

Laboratori de comunicacions  
QT06-07  
Oscil·lador de cristall a 11MHZ

Eloy Cabezuelo  
Carlos López  
Gunther Monté

# Índex

Introducció.....pag. 3

Disseny .....pag. 6

Mesures.....pag. 14

Conclusions.....pag. 16

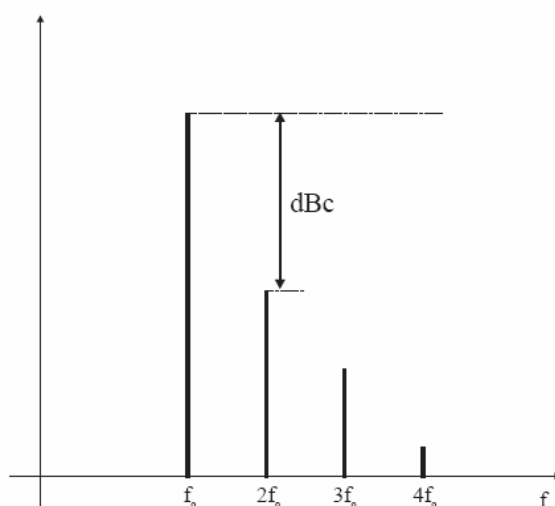
Implementació .....pag. 10

# Introducció

Un oscil·lador és un dispositiu electrònic que idealment ens genera un to pur, del tipus  $x(t) = A \cos(\omega_0 t)$ . Per tant, el seu espectre s'ha de correspondre a dues deltes centrades a  $f_0$  i  $-f_0$ . En realitat, això no passarà mai ja que sempre tindrem harmònics.

Paràmetres de caracterització dels oscil·ladors.

- Harmònics: Com els oscil·ladors fan servir dispositius actius, sempre tindrem harmònics a  $2f_0$ ,  $3f_0$ , etc. La relació entre la potencia del to desitjat i la del segon harmònic és medeix en dBc (dB to carrier). Generalment els harmònics s'eliminen fàcilment amb un filtre passa banda.

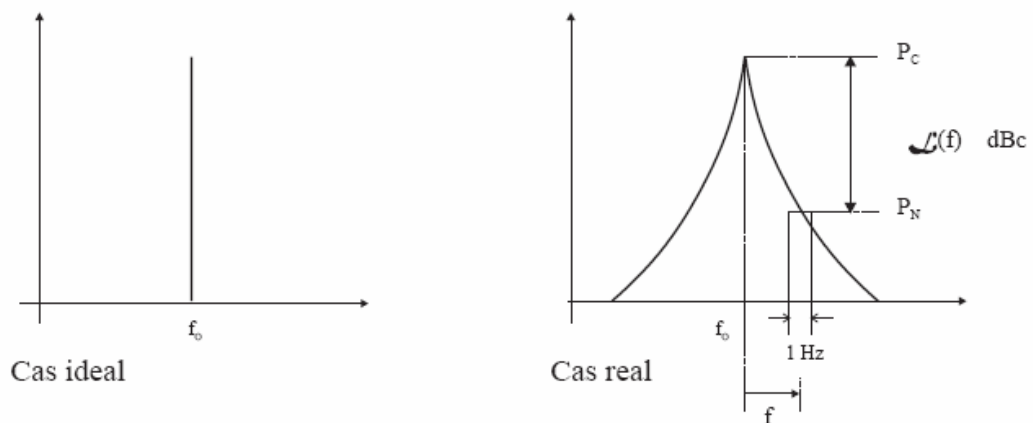


- Distorsió harmònica total (THD): paràmetre que ens indica les pèrdues de potencia degudes a tots els harmònics respecte a l'harmònic principal. Es calcula amb la següent formula

$$THD(\%) = \sqrt{\frac{\sum_2^N P_N^2}{P_1}} \cdot 100$$

- Puresa espectral: Ens indica el soroll de fase i per tant l'estabilitat o puresa de l'espectre del sistema. És el soroll que rep la fase, i ens indica les variacions curtes de la freqüència. És la diferencia entre la potencia de la portadora, i la potencia del soroll a la banda lateral (offset de freqüència) i ample de banda d'1Hz. Es calcula amb la següent formula

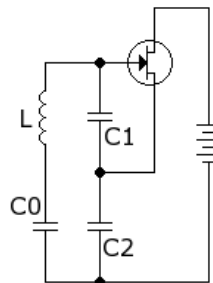
$$L(f) = \frac{P_N \big|_{BW=1Hz}}{P_C}$$



