

INDUCTANCEMETRE – CAPACIMETRE NUMERIQUE

AVEC FONCTION VARICAP (version 2)

Par F1BNS
RCL-EG F6KNH

Avant propos:

Pour une rare fois, l'étude principale de cet appareil n'a pas été effectuée par l'auteur de ce descriptif. La conception serait due à deux amateurs TA2 CBA et PY2 CSU dont on trouve le schéma sur le web.

L'original a peut être été altéré, et le schéma publié comporte plusieurs erreurs, et ne peut donc fonctionner tel quel ! De plus l'étude du schéma est absente, et lors de la survenue du moindre problème, le réalisateur non averti se retrouve au pied du mur ! L'auteur de ce document a donc repris complètement l'étude de cet appareil qui par son originalité et ses performances, mérite un large développement complet et détaillé. Ce

fût l'occasion d'ajouter une nouvelle fonction très utile, conçue cette fois par le rédacteur de cet article. Celle-ci permet de mesurer la plage de capacité utile des diodes varicap (diode à capacité variable commandée en tension), paramètre indispensable à toute réalisation dans le domaine des hautes fréquences.



1) Toutes les commandes sont disposées en face avant.

Le traitement des données est effectué par un microcontrôleur qui constitue le cœur de ce montage. Très performant, cet appareil indispensable, s'impose à tout radioamateur qui s'investi dans l'expérimentation en haute fréquence. Le but de cet article est de présenter un produit rationnel, fini, et reproductible afin de le rendre accessible au débutant initié, en y apportant une fonction supplémentaire ainsi qu'un éclairage nouveau.

Qu'apporte cette 2^{ème} version ?

Les caractéristiques sont en tous points identiques à la version 1, mais ce modèle apporte une simplification dans le câblage notamment l'absence de la puce CMS qui présentait une difficulté de soudure pour bon nombre de réalisateurs. Le nouveau commutateur rotatif à 4 fonctions simplifie les mesures, supprimant du même coup l'inverseur latéral pour le contrôle des diodes varicap. Le schéma s'en trouve ainsi allégé.

Caractéristiques électriques et mécaniques:

Mesure des inductances (gamme automatique de 1nH à 100mH).

Mesure des capacités non polarisées (gamme automatique de 0,1pF à 1µF).

Mesure de la capacité utile des diodes varicap.

Précision des mesures + ou – 1% avec prise en compte des capacités parasites internes.

Gammes automatiques directement lisibles sur afficheur LCD. Unités d'affichage configurables.

Alimentation par bloc secteur basse tension continue 8 à 14V, ou source externe. (I = 52 mA)

Coffret économique type calculette 80 x 140 x 30 mm. Poids environ 260 gr sans accessoires.

Notez que l'ensemble du circuit est alimenté sous une tension régulée de 5V.

Ci après:

Architecture du LC-mètre qui est constitué de 5 blocs principaux.

ETUDE DU SCHEMA:

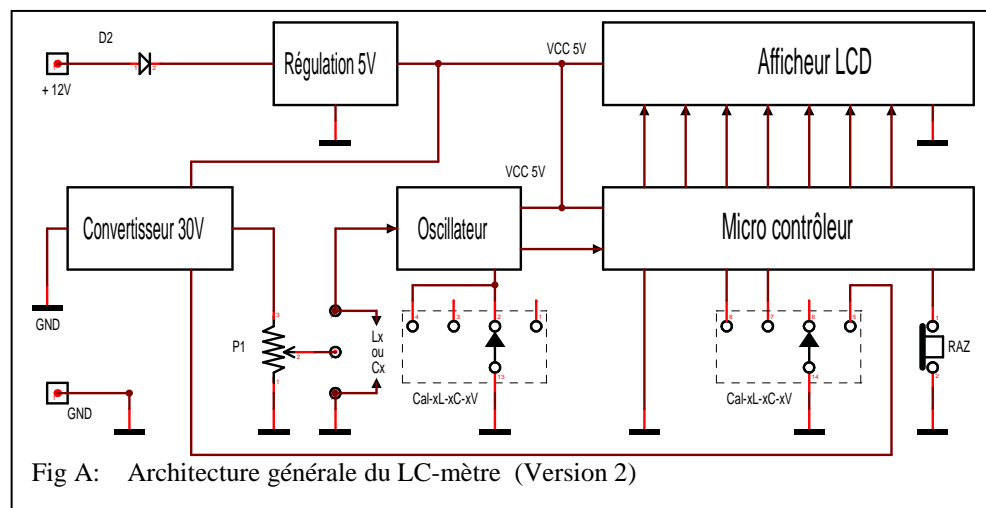
Il se compose de 4 parties détaillées ci-dessous.

L'alimentation générale sous 5V confiée au régulateur IC3.

Un oscillateur commuté construit autour d'un ampli linéaire IC1 (anciennement appelé AOP).

Un microcontrôleur IC2 de traitement des données avec affichage des résultats sur afficheur LCD.

Un convertisseur générant une tension de test variable jusqu'à 30V pour la fonction diode varicap.



L'alimentation continue basse tension:

Elle provient d'un bloc secteur externe et pénètre dans le coffret par l'intermédiaire d'une fiche jack mâle. Cette tension continue de 9 à 14V est connectée sur le circuit imprimé par les cosses poignard CP1 et CP2. C'est l'une des trois seules liaisons filaires existantes dans le coffret, car tout a

été étudié pour éviter une filerie abondante génératrice de problèmes insolubles ! Pour pouvoir atteindre ce résultat il est nécessaire d'utiliser un coffret plat de type calculette.

La diode D2 (1N4148) assure une sécurité contre l'inversion accidentelle des polarités d'alimentation, et joue le rôle de fusible en cas de court circuit interne. C10, C11 apportent le découplage et filtrage d'entrée.

C11 est limité à 100 μ F pour éviter de détruire D2 lors de la mise sous tension qui doit se faire seulement après l'insertion de la fiche jack mâle. IC3, classique régulateur 1A (7805) régule donc la tension + VCC à 5V qui alimente l'ensemble du circuit. C6 et C9 apportent un filtrage et découplage complémentaire.

L'oscillateur:

Il est construit autour d'un ampli linéaire LM311. Il utilise un schéma assez particulier analysé ci après. Pour cette étude nous considérerons le cavalier CAV3 absent.

Le schéma est celui d'un comparateur, et dans cette configuration la sortie de l'ampli linéaire ne peut prendre que 2 états (état bas c'est-à-dire masse GND, et état haut proche de VCC).

Dès la mise sous tension, l'entrée + est à un potentiel supérieur à celle présente sur l'entrée - car C5 est déchargé. La sortie VS de l'ampli linéaire est alors proche de VCC ce qui entraîne la charge de C5 via R4.

Lorsque la tension sur l'entrée - dépasse celle présente sur l'entrée +, VS retombe à zéro. Ceci entraîne la décharge de C5 qui s'effectue par R4. Lorsque la tension sur C5 qui est aussi celle de l'entrée -, passe en dessous de celle présente sur l'entrée +, VS bascule au niveau haut, proche de VCC, et le cycle se poursuit ainsi. Nous avons affaire à un oscillateur de relaxation classique.

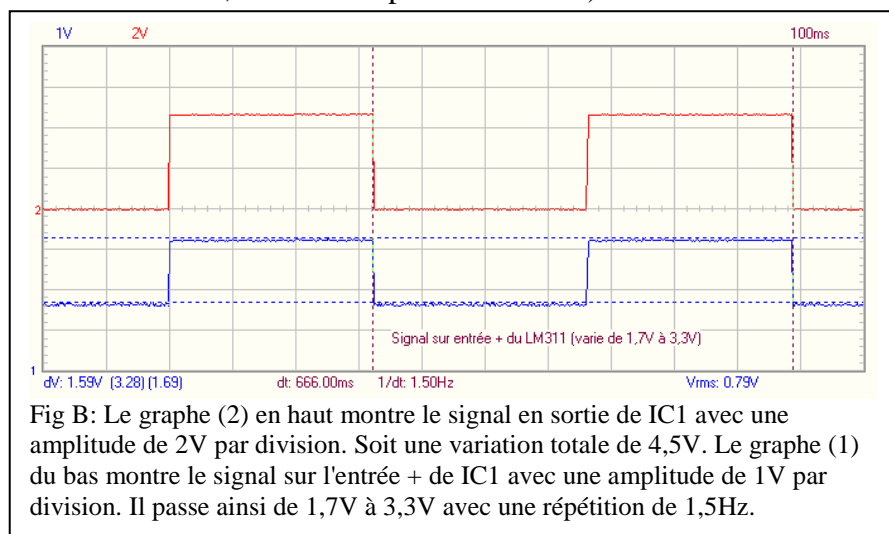
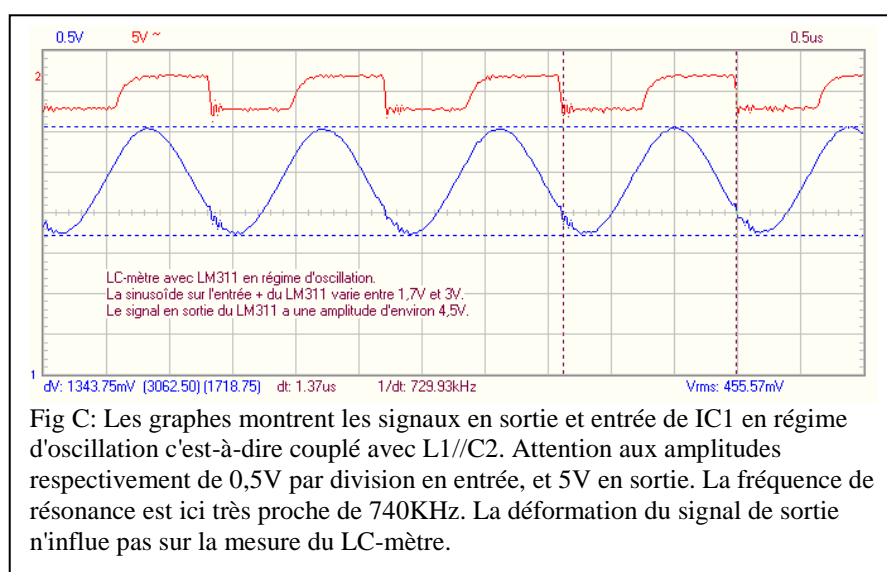


Fig B: Le graphe (2) en haut montre le signal en sortie de IC1 avec une amplitude de 2V par division. Soit une variation totale de 4,5V. Le graphe (1) du bas montre le signal sur l'entrée + de IC1 avec une amplitude de 1V par division. Il passe ainsi de 1,7V à 3,3V avec une répétition de 1,5Hz.

Noter cependant que la tension sur l'entrée + est déterminée par le diviseur composé d'une part de R1, R2, R3 et d'autre part, par R5. Cette tension varie à cause de la résistance d'hystérésis introduite par R3 qui est reliée sur la sortie de l'ampli linéaire. Ceci modifie la tension de seuil sur l'entrée + entre 3,3V et 1,7V à chaque basculement de la sortie. Enfin C4 de faible valeur empêche toute auto oscillation spontanée qui pourrait se produire sur une fréquence élevée de quelques MHz.

Pour la suite de l'étude, le commutateur sera positionné en fonction "calibration".
Le cavalier CAV3 permet de relier l'amplificateur linéaire IC1 au circuit résonnant parallèle situé sur la partie gauche du schéma. Le circuit oscillant est donc constitué de L1 avec C2 en parallèle et le couplage à IC1 est assuré par C1 de 10 μ F. C'est la configuration au repos c'est-à-dire lorsque le relais Re1 est lui-même au repos, position indiquée par l'éclairage de Led 1 verte.



Le relais Re1 est commandé par la broche de sortie RB4 du microcontrôleur IC2 qui dans la phase de calibration passe au niveau haut. Ceci provoque la conduction de T1 qui alimente la bobine de Re1, mettant ce dernier au travail. Le cavalier CAV2 permet d'activer le relais sans la présence du microcontrôleur lors des contrôles après câblage.
Dans cette configuration le circuit oscillant est donc constitué de L1 avec C2 et C3 en parallèle.

L'oscillateur est donc constitué du comparateur et du circuit LC parallèle. Dès que CAV3 est inséré, tout est différent ! Un créneau de tension est transmis au circuit LC par l'intermédiaire de C1, ce qui provoque son entrée en oscillation. Ces oscillations transmises à l'entrée + de l'amplificateur linéaire se retrouvent donc amplifiées sur sa sortie disponible en CP3. Noter que le signal, qui est sinusoïdal sur l'entrée + de l'amplificateur linéaire, devient rectangulaire sur sa sortie. Cela est dû à ce que IC1 fonctionne aussi en comparateur, et il n'est pas utile de conserver une sinusoïde en sortie. Nous avons plutôt besoin d'un signal rectangulaire référencé par rapport à la masse, et compatible avec l'entrée numérique du microcontrôleur. Ce dernier va en réalité compter le nombre d'impulsions pendant 200 mS prévu par le concepteur.

Le microcontrôleur:

Il constitue le dernier bloc, cœur du montage confié à un microcontrôleur 8 bits de la série PIC. Il renferme 1Ko de mémoire flash, ainsi qu'une mémoire EEPROM. La liaison aux périphériques s'effectue par 13 broches d'entrée sortie programmables.

Sa fréquence d'horloge est synchronisée à 4 MHz par QZ1 et C7, C8. Les données d'affichage sont transmises par un bus 7 bits directement à un afficheur LCD de une ligne 16 caractères. L'alimentation de ces 2 circuits est découplée par C12 et C13.

R7 détermine le courant du rétro éclairage à leds, si l'afficheur en est pourvu.

A noter: BP1 est un modèle fermé au repos, qui actionne la RAZ manuelle (remise à zéro de l'affichage) en cours de mesure. CAV1 détermine l'échelle et l'unité de mesure qui sera affichée sur le LCD.

