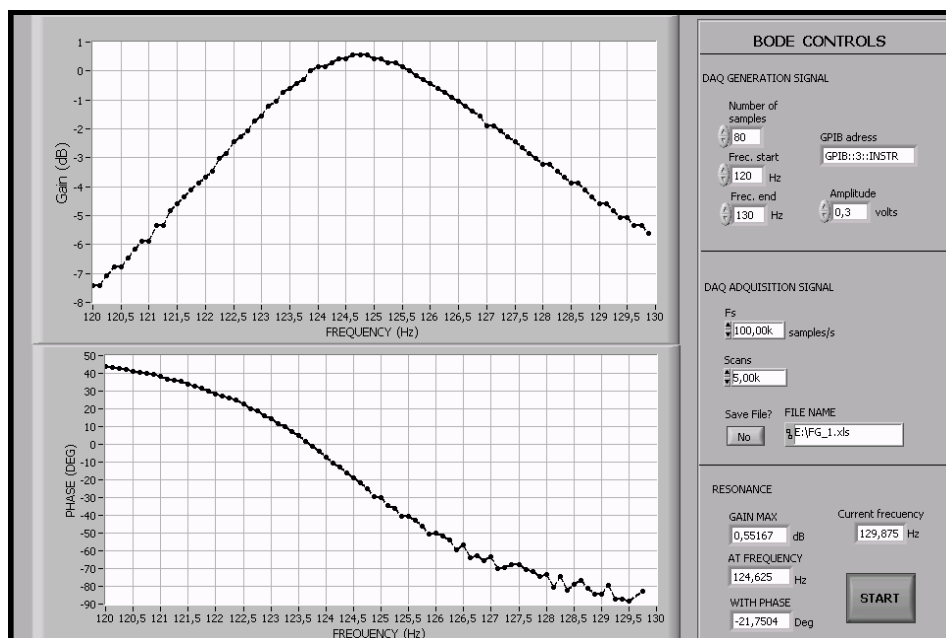


Figura 4.3. Diagrama de BODE per un rang de freqüències entre 120 i 130Hz.

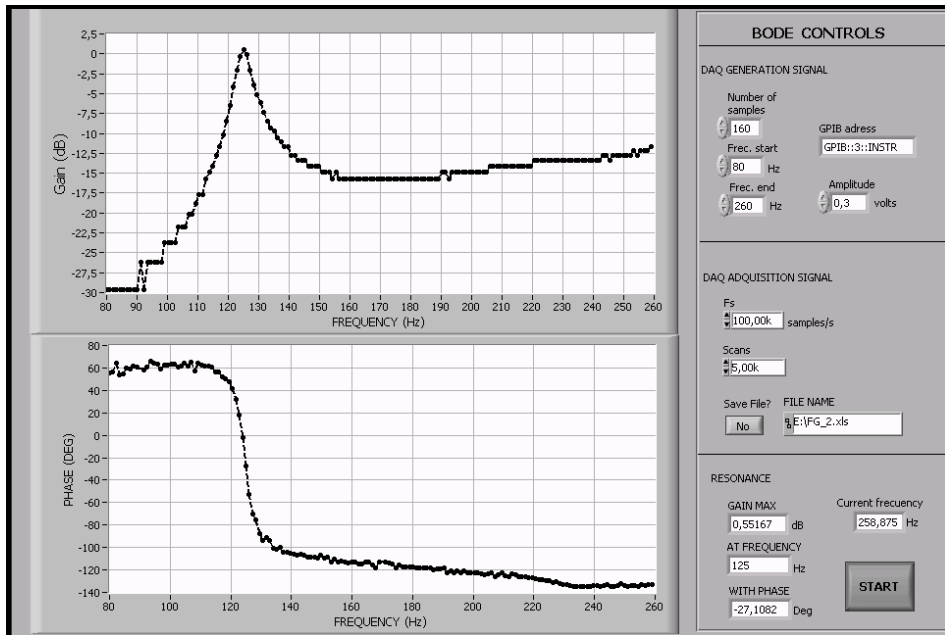


Figura 4.4. Diagrama de BODE per un rang de freqüències entre 60 i 260Hz.

Calcularem els mateixos paràmetres que hem calculat per la generació amb DAQ, ara pel generador de funcions.

Freqüència de ressonància:

$$f_o = 124.7 \text{ (Hz)}$$

Amb un ample de banda:

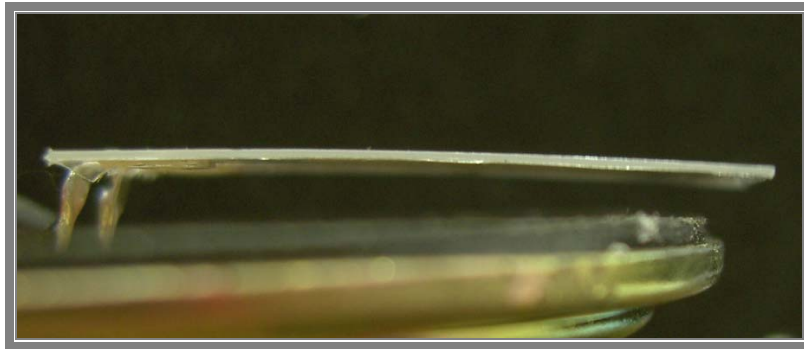
$$BW = 127.5 - 122.5 = 5 \text{ (Hz)}$$

Per tant, el factor de qualitat serà:

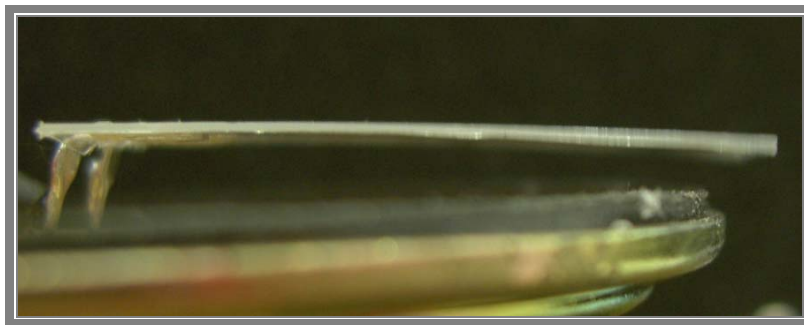
$$Q = \frac{f_o}{BW} = \frac{124.7}{5} = 24.9$$

Si es comparen els resultats trets pels dos sistemes de generació es pot observar la petita diferència que existeix en la resposta del sistema.