- Estabilitat en freqüència: Estabilitat en freqüència a llargs períodes de temps. Pot ser deguda a la temperatura, envelliments dels components, variacions en l'alimentació, etc. És medeix en ppm (parts per milió) respecte al paràmetre que es tracti (temperatura, temps, etc)

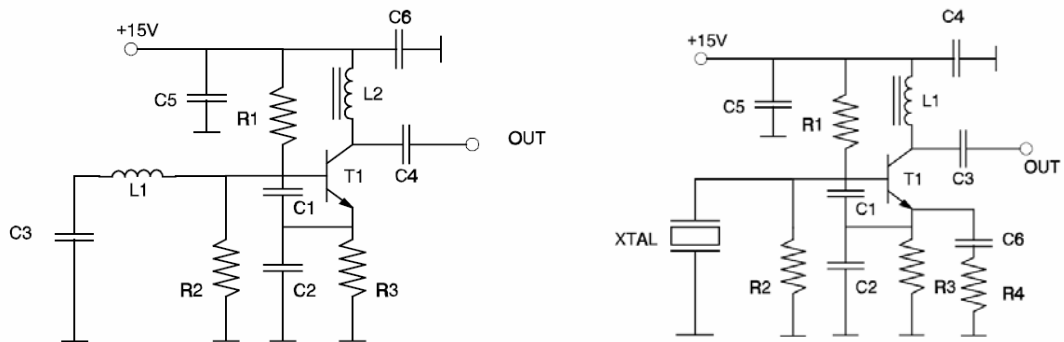
Dins dels oscil·ladors de RF hi ha varies opcions:

- LC amb resistència negativa: Tot i que en la practica es fa servir molt poc, és un model que ajuda a entendre el funcionament de tots els oscil·ladors, ja que tots els oscil·ladors es poden modelar amb aquest circuit. És tracta d'un circuit ressonat LC paral·lel, on la f de ressonància val  $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ . En un circuit real, l'oscil·lació LC s'esmorteix degut a la resistència que presenten els components, i per evitar això, hem de posar un dispositiu actiu que modelem com una resistència negativa. Aixà tenim una oscil·lació constant.
- Clapp: És fa servir per fer VFO (oscil·ladors variables en freqüència) ja que permet fer servir un condensador variables sense tenir grans pèrdues en el circuit.

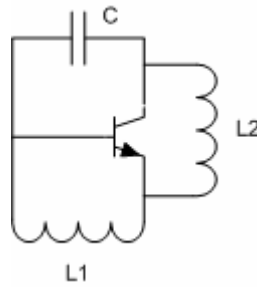


- Colpitts: Oscil·lador de RF, basat en el circuit LC, i amb un transistor. Obté la sortida a altra freqüència sense entrada. Modificant el circuit i substituint el circuit LC per un XTAL obtenim un oscil·lador molt més estable, i els amb més puresa espectral. Els cristalls apart de ser molt més estables que el circuit LC ens ofereixen un marge de freqüències de fins a 30MHz, tot i que usant "overtones" podem

arribar a centenars de MHz. Aquest model es el que hem fet servir a la practica.



- Hartley: Millora del Colpitts, que ens permet augmentar el factor de qualitat Q, el que implica més estabilitat en freqüència.



## Etapa de disseny

### - Especificacions

El nostre objectiu consisteix en la realització d'un oscil·lador a 11MHz utilitzant un cristall de quars com a element ressonador aprofitant l'efecte piezoelèctric de l'estructura cristal·lina.

Les freqüències dels cristalls poden anar dels centenars de kHz fins al voltant dels 30 MHz, per tant, no haurem d'utilitzar-lo en mode sobre-tó (overtone).

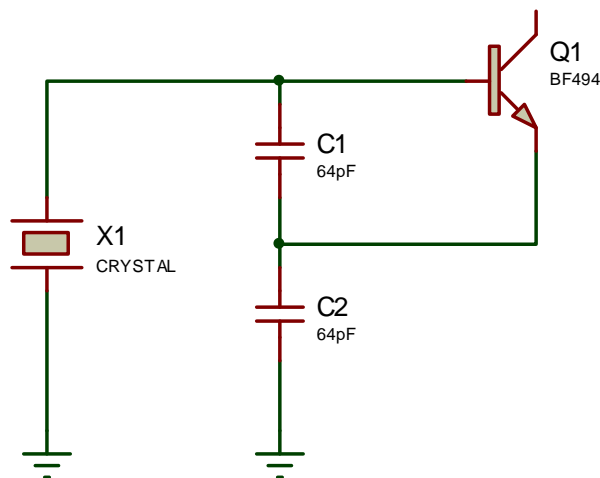
El gran avantatge d'aquests oscil·ladors és que presenten una estabilitat en freqüència l'ordre d'una part per milió.

