

Réalisation

Mesureur

De

Quartz

Sommaire:

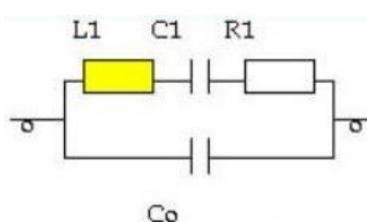
1 – Objectif du projet :.....	3
2 – Paramètres quartz et mesures :.....	3
2 – 1 - Schéma équivalent d'un quartz :.....	3
2 – 2 – Mesures :.....	3
3 – Analyse du schéma synoptique :.....	3
3 – 1 – Convertisseur 5 Volts vers 12 Volts :.....	4
3 – 2 – Interface Quartz à mesurer :.....	4
3 – 3 – Oscillateur et adaptateur pour PI :.....	4
3 – 4 – Adaptateur PI pour mesure quartz :.....	4
3 – 5 – Amplificateur :.....	4
3 – 6 – Adaptateur impédance, redresseur, détection présence oscillation et galvanomètre :.....	4
4 – Analyse du schéma :.....	5
4 – 1 – Convertisseur 5Volts vers 12 Volts :.....	5
4 – 2 – Interface Quartz à mesurer :.....	6
4 – 3 – Oscillateur et adaptateur pour PI :.....	6
4 – 4 – Adaptateur PI pour mesure quartz :.....	7
4 – 5 – Amplificateur :.....	7
4 – 6 – Adaptateur impédance, redresseur, détection présence oscillation et galvanomètre :.....	8
4 – 7 – Schéma global du montage :.....	8
5 – Procédures de mesures et calculs :.....	9
5 – 1 – Mesure du C0 :.....	9
5 – 1 – 1 – Méthode de mesure :.....	9
5 – 1 – 2 – Résultats de mesures :.....	9
5 – 2 – Mesures et calcul de L1 et C1 :.....	9
5 – 2 – 1 – Méthode G3UUR :.....	10
5 – 2 – 1 – 1 – Méthode de mesure :.....	10
5 – 2 – 1 – 2 – Résultats de mesures :.....	10
5 – 2 – 2 – Méthode IEC444 :.....	10
5 – 2 – 2 – 1 – Méthode de mesure :.....	11
5 – 2 – 2 – 2 – Résultats des mesures et calculs :.....	11
5 – 3 – Mesures et calcul de R1 :.....	12
5 – 3 – 1 – Méthode inspirée de G3UUR :.....	12
5 – 3 – 1 – 1 – Méthode de mesure :.....	12
5 – 3 – 1 – 2 – Résultats des mesures :.....	12
5 – 3 – 2 – Méthode avec PI selon IEC444 :.....	12
5 – 3 – 2 – 1 – Méthode de mesure :.....	12
5 – 3 – 2 – 2 – Résultats des mesures :.....	13
6 – Présentation globale du produit :.....	13
7 – Conclusion :.....	14
8 – Bibliographie :.....	15

1 – Objectif du projet :

Mesurer les paramètres d'un quartz est nécessaire pour vérifier les spécifications du composant ou pour trier un lot afin de ne garder que ceux proches en résultats pour réaliser, par exemple, des filtres à quartz. Il existe plusieurs moyens : - celui utilisant des appareils professionnels coûteux, - celui amateur plus abordable en prix mais moins précis. Notre objectif est la description d'une version amateur.

2 – Paramètres quartz et mesures :

2 – 1 - Schéma équivalent d'un quartz :



$L1$ et $C1$ sont accordés sur la fréquence de résonance série (FS).

$L1$ est en mH.

$C1$ est en fF (femto Farads soit $1e10^{-3}$ pF).

$R1$ est la résistance équivalente du quartz à la fréquence de résonance série, exprimée en ohms.