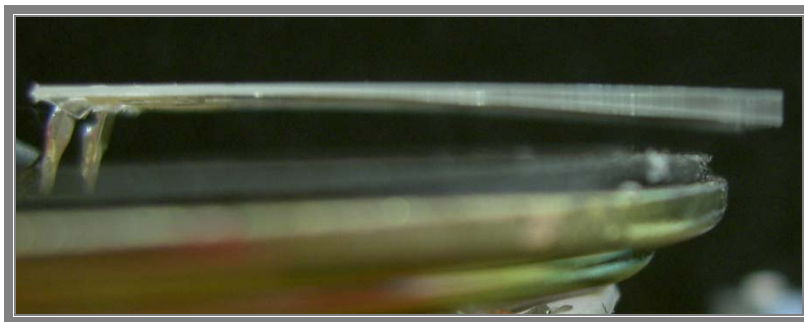
4.1.2. Excitació del piezoelèctric amb distintes amplituds.



a)



b)



c)

Figura 4.5. Fotografies de la vibració que sofreix el sensor per distintes amplituds a la seva freqüència de ressonància. a) $A=0.3V$, b) $A=0.5$ i c) $A=1V$.

A les fotografies superiors es pot observar la vibració que sofreix l'extrem del piezoelèctric per distintes amplituds del senyal d'excitació. Per totes les proves realitzades en el projecte s'ha emprat una amplitud com la mostrada a la fotografia a) amb $A=0.3V$, per lo que ens era suficient per realitzar les mesures i d'aquest mode, la vibració no ens afectava a materials que

dipositéssim damunt seu, com una gota d'aigua, que amb una vibració excessiva provocaria l'expulsió de la gota.

També s'ha experimentat de que el sistema es realitza amb una amplitud distinta, però com es veu a la següent gràfica, per una $A=0.3V$ s'obté una resposta freqüencial optima. En canvi per tensions d'entrada elevada ja produeix una vibració a la palanca excessiva i provoca generacions de corrent desproporcionades i amb renou.

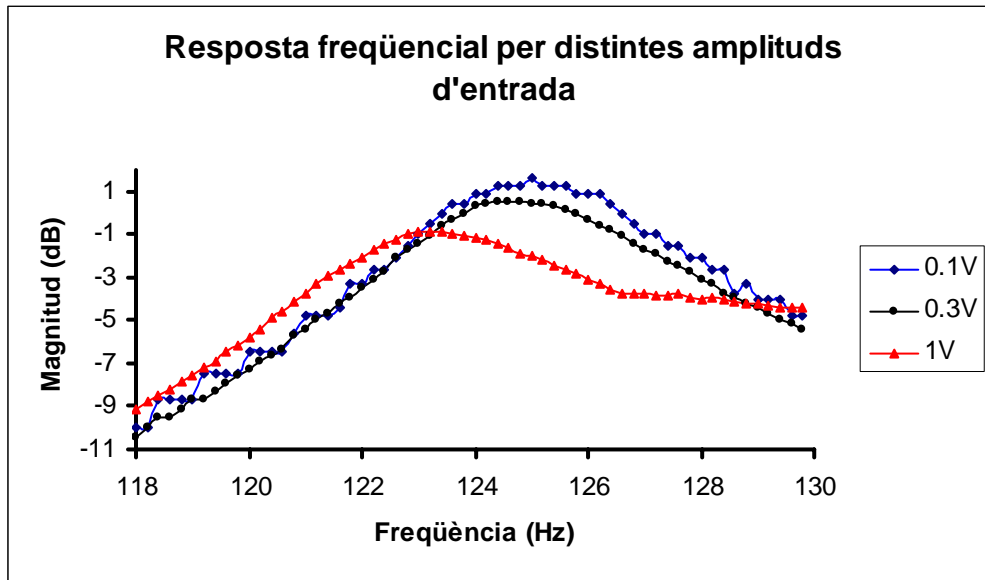


Figura 4.6. Guany del diagrama de BODE realitzat per distintes tensions d'excitació.

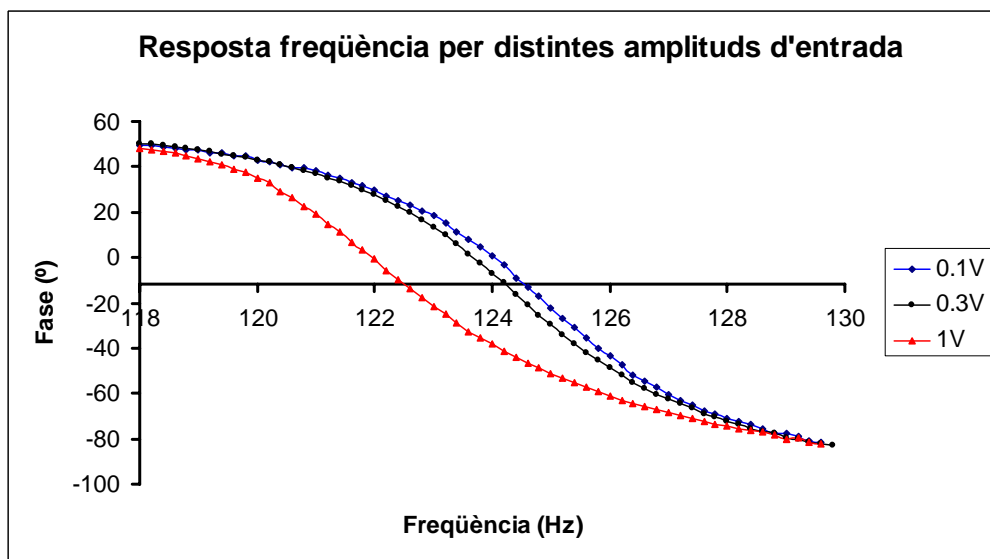


Figura 4.7. Fase del diagrama de BODE realitzat per distintes tensions d'excitació.

4.1.3. Excitació del piezoelèctric a distintes freqüències.

En aquest apartat es vol mostrar la variació de la palanca respecte a la freqüència d'excitació a tres punts distints d'un escombrat realitzat al diagrama de BODE. Per tal de veure els resultats amb la major caritat, s'ha excitat el circuit amb un senyal d'1 V d'amplitud.