És per això que aquest tipus d'oscil·lador s'utilitza molt en casos en què derives de freqüència massa grans com en el cas d'un oscil·lador LC no siguin acceptables.

Per a realitzar l'oscil·lador utilitzarem una estructura Colpitts en la que substituïrem la bobina i el condensador pel cristall de quars. Aquest haurà de funcionar en mode paral·lel, a una freqüència de 11MHz i en mode d'operació fonamental.

### - Circuit d'oscil·lació

Pel que fa a disseny el circuit equivalent el circuit equivalent a la freqüència d'oscil·lació és:



En primer lloc, com a transistor utilitzarem un de tipus NPN, en concret el model BF494 que s'adapta bé a les nostres necessitats ja que té pot treballar amb una freqüència de transició més alta que la que necessitem.

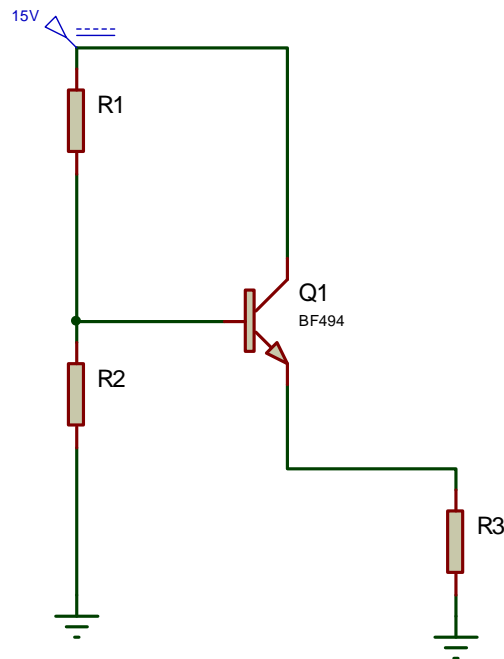
Com a oscil·lador a cristall utilitzarem un que oscil·li en mode paral·lel i fonamental a una freqüència de 11MHz. El model que utilitzarem és el XTU11M05.

Al treballar amb l'oscil·lador en mode paral·lel i per tal de que l'oscil·lador faci la seva funció, el fabricant ens proporciona un valor de capacitat de càrrega que acostuma a variar entre 20 i 50 pF, malgrat que s'acostuma a posar un valor estàndard de 32pF. Això ho podem aconseguir amb l'associació de dos condensadors en sèrie de 64 pF.

$$C_{eq} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{64 \cdot 64}{64 + 64} = 32 \text{ pF}$$

## - Circuit de polarització

El circuit de polarització és el següent:



Per aconseguir una oscil·lació continuada i amb uns valors de tensió apropiats, haurem de fer treballar el transistor en zona activa.

En primer lloc, per aconseguir treballar en zona s'han de complir les següents condicions:

$$I_b > 0$$

$$V_{ce} > 0.2$$

$$I_c = I_b \cdot \beta$$

$$V_{be} \approx 0.7$$

On el nostre valor de  $\beta$  varia entre 67 i 220. Per fer l'anàlisi del disseny, prendrem un valor de 200

Analitzant el circuit, s'ha de complir que:

$$I_e = I_b + I_c = I_b \cdot (\beta + 1) \approx I_c$$

Per tant, analitzant les malles podem dir que:

$$I_b = \frac{15 - 0.7}{R_1 // R_2 + (\beta + 1) \cdot R_3} = \frac{14.3}{\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + (\beta + 1) \cdot R_3}$$

$$V_{ce} = 15 - I_c \cdot R_3$$

Uns valors de resistència comercial que compleixen aquesta igualtat són:

$$R_1 = 15k\Omega$$

$$R_2 = 10k\Omega$$

$$R_3 = 4.7k\Omega$$

Amb aquests valors aconseguim un punt de treball de:

