

*RETRO-F.T.*

**ETUDE ET REALISATION  
D'UN INDUCTANCEMETRE -  
CAPACIMETRE**



*UNE RÉALISATION DE MONSIEUR  
FRANCIS THOBOIS.*



## AVANT-PROPOS :

Nous allons voir aujourd'hui l'étude et la réalisation d'un appareil de mesure pouvant rendre de nombreux services dans notre atelier d'amateur. Il s'agit d'un l'Inductancemètre – Capacimètre ; le **LCF1**

La construction est facilement réalisable par un amateur soigneux. Il propose des caractéristiques de bonne qualité, à savoir :

- *Mesure des inductances de 0,1  $\mu$ H à 100 mH.*
- *Mesure des condensateurs de 1 pF à 0,1  $\mu$ F.*
- *Précision sur les mesures = 3%.*

Pour les composants, que du classique, ils sont trouvables chez tous les revendeurs d'électronique. Les bobines peuvent être commandées chez Électronique Diffusion (voir références dans la liste des composants)

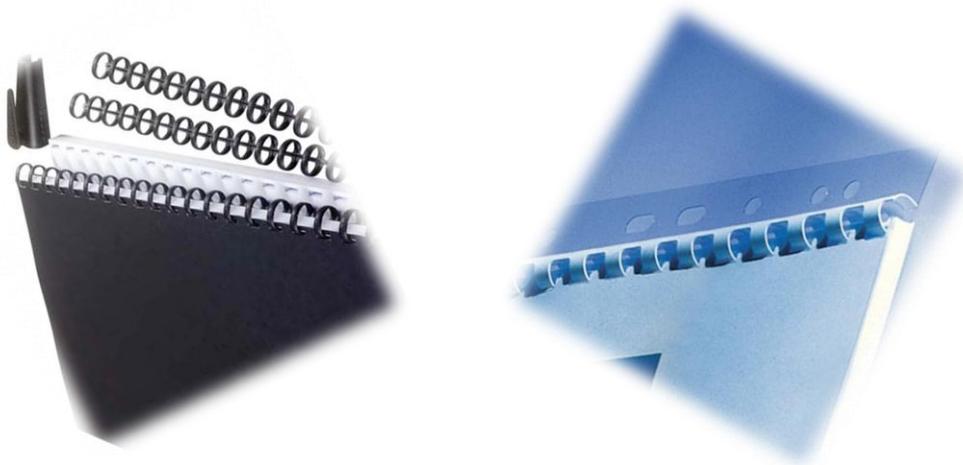
L'article qui suit est tiré de la revue **LE HAUT-PARLEUR** n° 1707. (Année août 1984)

### Remarques importantes :

Le présent document est au format .pdf, il doit être imprimé en « recto – verso » et surtout en "Taille réelle" (et non dans un autre format, au risque de perdre les dimensions exactes des circuits imprimés).

La première feuille contient une partie blanche, c'est le verso de la couverture.

Il pourra être assemblé par agrafage ou mieux, avec peignes en plastique (qui permet une lecture plus aisée) comme ci-dessous :

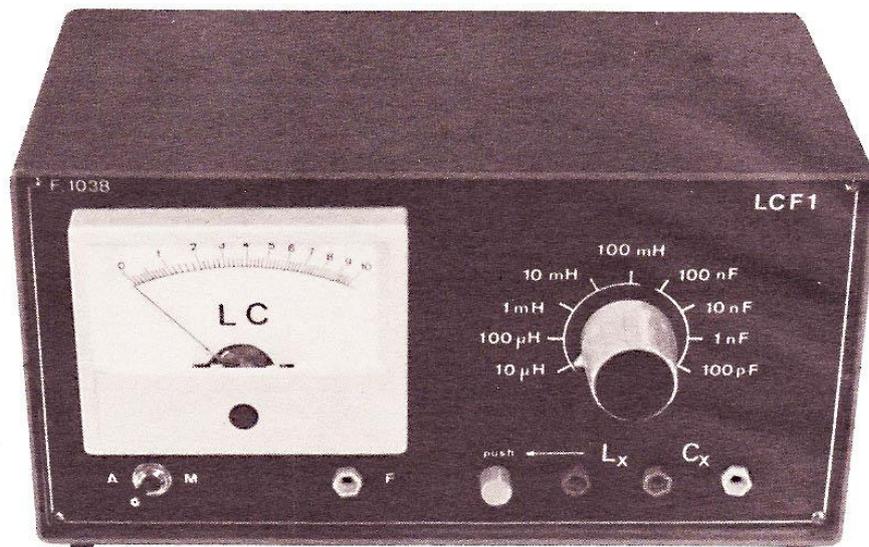


Bon travail et bonne lecture.