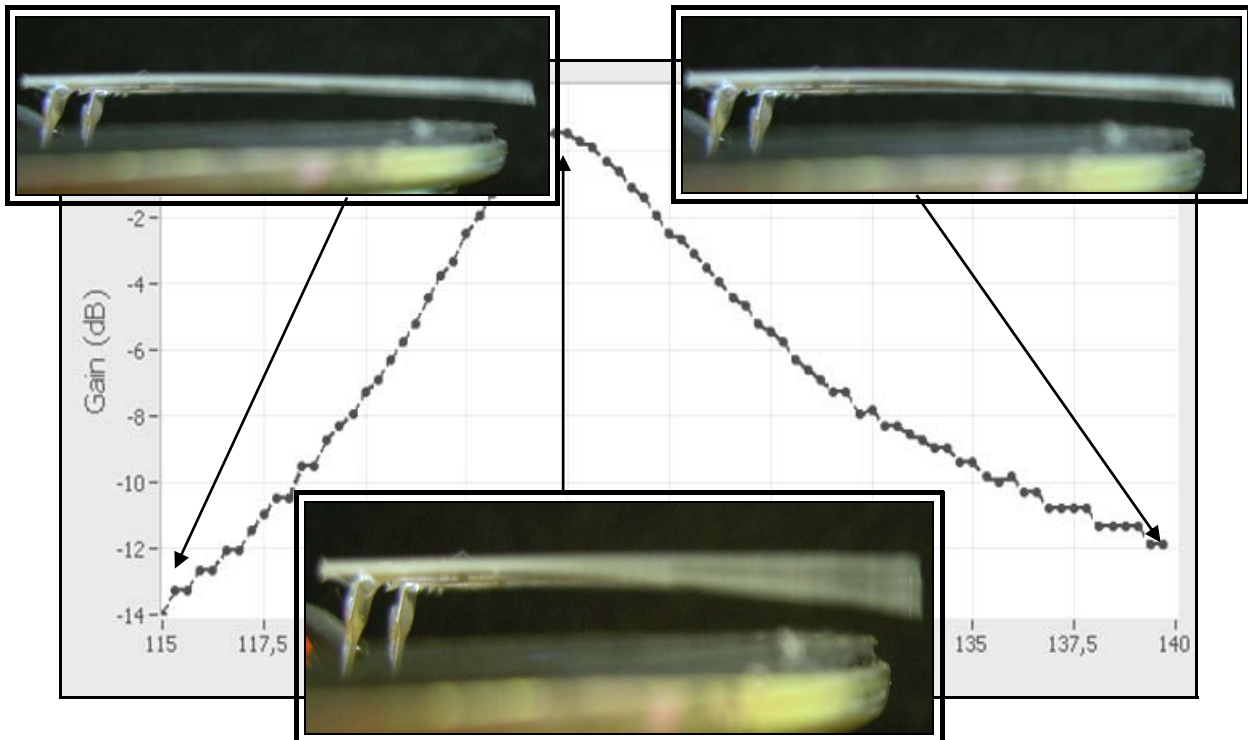


Figura 4.8. Fotografies del piezoelèctric amb una amplitud $A=1V$, per distintes freqüències com indiquen les fletxes

Com es pot veure a la imatge precedent a aquestes línies, es pot apreciar que la fotografia presa a la freqüència de ressonància del piezoelèctric ($f_o=124'5Hz$), aquest mostra una vibració més pronunciada que a freqüències llunyanes, com és pel cas de $F=115Hz$ i $F=140Hz$.

4.2. CARACTERITZACIÓ DEL SISTEMA COMPLET.

En aquest apartat s'analitzarà el sistema complet avaluant el temps de resposta del PLL per enganxar el desfasament per diferents paràmetres de control, K_{VCO} , K_P i K_I . Un cop les senyals estan enganxades observarem l'estabilitat i resolució del sistema. S'analitzarà pels dos modes de generació (DAQ i generador de funcions).

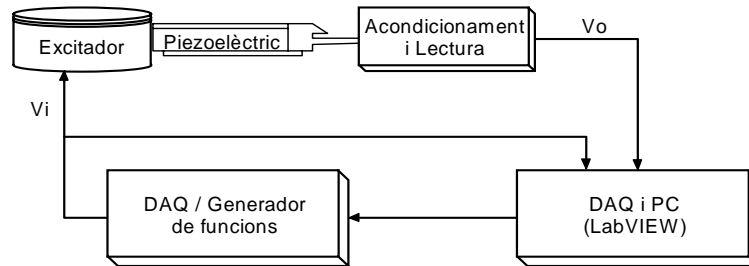


Figura 4.9. Sistema avaluat en aquest apartat. Tenint en compte les característiques del generador i com afecten al temps de resposta.

4.2.1. Resposta temporal: Transitoris d'enganxament.

A continuació avaluarem el temps de resposta per enganxar el desfasament a la freqüència de ressonància del sistema per distints paràmetres de control, mostrant els cassos més típics.

○ Transitoris amb el sistema alimentat per la DAQ.

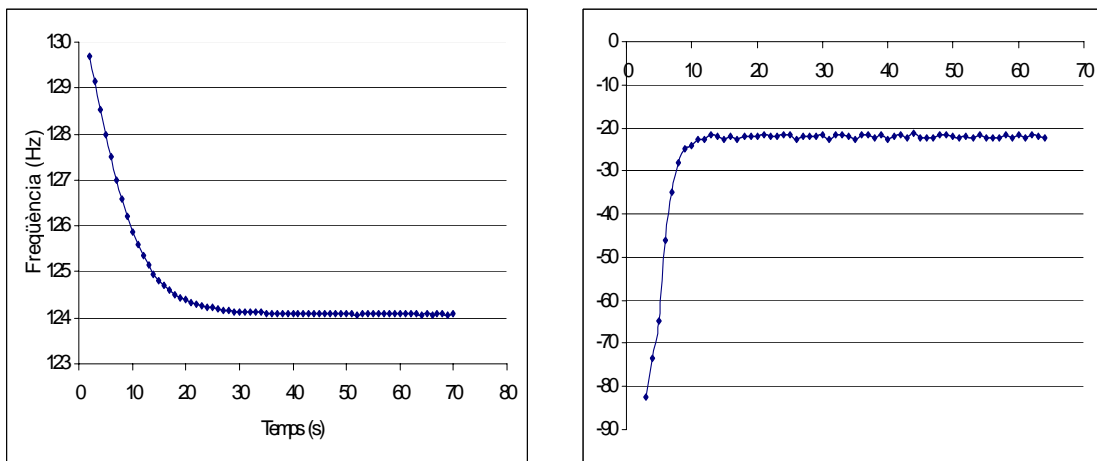


Figura 4.10. $K_{VCO}=0.05$, $K_I=0.5$ i $K_P=0$. El sistema és estable i s'enganxa lentament amb moviment sobresmorteït. Temps de resposta=13s.