$$V_{ce} = 0.9V$$

$$I_c = 3mA$$

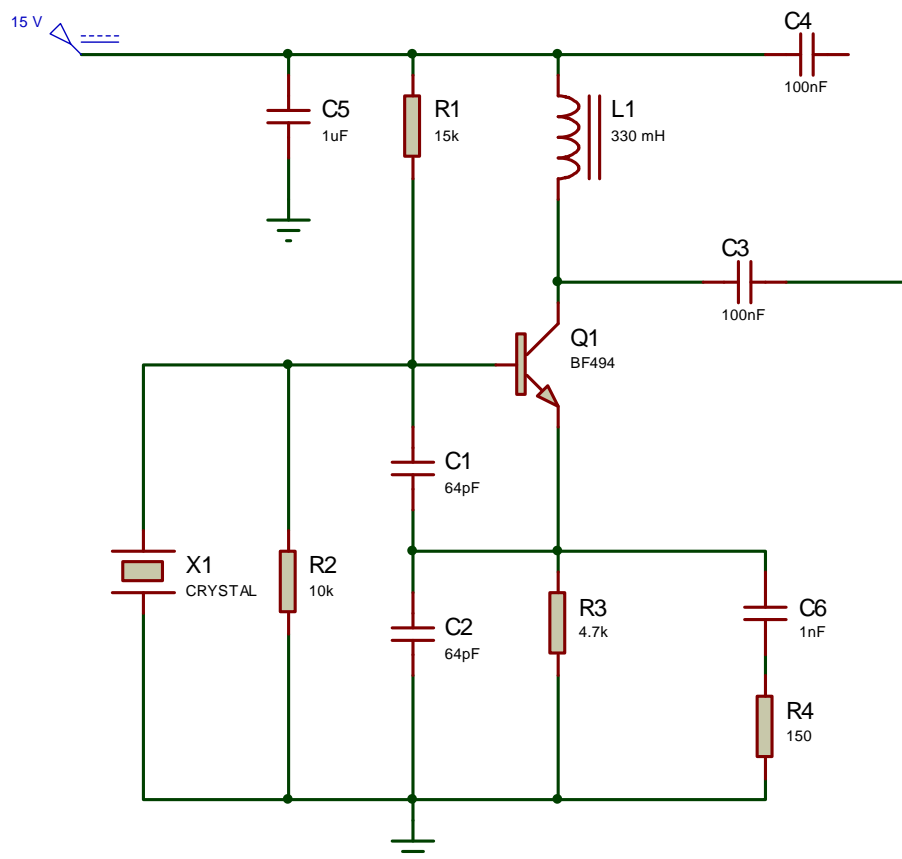
### - Aïllament entre circuits

És important que els senyals de RF no s'introdueixin en el circuit de polarització i de la mateixa manera que el senyal continu de polarització no interfereixi en el de radiofreqüència.

Amb la finalitat d'aconseguir l'aïllament dels circuits, col·locarem condensadors de valors elevats i bobines de xoc per tal de bloquejar el nivell de contínua i de radiofreqüència respectivament.

El circuit resultant a implementar serà el següent

Podem observar els diferents components que s'encarregaran d'aïllar de senyals innecessaris els dos circuits.





EL valor dels condensadors de desacoblament és de 100nF. A més, s'ha connectat un condensador electrolític de 1uF en paral·lel amb un de polièster entre l'alimentació i massa per tal de filtrar la tensió d'alimentació. La bobina de xoc té un valor de 330mH un valor suficient per a la freqüència a la que treballem

### - Disseny de la placa de circuit imprès

Com a últim pas abans del muntatge del circuit, s'ha de dissenyar el circuit imprès on connectarem els components.