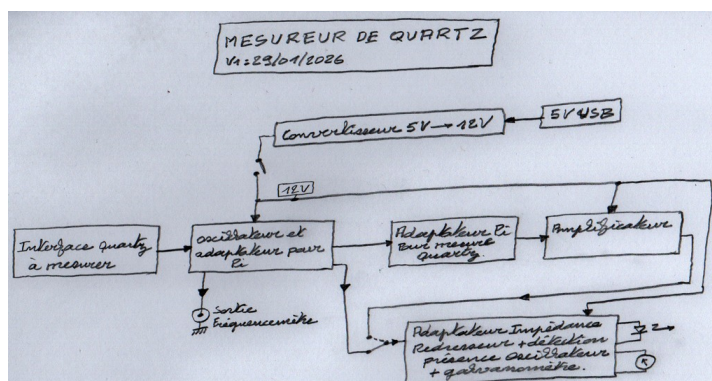
$C0$ (en pF) est une capacité parasite parallèle.

2 – 2 – Mesures :

Dans certains documents, $L1$, $C1$ et $R1$ sont nommés respectivement Lm , Cm et Rm . Les quatre paramètres $L1$, $C1$, $R1$ et $C0$ sont calculés à partir de mesures de fréquences ou de niveaux. $L1$, $C1$ et $R1$ sont obtenus avec des mesures de fréquences proches de celle indiquée sur le composant. Par contre, la mesure de $C0$ est faite loin de la fréquence marquée. Le montage proposé utilise deux méthodes :

- Selon la norme IEC 444.
- Selon la méthode de G3UUR.

3 – Analyse du schéma synoptique :



3 – 1 – Convertisseur 5 Volts vers 12 Volts :

Ce convertisseur transforme le 5 Volts, venant d'un chargeur de smartphone, en 12 Volts pour alimenter tout le montage. Le choix de cette tension est dicté par le besoin de signaux importants en niveaux.

3 – 2 – Interface Quartz à mesurer :

Cette Interface possède 4 connecteurs pour différentes configurations de l'oscillateur inspiré de G3UUR. On y trouve le support pour le quartz oscillateur et également celui pour la mesure du C0. Les détails seront fournis dans la partie mesures.

3 – 3 – Oscillateur et adaptateur pour PI :

On y retrouve l'oscillateur de G3UUR suivi d'un amplificateur adapté au circuit en PI. Il y a également une sortie pour un fréquencemètre (non inclus dans le produit décrit) avec une précision au Hz et une impédance d'entrée élevée.

3 – 4 – Adaptateur PI pour mesure quartz :

Sa composition est définie par la norme IEC444, pour unifier la méthode de mesure des paramètres d'un quartz. Ce circuit comprend un adaptateur 50 ohms vers 25 ohms suivi du quartz à mesurer avec un condensateur en série puis un adaptateur 25 ohms vers 50 ohms. Le contenu de cet adaptateur est résistif et engendre une atténuation importante.

3 – 5 – Amplificateur :

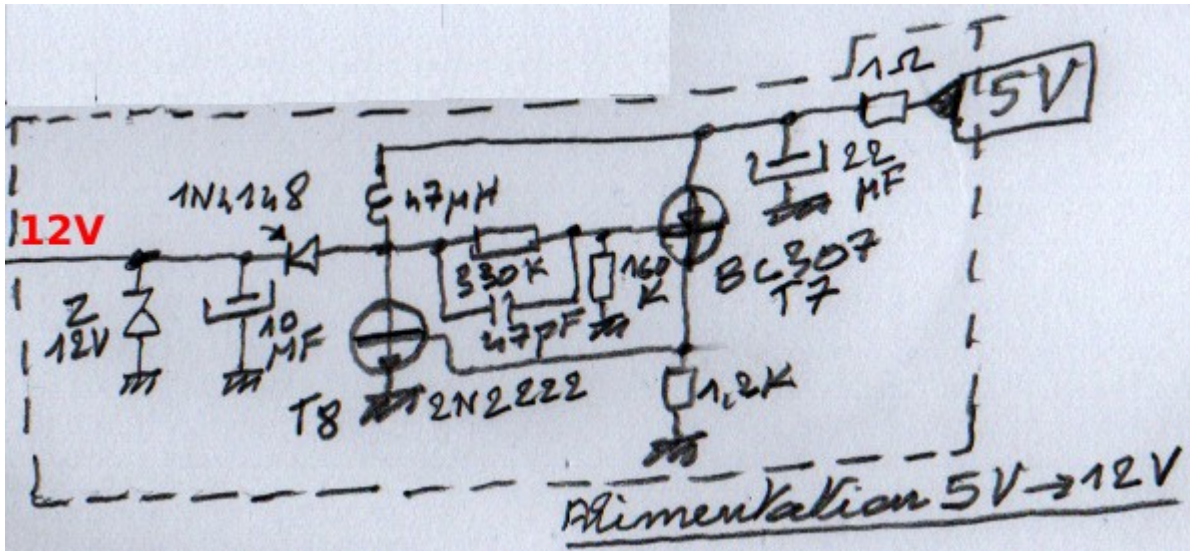
Il compense les pertes du circuit en PI.