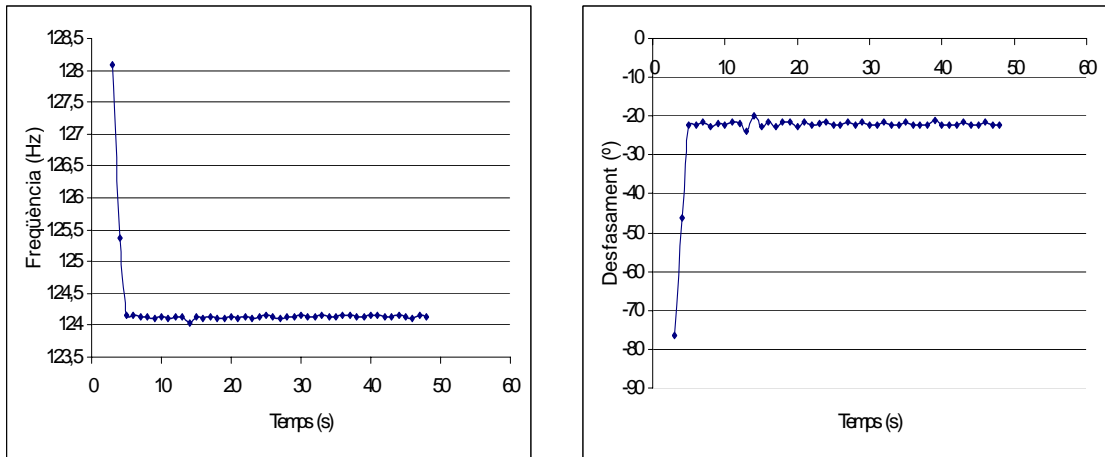


Figura 4.11. $K_{VCO}=0.05$, $K_I=1$ i $K_P=0$. El sistema és estable i s'enganxa més ràpidament també amb moviment sobresmorteït. Temps de resposta=5s.

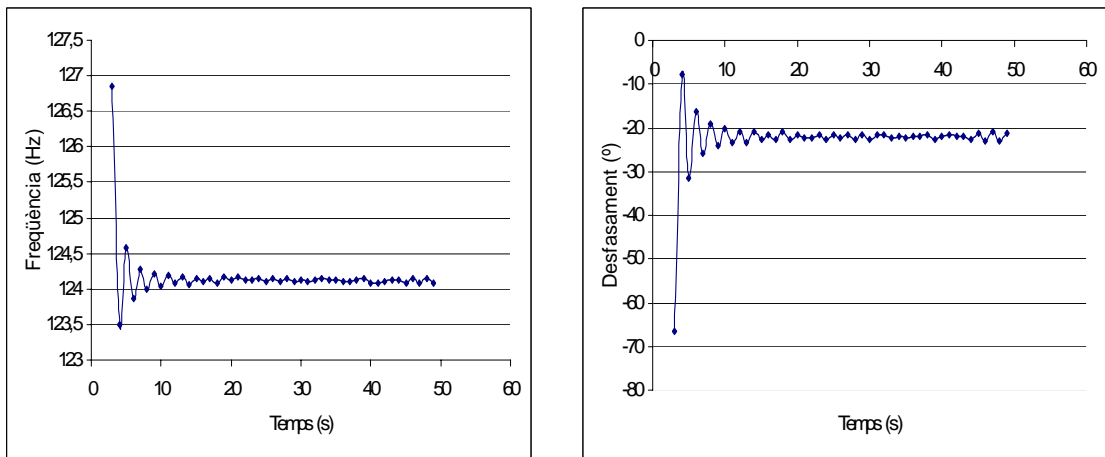


Figura 4.12. $K_{VCO}=0.075$, $K_I=1$ i $K_P=0$. El sistema s'estabilitza amb un moviment subesmorteït. Temps de resposta=19s.

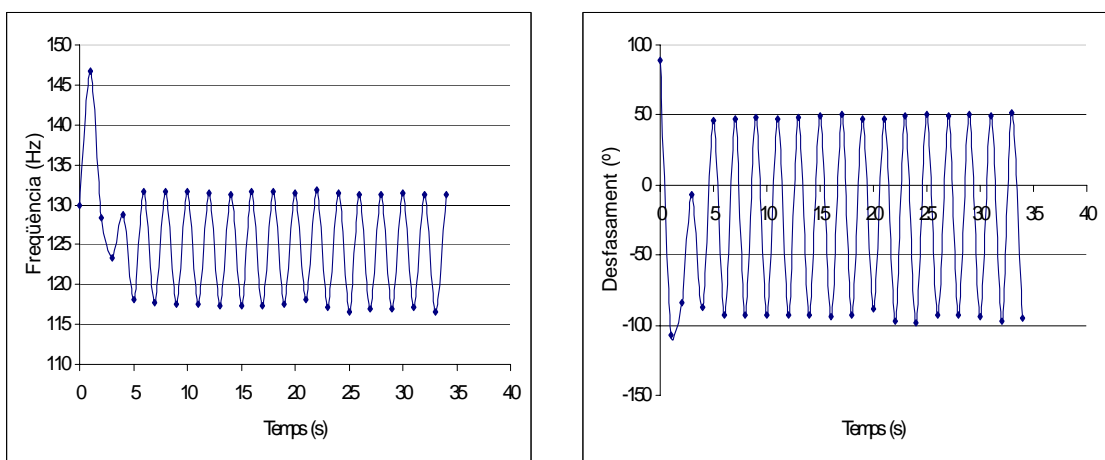


Figura 4.13. $K_{VCO}=0.1$, $K_I=1$ i $K_P=0.5$. El sistema oscil·la, és inestable.

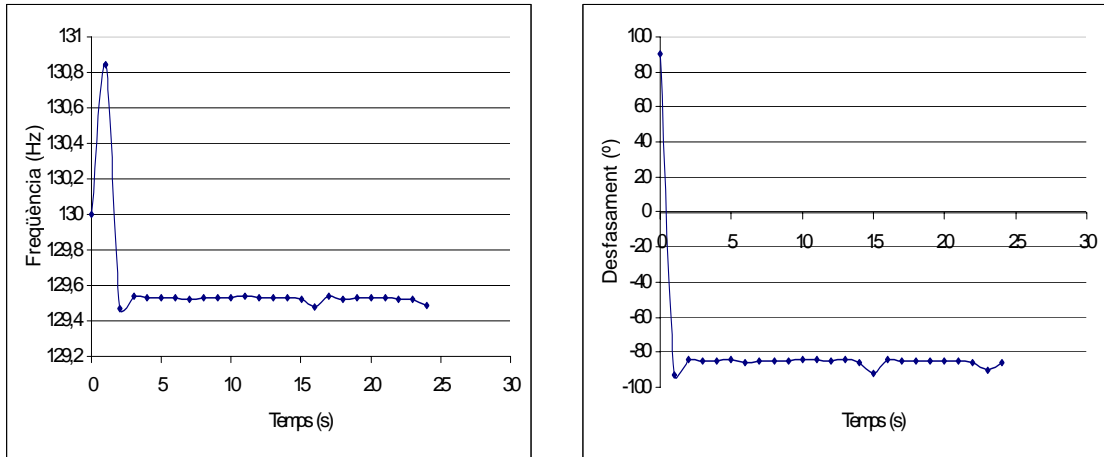


Figura 4.14. $K_{VCO}=0.075$, $K_I=0$ i $K_P=0.1$. El sistema és inestable.