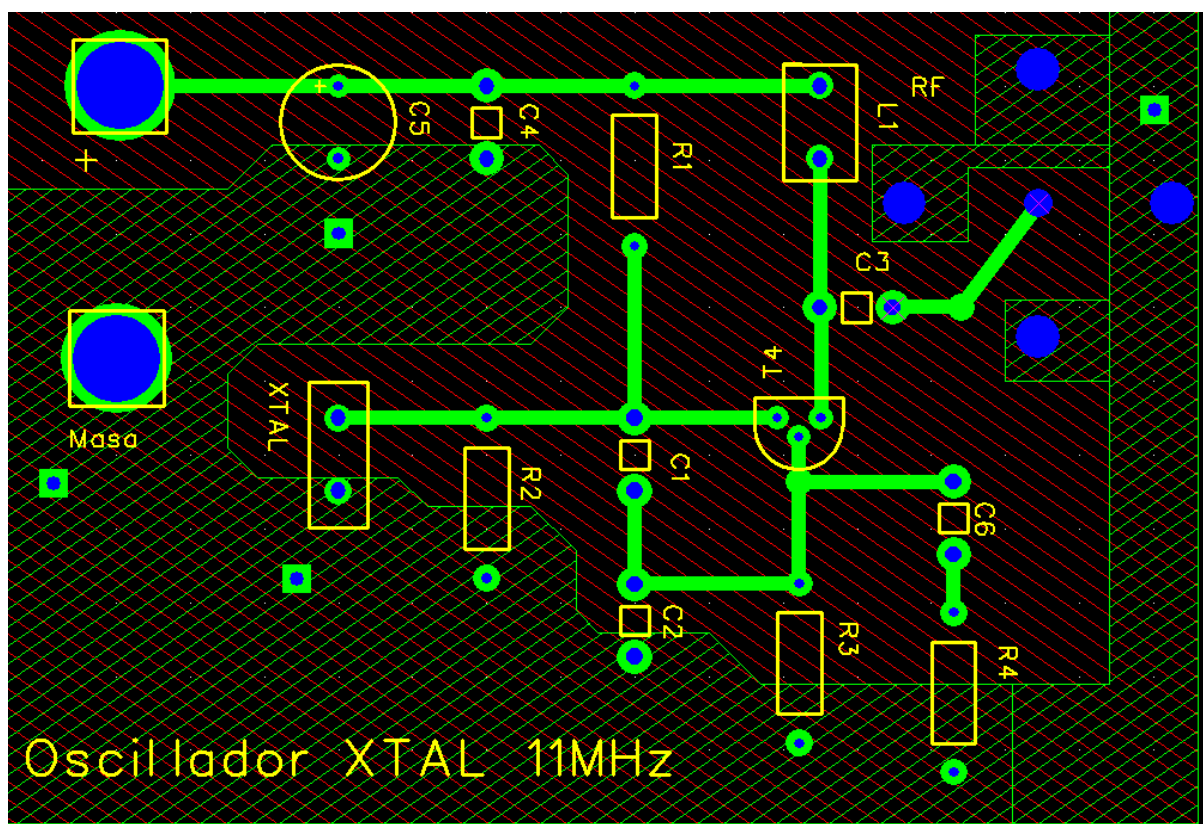
Per fer-ho, em mesurat tots els components: condensadors, bobines, transistor, terminals... tenint en compte també el diàmetre dels terminals de cada component.

Posteriorment, em passat a distribuir els components per tal d'evitar traçats de línies massa llargues ó encreuaments entre línies. En el nostre cas, al tractar-se d'una freqüència de 11MHz la longitud d'ona és suficientment gran com per no tenir en compte les longituds de les pistes, ara bé, s'ha de tractar fer el més petit i precís possible.

Abans d'acabar, connectarem cada component amb el component que li pertoqui mitjançant xarxes que hem definit.

Per últim caldrà dibuixar les masses a les dues cares de la placa.

El resultat final es mostra en la següent imatge :



## Implementació del sistema

En aquest punt tractarem l'implementació del disseny, per aquest motiu hem necessitat implementar prèviament el disseny en simuladors com el proteus, el qual ens servia com a punt de referència per poder-ne comprovar que el sistema funciona correctament. I a més, hem fet us del programa de lliure distribució anomenat Free-PCB el qual hem empleat per poder implementar el disseny en una placa de microstrip.

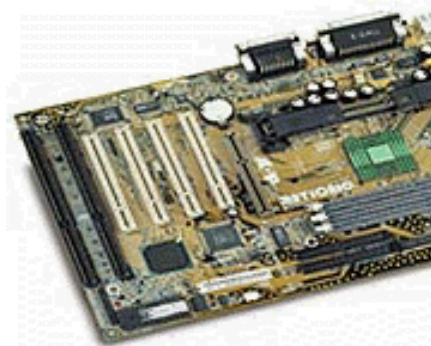
Aquestes plaques de microstrip es podem elaborar per diferents mètodes:

El primer mètode consisteix en crear la línees microstrip mitjançant la dissolució per àcid. Aquest mètode consisteix en marcar amb un marcador especial les línees que volem mantenir amb coure. Un cop fet aquest procediment agafem la placa en qüestió i la submergim en àcid fent així que la part de coure que no s'hagi tintat es dissolgui amb l'àcid.

El segon mètode consisteix en un procés químic basat en la radiació de certes ones de llum per tal de fer que el material es retalli, part del coure desapareix.

Per últim donarem com a exemple un mètode que es basa en una transformació física mitjançant una fresadora la qual per la fricció que produeix elimina el coure que nosaltres vulguem, de tal manera que marca les línees i les zones de fricció.

La nostre placa es crea a partir d'aquest últim mètode, per crear-la només cal l'arxiu de Free-PC per inserta-lo a l'aparell.