Avec CAV1, le LCD affichera les valeurs en unité "nano" soit Lx= 68nHy ou Cx= 15,1nF

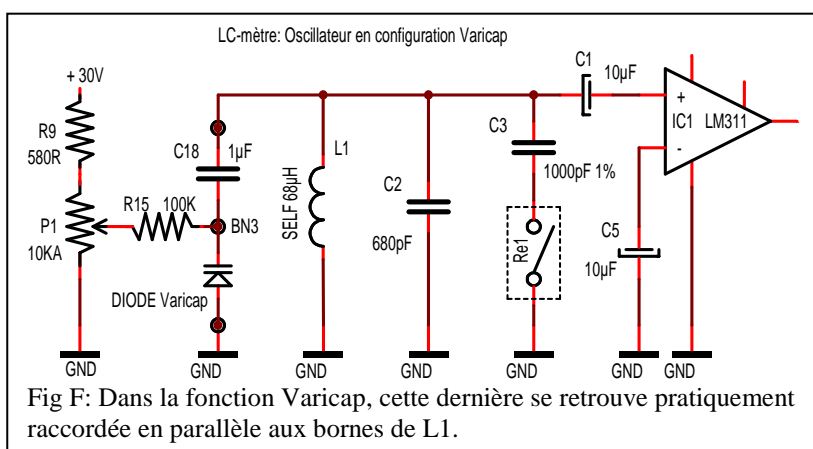
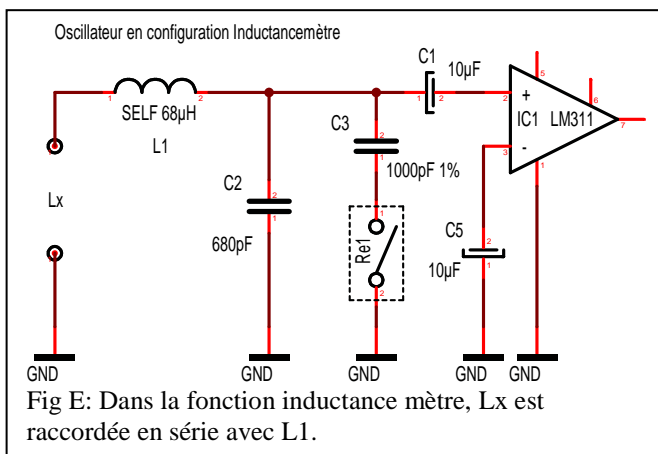
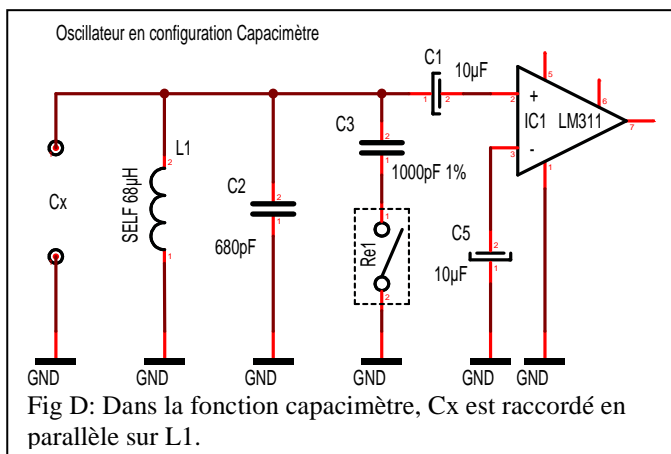
Sans CAV1, le LCD affichera les valeurs en unité "micro" soit Lx= 0,068 μ Hy ou Cx= 0,0151 μ F

On préférera l'unité la plus petite mieux adaptée aux faibles valeurs (avec CAV1 en place).

Enfin le commutateur 3 circuits à 4 positions, sélectionne la calibration à la mise sous tension, ainsi que le type de mesure (inductance-mètre ou capacimètre ou mesure varicap). Le tableau ci-dessous précise le circuit commuté et les niveaux de tension appliqués simultanément aux broches RB5, et RB6 du microcontrôleur.

Par la suite, 2 traits obliques (//) signifient " élément raccordé en parallèle".

Fonction du commutateur	Circuit résonnant commuté dans la fonction choisie	Etat sur broche RB5	Etat sur broche RB6	Note
Calibration	L1 // C2, puis C3	0	0	Phase de calibration
Inductance (Lx)	Lx en série avec L1 et C2 en //	1	0	Shunter avant RAZ
Capacité (Cx)	Cx // C2 // L1	0	1	Mesure directe
Varicap (V)	Diode Varicap // C2 // L1	0	1	Régler UV pour mesure



Dans la fonction mesure de capacité, Cx est raccordée en parallèle sur L1 et C2 qui constituent le circuit oscillant. Dans la fonction mesure d'inductance, Lx est raccordée en série avec L1. Le circuit oscillant est donc dans ce cas constitué par L1 + Lx en parallèle sur C2. Dans ce mode, il sera préalablement nécessaire de court-circuiter les bornes Lx pour assurer la continuité du circuit L1 – C2, et notamment pour pouvoir réaliser la RAZ avant toute mesure de Lx.

Dans la fonction mesure de diode varicap, cette dernière est raccordée via C18 de forte valeur, en parallèle sur L1 et C2 comme dans la fonction mesure de capacité Cx.

Il faut savoir que les commutateurs rotatifs "Lorlin" existent en 1x12, 2x6, 3x4, 4x3 positions. Il n'existe pas de commutateur 4 circuits 4 positions, et il n'y a pas d'autre possibilité que de choisir le modèle 3 circuits à 4 positions. Il a donc fallu créer une matrice à diodes (D3 à D7) pour respecter impérativement le code imposé sur les entrées RB5 et RB6 du microcontrôleur, ainsi que la commutation de IC4.

Le convertisseur 30V à courant continu:

La plupart du temps, les diodes varicap ne possèdent pas de marquage d'identification, et finissent souvent dans un fond de tiroir. L'interface de mesure ci-dessous permettra non seulement de déterminer leur capacité, mais de mesurer la capacité minimale et maximale en fonction de la tension inverse appliquée. Ce circuit se situe à l'extrême gauche du schéma général, précisément dans le cadre en pointillés.

Dans cette version 2, il est constitué d'un convertisseur à entrée et sortie à courant continu (DC/ DC) intégré dans un boîtier à 5 broches ce qui facilite grandement la mise en œuvre. L'entrée doit être alimentée en 5V régulés afin d'obtenir une tension stable en sortie. Toute baisse de tension à l'entrée se traduit également par une diminution de la tension de sortie, aussi nous l'alimenterons par le régulateur 5V. Ce convertisseur assure aussi l'isolation galvanique entre l'entrée et sa sortie symétrique + et - 15V dont on n'utilisera pas le point milieu dans cette application.

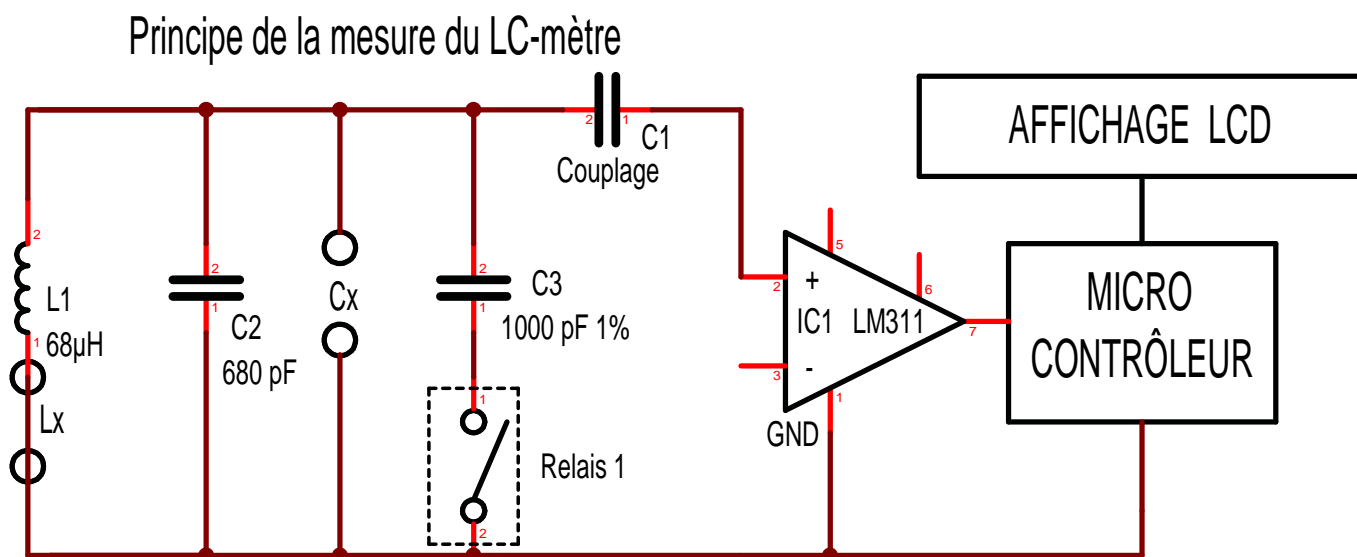
La tension continue de 30V est reliée au potentiomètre P1 qui autorise une variation de 2 à 30V, tension finalement appliquée sur la diode varicap par BN3 via R15 de forte valeur (100K Ω). Notez que le raccordement de la diode varicap s'effectue obligatoirement en polarisation inverse ! La capacité de la diode varicap sera au minimum lorsque la tension qui lui est appliquée sera à 30V, et inversement. C18 de forte capacité évite de réinjecter la tension de test sur BN2, qui de plus serait court circuitée par L1, tout en assurant la liaison du circuit oscillant pour la fonction varicap. Pour les puristes, l'erreur introduite par la liaison série constituée de C18 et la diode varicap est négligeable. L'erreur est inférieure au rapport de la valeur de capacité de la diode varicap / la valeur de C18, c'est-à-dire moins de 1/10 000 !

Le connecteur CN1 permet de mesurer la tension de test sur un voltmètre externe, ce qui autorise en outre de tracer la courbe de variation de la capacité en fonction de la tension appliquée, qui n'est pas forcément linéaire. Suivant le type de diode varicap, la courbe de variation de capacité peut être différente.

IC4 est activé par la position 4 du commutateur qui relie l'entrée du convertisseur à la masse. Cet état est signalé par la Led 2 qui indique l'activation de la fonction de mesure varicap.

PRINCIPE DE MESURE, POUR EN SAVOIR PLUS:

La mesure repose sur un circuit LC parallèle couplé dans l'entrée d'un amplificateur linéaire intégré (ALI) nouvelle appellation de l'ancien ampli opérationnel. L'inductance Lx ou la capacité Cx à mesurer sera insérée dans ce circuit LC. Ce circuit composé de l'élément à mesurer et de L1 68 μ H et C2 680pF va osciller sur une fréquence bien déterminée comme le montre le schéma simplifié ci-dessous.



1ère phase: Relais ouvert > L1 // C2 > Fonction Wait

2ème phase: Relais fermé > L1 // C2 // C3 > Fonction Calibrating

3ème phase: Relais ouvert > L1 // C2 > Fonction Ready

Figure G: Architecture simplifiée du LC-mètre qui résume son fonctionnement.

Le principe repose sur le fait qu'il n'y a qu'une seule valeur possible de L1 et C2 qui correspond aux deux fréquences de résonance générées d'une part, par L1//C2//C3 (F2) et d'autre part avec L1//C2 (F1). Cette condition est remplie en utilisant C3 d'une précision de 1%.

Rappel de la formule de Thomson: (Fo = fréquence de résonance)

La fréquence de résonance d'un circuit LC monté en parallèle est donnée par:

$$F_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{Formule transformée, plus pratique : } F_{o_{kHz}} = \frac{159155}{\sqrt{L_{\mu H} * C_{pF}}}$$

Que fait le microcontrôleur PIC ?

La réponse à cette question n'est pas évidente, et nous allons éclaircir la partie principale du programme sur lequel repose tout le système de mesure.

Phase 1: (Initialisation)

Le commutateur de fonction étant positionné sur "Calibration", à la mise sous tension, l'appareil de mesure affiche un message d'attente. Le LCD affiche: **WAIT = Attendre.**

Ce temps d'attente correspond à la séquence d'initialisation du microcontrôleur, résumée ci dessous. Initialisation des ports A et B du microcontrôleur.

Initialisation de l'affichage LCD.

Test de la position du commutateur de fonction.

Toutes ces opérations, avec une boucle d'attente, occupent un temps d'environ 5 secondes, puis le programme passe à la phase 2.

Phase 2: (Calibration)

Le microcontrôleur passe à la phase cruciale de calibration durant laquelle le relais est mis au travail signalé par l'extinction de la Led verte. Le LCD affiche alors: **CALIBRATING.** A ce moment, le circuit LC est composé de L1, 68μH et C2, 680pF auquel vient s'ajouter en parallèle C3, 1000pF commuté temporairement par le relais. Le circuit LC est donc équivalent à 68μH en parallèle sur 1680pF qui résonne sur une fréquence théorique de 470,880 kHz. Cette fréquence F2 est mémorisée par le microcontrôleur qui en réalité compte un nombre d'impulsions durant 0,2 secondes.

Ensuite le microcontrôleur commande le relais au repos, signalé par la Led verte allumée. Le circuit LC est alors composé de L1, 68μH et C2, 680pF qui résonne sur une fréquence théorique de 740,135 kHz. Cette fréquence F1 est mémorisée par le microcontrôleur qui en réalité compte un nombre d'impulsions durant 0,2 secondes. Pendant ces deux mesures de fréquence, les capacités et inductances du circuit imprimé sont prises aussi en compte, ce qui contribue ainsi à une plus grande précision. Au terme de ce délai le microcontrôleur a effectué les calculs nécessaires, et l'écran LCD affiche READY.

Le microcontrôleur ne tient pas compte de la valeur absolue de ces deux fréquences de résonance mais les utilise pour calculer la valeur de référence de C2 et L1. Il détermine ainsi les valeurs exactes de L1 et C2 qui serviront à calculer la valeur de l'inductance ou la capacité à mesurer.