○ **Transitoris amb el sistema alimentat pel generador de funcions.**

A continuació es visualitzaran els transitoris amb el senyal generat pel generador de funcions amb els mateixos paràmetres de control emprat pel anterior anàlisi i observant els mateixos casos típics d'un sistema de control.

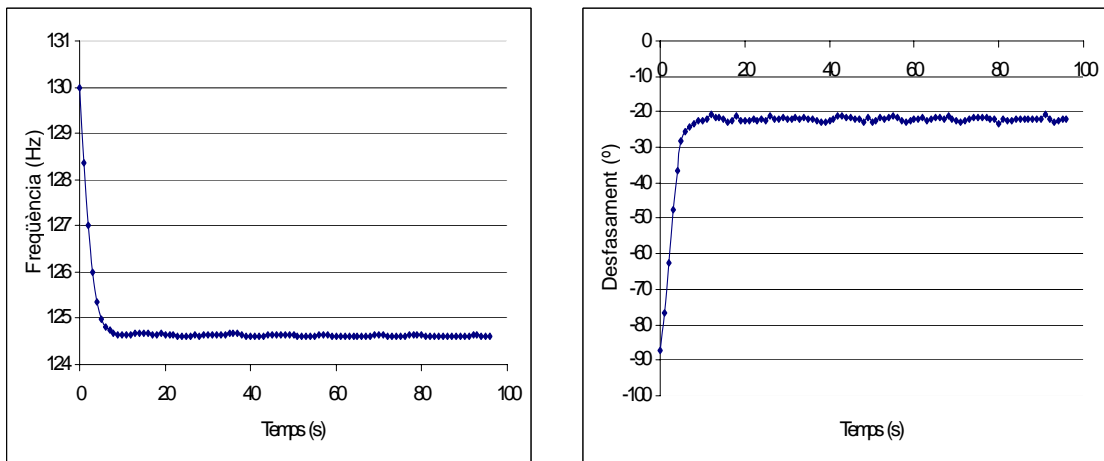


Figura 4.15. $K_{VCO}=0.05$, $K_I=0.5$ i $K_P=0$. El sistema és estable i s'enganxa lentament amb moviment sobresmorteït. Temps de resposta=10s.

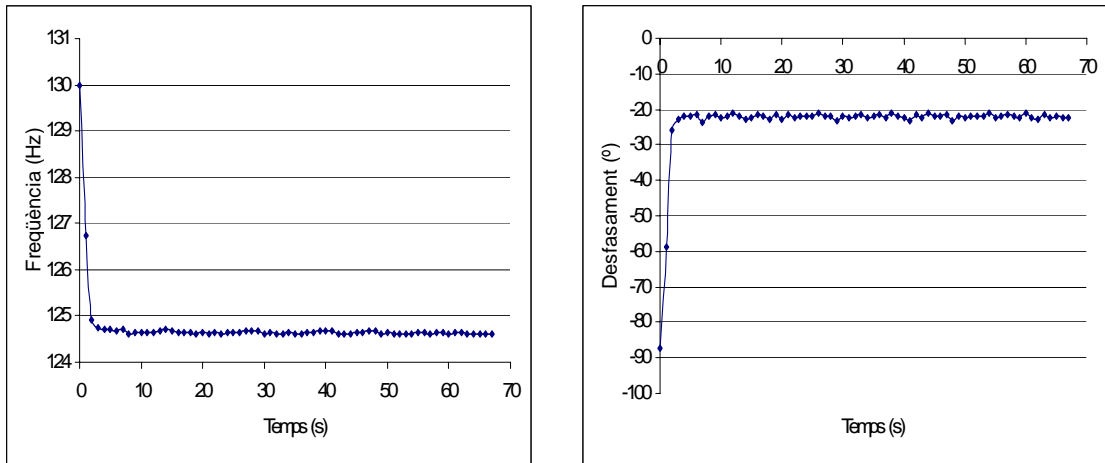


Figura 4.16. $K_{VCO}=0.05$, $K_I=1$ i $K_P=0$. El sistema és estable i s'enganxa més ràpidament també amb moviment sobresmorteït. Temps de resposta=3s.

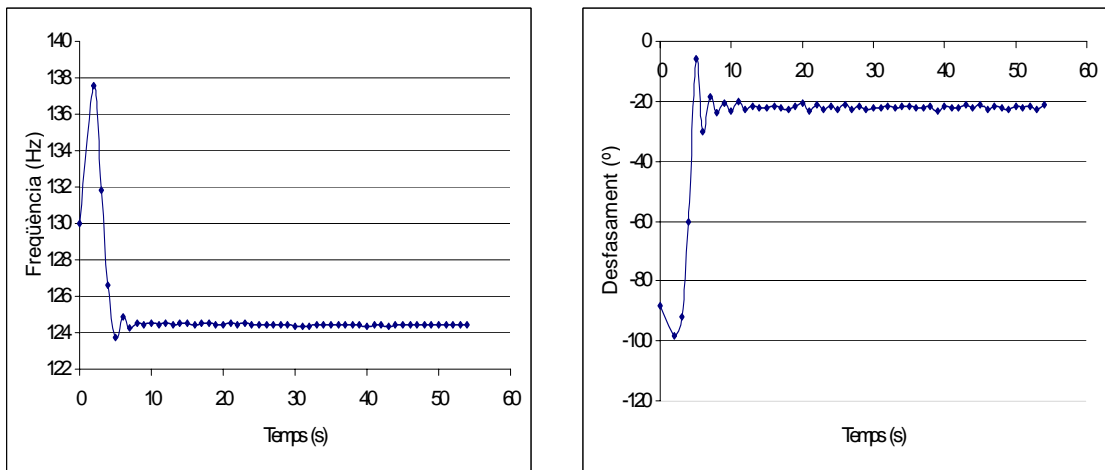


Figura 4.17. $K_{VCO}=0.075$, $K_I=1$ i $K_P=0$. El sistema s'estabilitza amb un moviment subesmorteït. Temps de resposta=15s.