DEMONT Bernard.



# RÉALISONS NOS APPAREILS DE MESURE



## RÉALISEZ UN INDUCTANCEMÈTRE/CAPACIMÈTRE

*Il est de notoriété publique que la manipulation des inductances n'est pas appréciée par les amateurs ! On peut évidemment se demander pourquoi !*

*La réponse à cette question est multiple ! En premier lieu, les inductances sont des composants mal distribués. On ne trouve pas une inductance comme une banale résistance 1/4 ou 1/2 W. La situation actuelle est meilleure cependant qu'elle ne l'était il y a quelques années. Quelques fournisseurs, plus efficaces que d'autres qui ne songent qu'à distribuer de l'ultra-classique, ont mis une gamme de valeurs d'inductances à leur catalogue. Mais, reconnaissons-le, c'est l'exception et par ailleurs, l'inductance commerciale est chère !*

*En second lieu, les inductances sont assez délicates à réaliser, Elles sont tout de même réalisables, ce qui n'est pas le cas des résistances dont nous parlons ci-dessus. Toutefois, la fabrication personnelle des inductances nécessite un matériel convenable ; petite machine à bobiner, rudimentaire le cas échéant, supports de bobinages (mandrins divers) et fils (de divers diamètres et de diverses qualités). Il faut donc un petit équipement de base, moyennant quoi, les choses commencent à s'arranger !*

*En troisième lieu, les inductances se mesurent très difficilement ! Le contrôleur universel n'a pas de gamme inductancemètre alors qu'il mesure si bien nos fameuses résistances.*

*Et voilà pourquoi l'inductance reste la bête noire des amateurs !*

*L'article qui suit ne prétend pas éliminer toutes les difficultés évoquées mais simplement résoudre en grande partie le troisième point ! À savoir la mesure des inductances. C'est d'ailleurs finalement le point essentiel car à partir du moment où la mesure est possible, la réalisation s'éclaire d'une dimension nouvelle et la crainte d'échouer s'estompe. L'amateur qui peut contrôler la bonne exécution de son travail est encouragé à l'entreprendre !*

L'appareil que nous vous proposons de construire aujourd'hui vous permettra de mesurer les inductances de 0,1  $\mu\text{H}$  à 100 mH directement et au-delà de 100 mH indirectement.

Accessoirement, mais c'est sans doute moins important, il mesure les condensateurs de 1 pF à 0,1 µF.

L'appareil peut être autonome et indique directement le résultat de la mesure. Il comporte alors son propre galvanomètre dont l'échelle est à redessiner. Il peut être également associé, pour des raisons évidentes d'économie, à un contrôleur universel dont il utilise alors le galvanomètre. Dans ce cas il faudra simplement faire usage d'une table de conversion que vous trouverez dans les pages de cet article.

Dans tous les cas, une précision de 3 % peut être obtenue sans aucune difficulté, ce qui est largement suffisant pour les besoins courants de la pratique de l'amateur !

La fourchette des valeurs directement mesurables couvre très bien les valeurs les plus utilisées. En effet les inductances s'emploient surtout dans les montages HF et VHF. Il s'agit alors de mesurer des valeurs relativement faibles, tombant parfaitement dans les gammes de l'appareil décrit. La valeur minimum mesurable de 0,1 µH correspond à l'inductance qui, associée à une capacité de quelque 10 pF, résonne sur un peu moins de 200 MHz !

L'amateur de HF et de VHF pourra ainsi parfaitement mesurer les bobines qu'il utilise !

