

inductancemètre tout simple

Un appareil de faible coût pour votre établi



Philippe Le Guen (France)

Si vous recherchez un instrument de test et de mesure des inductances, cet inductancemètre à construire vous-même remplacera avantageusement bien des appareils plus onéreux du marché.

Un bon instrument de test et de mesure des inductances figure depuis longtemps sur la liste des appareils souhaitables pour mon labo. J'ai donc décidé de le construire moi-même. L'instrument simple présenté ici ne peut pas rivaliser avec les instruments complets, sophistiqués, mais complexes du marché ; ce n'est qu'un modeste inductancemètre qui indique la valeur d'une inductance inconnue. On trouve sur internet de nombreux appareils de ce type, parfois basés sur *Arduino*. Voici quelques années, je découvris le site de F. Kudelsko [1]. Il décrit un petit inductancemètre à monter soi-même dont la gamme de mesure va de quelques dizaines de nH à environ 10 mH. Un programme PC

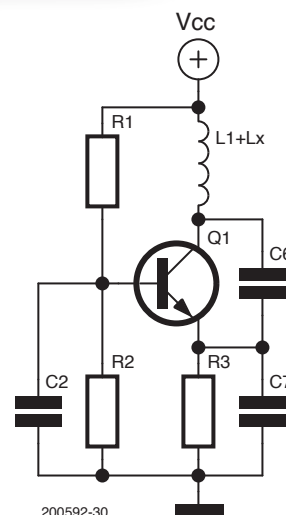


Figure 1. Le circuit réservoir LC détermine la fréquence de l'oscillateur de Colpitts.

Windows récupère la valeur de l'inductance par *USB* pour l'afficher. Je trouvais cette approche assez intéressante, mais je voulais plutôt un appareil autonome. Je remercie vivement l'auteur qui a partagé son travail et je me suis basé sur celui-ci pour développer le mien.

Principe de fonctionnement

Le principe de l'inductancemètre est assez simple. L'inductance inconnue est insérée dans le circuit LC d'un oscillateur. En mesurant sa fréquence, on peut déterminer la valeur de l'inductance inconnue.

Un oscillateur LC peut être construit de nombreuses façons. Il s'agit ici d'un oscillateur de *Colpitts* (voir **fig. 1**). Il se base sur un étage amplificateur à transistor en base commune (Q1) (entrée sur l'émetteur, sortie sur le collecteur). Sans entrer dans le détail du fonctionnement de cet oscillateur, la formule de *Thomson* (alias *Lord Kelvin*) donne la fréquence de sortie :

$$f = 1 / (2\pi \sqrt{LC})$$

En isolant L , on obtient :

$$L = 1 / (4\pi^2 f^2 C)$$

C est ici constitué de $C6$ et $C7$ en série et donc :

$$C = (C6 \times C7) / (C6 + C7)$$

La valeur de ces condensateurs est connue, mais, pour plus de précision, je les ai mesurés avec mon capacimètre. Il suffit d'entrer C et la fréquence mesurée dans la formule donnant L pour trouver sa valeur. Je recommande d'utiliser des types *MKT* à 5 %.

Schéma de principe

Le schéma de l'inductancemètre est présenté à la **figure 2**. Comme je n'avais pas besoin d'interface USB, j'ai remplacé le μ contrôleur *PIC18F2550* d'origine [1] par un *PIC18F252* et ajouté un écran *LCD* de 2 lignes de 16 caractères. La valeur de certains composants a été déterminée par ceux dont je disposais.

Note sur $C5$: ce condensateur provient du schéma d'origine [1]. Il a une légère influence sur la fréquence de l'oscillateur. Du point de vue courant alternatif, il est en parallèle sur ($C5$ - $C6$) et donc, la formule pour calculer C devient :

$$C = C5 + [(C6 \times C7) / (C6 + C7)]$$

$C5$ doit être de la même précision et qualité que $C6$ et $C7$.