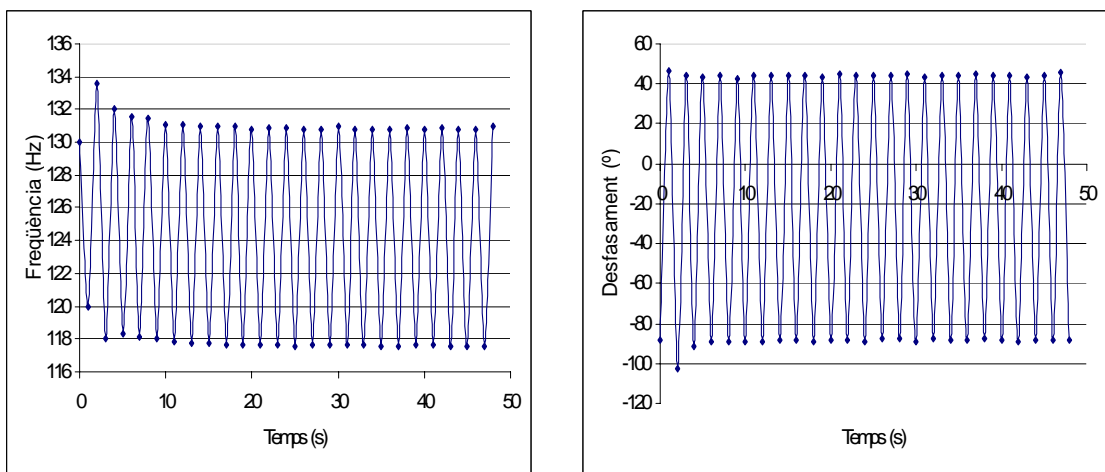


Figura 4.18. $K_{VCO}=0.1$, $K_I=1$ i $K_P=0.5$. El sistema oscil·la, és inestable.

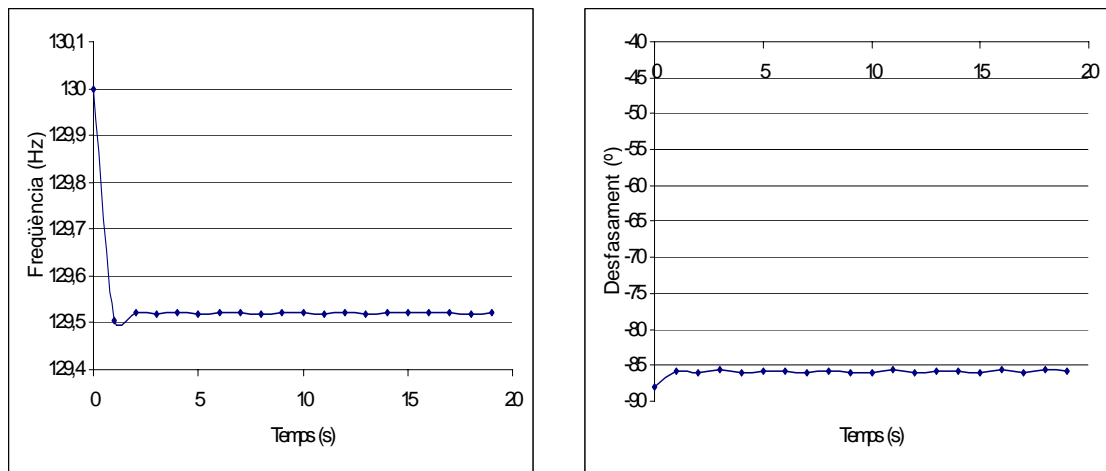


Figura 4.19. $K_{VCO}=0.075$, $K_I=0$ i $K_P=0.1$. El sistema és inestable.

Com s'ha pogut observar per les gràfiques anteriors, les respostes temporals son pràcticament les mateixes per el senyal generat amb la DAQ o pel generador de funcions, per tant, el propòsit de les següents gràfiques vol comparar les diferents respostes temporals variant un paràmetre de control amb els altres dos constants independentment de l'instrument emprat per la generació.

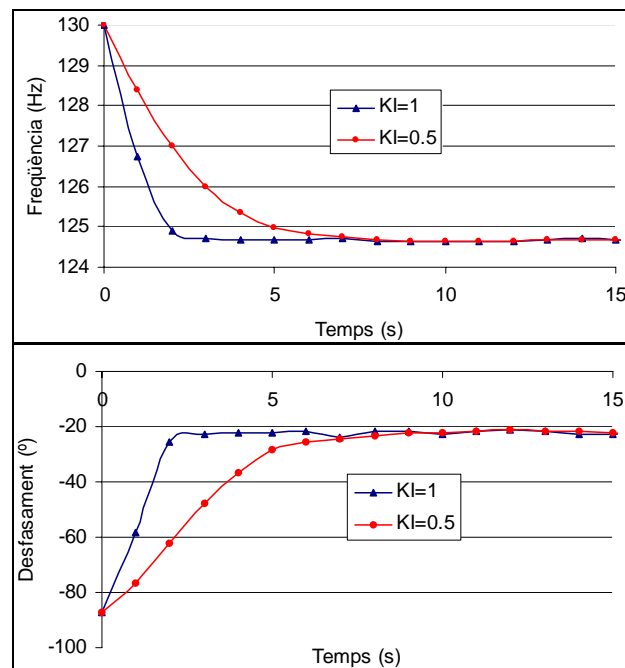


Figura 4.20. Diferents valors de K_I per $K_{VCO}=0.05$ i $K_P=0$.

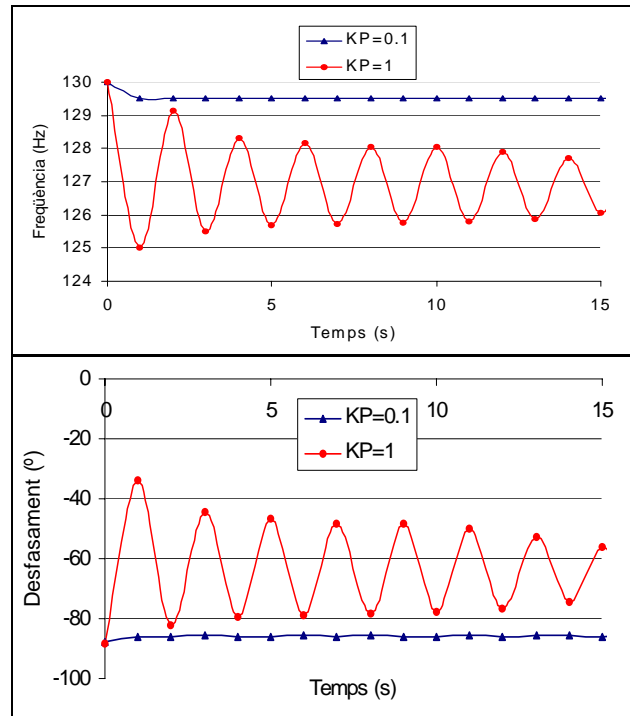


Figura 4.21. Diferents valors de K_P per $K_{VCO}=0.075$ i $K_I=0$.