Nous terminerons cette introduction en précisant que le **LCF1**, puisque c'est le nom du montage que nous vous proposons, est une réalisation très simple, dont le prix de revient est fort bas, puisque n'utilisant que des composants très ordinaires. Compte tenu du fait que l'auteur vous propose un service spécial de fourniture des inductances de références et un service d'étalonnage, après coup, nous pensons que vous auriez grand tort de ne pas réaliser ce montage ... à moins que vous ne disposiez d'un super-inductancemètre numérique, auquel cas terminez ici la lecture de cet article et passez à autre chose !

## I. Étude du schéma (voir fig. 1)

Le montage n'est pas nouveau pour les lecteurs assidus de nos articles, nous l'avons déjà utilisé lors de la réalisation des adaptateurs du fréquencemètre **TFX3**. Toutefois dans ce cas, nous disposons du fréquencemètre et de sa fonction ratiomètre A/B. L'obtention du résultat s'obtenait par l'intermédiaire d'un petit calcul. Rappelez-vous !

$$L_x = 10 (A/B)^2 - 10 \\ \text{en } \mu H.$$

Bien sûr, si vous possédez déjà le **TFX3** et ses adaptateurs, vous allez aussi nous quitter maintenant, à moins que l'étude théorique qui suit ne vous intéresse ! Mais nous repartons maintenant en prenant l'hypothèse que nos lecteurs sont des amateurs démunis de tout moyen de mesure des inductances et qu'ils voudraient bien sortir de cette fâcheuse situation. Un peu de patience et ce sera chose faite !

Voyons donc ce fameux schéma ! Il comporte en fait trois parties, même si celles-ci ne sont pas directement visibles dans la figure !

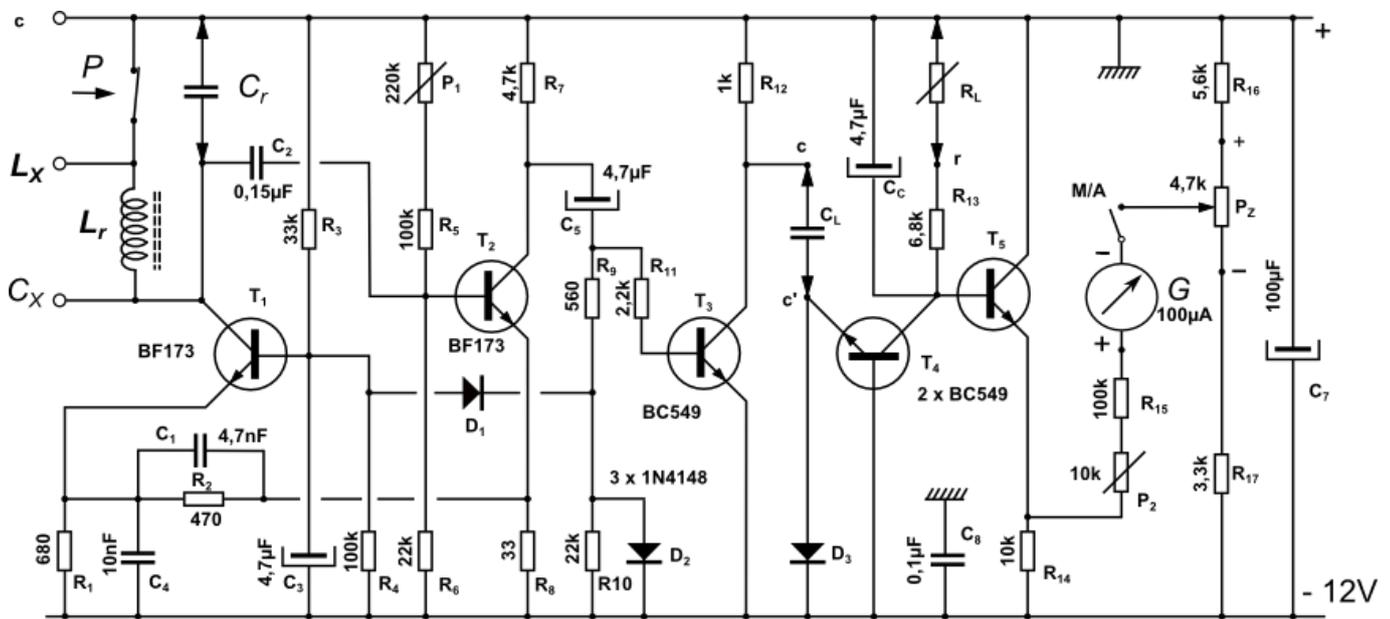


Fig. 1 – Schéma du LCF1.