3 – 6 – Adaptateur impédance, redresseur, détection présence oscillation et galvanomètre :

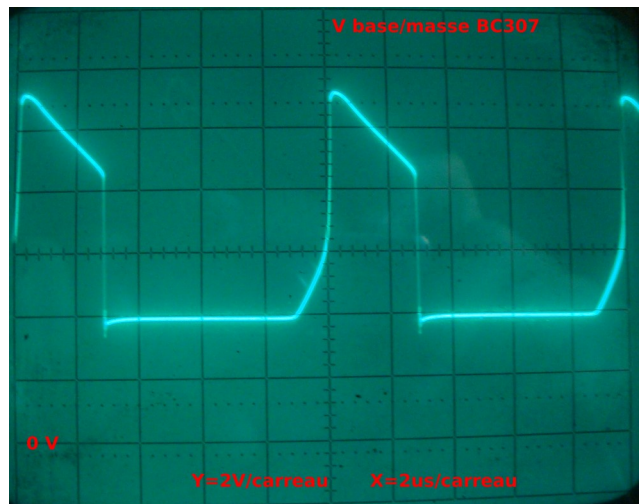
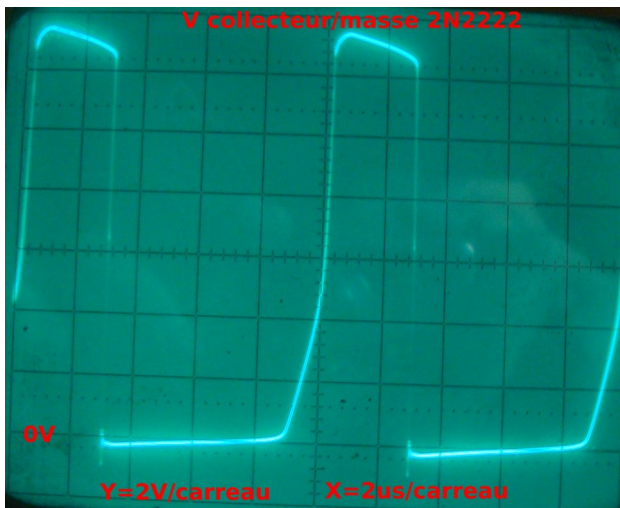
L'entrée de cette partie est à haute impédance puis réduite pour le redressement. Les seuils des diodes de détection sont compensés. Un transistor allume une LED en présence de l'oscillation du quartz ou du minimum de résistance R1 du quartz mis dans le PI. Le galvanomètre indique un niveau haute fréquence d'une manière analogique. C'est l'interface vers l'utilisateur.

4 – Analyse du schéma :