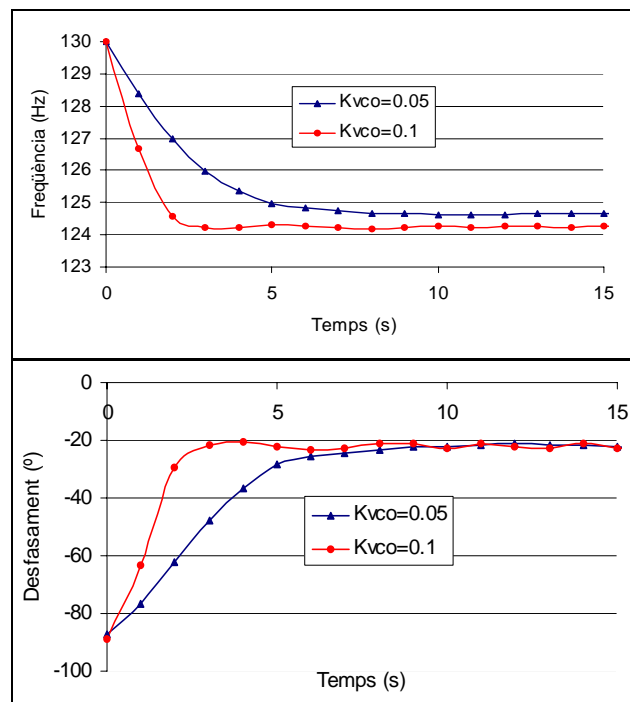


Figura 4.22. Diferents valors de K_{VCO} per $K_I=0.5$ i $K_P=0.3$

Com a conclusions d'aquest anàlisi del sistema de control es podria dir que la constant integrativa és la que té més importància seguida de la constant K_{VCO} , la qual multiplica als altres

dos paràmetres, per aconseguir un sistema estable, on la constant proporcional K_P és la que aconseguix augmentar el salt de freqüències com més error existeixi entre un desfasament i e el anterior, però per freqüències baixes i per tant poca diferència es converteix en el culpable de produir inestabilitat si te un valor elevat comparat amb el paràmetre K_I .

4.2.2. Resolució del sistema.

La resolució del sistema consisteix en el anàlisis de les fluctuacions que sofreix quan aquest està enganxat. Mirant les variacions que sofreix la freqüència determinarem quina és la mínima δf que es pot detectar. Hi ha que tenir en compte que aquesta depèn dels paràmetres del controlador PI analitzats abans ja que com més baixos siguin aquests, menys variacions sofrirà la freqüència i més estable serà el sistema.

A pesar de les intuïcions precedents al desenvolupament d'aquest apartat, el sistema aconseguix ser molt més estable amb la generació realitzada per la DAQ i no pel generador de funcions, com es podria haver suposat per la millor qualitat del senyal generat i més continu. Això és degut a que la mínima variació de freqüència que pot augmentar o reduir el generador de funcions, és a dir, la resolució és de 0.01Hz i la generació de l'ona amb una increment de freqüència menor que 0.01Hz s'arrodonirà i la sortida del generador no sofreixi variació. En canvi la DAQ pot sofrir increments molt més petits.

- Estabilitat amb el Generador.

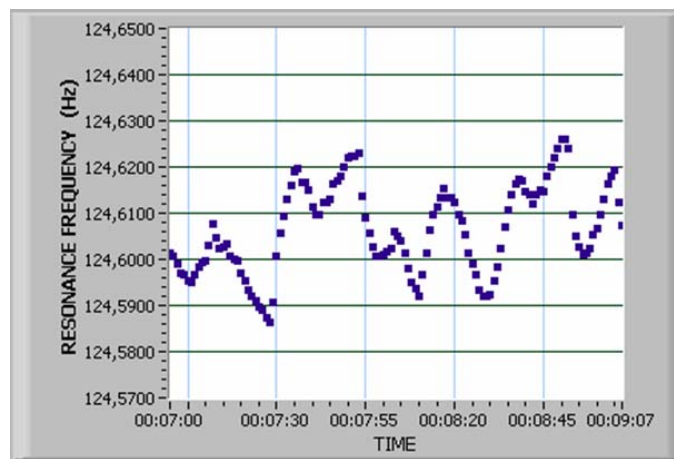


Figura 4.23. Estabilitat del sistema amb senyal generada pel generador de funcions amb paràmetres de control: $K_{VCO}=0.03$, $K_I=0.1$ i $K_P=0$.

Encara que per treballar amb xifres més exactes s'ha fet un processat de les dades per Software, on hem tret el valor eficaç de pic a pic d'aquestes fluctuacions, expressada per la següent formula:

$$f_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int x^2(t) dt} \quad (\text{Hz}) \quad (2.1.)$$

Per totes les gràfiques i processats que es mostraran a continuació s'han agafat mostres durant aproximadament 2 minuts en un estat estacionari. Per la gràfica mostrada a continuació, els paràmetres de control son $K_{VCO}=0.03$, $K_I=0.1$ i $K_P=0$.

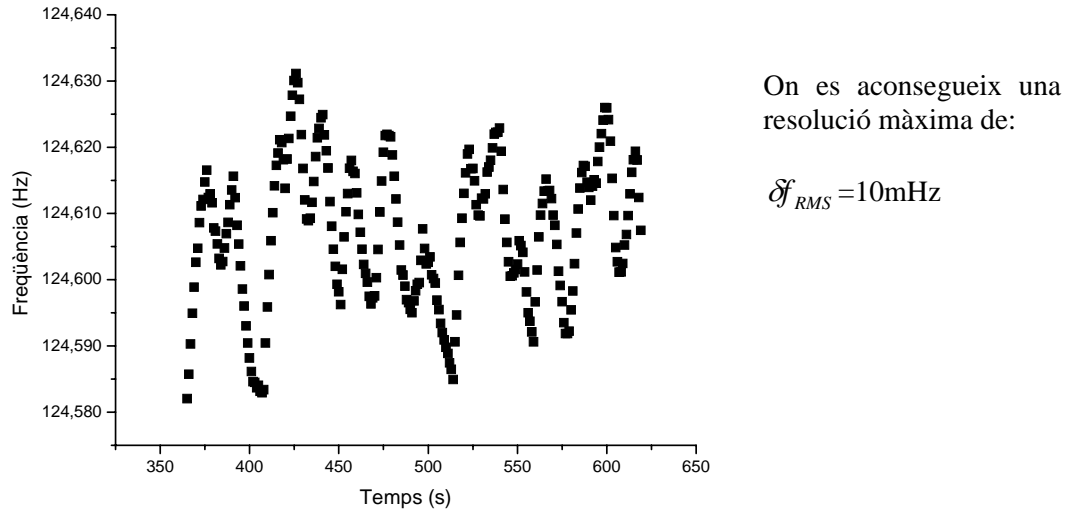


Figura 4.24. Representació de les mostres generades pel generador de funcions.