Phase 3: Ready (prêt à mesurer L ou C)

Lorsque ce texte apparaît sur l'afficheur, les calculs ont été réalisés, et le microcontrôleur connaît la valeur exacte de L1 et C2 qui serviront de référence. Le programme exécute maintenant un calcul en boucle en mesurant la nouvelle fréquence déterminée par le composant à mesurer.

A ce stade ce composant n'est pas encore relié aux douilles de mesure, cependant l'appareil affiche une faible valeur de capacité ou d'inductance suivant la position du commutateur. En fait le microcontrôleur mesure la capacité parasite de quelques pF existante entre les liaisons externes, ou l'inductance de boucle

de la liaison externe qui dans ce cas doit être court-circuitée, puisque l'inductance à mesurer sera connectée en lieu et place de ce court circuit.

Phase 4: RAZ (intégration de la capacité ou inductance de liaison, et mesure).

C'est précisément ici qu'il faut annuler cette valeur parasite, effectuée par le bouton poussoir RAZ qui intègre cette valeur parasite dans le calcul. Le composant à mesurer qui sera connecté, génèrera une nouvelle fréquence de résonance traduite et affichée dans l'unité et fonction choisie.

Le microcontrôleur possède toutes les données de la formule de Thomson, et détermine ainsi la valeur du composant en cours de mesure. Pour afficher la valeur d'une capacité, il utilise la valeur de L1, et la fréquence de résonance de L1 // C2 // Cx.

Pour afficher la valeur d'une inductance, il utilise la valeur de C2, et la fréquence de résonance de L1 + Lx // C2. Là, il n'est point besoin de faire une démonstration mathématique. A chaque mise sous tension de l'appareil, tout est recalculé, ce qui se justifie par L1 dont la valeur varie en fonction de la température. Ce n'est pas le cas avec C3 si ce dernier est choisi de type mica argenté. Comme on peut le voir, le concepteur a tout prévu pour obtenir la meilleure précision possible qui, rappelons le, dépend essentiellement de C3 à tolérance 1%.

Voilà enfin les secrets du processus dévoilés, et si vous voulez approfondir les différents calculs effectués par le microcontrôleur, reportez vous à l'annexe en fin d'article. Quant à l'écriture du programme c'est une autre histoire, réservée aux experts en programmation !

Ci après la longue liste des composants contient des éléments de précision qu'il sera nécessaire de respecter si l'on veut compter sur des mesures précises et fiables.

Liste des composants pour le LC-mètre version 2:

COMPOSANT ET PIECE DETACHEE	VALEUR	NOTES	Nb
Résistance 1/4w 5%	33 Ω	R7, Règle le courant de rétro éclairage	1
Résistance 1/4w 5%	470 Ω	R8 + R11	2
Résistance 1/4w 5%	560 Ω	R9	1
Résistance 1/4w 5%	680 Ω	R18	1
Résistance 1/4w 5%	1KΩ	R16 + R6	2
Résistance 1/4w 5%	10KΩ	R17	1
Résistance 1/4w 5%	100KΩ	R15	1
Résistance 1/4w précision 1%	1,00KΩ	R2 Respecter la précision	1
Résistance 1/4w précision 1%	47,00KΩ	R4 Respecter la précision	1
Résistance 1/4w précision 1%	100,00KΩ	R1 + R3 + R5 Respecter la précision	3
Potentiomètre axe 6mm linéaire (A)	10KΩ A	Couper la cosse de masse (modèle carré)	1
Condensateur céramique 50 et 100v	2,2pF	C4	1
Condensateur céramique 50 et 100v	22pF	C7 + C8	2
Condensateur chimique radial 16 à 25V	100μF	C11 (valeur maximum)	1
Condensateur chimique axial 63v	10μF	C15 modèle axial	1
Condensateur. Chimique radial 63v	10μF	C5 + C6 modèle radial	2
Condensateur milfeuil 63/100v pas 5,08	100nF	C9 + C10 + C12 + C13 + C17	5
Condensateur milfeuil 63/100v pas 5,08	1μF	C18 (marqué 105)	1
Condensateur tantale toutes tensions	10μF	C1 (tantale goutte)	1
Condensateur styroflex haute stabilité	680pF	C2 Styroflex (aspect argenté)	1
Condensateur mica argenté tolérance 1%	1000pF	C3 Respecter type (marqué 1000)	1
Régulateur de tension positif 5V 1A	7805	IC3	1
Diode signal silicium	1N4148	D1 à D7 (D2 = protection)	7
Quartz miniature	4,000 Mhz	QZ1	1
Transistor NPN 0,5w	BC548B	T1 (ou BC547 ou BC547B)	1
Ci microcontrôleur DIL 18	PIC16F84A	IC2 Fourni programmé et testé	1
Ci linéaire	LM311	IC1 Amplificateur linéaire	1

COMPOSANT ET PIECE DETACHEE	VALEUR	NOTES	Nb
Ci linéaire élévateur de tension	SIM2-SIL7	IC4 Boîtier monolithique	1
Opto afficheur LCD 1 ligne 16 caractères rétroéclairé	LCD 1L16C	LCD1 (ou modèle non rétroéclairé)	1
Barrette droite à picots dorés mâle (pas 2,54)	25 picots	A recouper, et conserver les autres picots	1
Led rouge (pattes longues)	3mm	Led 2 (activation convertisseur 30V)	1
Led verte (boîtier cristal)	3mm	Led 1 (contrôle séquences de tests)	1
Barrette droite à picots femelle (pas 2,54 haut 8mm)	20 picots	A recouper, et conserver les autres picots	1
Cavalier mobile femelle, pas 2,54	2 broches	Cavalier de court circuit (CAV1 et 3)	2
Cosse faston femelle	2,8mm	Utilisé pour l'alimentation générale	2
Cosse poignard pour circuit imprimé	2,8mm	CP1, 2,3 (Pré percer exactement à 1,2mm)	3
Douille laiton nu à souder sur plaquette circuit imprimé	4mm	Mesure de la tension sur varicap	2
Douille châssis fileté rouge ou autre couleur	4mm	Couleur suivant approvisionnement	1
Douille châssis fileté noir ou autre couleur	4mm	Couleur suivant approvisionnement	2
Fiche banane de panneau extrémité fileté	4mm	Pour équipement pince croco	2
Pince crocodile miniature (fil à souder)		A souder sur fiche banane de tableau	2
Socle jack mono + écrou de fixation	3,5mm	Prise d'alimentation générale	1
Support ci double lyre	2x4	Supporte l'ampli linéaire	1
Support ci double lyre	2x9	Supporte le microcontrôleur	1
Bouton poussoir canon 7mm (rouge)	1xRepos	Contact fermé au repos	1
Commutateur rotatif 3 circuits 4 positions	à picots	Modèle pour circuit imprimé	1
Relais subminiature ITT SWISS 1x RT (vert)	5V	Modèle à souder sur circuit imprimé	1
Bouton serrage par vis hauteur 13mm index blanc	diam 19mm	Pour commutateur	1
Bouton strié noir sans vis à index hauteur 15mm	diam 17mm	Pour potentiomètre	1
Coffret type calculette GM 74 x 90 x 25	HAED500	Coffret plat noir	1
Ecrou acier zingue M3	3mm	Fixation des 8 entretoises	9
Entretoise hexagonale en laiton (femelle-femelle)	L 20mm	Fixation du circuit imprimé	4
Entretoise cylindrique laiton (mâle-femelle) 3mm	L 11mm	Fixation de l'afficheur LCD	4
Vis TR à tôle auto taraudeuse	2,9x6,5 mm	Fixation plaquette support de P1	1
Vis TF acier zingue 3x10mm (à métaux)	3x10	Fixation des entretoises hexagonales	4
Vis TR acier zingue 3x6 mm (à métaux)	3x6 mm	Fixation LCD, radiateur, et platine	9
Transfo bloc type prise secteur * (200mA) jack mâle	9 Volts	Alimentation secteur	1
Plaque cuivre FR2 1 face photosensible (cm ²)	FR2 1F	Plaque cuivrée bakélite	94
Gravure 1 face photosensible (cm ²)	Grav 1F	Surface de cuivre à graver	94
Circuiterie 1 face (nb de points)	1 Face	Définit la complexité du circuit	186
Perçage à 0,8 mm (nb de perforations)	FR2	Nombre de perforations	186
Cale PVC alvéolé 18 x 22 mm	Epais 4mm	Support du potentiomètre	1
Feuille d'aluminium adhésive pour blindage	75 x 170	Blindage du fond de coffret	1
Feuillard de cuivre	20 x 10 mm	Court circuit pour mesure des selfs	1
Habillage de façade vernis (LC/mètre)	Bristol	A coller sur la face avant	1
Lamelle souple de contact	Larg 3,5mm	Liaison de masse du blindage	1
Self miniature axiale moulée (aspect résistance ½ W)	68 µH	L1 Respecter la valeur (bleu gris noir)	1
Notice d'utilisation vernie	70 x 120mm	A coller au dos du coffret	1
Souplisso diamètre 1mm	8 cm	Isolement pattes des leds	1
Dissipateur aluminium rainuré (à percer 3mm)	20 x 15 mm	Radiateur à fixer sur le régulateur 5V	1
Plaquette bakélite cuivrée	13 x 32 mm	Support 2 douilles laiton (à ajuster)	1
Câble souple multibrin cuivre nu	5cm	Pour câblage des straps	1

Les composants spéciaux sont surlignés, et conditionnés en pochette séparée.



2) Un équipement complet indispensable pour l'expérimentateur.

Ci contre l'appareil avec ses accessoires.

La consommation reste identique entre 8 et 14V, soit 52mA en phase d'attente et 99mA en mesure varicap car 47mA sont consommés par le convertisseur 30V et 35mA par le rétro éclairage de l'afficheur.

La tension minimum de la source se situe à 7V et l'on pourra par exemple utiliser 6 éléments accumulateurs miniatures Ni-MH de 1,2V en série procurant une tension nominale de 7,2V.

La pile de 9V miniature sera épuisée rapidement mais peut néanmoins être utilisée avec une autonomie de temps réduite, soit environ une heure sur une pile de 200 mA/h, ce qui laisse encore une bonne marge en utilisation temporaire.

Note: Sous 9V, IC3 dissipera donc $4 \times 0,052 = 0,2W$ et 0,4W en fonction varicap
Sous 14V, IC3 dissipera donc $9 \times 0,052 = 0,46W$ et 0,9W en fonction varicap

En conclusion, si la tension d'alimentation de la source dépasse 9V, un petit radiateur s'impose sur le régulateur 7805 (obligatoire avec le bloc secteur fourni). Un petit feuillard de cuivre sera indispensable pour précéder la mesure des inductances, et si vous possédez un condensateur à tolérance 1% vous pourrez vérifier la précision de votre LC-mètre.

Cette précision est conservée lors de la mesure des inductances mono couche de faible valeur.

Le LC-mètre peut évidemment mesurer des inductances de valeur élevée qui se présentent avec un bobinage effectué sur de nombreuses couches.

Pour des valeurs élevées d'inductance la précision sera moins bonne à cause de la capacité parasite qui règne entre les différentes couches du bobinage, capacité parasite impossible d'annuler !

A ce sujet, voir le complément sur la mesure des inductances en fin d'article.

Note complémentaire sur la valeur de C11:

Le bloc secteur 9 Volts fourni avec le kit contient un pont redresseur et un condensateur de filtrage de 680µF qui à vide se charge à 16V dès que l'on branche la prise 230V.

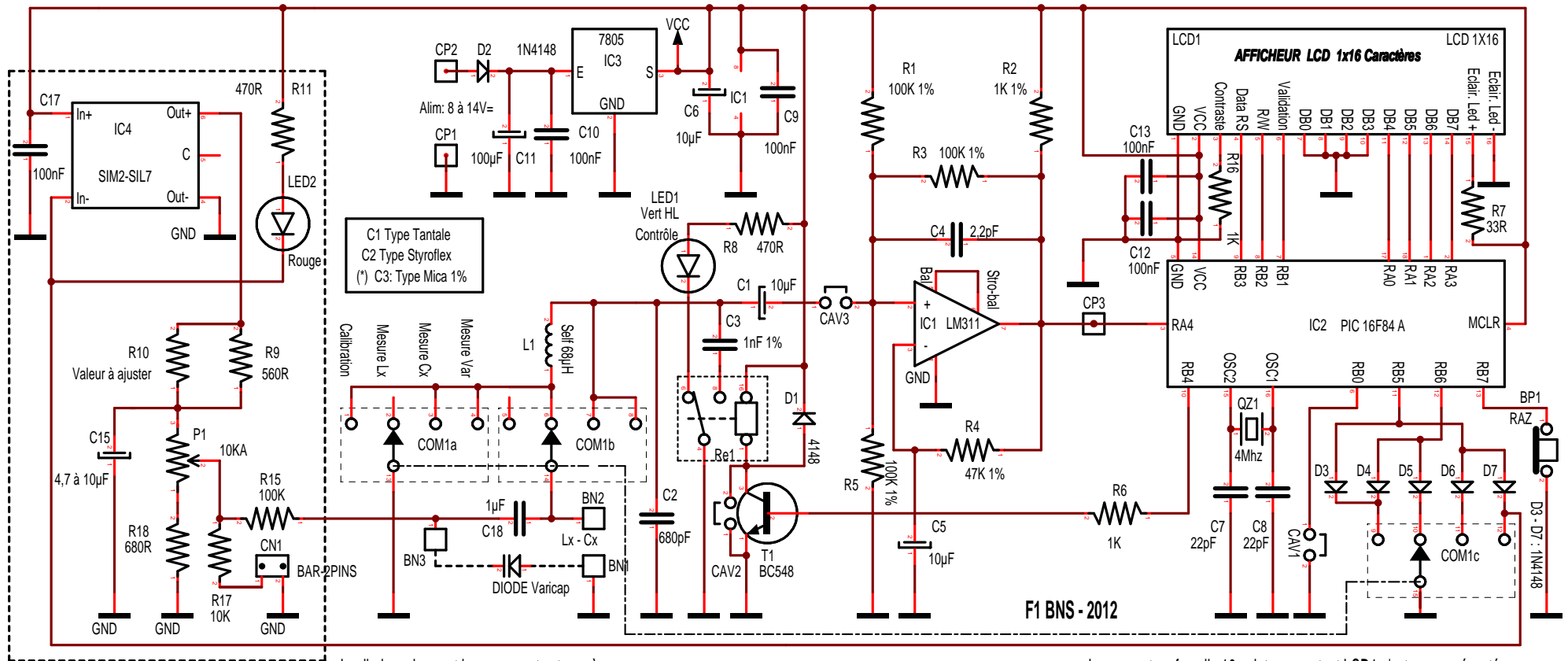
Si ensuite on insère la fiche jack, ce 680µF charge brusquement C11 créant une pointe de courant dans D2 qui joue alors le rôle de fusible si le courant est trop important.