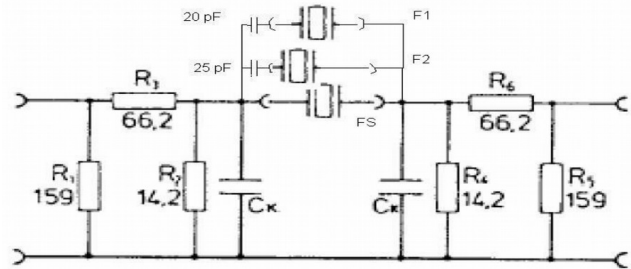
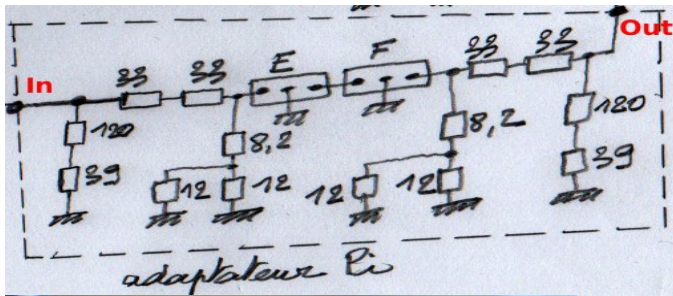
4 – 1 – Convertisseur 5Volts vers 12 Volts :



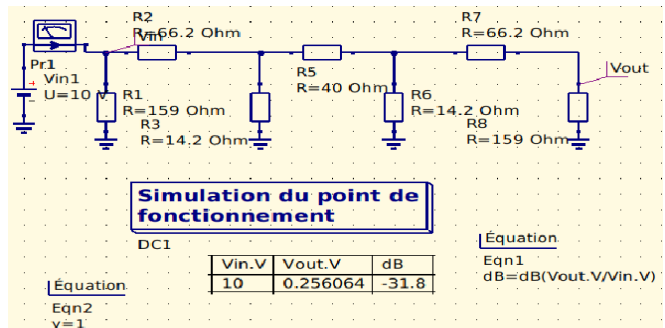
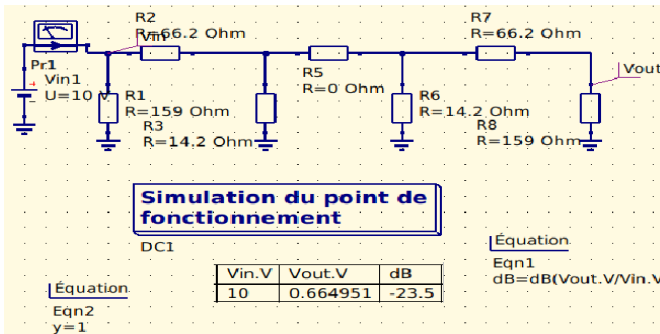
Le choix des transistors n'est pas très important. Cependant, T8 est un transistor admettant plus de puissance que T7. Ce schéma peut être utilisé pour générer des tensions plus importantes en changeant la diode zener. L'ensemble du montage consomme 1,25 Watts sous 5 Volts. Le rendement de ce convertisseur est de 43 %. Ci-dessous quelques oscillogrammes dans le montage.



4 – 4 – Adaptateur PI pour mesure quartz :

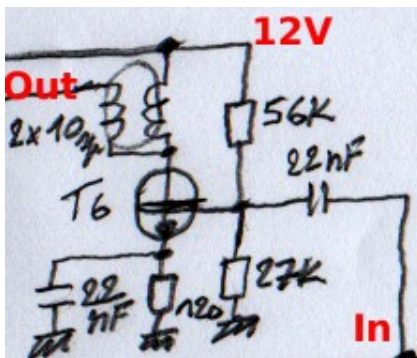


Le schéma de droite correspond à la norme IEC444 avec les condensateurs de 20 et 25 pF. C'est celui de gauche que j'utilise avec en E le quartz à tester et en F un strap ou un condensateur de 20 ou 24 pF. Cet écart de 25 en 24 pF sera pris en compte dans les calculs. Une simulation du circuit, sous QUCS, donne l'atténuation engendrée.



La simulation de gauche, correspond à un quartz ayant un R1 de 0 ohms, a une atténuation de 23,5 DB alors que celui de droite est pour un quartz ayant un R1 de 40 ohms produisant une atténuation de 31,8 DB.

4 – 5 – Amplificateur :



Cet amplificateur compense les pertes dans le circuit en PI avec en sortie un transfo torique. La sortie va vers le circuit de redressement.