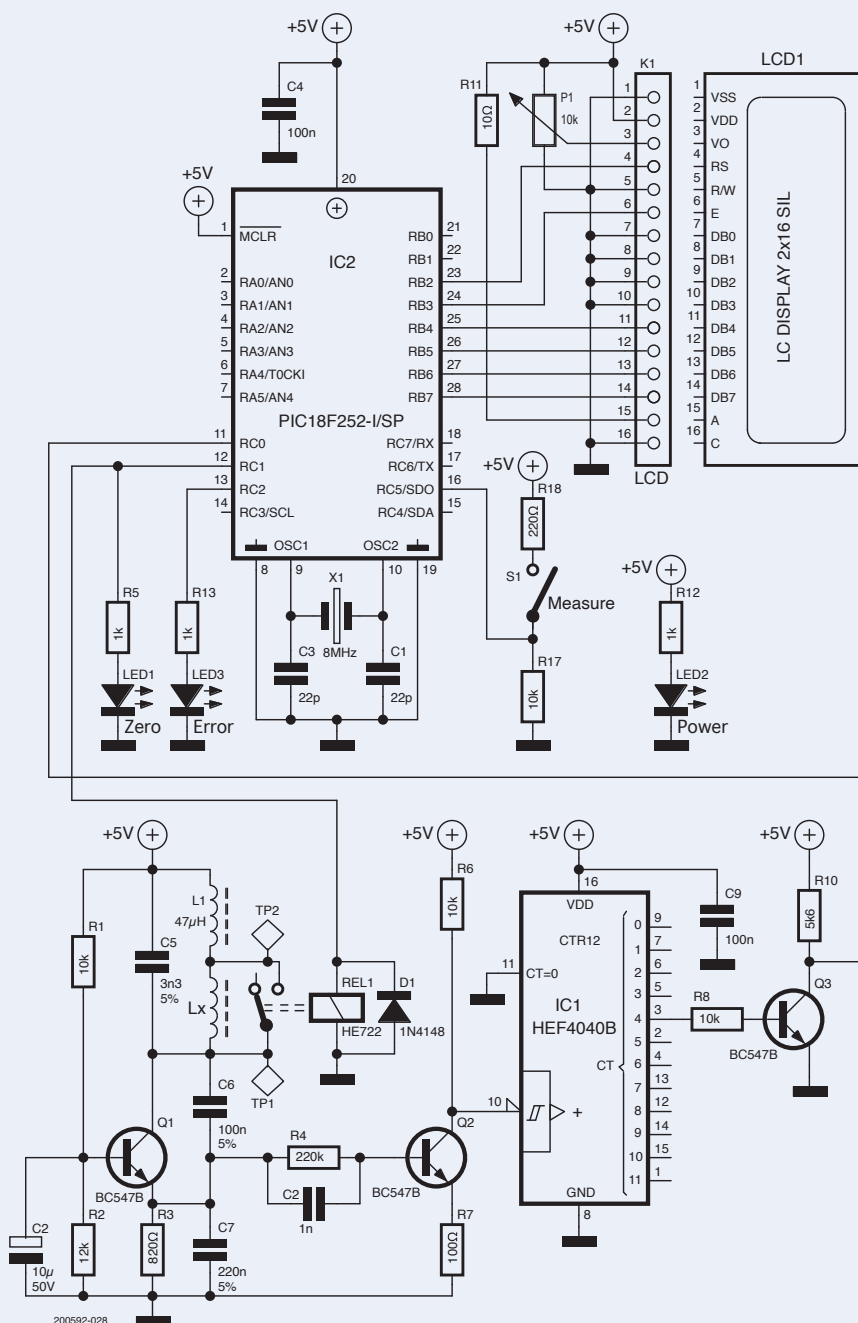


Figure 2. Un prédiviseur (IC1) réduit la fréquence de l'oscillateur fixée par Lx à une valeur acceptable par le μ contrôleur (IC2).

Avec la valeur de mes composants et Lx court-circuitée (relais, voir ci-après), la fréquence théorique de l'oscillateur est de 83,821 kHz (86,488 kHz avec des composants idéaux). À l'oscilloscope, j'obtiens une fréquence de 88,652 kHz, soit une différence de 5,4 %.

Tous les calculs sont effectués par le μ contrôleur. Il mesure la fréquence de l'oscillateur sur le port RC0. Il faut auparavant réduire cette fréquence pour la ramener à une valeur qu'il peut mesurer. Un compteur binaire de type 4040 (IC1) s'en charge. Il divise la fréquence par 32. J'avais en stock un *HEF4040B* que j'ai utilisé pour IC1, mais un *74HCT4040* convient aussi.