D2 peut supporter une pointe de courant limitée à 450mA durant 10mS, au delà la jonction de la diode 1N4148 est détruite. Les mesures effectuées avec un multimètre à mémoire fluke révèlent une pointe de courant dans D2 qui dépasse 3A durant la 1^{ère} milliseconde ! (Avec C11 = 100µF).

Avec C11 limité à 100µF, D2 supportera la pointe de courant sans risque de claquage de la jonction.

Néanmoins, ceci ne dispense pas de brancher dans l'ordre logique d'abord la fiche jack mâle, et seulement ensuite la prise 230V.

INDUCTANCEMETRE et CAPACIMETRE NUMERIQUE Avec Varicap 1nH-100mH / 0,1pF-1µF Version V2.0



La diode varicap est le composant externe à mesurer

Le connecteur femelle 16 points supportant LCD1 n'est pas représenté

Pour utiliser l'appareil il faut d'abord insérer la fiche jack mâle sur le LC-mètre, et seulement après brancher la prise 230V

INDUCTANCEMETRE – CAPACIMETRE NUMERIQUE

2^{ème} partie, réalisation pratique (version 2)

Par F1BNS
RCL-EG F6KNH

Convention: Le coffret utilisé est constitué de 2 coquilles dont l'une est munie d'une trappe d'accès pour pile. Dans cette description, la coquille sans trappe sera nommée "partie ou coquille supérieure" qui représente la face avant de l'appareil. Celle comportant la trappe sera nommée "partie ou coquille inférieure" dans la suite du texte.

Préparation du coffret:

Pour obtenir une bonne qualité de présentation, suivez les conseils ci-dessous pas à pas garants d'une finition impeccable.

Préalablement, le circuit imprimé aura été pré percé uniformément à 0,8mm.

Dans la partie supérieure du coffret, arasez les 5 tétons centraux ainsi que la nervure transversale.

Dans la partie inférieure du coffret, celle comportant la trappe, retirez la nervure transversale, et arasez la languette de fermeture de cette trappe, pour éviter tout bossage du blindage autocollant ultérieur.

Ajustez les dimensions du circuit imprimé pour qu'il repose sans jeu au fond de la partie supérieure du coffret exactement entre les 4 tétons périphériques de fermeture.

Ensuite à l'aide d'un crayon à mine de carbone, dessinez les empreintes de composants sur la face bakélite.

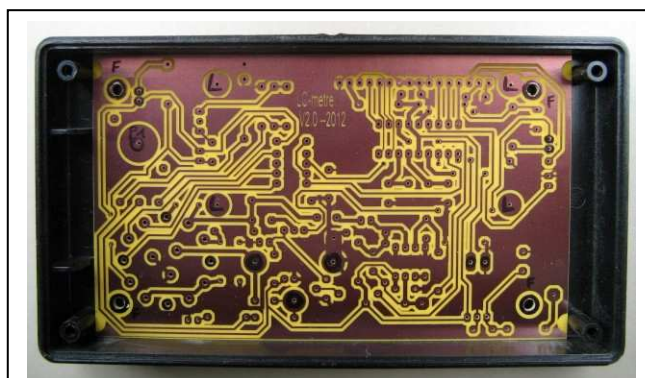
A l'aide d'un feutre noir, marquez sur la face cuivre, les pastilles qui assureront la fixation et le passage des commandes à travers la face avant du coffret, notées 1 à 7 comme listé ci après. Vérifiez bien la concordance entre la face bakélite et les pastilles côté cuivre, et dans le doute introduisez un fil dans les perforations concernées côté bakélite pour éviter toute erreur fatale !

Positionnez le circuit imprimé de façon à voir la face cuivrée vers vous avec les marquages effectués à l'opération précédente. Positionnez l'emplacement du potentiomètre du côté des 2 nervures latérales restantes. A l'aide de la mini perceuse, marquez légèrement au foret de 0,8mm (pointer sans percer la face avant) les axes des trous ci-dessous:

- 1) Les 2 pastilles supportant le bouton poussoir.
- 2) Les 4 pastilles diamétralement opposées supportant le commutateur rotatif.
- 3) Les 4 pastilles supportant les 2 Leds de contrôle.

Ensuite toujours à l'aide de la mini perceuse, pointer en perçant cette fois la face avant, les axes des trous traversants ci-dessous.

- 4) L'axe des 3 douilles 4mm.
- 5) L'axe du potentiomètre P1.
- 6) Les 4 axes de fixation du circuit imprimé.
- 7) Les 4 axes de fixation de l'afficheur LCD.



3) Le circuit imprimé doit être parfaitement ajusté entre les 4 tétons de la partie supérieure du coffret. Le commutateur devra être positionné près des 2 nervures latérales. Cerclez en noir, les pastilles qui assureront la fixation et le passage des commandes. Les 4 demi lunes périphériques ne seront pas exécutées lors de cette opération.

Le circuit imprimé reposant toujours sans jeu au fond de la partie supérieure du coffret, repercer à 1,5 puis 3mm, uniquement les 4 trous périphériques de fixation de la platine, en continuant pour traverser le fond du coffret.

Maintenant, retirez le circuit imprimé, puis grâce aux pointages effectués précédemment, tracez et pointez dans le coffret, l'axe réel du bouton poussoir, du commutateur rotatif, et les 2 trous de passage des Leds

de contrôle. Pour obtenir un perçage bien centré, les trous seront agrandis progressivement au diamètre final; par exemple d'abord 0,8 puis 1,5 puis 3, puis 6 puis 8mm etc. Au dessus de 6mm on pourra utiliser un foret à étage pour les diamètres supérieurs.

percez à 7mm pour le passage du bouton poussoir, 6mm pour l'axe du commutateur rotatif ainsi que du potentiomètre, à figoler plus tard à la lime ronde, 3mm pour les 2 leds de contrôle.

De même, agrandissez progressivement à 7,5mm ou 8mm, le passage des 3 collerettes qui viennent se visser sur l'extrémité filetée des douilles.

La méthode décrite ci avant, garantit un alignement et positionnement parfait des 4 entretoises qui supporteront le circuit imprimé.

Maintenant, et pas avant, il faudra exécuter les 4 demi lunes sur les bords du circuit imprimé afin que ce dernier se positionne cette fois dans le fond de la coquille comportant la trappe. Ces 4 détourages sont nécessaires car la base des 4 tétons de fixation du coffret sont plus gros à leur base. Pour cette opération vous devez voir le circuit imprimé côté bakélite lorsqu'il est positionné dans la coquille comportant la trappe.



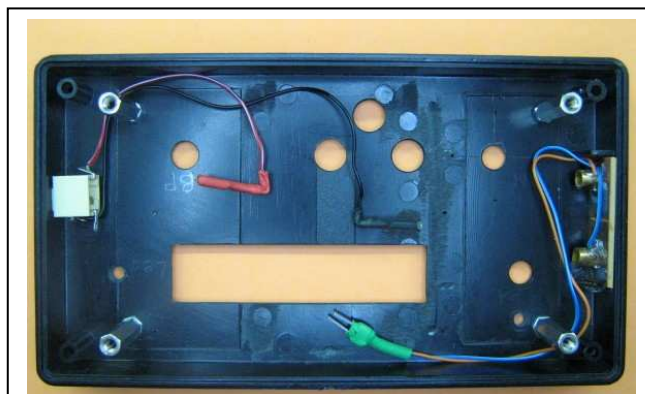
4) Perçages et découpes en face avant. Le pointage des axes a été effectué avec précision à l'étape précédente. Le chainfreinage de la fenêtre d'affichage reste à faire.

Ensuite, à l'aide d'une fraise à main, fraisez à 90°, côté face avant, les 4 trous de fixation du circuit imprimé qui prendra place sur 4 entretoises disposées à l'intérieur du coffret. Placez y 4 vis M3 à tête fraisée, maintenues par un écrou M3 prenant place, côté intérieur du coffret. Après serrage modéré, coiffez ces 4 vis par une entretoise femelle – femelle de 20mm. Serrez modérément et vérifiez bien la perpendicularité avec le fond du coffret.

A ce stade, il restera 4 minuscules petits trous de 0,8mm visibles en face avant, qui serviront de repères pour le traçage de la fenêtre de l'afficheur LCD. Opération délicate qui sera différée un peu plus tard.

A présent, revenons au circuit imprimé, dont toutes les perforations ont été exécutées à 0,8mm, et seuls les 4 trous de fixation de la platine, sont agrandis à 3mm. Vérifiez que les trous de fixation du circuit imprimé sont parfaitement alignés sur l'axe des entretoises ce qui devrait concorder si vous avez respecté la procédure décrite ci avant. Fixez provisoirement la platine, et vérifiez l'assemblage des 2 coquilles du coffret qui doit s'opérer sans forçage,

sinon il sera peut être nécessaire de retoucher les demi lunes sur la périphérie de la platine.



5) Préparation complète de la coquille supérieure qui supportera le circuit imprimé sur les 4 entretoises. Seulement 2 liaisons relieront la platine par le jack d'alimentation et les 2 douilles de mesure latérales.

Certaines pastilles du circuit devront être légèrement agrandies en fonction du diamètre des pattes de composants qui sont supérieures à 0,8mm. Ce sera le cas pour les pastilles supportant les 3 douilles, les 3 cosses poignard et le commutateur rotatif, qui seront reperçées précisément à 1,2mm. Vérifiez son insertion qui se fait sans jeu. Idem pour les 3 pastilles du régulateur 5V à agrandir à 1mm, ou plus simplement ovaliser prudemment les 3 trous à l'aide du foret 0,8mm en inclinant légèrement la mini perceuse. Les forets de 0,8mm, 1mm, et 1,2mm sont les plus utilisés pour le perçage des pastilles de tout circuit imprimé.



6) Montage particulier du potentiomètre. Avec un modèle à axe long, la plaquette sur élévatrice sera inutile.

Le potentiomètre peut être un modèle à axe long ou court. Dans ce dernier cas, il sera nécessaire de le surélever au dessus du circuit imprimé à l'aide d'une petite cale en PVC (fournie). Pour ce faire, positionnez cette cale côté bakélite à l'emplacement du potentiomètre et pointez sa fixation par le trou de 0,8mm correspondant à l'axe de P1. Dans cette petite cale, marquez un petit cône à l'aide d'une pointe à tracer que vous enfoncerez dans le PVC alvéolé, ce qui permettra l'amorce de la vis auto taraudeuse.

Enduisez la cale de colle néoprène et fixez là côté bakélite à l'aide de la vis auto taraudeuse 3x6 mm, en ayant préalablement agrandi le trou de l'axe de P1. Après séchage de la colle, repercez la cale à 1mm par l'arrière côté pistes à l'emplacement des trous déjà prévus pour la fixation du potentiomètre. Ce dernier sera donc finalement

immobilisé par 2 fils de 0,8mm soudés au 2 angles du corps de P1, côté pistes et sur les 2 minuscules rivets côté corps. Attention, grattez les rivets pour mettre le cuivre à nu, et utilisez une panne non fine, car la chaleur est absorbée par le corps métallique du potentiomètre. Pour l'instant placez les 2 fils de fixation sans les souder afin de vérifier le montage mécanique.

Ensuite, sur le circuit imprimé il faudra agrandir à 3mm, les 4 trous de fixation de l'afficheur LCD. Disposez cette fois les 4 entretoises cylindriques mâles / femelles en serrant l'écrou sur la face côté pistes. Les 4 trous de l'afficheur LCD lui même devront être certainement reperçés à 3mm avec précaution pour pouvoir y passer ses vis de fixation.



7) Réalisation facilitée des chanfreins avec l'outil de fabrication "maison". La longueur du tasseau de bois devra au moins égaler celle du coffret.

Fixez l'afficheur LCD sur ses 4 entretoises avec 4 vis TR 3x6 mm, et vérifiez que l'ensemble afficheur circuit imprimé, pénètre sans forcer à l'intérieur de la partie supérieure du coffret. La face avant de l'afficheur doit se trouver à environ 1mm du fond de coffret. Note: le bloc d'affichage métallique d'un modèle rétro éclairé possède une épaisseur de 8,5mm contre 4,5mm pour l'afficheur standard non rétro éclairé. Dans ce dernier cas, il sera inutile de disposer 4 écrous sous les entretoises de 20mm servant à supporter l'ensemble de la platine, de façon à rapprocher le LCD de la face avant du coffret.

Découpe de la fenêtre de l'afficheur LCD.

Sur la face avant du coffret, tracez un cadre passant par les 4 petits trous de 0,8mm. Les angles de ce cadre correspondent exactement aux trous de fixation de l'afficheur LCD. Tracez alors un 2^{ème} cadre à l'intérieur du 1^{er} avec une marge de 5mm par rapport au petit côté, et une marge de 8,5mm par rapport au grand côté du rectangle. Pour réaliser la découpe sans déformation, percez une série de trous de 3mm rapprochés à l'intérieur du 2^{ème} cadre (Figure 4). On terminera l'ajustement de cette fenêtre à la lime par approches successives afin de bien centrer la fenêtre de l'afficheur LCD. Contrôlez en cours de travail le centrage de la fenêtre en positionnant provisoirement l'afficheur monté sur la platine, cette dernière étant fixée provisoirement sur ses 4 entretoises hexagonales de 20mm.