5 – Procédures de mesures et calculs :

Voici donc les procédures de mesures et les formules de calcul pour obtenir les paramètres C0, R1, L1 et C1. La précision des résultats impose l’affichage du Hz sur le fréquencemètre.

5 – 1 – Mesure du C0 :

5 – 1 – 1 – Méthode de mesure :

On mesure toujours le C0 à une fréquence inférieure à celle marquée sur le composant. On va mesurer des quartz 4 MHz à 2,096 MHz avec cette procédure.

- On met A1 en A.
- On met le quartz de 2,096 MHz en B selon le câblage B1.
- On met C1 en C.
- On met rien en D.
- On met un fréquencemètre sur la prise FREQ.
- On mesure la fréquence **F1**.
- On met un condensateur de 5,6 pF, selon le câblage D4, en D.
- On mesure la fréquence **F2**.
- On remplace le condensateur de 5,6 pF par le quartz à mesurer selon le câblage D3 en D.
- On mesure la fréquence **F3**.
- On obtient C0 avec la formule suivante :

$$C0 = \frac{5,6 * (F1-F3)}{(F1-F2)}$$

La précision du résultat dépend de la tolérance sur le condensateur de 5,6 pF. F2 doit être inférieure à F3 mais proche. Dans le cas contraire, il faut augmenter la valeur du condensateur de 5,6 pF dans la formule et dans la mesure.

5 – 1 – 2 – Résultats de mesures :

Mesures effectuées sur 10 quartz de fréquence nominale 4 MHz.

N° de quartz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F1(Hz)=	2096838	2096838	2096838	2096838	2096838	2096838	2096838	2096838	2096838	2096838
F2(Hz)=	2096797	2096797	2096797	2096797	2096797	2096797	2096797	2096797	2096797	2096797
F3(Hz)=	2096817	2096818	2096818	2096811	2096820	2096814	2096815	2096814	2096815	2096818
C0(pF)=	2,868293	2,731707	2,7317073	3,687805	2,45854	3,278049	3,141463	3,278049	3,141463	2,731707

5 – 2 – Mesures et calcul de L1 et C1 :

Deux méthodes permettent le calcul de ces deux paramètres. Celle donnée par G3UUR et celle normalisée par IEC444.

5 – 2 – 1 – Méthode G3UUR :

Dans le principe, on met le quartz dans un oscillateur dont on mesure les fréquences.

5 – 2 – 1 – 1 – Méthode de mesure :

- On met le potentiomètre au minimum car le galvanomètre ne sera pas utilisé.

- On met A1 en A.

- On met un quartz de 4 MHz (quartz à tester) en B selon le schéma B1.

- On met C1 en C.

- On met rien en D, schéma D2.

- On met le commutateur sur « Direct ».

- On mesure la fréquence en « FREQ » soit **F1(en Hz)**.

- On met D5 en D.

- On mesure la fréquence en « FREQ » soit **F2(en Hz)**.

- On obtient **C1** avec la formule suivante utilisant C0 calculé au chapitre précédant:

$$C_s = 33 \text{ pF}$$

$$C_1 = \frac{2 * (C_s + C_0) * (F_1 - F_2)}{F_2}$$

C1 est exprimé en femto Farad soit 1e-15 Farad.

- On obtient L1 avec la formule suivante.

$$L_1 = \frac{1}{(2 * \text{Pi} * F_2)^2 * C_1}$$

L1 est exprimé en **mH**.

La précision de la mesure dépend de la tolérance sur le condensateur de 33 pF.

5 – 2 – 1 – 2 – Résultats de mesures :

Mesures effectuées sur 10 quartz de fréquence nominale 4 MHz.

N° de quartz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C0(pF)=	2,868293	2,731707	2,731707	3,68781	2,45854	3,278049	3,14146	3,278049	3,141463	2,731707
F1(Hz)=	4000005	4000003	3999995	3999937	3999999	3999993	4000069	4000036	4000017	3999664
F2(Hz)=	3999640	3999643	3999623	3999493	3999635	3999452	3999494	3999504	3999502	3998988
C1(ff)=	6,546553	6,432281	6,646724	8,14573	6,454043	9,814557	10,392	9,651158	9,307586	12,08037
L1(mH)=	241,8721	246,1687	238,2289	194,402	245,3396	161,3499	152,381	164,0773	170,1341	131,1172

5 – 2 – 2 – Méthode IEC444 :

On met un des quartz 4 MHz en oscillateur alors que les autres sont mis dans le circuit en PI pour les mesures et le calcul de C1 et L1.