La placa de l'imatge, s'anomena placa base, aquest component es un component que treballa a grans velocitats. Per aquest motiu les línees microstrip han de presentar una perfecció en la seva formació, per arribar a tenir aquest nivell tindrem que utilitzar el mètode de insolació el qual presenta una gran eficiència.

Un cop tenim la placa, el disseny i els components junt amb l'equip per estanyar, tenim que seguir uns passos per poder fer el muntatge correctament.

#### Components que utilitzarem:

En l'apartat de disseny hem tingut que trobar un valor per cadascun dels components però tot i així els valors d'aquest components no són comercials i llavors hem de trobar el que s'aproxima més i intentar fer que els efectes que es puguin donar com a no desitjats siguin els mínims.

Per exemple el cas de la bobina el seu valor no es importa gaire degut a que només a de efectuar un xoc RF, però en el cas del condensador del filtre passa baixos tindrem una petita variació degut a que el teòric marca 1 nF mentre que nosaltres posarem 2,2nF això provocarà que la  $f_c$  del filtre variï i per conseqüència ens canviarà a la vegada la amplitud de la senyal de sortida.

#### Passos a seguir per la implementació:

Pauta que tindrem que tenir.

1. No escalfar massa els components, per que sinó es poden cremar.
2. Tenim que estanyar-los des de el més baix fins el que sobre surt més.
3. Procurar no sortir-nos de les línies microstrip.
4. Els connectors aniran els últims.
5. Si s'ha de treure un component que s'ha estanyat, llavors escalfarem l'estany i amb el xuclador traurem el que puguem

### Problemes durant el muntatge i posteriorment les mesures.

Per començar parlarem dels problemes originats per la soldadura. És molt importen que els components facin ven contacte amb les pistes, a més hem de tenir hem compte que els punts que acabin en terra han s'han de connectar a la massa salten l'illa això es un error de la fabricació de la placa que provoca que s'hagi tingut que estanyar des de la pota del component fins la massa general, això no provoca cap tipus de pèrdues. A mes un altre problema que hem tingut i que a estat general an estat els forats dels connectors del tipus SMA o BNC.



A l'hora de mesurar hem de tenir en comte que totes les mesures s'han de fer amb una resistència de referència de 50 ohms això provocarà que les mesures que es facin amb l'oscil·loscopi no siguin les adequades degut a que te una resistència d'entrada de 1 M ohms metre que si les realitzem amb una analitzador d'espectres la resistència a l' entrada es de 50 ohms.

### Preu muntatge.

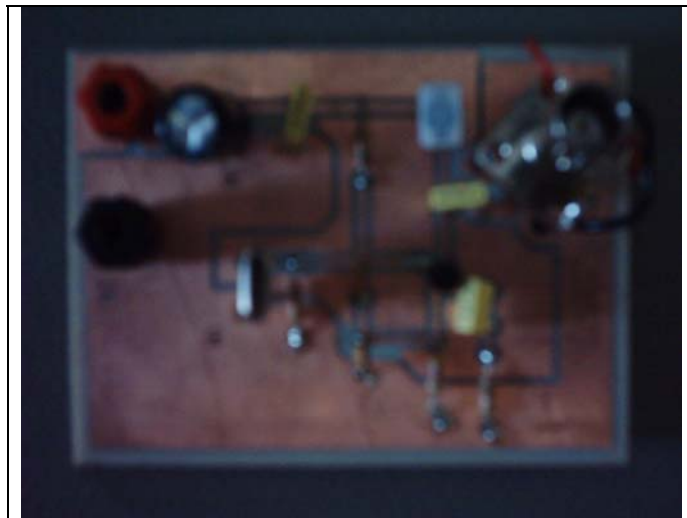
Ara bé, si volguéssim muntar aquest sistema tindríem que tenir com a punt fort el preu dels materials, tot i que en el sistema que elaborem aquest preu no es dispara, fent així que sigui un preu assequible.

Model	Quantitat.	Preu
<b>RS1404K7</b>	1-Resistencia 4K7 ohmios 1/4 watio	0,022 €
<b>RS14015K</b>	1-Resistencia 15K ohmios 1/4 watio	0,022 €
<b>RS14010K</b>	1-Resistencia 10K ohmios 1/4 watio	0,022 €
<b>RS140150</b>	1-Resistencia 150 ohmios 1/4 watio	0,022 €
2 - Condensadors <b>ceràmics miniatura</b> tol 10% 100 Vlt.		0,16€
1-100uF 25Voltios		0,13€
2-Condensadors <b>Poliester</b> tol.10% 400 Vlt.		0,55€
<b>FO100VI</b>	Forma bobina 100 Mhz 8x10 mm forma ranurada amb blindatge	0,59€
<b>BC548</b>	NPN	0,99€
<b>XTU11M05</b>	11,0592 Mhz	0,84€
<b>CN2001</b>	Connectors Banana	1,00€
<b>CB204</b>	Connector BNC Vertical	1,50€
IVA:		0.84€
Total con IVA:		6.10€

D'aquesta manera podem observar com podem muntar un oscil·lador de cristall per només 6.10 € (el preu de la placa microstrip no el tenim en compte).