Pour terminer on réalisera un chanfrein à 45° sur la périphérie de la fenêtre afin d'obtenir une présentation "professionnelle". Pour faciliter cette opération assez délicate, confectionnez l'outil spécial réalisé avec une lame de cutter vissée sur un tasseau de bois. Ce tasseau dont la longueur devra être supérieure à la largeur du coffret, supportera la lame de cutter qui sera utilisée comme un grattoir. Le tasseau prendra appui sur la face du coffret, et sera déplacé longitudinalement de

façon que la lame vienne gratter la bordure de la fenêtre de l'afficheur. On travaillera à la manière d'un "étau limeur" alternativement dans les 2 sens jusqu'à à amener le chanfrein à sa dimension convenable. Toute la difficulté est d'obtenir un chanfrein uniforme et il sera nécessaire de reprendre le grattage notamment aux extrémités de la fenêtre. C'est l'opération mécanique la plus minutieuse à réaliser pour obtenir un résultat parfait !

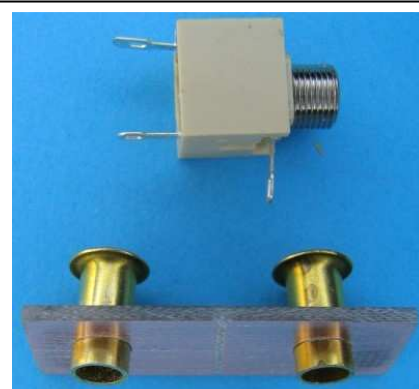
On terminera les chanfreins dans les angles, à la lime miniature. Soignez votre travail, car l'aspect final dépend de cette fenêtre, qui constitue la partie mécanique la plus difficile à réaliser.

Ouf ! Après cette longue préparation mécanique on pourra enfin passer au câblage du circuit imprimé !

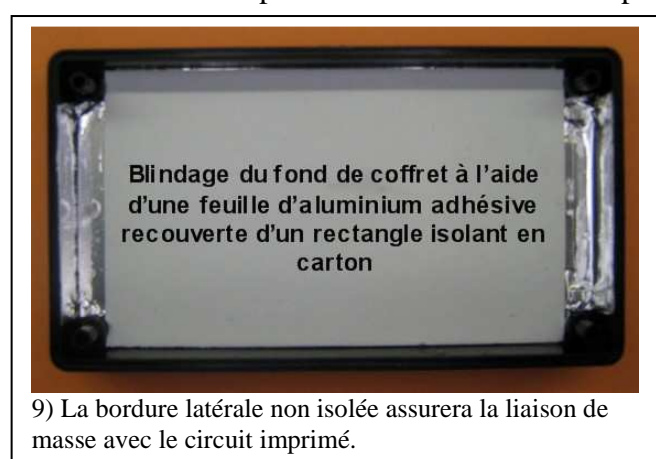
Pour le pré positionnement de la prise jack d'alimentation et des douilles de mesure, sur la coquille supérieure, pensez à percer le côté gauche du coffret (à proximité de C11) qui recevra la prise jack d'alimentation.

Les 2 douilles laiton de 4mm utilisées pour la mesure de la tension de test varicap prendront place sur le côté droit du coffret juste entre les 2 nervures latérales restantes. Dans une chute de circuit imprimé vierge on découpera un petit rectangle de 13 x 32 mm qui prendra place justement entre ces 2 nervures. Deux trous dans cette plaquette (photo 8) recevront les 2 douilles laiton qui seront soudées côté cuivre après insertion à travers la paroi droite du coffret. Ceci constituera un ensemble rigide très peu volumineux car il ne reste pas beaucoup de place disponible dans le coffret.

Pour faciliter la soudure, poncez le corps des douilles au papier abrasif, et n'oubliez pas de réaliser l'isolation électrique des 2 douilles en traçant un trait isolant au centre de la plaquette ! Soudez les douilles en 2 points seulement avec un fer à souder muni d'une panne d'environ 5mm pour ne pas faire fondre la paroi du coffret pendant la soudure ! Veillez à relier la douille face au potentiomètre à la polarité GND car la fiche banane introduite à fond risque de toucher le canon fileté de P1. Par sécurité on pourra entourer le canon du potentiomètre avec un ruban adhésif isolant.

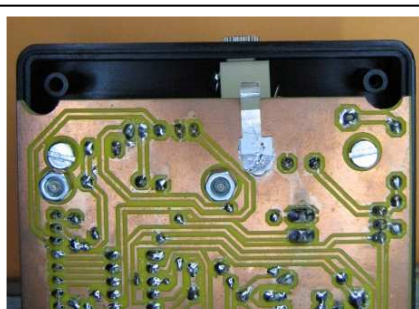


8) Montage des 2 douilles laiton sur la plaquette cuivrée. Avec le Jack d'alimentation, ces deux composants sont non câblés sur la platine.



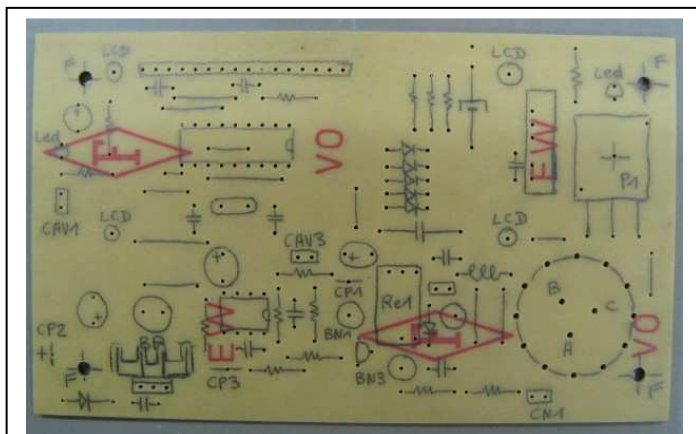
Le fond du coffret recevra un blindage qui assurera une meilleure stabilité de l'affichage lors de la mesure de faibles valeurs d'inductance ou capacité. Il suffira de coller sur toute la surface du fond de coffret, une feuille d'aluminium adhésive qu'on remontera sur les flancs gauches et droits. Ceci protégera le circuit imprimé qui pourrait se retrouver à quelques millimètres, de champs électriques perturbateurs. Il vous faudra préalablement araser le clip de retenue de la trappe (non utilisée) pour obtenir un fond plan. Bien entendu on veillera à l'isolation en collant par-dessus la feuille d'aluminium

un carton de faible épaisseur, genre bristol en aménageant une découpe pour le passage de la connexion de masse. Cette feuille d'aluminium doit être évidemment reliée à la masse, et la connexion sera constituée par une petite lamelle flexible qui sera directement soudée sur le plan de masse du circuit imprimé comme le montre la photo 10. En fermant le coffret cette lamelle vient en contact avec la feuille d'aluminium au niveau de la découpe pratiquée dans la feuille bristol. Attention, n'utilisez jamais une lamelle en cuivre ou laiton, car le contact avec l'aluminium engendrera un couple électrochimique qui produira à la longue une corrosion au point de contact !



10) La liaison au blindage de fond de coffret est assurée par la languette soudée en périphérie de la platine.

CABLAGE DE LA PLATINE:

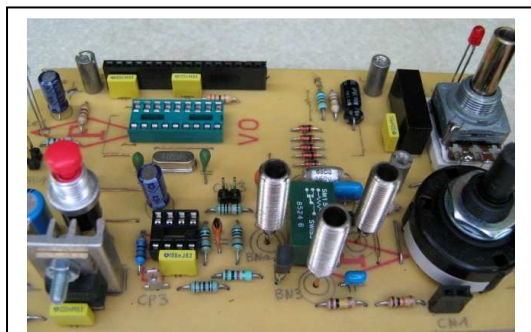


11) le traçage des empreintes des composants, ainsi que des 13 straps vous évitera bien des erreurs. Certains trous devront être agrandis à 1,2mm (commutateur, douilles, cosses poignard, attention au repérage !)

composants de faible épaisseur, (straps). 13 straps sont nécessaires dont un est placé sous le support de IC2 ! Ces straps pourront être constitués de fil fin de cuivre nu très facile à plier. Cependant les 2 straps se trouvant immédiatement à gauche et au dessus du commutateur rotatif, devront être constitués d'une queue de résistance ($6/10^{\text{ème}}$) car ils assurent la liaison du circuit résonnant.

On terminera par les composants de grande hauteur (potentiomètre et commutateur rotatif dont le positionnement sera à respecter conformément au plan d'implantation **en vérifiant que la languette de blocage située sous l'écrou limite bien la rotation à 4 positions**).

C3, 1000pF devra être choisi dans une tolérance aussi serrée que possible (1% est une valeur correcte). De plus C2 comme C3 devront présenter une faible dérive thermique et seront choisis dans le type styroflex, et de type mica argenté pour C3.



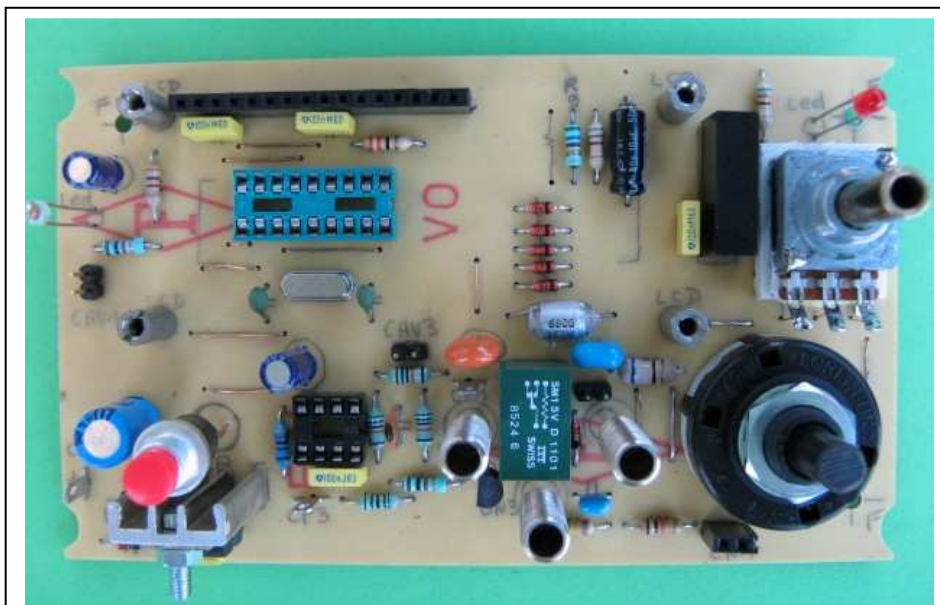
13) Montage des douilles d'utilisation et du dissipateur thermique sur le régulateur 7805

En fin de câblage, prolongez les douilles d'utilisation par 2 fils rigides de 1,5mm, et rallongez les pattes du bouton poussoir sans le surchauffer ! Pour ce faire passez une boucle de fil dans les 2 cosses et coupez là après soudure. Introduisez préalablement les 2 Leds dans leurs emplacements, ainsi que les pattes du bouton poussoir. Fixez alors le circuit imprimé sur ses 4 entretoises, puis poussez la Led et le bouton poussoir en position correcte sur la face avant. Il ne restera plus qu'à souder côté cuivre. Idem pour les douilles munies de leur collerette

Préalablement la couche de vernis qui protège les pistes, sera soigneusement enlevée à l'aide d'alcool à brûler ou acétone.

Soudage des composants:

Tous les composants, organes de commande, et connectique, prennent place sur le circuit imprimé sauf la prise jack, et les 2 douilles laiton de mesure de la tension varicap. Ceci évite d'avoir une filerie imposante sujette à de nombreux problèmes de dysfonctionnements. Le dessin des empreintes des composants sur la face bakélite, à l'aide d'un crayon au carbone a été normalement réalisé au début de la préparation du coffret. Cette opération évite les erreurs d'implantations et facilite considérablement le câblage qui s'effectuera en commençant par les



12) Câblage principal pour procéder aux essais. Aucun cavalier ni circuit intégré ne seront insérés au début de la procédure, mais au fur et à mesure des différentes étapes de contrôles.

qu'on introduira par la face avant. Il sera peut être nécessaire de retoucher légèrement les trous de passage en face avant, mais tout doit coulisser sans forcer !

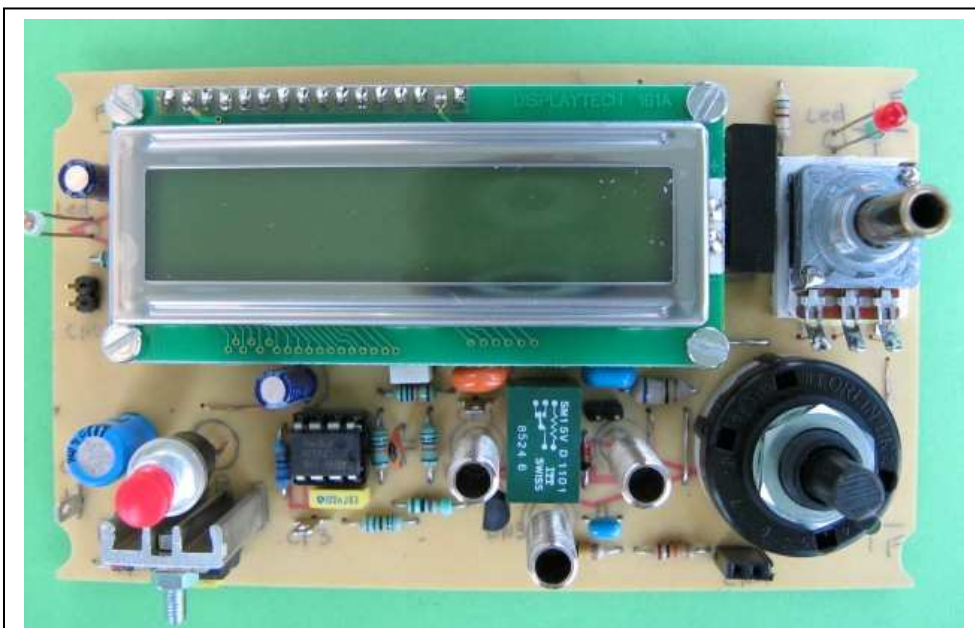
Pour retirer complètement le circuit imprimé, il suffira de dévisser l'écrou retenant le bouton poussoir, dévisser les 3 collerettes des extrémités de douille, et bien sûr, retirer les boutons de manœuvre du commutateur rotatif et du potentiomètre dont les axes seront réduits à la longueur appropriée aux boutons de commande.