5 – 2 – 2 – 1 – Méthode de mesure :

- Configuration de l'oscillateur :

- On met A1 en A.
- On met un quartz de 4 MHz en B selon le schéma B1.
- On câble C au format C2.
- On met D1 en D. On a alors un oscillateur réglable en fréquence sur plusieurs Khz avec les condensateurs ajustables de 40 et 80 pF.

- Configuration mesures dans Pi :

- On met le quartz, à mesurer, en F.
- On met un strap en E.
- On met le commutateur sur « Pi ».
- On règle le potentiomètre à mi-course.
- On règle le condensateur de 80 pF pour obtenir un maximum de déviation sur le galvanomètre sans aller en butée (retoucher le potentiomètre si besoin).

- Lorsqu'on a atteint le maximum, on note la fréquence, en « FREQ » soit **F1**.

- On remplace le strap en E par le condensateur de 20 pF.
- On règle le condensateur de 80 pF pour obtenir un maximum de déviation sur le galvanomètre sans aller en butée (retoucher le potentiomètre si besoin).

- Lorsqu'on a atteint le maximum, on note la fréquence, en « FREQ » soit **F2**.

- On remplace le strap en E par le condensateur de 24 pF.
- On règle le condensateur de 80 pF pour obtenir un maximum de déviation sur le galvanomètre sans aller en butée (retoucher le potentiomètre si besoin).

- Lorsqu'on a atteint le maximum, on note la fréquence, en « FREQ » soit **F3**.

- On obtient **L1** et **C1** avec les formules suivantes :

$$Dcs = 24e-12 - 20e-12$$

$$L1 = \frac{(F2^2 - F3^2)}{(4 * \pi^2 * Dcs * (F3^2 - F1^2) * (F2^2 - F1^2))} \quad C1 = \frac{1}{(4 * \pi^2 * F1^2 * L1)}$$

5 – 2 – 2 – 2 – Résultats des mesures et calculs :

N° de quartz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F1(Hz)=	3999546	3999549	3999513	3999365	3999542	3999342	3999383	3999378	3999419	3998858
F2(Hz)=	4000123	4000117	4000104	4000218	4000110	4000177	4000269	4000207	4000174	3999906
F3(Hz)=	4000037	4000028	4000024	4000092	4000032	4000052	4000155	4000091	4000070	3999757
L1(mH)=	240,3149	258,9676	209,7127	160,859	221,8657	166,9271	131,951	155,3716	167,517	125,2217
C1(fF)=	6,589283	6,114667	7,550944	9,84491	7,137227	9,487161	12,0017	10,19257	9,453392	12,64995

5 – 3 – Mesures et calcul de R1 :

La mesure de R1 se fait par substitution dans la méthode inspirée de G3UUR et celle du PI.

5 – 3 – 1 – Méthode inspirée de G3UUR :

Dans le principe, on mesure l'atténuation apportée par la présence d'une résistance en série avec le quartz (à tester) mis dans un oscillateur.

5 – 3 – 1 – 1 – Méthode de mesure :

- On met le commutateur « Direct », « PI » sur la position « Direct ».
- On met le potentiomètre à mi-course.
- On met le quartz à mesurer en B selon le schéma B1.
- On met A1 en A.
- On met D5 en D.
- On règle le potentiomètre pour que le galvanomètre soit sur la graduation « 10 ».
- On remplace A1 par A2 en A.
- On règle la résistance ajustable de 100 ohms pour que l'aiguille du galvanomètre soit sur la graduation « 7 ».
- On mesure, à l'ohmmètre la valeur de la résistance ajustable soit **R1**.