Tost aquest preus es troben subministrats per tenda Diotrònic. (<http://www.diotronic.com/> ).

En aquesta pagina apart dels preus podrem trobar la característiques elèctriques i físiques del components a partir del seus datasheets.

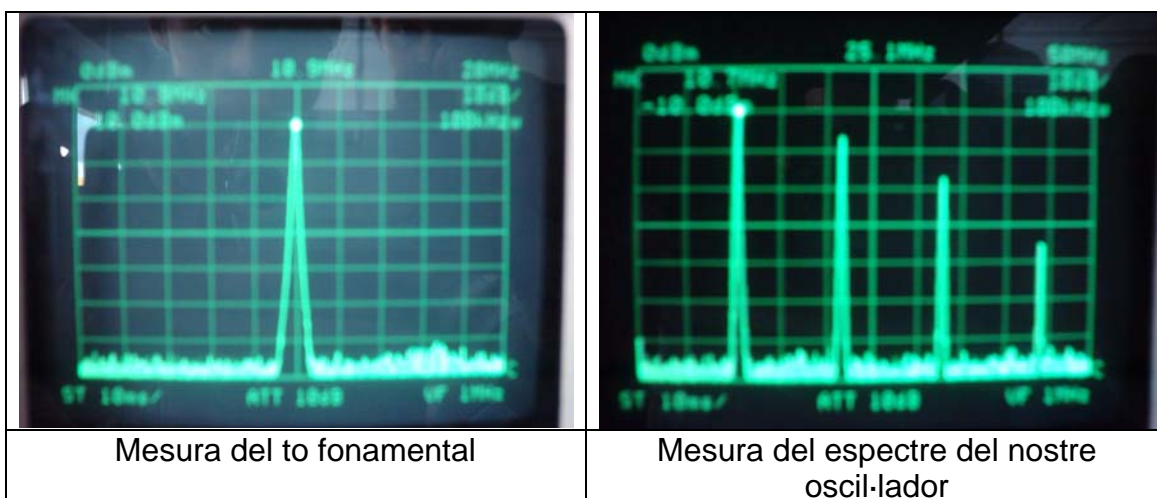


## Mesures

Per realitzar les mesures per caracteritzar el oscil·lador a 11MHz emplenarem dues bananes per alimentar (una font d'alimentació) el dispositiu i un connector BNC-N per connectar el dispositiu al analitzador de espectres.

Un cop tenim tot connectat comencem a fer les petites mesures.

En primer lloc mirem si la sortida dona una delta a 11MHZ , un cop la tenim caracteritzada passem a comprovar la relació entre aquesta delta i les de mes deltes produïdes per les freqüències múltiples.



Un cop comprovem que oscil·la a la freqüència desitjada, mesurarem diferents tipus de paràmetres.

El primer de tots serà la distorsió harmònica.

$$THD(\%) = \sqrt{\frac{\sum \text{Parmonicos}}{\text{Parmonicofundamental}}} \cdot 100 = 39.41\%$$

El segon consistirà en la estabilitat durant el temps. La resolució seria de la següent manera per totes les mesures

Desviació FREC temps (5min)

$$\Delta f = 4KHz$$

$$f_{osci} = 10.782.MHz$$

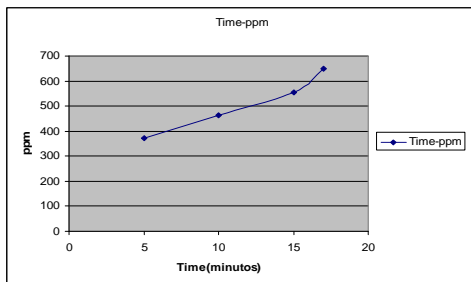
$$S_{ppm} = \frac{\Delta f}{f_{osci}} \cdot 10^6 = 371ppm$$