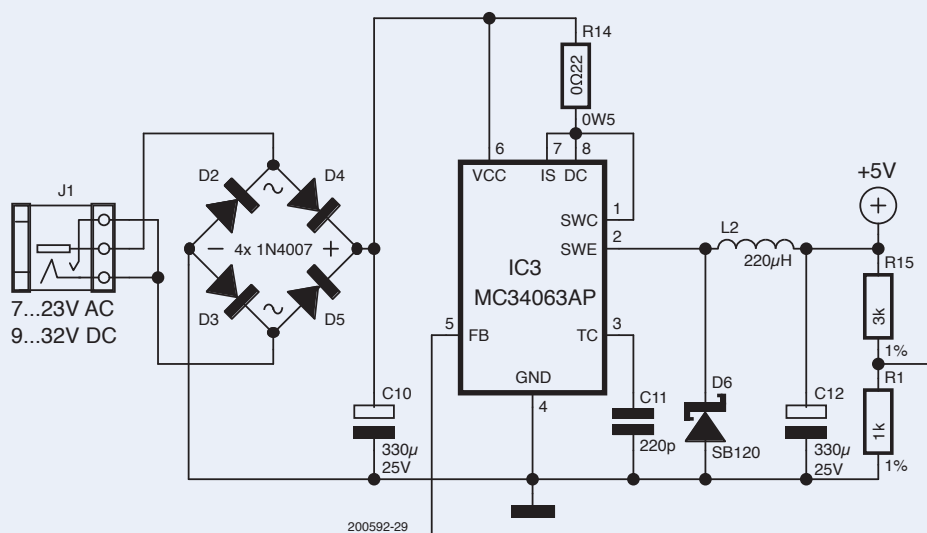


Figure 3. L'alimentation à découpage couvre une vaste plage de tension d'entrée.

L1 et le relais

Pour que l'oscillateur démarre quelle que soit la valeur de l'inductance inconnue L_x , une autre inductance L_1 est placée en série avec celle-ci. Quand on effectue une mesure, la fréquence de l'oscillateur est déterminée par la somme de ces deux inductances. Cependant, seule L_x nous intéresse. Le logiciel effectue d'abord une mesure avec L_x en court-circuit. Cette valeur est donc la référence zéro. Elle est mémorisée puis utilisée pour calculer la valeur de L_x .

Alimentation électrique

Un MC34063 (IC3) monté en régulateur *buck* à découpage fournit la tension d'alimentation convenable de +5 V (**fig. 3**). La source d'alimentation CA/CC à l'entrée du circuit est redressée puis filtrée par le condensateur C10 avant d'entrer dans IC3. Le redresseur D2 à D5 permet l'alimentation en courant alternatif (CA) et en courant continu (CC) de polarité quelconque. Ainsi, l'appareil accepte à son entrée des tensions de 7 à 23 V_{AC} ou de 9 à 32 V_{CC}. La fréquence de découpage est voisine de 30 kHz. Le circuit complet ne consomme que 35 mA. Comme l'alimentation peut fournir jusqu'à 1,2 A, elle est très largement dimensionnée. La broche centrale du connecteur d'alimentation a un diamètre de 2 mm, compatible avec de nombreux adaptateurs standard.

Micrologiciel

J'ai écrit un petit programme en mikroC [2] qui, comme l'original, permet la mesure de toute inductance, et affiche sa valeur (en nH, μ H ou mH) sur le LCD. La sélection de la plage de mesure est automatique. La mesure de la valeur de L_x se fait en deux étapes :

1. Étalonnage du zéro de mesure (relais fermé, **fig. 4**).
2. Mesure avec affichage de la valeur calculée.

Le programme lance le comptage du *Timer1* du MCU au premier front montant sur RC0 ; il s'arrête au bout d'une seconde (contrôlé par *Timer0*). La valeur de *Timer1* représente alors la fréquence du signal présent en entrée. Le processeur effectue les calculs nécessaires pour déterminer la valeur de L1 (étape 1) ou de Lx (étape 2). L'écran LCD affiche l'état du processus. Pendant l'étape 1, la LED jaune

(LED1, Zero) s'allume. Si l'inductance inconnue n'est pas connectée, le message « aucune bobine détectée » s'affiche et la LED rouge (LED3, Error) s'allume. Dans ce cas, vérifiez la connexion et recommencez la séquence de mesure en appuyant sur le bouton-poussoir.

L'utilisation du système est simple et agréable car tout est automatique. Il n'y a qu'à appuyer brièvement (environ 0,5 s) sur le bouton-poussoir connecté à RC5 pour, au besoin, relancer la mesure. Une flèche apparaît sur l'écran pour indiquer une nouvelle mesure.

Réalisation pratique

Une fois le prototype validé, j'ai conçu son circuit imprimé en double face [2]. Il peut être inséré dans un boîtier *Multicomp MCRH3135* (fig. 5). Votre œil d'expert aura remarqué la petite taille des pastilles. Elles font pour la plupart 1,4 mm de Ø avec un trou de 0,8 mm. Pour le montage, je recommande donc soit d'utiliser un bon fer à souder miniature, soit de redessiner votre circuit imprimé.

Malgré mes efforts pour dessiner un circuit imprimé sans erreur, deux problèmes sont apparus au montage car

- j'avais omis de vérifier dimensions et forme des plots du connecteur d'alimentation J1. Si vous utilisez le même modèle que moi, et que vous ne modifiez pas le dessin, corrigez l'erreur avec un outil de type *Dremel* (**fig. 6**). Cependant, les soudures ne maintiendront pas suffisamment le connecteur, collez-le ensuite sur la carte.
- Il n'y a pas de connecteur *ICSP* pour la programmation en place de la MCU, ce qui n'est pas très pratique. Il est toutefois possible de programmer le MCU *en le retirant de la carte* et en le plaçant sur une plaque d'essai ou de prototypage.