5 – 3 – 1 – 2 – Résultats des mesures :

N° de quartz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R1(ohms)=	39,7	31,7	29,6	27	28,6	32	30,7	33,5	95	29,6

5 – 3 – 2 – Méthode avec PI selon IEC444 :

Dans le principe, on mesure l'atténuation apportée par la présence d'une résistance en série avec le quartz (à tester) mis dans le PI.

5 – 3 – 2 – 1 – Méthode de mesure :

- *Configuration de l'oscillateur.*
 - On met A1 en A.
 - On met un quartz de 4 MHz en B selon le schéma B1.
 - On câble C au format C2.
 - On met D1 en D. On a alors un oscillateur réglable en fréquence sur plusieurs Khz avec les condensateurs ajustables de 40 et 80 pF.
 - On met le quartz, à mesurer, en F.
 - On met un strap en E.
 - On met le commutateur sur « Pi ».
 - On règle le potentiomètre à mi-course.

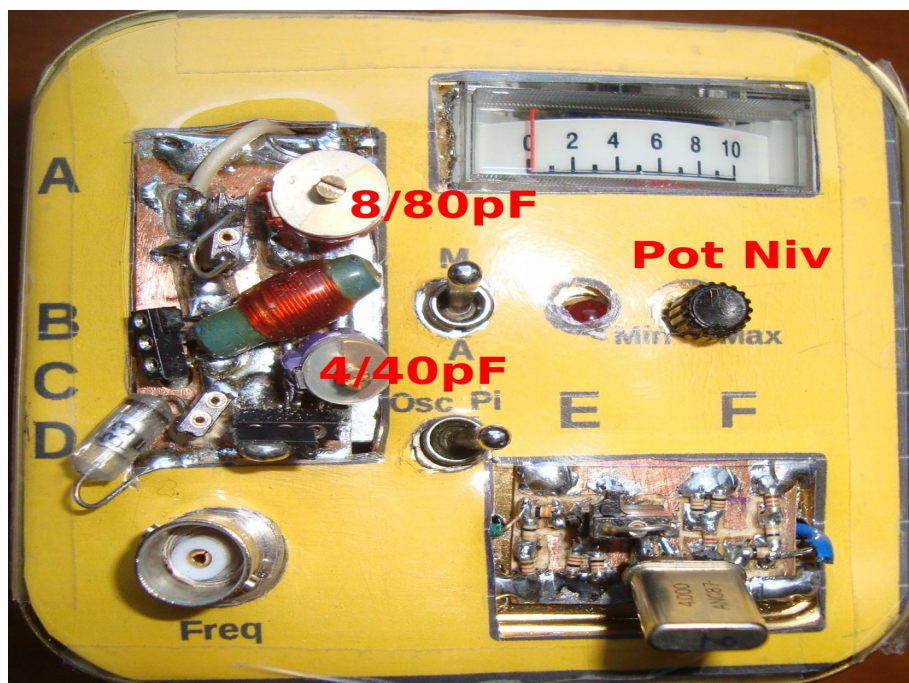
- On règle le condensateur de 80 pF pour obtenir un maximum de déviation sur le galvanomètre sans aller en butée (retoucher le potentiomètre si besoin).
- Lorsqu'on a atteint le maximum, on règle le potentiomètre pour que le galvanomètre soit sur la graduation « 10 ».
- On remplace le quartz, à mesurer, par la résistance variable de 100 ohms A2.
- On règle la résistance variable pour que l'aiguille du galvanomètre soit sur la graduation « 10 ».
- On mesure, à l'ohmmètre, la résistance variable soit **R1**.

5 – 3 – 2 – 2 – Résultats des mesures :

N° de quartz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R1(ohms)=	36,3	23,7	20,9	18,7	20,5	28,5	34	23,6	24,7	24

6 – Présentation globale du produit :

L'ensemble de l'électronique est câblé dans une boîte métallique type « boîte à thé » avec le tableau de commandes suivant.



Cet appareil fonctionne avec des quartz de 2 à 20 MHz. Le test de quartz en mode overtone n'est pas possible.