5 min	10min	15min	17min
371 ppm	463ppm	556ppm	649ppm

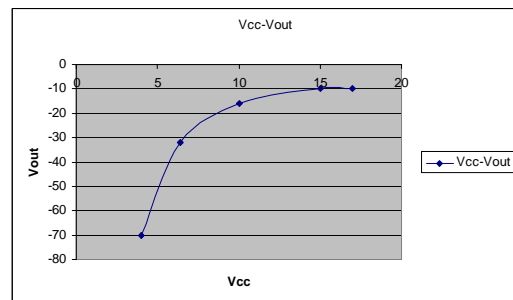
### Síntesi de les dades:

Model.	Freq.Osci. (MHz)	Power Output	Vcc. (V)		Current (mA) Max.	Harmònics (dBc)		
			Typ.	Max.		f2	f3	f4
X-TAL	11	- 10.4dBm	15	20	20	8.2	24.4	33.8

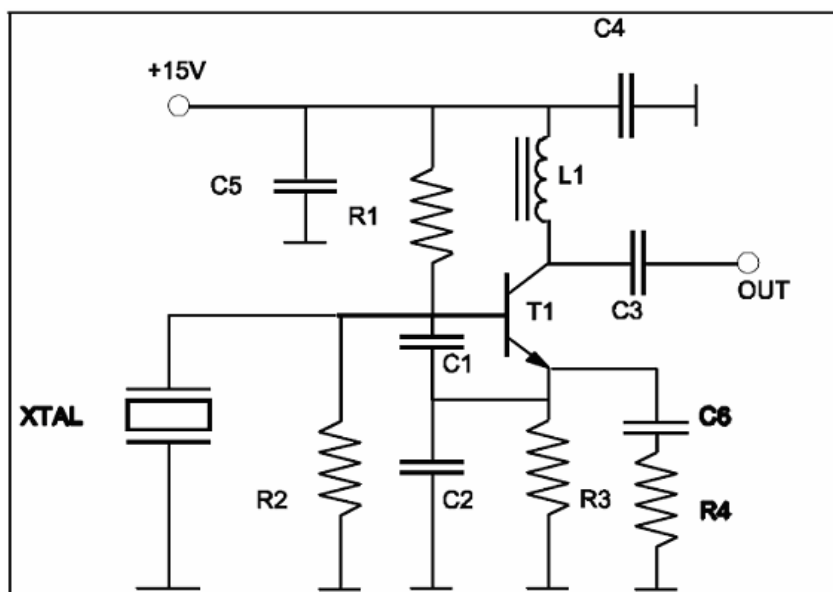
<u>Freqüències</u>	<u>P.Tono</u>	<u>P.Tono</u>
Primer harmònic (10.88MHz)	-10.4dBm	91.2 $\mu W$
Segon harmònic (21.9MHz)	-18.6dBm	13.8 $\mu W$
Tercer harmònic (33.1MHz)	-34.8dBm	331.13 $nW$
Quart harmònic (44.3MHz)	-44.2dBm	38.01 $nW$



Gràfica d'estabilitat en funció del temps



Gràfica de potència de sortida en funció de l'alimentació.



## Conclusions

Com a conclusió, podem dir que hem aconseguit realitzar un oscil·lador a cristall de quars amb unes característiques bastant acceptables. Tant el nivell de distorsió harmònica com la desviació en freqüència de l'oscil·lador en funció del temps els podem considerar força bons.

Malgrat haver acabat molt contents amb els resultats obtinguts, durant les diferents etapes del projecte hem tingut una sèrie de problemes que van fer trontollar el projecte fins al punt de no saber si acabaria funcionant. El primer d'ells va ser la impossibilitat de simular el funcionament del circuit ja que no varem trobar cap element que pogués simular l'efecte del cristall de quars. Un altre problema que ens va sorgir va ser a l'hora de soldar els components a la placa, ja que alguns d'ells no acabaven de fer contacte i en uns altres l'estany utilitzat per soldar feia contacte amb el pla de massa de manera no obteníem cap sortida de senyal.

Per últim, també varem tenir problemes al tractar de visualitzar el senyal de sortida de l'oscil·lador per mitjà de l'oscil·loscopi donat que aquest ens permet veure senyals de freqüència molt superior a la de treball, 11 MHz. El fet de que la impedància d'entrada de l'oscil·loscopi fos molt gran ens distorsionava el senyal.

Per últim, dir que aquest projecte ens ha semblat molt interessant i engrescador a més de ser una excel·lent forma de entrar en contacte amb el món del disseny de dispositius de radiofreqüència, ja que fins ara ens havíem dedicat a fer mesures de paràmetres de dispositius tot sense arribar a un cert grau de coneixement del funcionament del dispositiu en qüestió.