14) L'afficheur LCD sur lequel sera soudé la barrette de 16 picots.

L'afficheur LCD recevra sa barrette de 16 picots mâles à souder sur les pistes dorées côté bloc métallique. Soudez les picots impairs, et ensuite pairs pour ne pas surchauffer. Vous devrez recouper la barrette femelle 20 picots fournie au centre du 17^{ème} picot. Il vous restera alors 3 picots que vous raccourcirez à deux, et qui seront soudés en CN1.

Le câblage est maintenant pratiquement terminé, et avant mise sous tension, il sera impératif de vérifier l'absence de court circuit entre pistes. Ceci est capital pour assurer la survie du microcontrôleur et de l'afficheur LCD, qui sont les éléments actifs les plus coûteux !



15) Câblage complet de la platine. Pour la 1^{ère} phase de test, l'afficheur LCD et aucun circuit intégré ne devront être insérés sur leurs supports.

Cependant avant de procéder aux essais, on achèvera les finitions c'est-à-dire la face avant. L'auteur fournit la face avant imprimée sur bristol vernis. Il suffira alors de découper avec soin, la fenêtre de l'affichage avec un cutter. Collez la face avant, puis découpez la périphérie les trous à l'aide d'un cutter très effilé, ou bien utilisez une lime ronde avec précaution. Ce sera d'ailleurs la meilleure méthode pour les 2 petits trous de 3 mm autorisant le passage des Leds.

Pensez aussi à préparer les

indispensables petites pinces de connexion assurant le raccordement des composants à mesurer. Les pinces crocodiles miniatures conviennent parfaitement à cet usage. Il suffira de les souder sur l'extrémité des fiches bananes de tableau comme le montre la photo de détail [17](#).

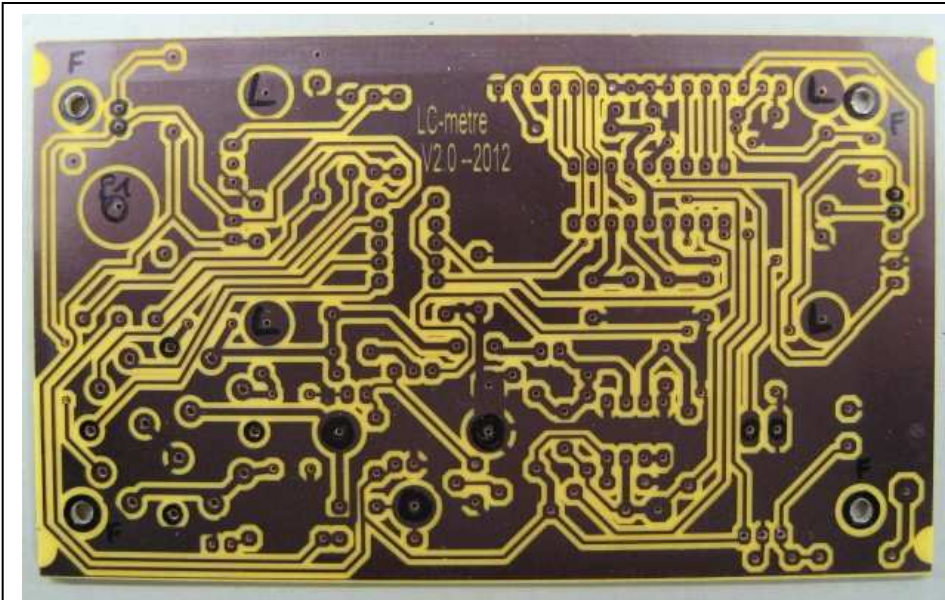
Ouf ! Après cette longue préparation on pourra passer aux essais qui se feront sans monter l'ensemble circuit imprimé / afficheur dans son coffret, car nous devons avoir accès à différents points de mesure. Attention ! Travaillez sur une surface isolante ou placez la platine dans la coquille inférieure du coffret !

CONTROLE ET MESURES:

Toutes les mesures de tension s'effectuent par rapport à la masse (GND) avec un multimètre numérique d'impédance d'entrée constante de 10 M Ω .

MHT signifie mettre le montage hors tension entre les différents manipulations de contrôle.

MST signifie mettre le montage sous tension entre les différents manipulations de contrôle.



16) Vue du circuit imprimé qui permettra de lever un doute sur un éventuel court circuit entre piste après soudure. Notez les pastilles cerclées de noir qui serviront à pointer et définir exactement le passage des commandes sur la face avant interne du coffret.

L'absence de court circuit entre piste sera minutieusement vérifié et notamment les pastilles du support LCD, le commutateur rotatif, IC1 et IC2 où l'espacement est réduit. La platine sera dans un 1^{er} temps testée sans aucun circuit intégré ni afficheur inséré sur leurs supports respectifs (sauf le convertisseur IC4). Aucun cavalier ne sera mis en place, et le commutateur rotatif sera en position "calibration" c'est-à-dire en position 1.

Comme pour tout montage en test, il est conseillé de le connecter sur une

alimentation de labo sécurisée (voir étude détaillée de l'auteur dans les bulletins de liaison N° 95 et 96).

Connectez un voltmètre entre GND et R7 (33Ω) puis alimentez progressivement en tension sur les cosses poignard CP1 et CP2 (+VCC) jusqu'à 12V, en respectant impérativement la polarité ! La Led verte s'allume progressivement, et la tension sur le voltmètre atteint 5V sans jamais la dépasser, ce qui vérifie le fonctionnement correct du régulateur 5V IC3. Pour réaliser les différentes mesures en sécurité, il sera utile d'utiliser 2 grip fils miniatures, accessoire que tout amateur doit posséder. MHT.

Le contrôle débutera par le convertisseur 30V puisque IC4 a été déjà soudé à l'opération de câblage. Connectez le voltmètre aux bornes de C15, puis alimentez à nouveau la platine. Manoeuvrez lentement le commutateur de sa position 1 c'est-à-dire calibrage, en position 2, puis position 3. Sur ces 3 premières positions le voltmètre doit indiquer zéro, et la Led 2 rouge reste éteinte. Sur la seule position 4 (mesure varicap) Led 2 rouge s'allume témoignant l'alimentation 5V du convertisseur, et le voltmètre doit indiquer une tension continue proche de 30V. Il faudra alors jouer sur R9 de façon à obtenir précisément 30V + ou - 0,2V. Si la tension mesurée est inférieure à 30V il faudra réduire R9, ou augmenter cette dernière si

l'on mesure plus de 30V.

R10 en // sur R9 peut être nécessaire pour parfaire ce réglage.

Ensuite, mesurez la variation de tension de 2V environ à 30V sur CN1 ou entre GND et le plot central du potentiomètre P1 en tournant ce dernier sur toute sa plage. A l'aide de l'oscilloscope, vous pourrez voir la faible tension d'ondulation résiduelle amortie de 40 mV crête à crête sur BN3, qui se reproduit toutes les 6μS soit une fréquence de répétition d'environ 160 KHz.

Ensuite, vérifiez la présence de + 5V sur les broches



17) Liaisons des douilles, et mini pinces croco à confectionner pour le raccordement simplifié des composants à mesurer (selfs condensateurs varicap).

désignées ci après:

Br8 de IC1 (LM311)

Br3, br4, et br14 de IC2 (microcontrôleur)

Br2 de LCD1 (afficheur)

Insérer temporairement le cavalier CAV2, la Led verte s'éteint, puis retirer CAV2.

MHT, et insérer uniquement IC1 sur son support (LM311). Raccorder un voltmètre sur CP3, et MST. La tension en sortie du comparateur IC1 passe alternativement de 0,2V à + 4,9V environ toutes les 600 mS. Ce fonctionnement est normal et résulte de la charge et décharge de C5 via R4. Supposons que la sortie 7 du comparateur est à l'état haut (+5V). C5 va se charger via R4, et lorsque la tension sur l'entrée 3 de IC1 dépasse celle présente (3,3V) sur l'entrée + de IC1, la sortie 7 bascule à zéro, et entraîne la décharge de C5.

Dans le même temps, ceci abaisse la tension sur l'entrée 2 de IC1 (1,7V), et lorsque la tension aux bornes de C5 passera en dessous de cette valeur, la sortie 7 de IC1, bascule de nouveau à +5V.

Raccordez un oscilloscope en couplage DC et 1V par division sur CP3, avec base de temps réglée sur 0,1S par division. On verra ainsi la trace monter alternativement de 0,2V à + 4,9V. Pour avoir le temps de voir ce basculement et faire les mesures, il vous suffira de connecter provisoirement un condensateur de 47 μ F ou plus sur C5, mais cette mesure est facultative.

Ensuite, insérez alors le cavalier CAV3, et là, tout change, car notre comparateur se transforme en oscillateur. La trace de l'oscilloscope montre alors un trait vertical d'amplitude 4,6V qui se déplace sur l'écran de gauche à droite à 0,1 seconde horizontalement. Passez maintenant la base de temps de l'oscilloscope sur 1 μ seconde par division et vous pourrez voir le signal rectangulaire un peu arrondi sur les transitions hautes et basses.

Cette fréquence d'environ 740 KHz est déterminée par le circuit oscillant constitué de L1 – C2 montés en parallèle dans la connexion d'entrée + du LM311. Passez l'oscilloscope en couplage AC, 50mV par division, et commutuez la sonde de mesure sur x10 (haute impédance) et connectez là sur la broche 2 de IC1, ou plus facilement sur une patte de C1, côté CAV3. On se trouve ainsi relié au point chaud du circuit L1-C2 et on pourra vérifier un signal parfaitement sinusoïdal d'une amplitude de 1,3V crête à crête. (0,13V x 10). Notez que la tension (composante continue) sur cette broche 2 de IC1 est stabilisée à la moitié de VCC, c'est-à-dire 2,5V.



18) Une self de seulement 4 spires sur un diamètre de 8mm mesure 98 nH. Self utilisée dans les émetteurs récepteurs de la bande 144MHz.

Branchez un fréquencemètre numérique sur CP3, et notez la fréquence **F1** lue environ 740KHz.

Ensuite court-circuitez un instant le cavalier CAV2, et notez la fréquence **F2** lue (470KHz), qui doit être inférieure à **F1**.

Retirez CAV2, puis court-circuitez temporairement les broches 10 et 14 de IC2 qui n'est pour l'instant pas inséré dans son support. Ceci doit éteindre la Led verte, et produire la fréquence **F2** environ 470KHz.

Retirez maintenant ce court circuit, la Led reste allumée, et on lit la fréquence **F1**.

Tournez le commutateur en position 2 (mesure Lx). L'oscillateur s'arrête, et **F1** = zéro.

Tournez le commutateur en position 3 (mesure Cx). L'oscillateur est activé, et génère **F1**.

A ce stade, on pourra vérifier la dérive en température du circuit résonnant L1 / C2. Dirigez le souffle d'un sèche cheveux en direction de la platine, et vous constaterez la diminution très nette de F1 ! Bien que l'on ait pris soin d'utiliser C2 en fabrication styroflex, dont la capacité varie très peu en fonction de la température, il n'en est pas de même pour L1 qui varie très légèrement avec l'élévation de température augmentant ainsi la valeur de la self, ce qui entraîne la diminution de F1.

Ce constat indique qu'il faudra utiliser le LC-mètre à température constante, et 15mn après la mise sous tension, afin que la température interne du coffret se soit stabilisée. Cette remarque s'applique surtout

pour la mesure de faibles valeurs de L ou C. Il est aussi possible de faire une RAZ avant chaque mesure mais cette solution est moins fiable.

Ramenez maintenant le commutateur en position 1 (calibration) et passez le montage en MHT.

Insérez pour l'instant, uniquement l'afficheur LCD sur sa barrette de connexion. A la mise sous tension, l'afficheur montre 8 petits rectangles composés chacun d'une matrice de 5 x 8 points, correspondant aux 8 premiers caractères. Le fond d'écran est lumineux si ce dernier est équipé d'un rétro éclairage à Led. Cette dernière fonction qui n'est pas indispensable, entraîne un coût plus élevé. MHT avant de passer à l'étape suivante.

Sortez l'afficheur pour pouvoir insérer maintenant IC2 (microcontrôleur) en respectant scrupuleusement son orientation, puis remontez l'afficheur sur sa barrette de connexion, sans besoin de le fixer par ses vis. Voici l'instant crucial arrivé.

Avant de mettre l'appareil sous tension, le commutateur de fonction sera positionné sur "calibration", sinon, l'afficheur indiquera le message d'erreur suivant: **SWITCH ERROR**.

Phase 1)

A la mise sous tension, l'appareil de mesure affiche un temps d'attente de 5 secondes, durant lequel le relais reste au repos signalé par la Led verte allumée. Le LCD affiche alors: **WAIT = Attendre**.

Phase 2)

Ensuite le microcontrôleur passe à la phase de calibration d'une durée de 2 secondes, durant laquelle le relais est mis au travail, et signalé par l'extinction de la Led verte. Le LCD affiche alors: **CALIBRATING = Calibration**.