7 – Conclusion :

Cette description aborde deux méthodes pour les mesures et les calculs des paramètres d'un quartz en utilisant seulement un fréquencesmètre. D'autres **documents**⁽¹⁾ traitent de ce sujet en utilisant des appareils plus ou moins coûteux. Nous allons reprendre les différents paramètres en mettant en évidence les limites.

- **C0** : une seule méthode est décrite. La précision dépend du choix de la valeur du condensateur de référence qui doit être proche de la valeur maximale attendue. La variation de fréquence n'est pas linéaire en fonction de celle du condensateur série. Elle peut être linéaire si la plage est faible.

- **C1 et L1** : deux méthodes:celle de **G3UUR**⁽²⁾ et celle avec le Pi normalisé donnent les résultats suivants sur 10 quartz.

N° de quartz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C1(ff)(G3UUR)=	6,54655	6,43228	6,646724	8,14572518	6,454043	9,8145	10,392	9,6511	9,3075	12,08
L1(mH)(G3UUR)=	241,872	246,169	238,2289	194,401955	245,3396	161,35	152,381	164,077	170,1341	131,117
C1(ff)(PI)=	6,58928	6,11467	7,550944	9,84491218	7,137227	9,4871	12,001	10,192	9,4533	12,649
L1(mH)(PI)=	240,315	258,968	209,7127	160,859359	221,8657	166,927	131,951	155,372	167,517	125,222
écart sur C1(%)=	0,648478	4,937751	11,97493	17,25954451	9,572121	3,335881	13,4072	5,307104	1,542319	4,498379
écart sur L1(%)=	0,643729	4,942309	11,97008	17,25424829	9,567921	3,340981	13,4072	5,305436	1,538257	4,495985

L'écart maximum est de 17 %. Dans le circuit en Pi, l'erreur peut dépendre des condensateurs de 20 et 24 pF alors que dans le circuit G3UUR du condensateur de 33 pF. Dans ce montage, on ne prend pas en compte la phase des signaux sur le circuit en Pi.

- **Fs** : Cette fréquence correspond à la fréquence de résonance série du quartz. On la mesure dans les deux méthodes avec les résultats dans le tableau ci-dessous.

N° de quartz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fs(Hz) (G3UUR)=	3999640	3999643	3999623	3999493	3999635	3999452	3999494	3999504	3999502	3998988
Fs(Hz) (PI)=	3999546	3999549	3999513	3999365	3999542	3999342	3999383	3999378	3999419	3998858
écart sur Fs(Hz)=	94	94	110	128	93	110	111	126	83	130

L'écart peut provenir de la différence d'utilisation du quartz : en oscillateur (méthode G3UUR), passive(circuit en PI).

- **R1** : Dans les deux méthodes, on substitue le quartz dans le PI et on crée une atténuation dans l'oscillateur G3UUR. Comparaison dans le tableau ci-dessous.

N° de quartz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R1(ohms)(G3UUR)→	39,7	31,7	29,6	27	28,6	32	30,7	33,5	95	29,6
R1(ohms)(PI)=	36,3	23,7	20,9	18,7	20,5	28,5	34	23,6	24,7	24
écart sur R1(%)=	8,564232	25,23659	29,39189	30,74074074	28,32168	10,9375	-10,7492	29,55224	74	18,91892

Les écarts, de environ 30 %, peuvent être dus à la variation non linéaire du niveau dans la méthode inspirée de G3UUR. La procédure la plus juste semble celle avec le PI. Bien que cette dernière ne tient pas compte de la phase des signaux.

- Améliorations possibles :

- Amélioration du rendement du convertisseur 5Volts vers 12 Volts.
- Mesure de l'écart de phase entre les signaux avant et après quartz dans le montage en PI.

- Trouver une documentation sur les méthodes de mesures du C0 et du R1 qui, pour l'instant, ne sont pas documentées.
- Réguler le niveau de l'oscillateur pour éviter trop de niveau sur le quartz oscillateur.

8 – Bibliographie :

(1): https://www.mikrocontroller.net/attachment/473317/Crystal_Motional_Parameters.pdf

(2): http://www.rotilom.com/F6IDT/filtre_quartz.htm