- Estabilitat amb la DAQ.

Hem prestat més importància a la resolució aconseguida per la DAQ, ja que és un instrument molt més simple i resulta tenir més resolució que un generador de funcions, per tant, hem estudiat la millor resolució en valor eficaç que podem aconseguir i després s'han mirat com afecta la variació del paràmetres de control, ja que òbviament, com més lent sigui el sistema, més estabilitat aconseguirem.

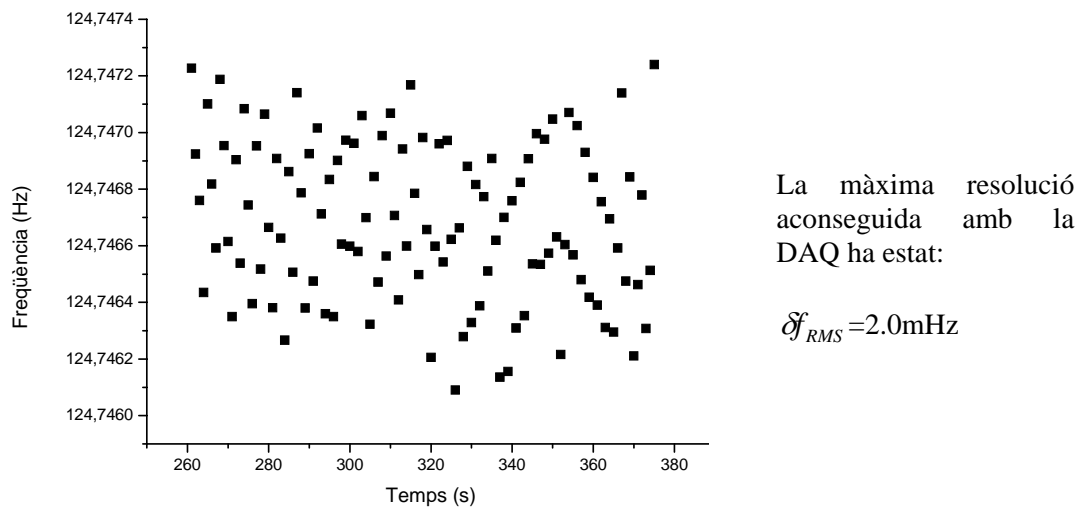
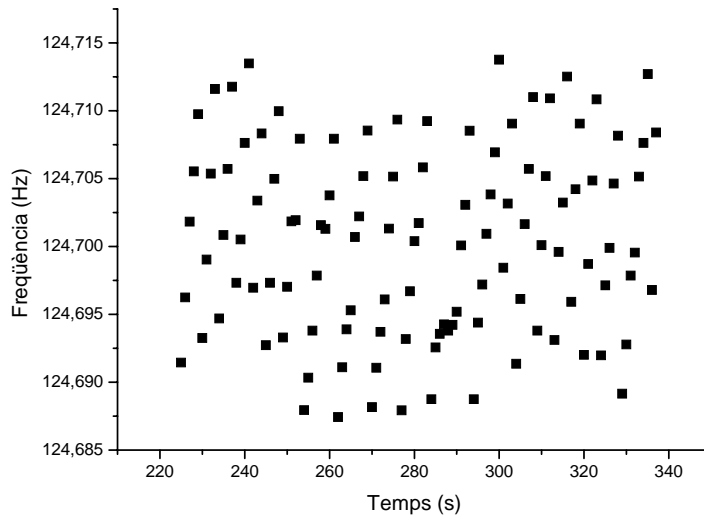


Figura 4.25. Representació de les mostres generades amb la DAQ.

Es pot observar que tenim una diferència de freqüència mínima amb la DAQ unes 25 vegades més petita que amb el generador. A continuació i seguint amb l'estudi de la DAQ, mirarem el mateix comportament per constants de control una mica majors i més habituals, com és el cas de $K_{VCO}=0.05$, $K_P=0$ i on K_I valdrà 0.5 i 1.

- $K_I=0.5$

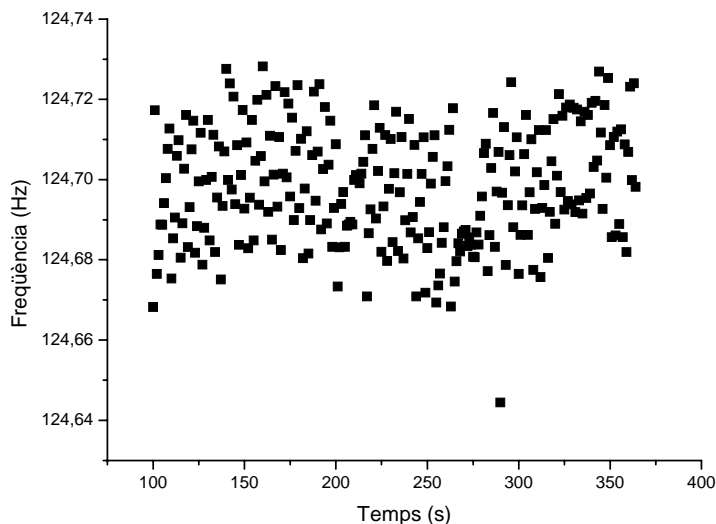


La màxima resolució aconseguida amb la DAQ per aquest paràmetres ha estat:

$$\mathcal{F}_{RMS} = 6.9\text{mHz}$$

Figura 4.26. Representació de les mostres generades amb la DAQ pel paràmetres de control indicats.

- $K_I=1$



La màxima resolució aconseguida amb la DAQ per aquest paràmetres ha estat:

$$\mathcal{F}_{RMS} = 14.4\text{mHz}$$

Figura 4.27. Representació de les mostres generades amb la DAQ pel paràmetres de control indicats.

El resultats gràfics no fan més que confirmar que com més ràpid és un sistema (menor temps de resposta), menys estable es, i per tant, obtenim una menor resolució.