Phase 3)

Au terme de ces 2 phases d'une durée totale de 7 secondes, le relais revient au repos signalé par la Led verte allumée. Une fraction de seconde plus tard, l'affichage indique que l'appareil est prêt. Le LCD affiche alors: **READY = Prêt pour la mesure**.

Phase 4)

Ensuite, placer le commutateur sur le type de mesure concerné (Cx ou Lx). Notez que la valeur affichée ici, est la capacité ou l'inductance parasite des liaisons internes, ainsi que les deux pinces crocodiles. Si Lx est sélectionné, l'afficheur indique: **NOT AN L** (inductance absente) il est donc nécessaire de court-circuiter les 2 douilles de mesure avant d'effectuer une remise à zéro ! Utiliser un pontage très court et de section importante, surtout si l'on mesure des inductances de quelques nano henrys. En fait il suffira d'insérer une plaquette conductrice entre les deux pinces crocodiles.

Phase 5)

Ramener l'affichage du LCD à zéro en pressant le bouton poussoir. Ceci annule la capacité ou l'inductance parasite des liaisons internes, et externes y compris les 2 pinces crocodiles. L'appareil mesurera uniquement l'élément qui y sera connecté, sans tenir compte des pinces de liaison.

Phase 6)

Connecter l'élément à mesurer (Cx ou Lx) et lire directement sa valeur dans l'unité spécifiée sur l'afficheur LCD. Si vous avez la chance de disposer de quelques condensateurs à 1% vous pourrez vérifier l'exactitude et la correspondance de la valeur affichée. Par contre les inductances à 1% ne courent pas les rues, mais en vertu du principe de mesure la précision sera identique.

Mesure des diodes à capacité variable

Pour mesurer la plage de variation de capacité d'une diode varicap:

Insérez d'abord les 2 pinces croco dans BN1 et BN3. Positionnez le commutateur rotatif sur **CAL**, puis après le message "Ready" passez en position **V**. Après avoir effectué la RAZ en position **V**, connectez la diode varicap suivant le schéma, puis tournez lentement P1 dans le sens horaire. La capacité de la diode varicap va donc passer de sa valeur maximum à sa valeur minimum dite résiduelle. En connectant un voltmètre sur les 2 douilles de mesures latérales, vous pourrez tracer la courbe capacité / tension et vérifier qu'elle est rarement linéaire.

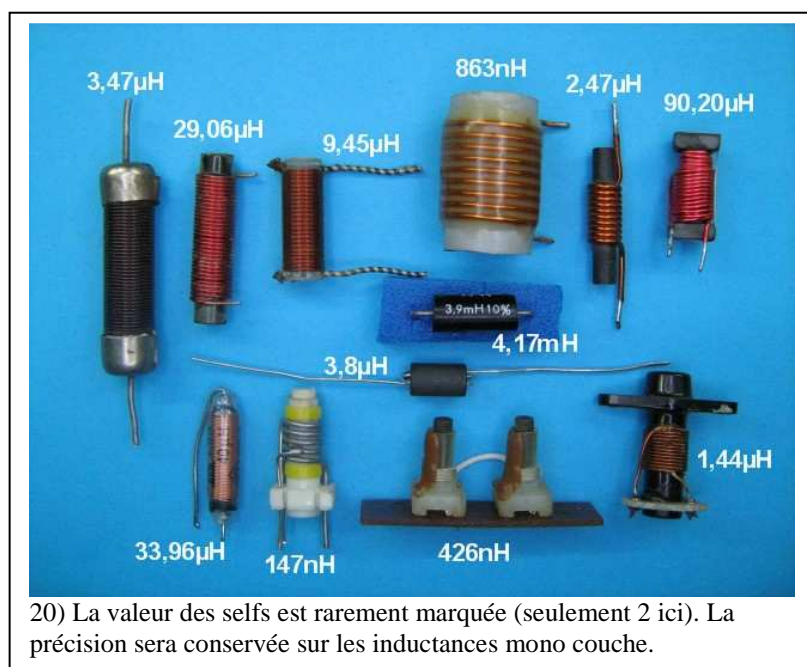
Si tout est correct il ne restera plus qu'à remonter la platine dans son coffret, en réalisant un nouveau test de confirmation de mesure de différentes inductances et capacités de valeurs marquées. Au remontage serrez uniquement à la main, l'écrou du bouton poussoir et les capuchons des extrémités de douilles. Collez à l'arrière du coffret la notice d'utilisation ci après qui vous sera utile pour vous souvenir de la procédure après plusieurs mois d'autres occupations.



19) Capacité d'une diode varicap BB204 (18,14pF) mesurée avec une tension de polarisation de 20,35V.

Vous voici maintenant prêt à affronter tous les montages HF et UHF sans appréhension en réalisant vos propres selfs sur mesure ! Votre nouveau compagnon deviendra vite indispensable...

Erreurs de mesure des inductances:



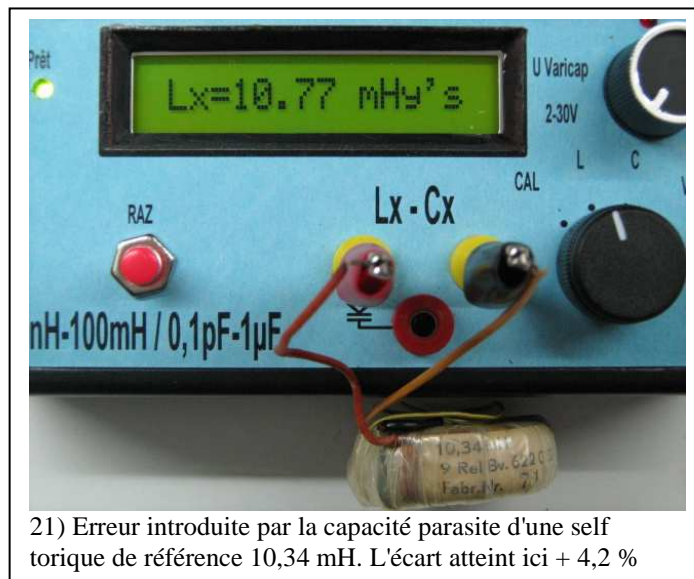
20) La valeur des selfs est rarement marquée (seulement 2 ici). La précision sera conservée sur les inductances mono couche.

La mesure des inductances repose sur le principe du circuit LC parallèle, dans lequel Lx est insérée dans le circuit oscillant. Il faut savoir qu'une inductance n'est jamais parfaite à cause de la capacité existante entre chaque spire dans le cas d'un bobinage à une seule couche. Toutes ces capacités inter-spires se retrouvent donc en série, et finalement la capacité équivalente qui apparaît aux bornes de l'inductance reste très faible. Il en est tout autrement pour un bobinage à plusieurs couches superposées et notamment un bobinage toroïdal sur noyau magnétique. Dans ce cas c'est chaque capacité entre couche qui vient s'ajouter aux bornes du bobinage, qui finalement peut atteindre une valeur non négligeable. Il faudra donc en tenir

compte dans les mesures d'inductances à plusieurs couches.

La valeur de l'inductance est largement augmentée par la présence d'un noyau ferromagnétique tel que ceux utilisés dans les circuits à très basse fréquence et principalement sur 50 Hz, mais aussi dans tout le domaine audio fréquences. En haute fréquence on trouvera aussi des selfs bobinées sur des tores dont la constitution est savamment dosée en fonction de la fréquence d'utilisation. Dans ce domaine des radiofréquences on trouvera d'une part les tores à poudre de fer avec des facteurs de perméabilité faible procurant des inductances avec un excellent facteur "Q", et d'autre part les tores ferrite caractérisés par

une perméabilité élevée utilisables dans une large gamme de fréquence tels que transformateurs HF, filtres, etc.



21) Erreur introduite par la capacité parasite d'une self torique de référence 10,34 mH. L'écart atteint ici + 4,2 %

La mesure des inductances mono couche reste précise et l'appareil permet de mesurer de très faibles valeurs de l'ordre de quelques Nano Henrys ! Rappelons que la mesure s'effectue sous une fréquence maximum d'environ 740 KHz, fréquence de mesure diminuant avec l'augmentation de l'inductance à tester.

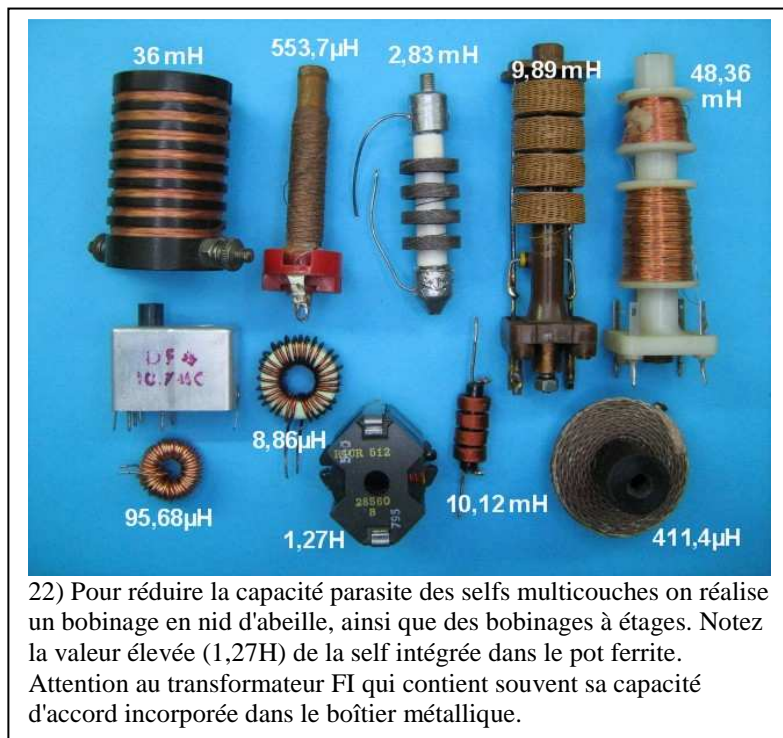
Dans le cas d'inductances à plusieurs couches, la capacité parasite du bobinage introduit une erreur sur la fréquence de résonance lors de la mesure. Pour une inductance toroïdale de 10 mH l'erreur se situe à + 4% de la valeur réelle et sera plus importante pour la mesure d'une inductance de 100 mH. Bien que la gamme de mesure des inductances est spécifiée jusqu'à 100 mH, l'appareil peut mesurer des valeurs dépassant un

Henry ce qui correspond à des enroulements de transformateur fonctionnant sur le réseau 230V alternatif. Les nombreuses couches de fil constituant le bobinage du transformateur apportent une capacité parasite conséquente qui faussera la mesure.

Pour ce rendre compte de l'influence de la capacité parasite, l'essai suivant sera significatif. Connectons la self torique précédente sur l'inductancemètre, qui affiche une valeur mesurée de 10,77mH, puis dans un 2^{ème} temps connectons aux bornes de celle-ci un condensateur de 2,7pF. L'appareil affiche maintenant une valeur de 10,82mH soit une erreur de + 0,46% pour une capacité additionnelle de seulement 2,7pF. Cette capacité correspond à 2 fils téléphone torsadés sur seulement 4cm. Avec 22pF l'erreur atteint + 2,9%.

En appliquant la formule de Thomson on peut facilement déterminer la fréquence basse à laquelle est effectuée la mesure, c'est-à-dire durant la phase de calibration, lorsque C3 est commuté par le relais. Ainsi pour une inductance de 10 mH, la calibration s'effectue théoriquement à 38,8 KHz, et 12,2 KHz pour une inductance de 100 mH. Ces fréquences de mesure restent encore relativement élevées vis-à-vis de la capacité parasite liée à des inductances de 10 et 100 mH qui comportent nécessairement plusieurs couches.

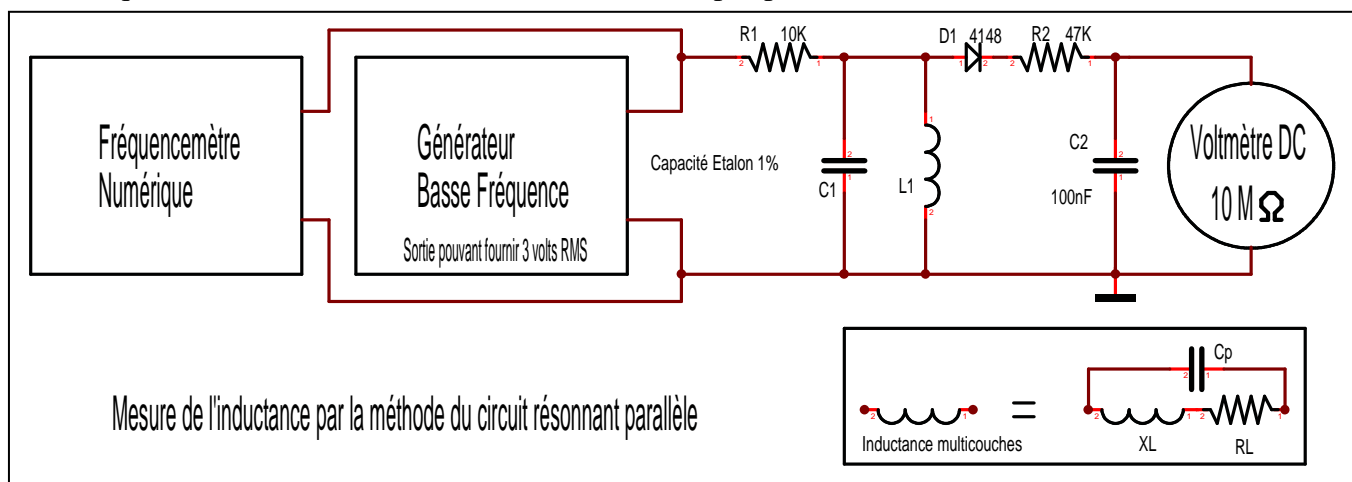
Par conséquent dans le cas d'inductances élevées, une mesure sous très basse fréquence sera plus appropriée, car à cette fréquence très basse la capacité parasite n'a que peu d'influence sur la mesure.