L'écran LCD est monté sur une barrette simple rangée à 16 voies, et fermement fixé au circuit imprimé à l'aide de quatre entretoises en nylon M3 x 10 mm et de vis et écrous appropriés.

Les circuits intégrés sont montés sur supports, ce qui, pour le μ contrôleur, n'est nécessaire que si vous voulez pouvoir le reprogrammer. Pour éviter les capacités et inductances parasites



Figure 4. Pour assurer une bonne précision, chaque mesure est effectuée en deux étapes. On voit ici l'étape 1, la séquence d'étalonnage du zéro.

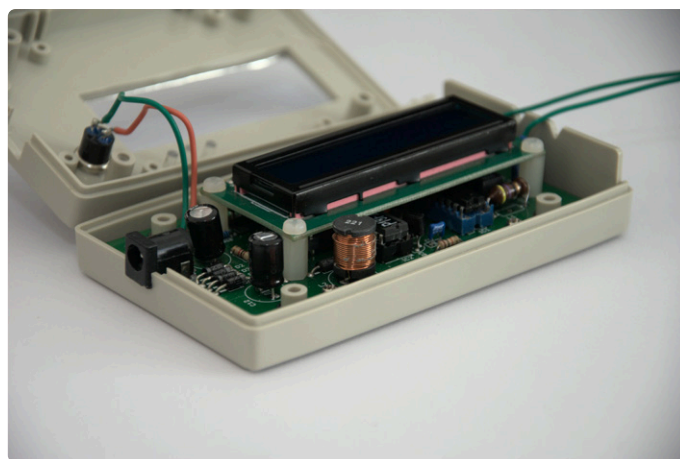



Figure 5. Le boîtier est tout à fait adapté au circuit imprimé de l'inductancemètre.

indésirables, mieux vaut souder le relais directement sur la carte. Les trois LED sont soudées presque au ras de la carte, et des guides de lumière (fibre optique) améliorent leur visibilité. Le fichier binaire produit par le compilateur doit être transféré dans la mémoire flash du μ contrôleur avec un programmeur tel que le *PICKit3*.

Après avoir dessiné la face avant avec l'outil gratuit *Front Panel Designer* [2][3], je l'ai imprimée sur une feuille d'aluminium autocollante (3M) avec mon imprimante laser. Le résultat est propre, mais la découpe et le positionnement avant collage sont un peu délicats.

Détails et finitions

Mieux vaut garder les connexions entre l'appareil et l'inductance L_x aussi courtes que possible car leurs capacités et inductances parasites engendrent une erreur de mesure. Mes cordons de test sont des fils multibrins de 12 cm et $0,2 \text{ mm}^2$ terminés par un crochet. Comme pour tout instrument de mesure, stabilisez-le en température en l'allumant quelques minutes avant de commencer les mesures. 

200592-04 – VF : Yves Georges

Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (pleguen@gmail.com) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

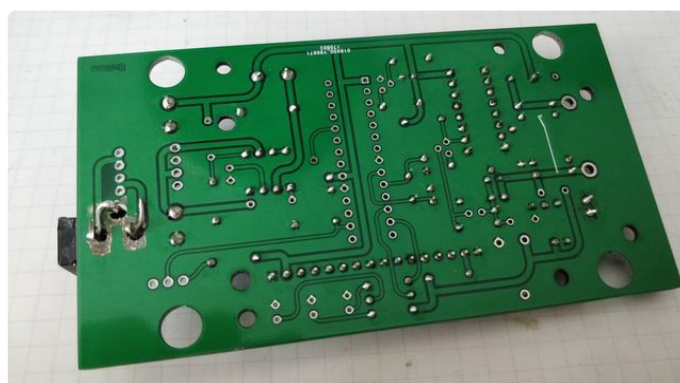


Figure 6. « Errare humanum est », modification du circuit imprimé pour l'adapter à l'empreinte exacte de la prise d'alimentation.



PRODUITS

- LCR-mètre 2 MHz d'Elektor
www.elektor.fr/19883
- DT71, pincette de mesure numérique de Miniware
www.elektor.fr/19422
- Livre « Les microcontrôleurs PIC pour les débutants », R. Mallard, Elektor, ISBN 9782866611931
www.elektor.fr/15959

LIENS

- [1] Inductancemètre DIY : http://kudelsko.free.fr/inductance_usb/sommaire.htm
 [2] Téléchargements sur la page de ce projet, Elektor Labs : www.elektormagazine.fr/labs/autonomous-inductance-meter
 [3] Conception de face avant : www.frontpanelexpress.com/