22) Pour réduire la capacité parasite des selfs multicouches on réalise un bobinage en nid d'abeille, ainsi que des bobinages à étages. Notez la valeur élevée (1,27H) de la self intégrée dans le pot ferrite. Attention au transformateur FI qui contient souvent sa capacité d'accord incorporée dans le boîtier métallique.

Dans la pratique il sera rarissime de vouloir déterminer la valeur inductive des bobinages de transformateur ou de moteurs. Se rappeler que ce genre d'inductance est constitué par une grande longueur de fil fin dont il faudra tenir compte dans le calcul car nous avons à faire ici à une inductance en série avec une résistance parfois importante.

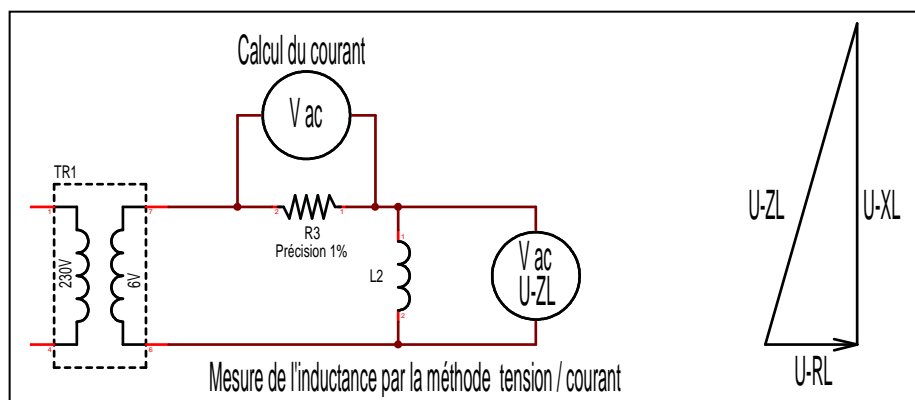
Cependant le LC-mètre sera utile pour comparer l'inductance des enroulements secondaires d'un transformateur ou d'un moteur, afin de détecter un éventuel court circuit entre spires. En réalité il sera exceptionnel de vouloir mesurer la valeur d'une inductance de quelques mH avec une grande précision, et dans la quasi-totalité des cas une erreur de 5% ne sera pas pénalisante.



Une autre méthode pour se prémunir de la capacité parasite des inductances multi couches consiste à déterminer la fréquence de résonance d'un montage d'inductance avec un condensateur de précision connecté à ses bornes. Il va de soi que la fréquence de résonance doit se situer à une valeur aussi basse que possible pour la raison exposée ci avant. Il faudra donc utiliser un condensateur non polarisé de 1µF dont on aura préalablement mesuré la capacité précise à 1% à l'aide du LC-mètre. Ainsi avec une inductance de 10mH et un condensateur de 1µF, Fo sera proche de 1500 Hz. (500 Hz avec 100mH). A l'aide d'un générateur basse fréquence sinus, et fréquencemètre numérique nous pourrions déterminer cette fréquence de résonance avec précision. Le montage à réaliser est décrit ci-dessus.

Il suffira de diminuer la fréquence du générateur en partant d'une valeur nettement supérieure à l'entrée en résonance du circuit LC, afin de ne pas tomber dans la plage d'une fréquence harmonique possible. Seule la fréquence de résonance Fo produira une surtension maximum aux bornes de LC, tension redressée par D1 et filtrée par R2 C2 pour être lue sur le voltmètre. Régler avec précision Fo pour U maximum. La relation suivante permettra de calculer la valeur de l'inductance:

$$F_{0\text{kHz}} = \frac{159155}{\sqrt{L_{\mu\text{H}} * C_{\text{pF}}}} \text{ D'où l'on extrait: } L_{\mu\text{H}} = \left(\frac{159155}{F_{0\text{KHz}} * \sqrt{C_{\text{pF}}}} \right)^2 \quad \text{Note: * représente le multiplicateur}$$



Le montage ci contre permet de déterminer la valeur d'une inductance à noyau ferromagnétique en utilisant un unique multimètre. Il faudra bien veiller à ce que l'intensité du courant ne vienne en aucun cas saturer le noyau, et on se limitera à une valeur autour de 10mA sous 50Hz évidemment.

La valeur de R3 sera déterminée en conséquence, et cette dernière ne devra pas chauffer. Sa valeur doit être mesurée avec précision à l'aide de la fonction ohmmètre du multimètre. Après mise sous tension du montage, il suffira de mesurer la tension présente aux bornes de R3 et L2. La tension U-ZL mesurée aux bornes de l'inductance est la somme vectorielle de URL et UXL = UZL. Tensions représentées dans le diagramme vectoriel (triangle à droite).

Nous devons calculer la tension apparaissant sur la composante résistive de L (résistance du fil de l'inductance mesurée à l'aide du multimètre) ce qui nous permettra ensuite de déterminer UXL.

Dans ce schéma série l'intensité est identique dans R3 et L2, intensité facile à calculer car nous connaissons la tension sur R3 ainsi que sa valeur. ($I = U / R$)

Connaissant URL et UZL nous pourrions calculer UXL par la formule suivante:

$$UXL = \sqrt{(UZL)^2 - (URL)^2} \quad \text{Avec toutes unités en volts.}$$

La formule générale de la réactance inductive s'écrit : $L * \omega \text{ (ohms)} = \frac{UXL \text{ (volts sur L)}}{I \text{ (ampères)}}$ d'où:

$$L \text{ (Henry)} = \frac{UXL \text{ (volts sur L)}}{I \text{ (ampères)} * \omega} \quad \text{(Loi d'ohm en alternatif avec } \omega = 2 * \pi * F \text{ soit: 314 à 50 Hz)}$$

Attention aux unités, car L est en henry, qu'il faudra convertir plus familièrement après calcul en milli henry ! Ces deux méthodes de mesure ne concernent que les inductances supérieures à 100 mH auxquelles on aura recours dans ce cas spécifique. La précision obtenue sera directement liée à la performance des appareils, des erreurs de mesure, et des calculs. On pourra espérer au mieux 5% d'erreur négative pour la méthode par résonance, et 10% d'erreur positive pour la méthode courant / tension sous 50Hz, erreur augmentée surtout par les harmoniques du réseau.

En conclusion:

Vous êtes maintenant en possession d'un appareil de mesure qui est indispensable pour toute expérimentation et conception dans le domaine haute fréquence. Plus besoin de tâtonner pour réaliser la self qui convient, ou déterminer en quelques secondes la valeur d'une self inconnue. Connaissant cette dernière il sera très facile de déterminer la fréquence de résonance avec le condensateur qui y sera connecté. Même chose pour la réalisation de filtres série ou parallèle.

Remerciements à F5XG qui a décodé une partie du programme afin d'apporter un éclairage nouveau sur le mystérieux processus de calcul qui permet de déterminer les valeurs des éléments à mesurer. J'ai pu ainsi rédiger en annexe le paragraphe correspondant assez pointu, qui dévoile les secrets de mesure de ce LC-mètre très performant.

Félicitations au concepteur de cet appareil fort ingénieux qui regroupe les deux fonctions L et C. Pour ma part j'ai revisité entièrement cette réalisation qui méritait largement ce développement complet et détaillé en y ajoutant la fonction varicap. Une réalisation qui devient maintenant accessible au plus grand nombre d'amateurs expérimentateurs. L'objectif de cette description est donc atteint pour favoriser et encourager la construction amateur en haute fréquence mais aussi dans le spectre audio fréquence. L'étiquette adhésive (fournie), est à coller au dos du coffret.

Services:

Afin de vous faciliter cette superbe réalisation, ce LC-mètre vous est proposé en kit complet à prix coûtant comme la plupart des descriptions de l'auteur parues dans les colonnes de ce magazine. Pour l'amateur résidant en province, il s'agit d'un "parcours du combattant" pour rassembler les pièces nécessaires. Le plus souvent, il sera indispensable de passer commande auprès de plusieurs fournisseurs, ce qui grève le coût final. Le kit vous permet de bénéficier des composants originaux, en évitant les équivalents à problème, et le cumul des frais postaux de plus en plus coûteux.

Pour tous renseignements contactez le rédacteur F1BNS@free.fr Assistance technique assurée.

Utilisation du LC-mètre

Avant mise sous tension, insérer les 2 pinces de mesure en Lx Cx, et placer le commutateur sur la position CAL (calibration). Après mise sous tension, attendre l'affichage de **READY**.

Mesure d'une inductance:

Placer le commutateur sur L, puis court circuiter les deux pinces croco de mesure à leur extrémité. Ramener l'affichage à zéro en pressant le BP RAZ. Remplacer le court circuit par l'inductance à mesurer dont la valeur s'affiche sur l'écran LCD.

Mesure d'une capacité:

Placer le commutateur sur C. Ramener l'affichage à zéro en pressant le BP RAZ. Insérer la capacité à mesurer entre les pinces de mesure et lire sa valeur qui s'affiche sur l'écran LCD.

Mesure des diodes varicap:

Insérer les pinces de mesure comme indiqué sur la face avant. Après l'indication "Ready" placer le commutateur sur V. Ramener l'affichage à zéro en pressant le BP RAZ. Insérer la diode dans le sens correct et lire la variation de capacité en tournant le potentiomètre.

P au minimum = capacité maximum de la diode

P au maximum = capacité minimum de la diode

ATTENTION: s'assurer que la diode en essai peut supporter une tension de polarisation inverse de 30V.

Annexe: Le secret du processus de calcul:

Un 1^{er} calcul permet de déterminer la valeur de référence de C2, calcul effectué par interpolation entre les fréquences F1 et F2. Bien noter que le microcontrôleur effectue d'abord la mesure de F2 puis ensuite F1 !

Hypothèse de calcul dans le schéma de principe (Fig G):

Dans notre montage nous ne connaissons pas avec précision la valeur réelle de C2 et L1. Par contre il sera facile de mesurer F1 et F2 à l'aide d'un fréquencemètre numérique sur la sortie du LM311 en CP3. C'est d'ailleurs ce que fait précisément le microcontrôleur, comme ci-dessous, avec un fréquencemètre.

La 1^{ère} mesure de **F2** sur le fréquencemètre affiche 506,542 KHz. Avec L1//C2//C3

La 2^{ème} mesure de **F1** sur le fréquencemètre affiche 822,094 KHz. Avec L1//C2

F2 est donc toujours inférieure à F1

Le microcontrôleur effectue le calcul ci-dessous pour déterminer la valeur de C2.

$$C2_{pF} = \left(\frac{(F2 * 0,2)^2 * 1000}{(F1 * 0,2)^2 - (F2 * 0,2)^2} \right) \quad \text{Avec F1 et F2 en Hz}$$

Cette formule ne prend en compte que F1 et F2, que le microcontrôleur compte pendant 0,2 secondes, ainsi que la valeur 1000 liée à C3 de précision 1% 1000 pF.

Au numérateur on obtient: $(F2 \times 0,2)^2 \times 1000 = 1,0263 \text{ e}^{13}$

Au dénominateur on a: $(F1 \times 0,2)^2 = 2,7034 \text{ e}^{10}$ et $(F2 \times 0,2)^2 = 1,0263 \text{ e}^{10}$

$$C2_{pF} = \frac{1,0263 \text{ e}^{13}}{2,7034 \text{ e}^{10} - 1,0263 \text{ e}^{10}} = 6,1195 \text{ e}^2 \quad \text{soit } 611,9 \text{ pF valeur réelle de C2}$$

Note: 1,0263 e¹³ ou 1,0263 e13 est écrit en notation scientifique. Ce nombre est affecté de l'exposant 13, c'est-à-dire que la virgule doit être déplacée au 13^{ème} rang vers la droite en écriture normale. La plupart des calculettes utilisent cette notation scientifique qui simplifie l'écriture de très grands ou petits nombres. Vous pourrez vérifier l'exactitude des 2 formules décrites.

Ensuite, le microcontrôleur effectue le calcul ci-dessous pour déterminer la valeur de L1.

2^{ème} calcul effectué avec la valeur de la fréquence F1, et C2.

$$L1_{\mu H} = \left(\frac{1}{(4\pi^2) * \frac{(F1 * 0,2)^2}{0,04} * C2} \right) \times 1^{18} \quad \text{Avec F1 en Hz, et C2 en pF}$$

Cette formule prend en compte F1 et la valeur de C2 calculée précédemment.

Calculs partiels:

$(4\pi^2) = 39,4784$

$(F1 \times 0,2)^2 = 2,7034 \text{ e}^{10}$ divisé ensuite par 0,04 = $6,7585 \text{ e}^{11}$

Dernière révision du document: 16 Janv 2013

- -

$$C2 = 611,9 \text{ pF}$$

Au dénominateur on obtient: $39,4784 \times 6,7585^{e11} \times 611,9 = 1,6326^{e16}$

Inverse du dénominateur ($\frac{1}{x}$): $6,125^{e-17} \times 1^{e18} = 6,125^{e1}$ soit 61,25 μH valeur réelle de L1

Vérification avec la formule de Thomson transformée : $Fo_{kHz} = \frac{159155}{\sqrt{L_{\mu H} * C_{pF}}}$

Avec L1//C2//C3 on retrouve bien F2 :	Avec L1//C2 on retrouve bien F1 =
$F2_{kHz} = \frac{159155}{\sqrt{61,25 * (611,9 + 1000)}} = 506,52kHz$	$F1_{kHz} = \frac{159155}{\sqrt{61,25 * 611,9}} = 822,10kHz$

Cette démonstration est faite avec une hypothèse préliminaire de L1 et C1 ayant une valeur de -10%, (61,2 μH et 612pF) valeurs qu'on retrouve bien d'après les mesures uniquement de Fo. Vous savez maintenant comment le microcontrôleur détermine la valeur exacte de L1 et C2 ! Quant à l'explication des formules c'est l'affaire du mathématicien !

Inductancemètre - Capacimètre Numérique V2.0 Varicap