### 1. L'oscillateur :

C'est le cœur du montage ! Un fameux oscillateur d'ailleurs. En effet, il oscille parfaitement avec des inductances allant de 10 µH à 100 mH ! Sa fréquence de repos passe ainsi de 500 kHz à 5 kHz environ ! Tout cela avec le même condensateur d'accord de 10 nF ! Pas mal n'est-ce pas ! D'autant que de surcroît, l'amplitude de sortie est quasi constante.

Rendons d'ailleurs à César, ce qui lui appartient ! Le montage a été tiré d'une note d'application de ITT.

L'oscillateur comporte deux étages : T<sub>1</sub> et T<sub>2</sub>. Le circuit accordé est inséré dans le collecteur de T<sub>1</sub>, monté simplement en amplificateur, avec polarisation de repos, fixée par R<sub>3</sub> et R<sub>4</sub>. Ce premier étage est relié à l'étage suivant par le condensateur de couplage C<sub>2</sub>. Cet étage amplifie donc les signaux issus de T<sub>1</sub>. Les signaux amplifiés sont disponibles sur le collecteur de T<sub>2</sub> et sur son émetteur. Un couplage émetteur de T<sub>1</sub> /émetteur de T<sub>2</sub> est alors réalisé par R<sub>2</sub> et C<sub>1</sub>.

Imaginons que le potentiel de l'émetteur de T<sub>1</sub> monte (voir fig. 2). La base de T<sub>1</sub> étant à potentiel fixe, la ddp entre l'émetteur et la base tend donc à diminuer (la base étant normalement plus positive que l'émetteur, pour un NPN), ce qui provoque une diminution du régime de T<sub>1</sub>, soit une baisse de son courant collecteur et donc une montée de la tension collecteur. Cette montée est transmise à la base de T<sub>2</sub> et se retrouve dans le **même sens** sur son émetteur où elle est réinjectée sur celui de T<sub>1</sub>, **renforçant** ainsi l'action de la montée initiale imaginée !

Ce phénomène bien connu de **réaction** entraîne inéluctablement une entrée en oscillation de l'ensemble T<sub>1</sub>/T<sub>2</sub>.

C'est évidemment ce que nous voulions. Cette oscillation est pilotée par le circuit LC inséré dans le collecteur de T<sub>1</sub>. Aux bornes de L<sub>r</sub>, le signal est parfaitement sinusoïdal. Voir photo G.

La fréquence est donnée par la célèbre formule de Thomson :

$$F = 1/6,28\sqrt{L_r C_r}$$

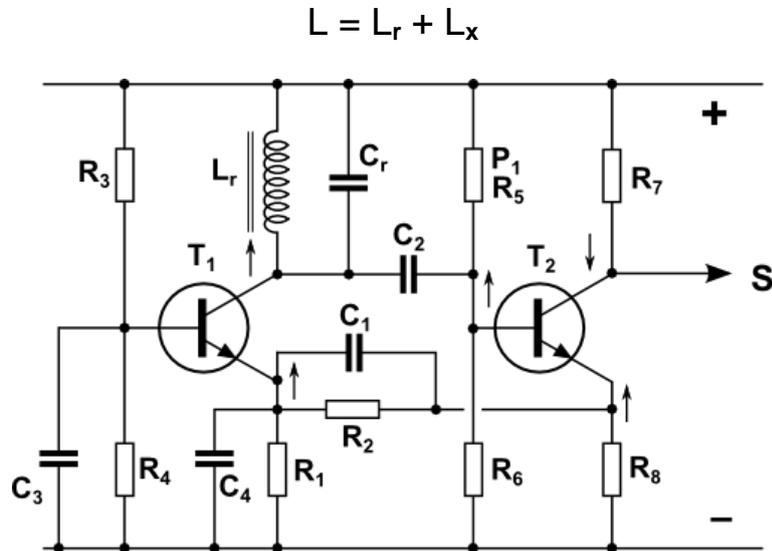
Ainsi, si L<sub>r</sub> = 10mH et C<sub>r</sub> = 10nF on a :

$$F = 1/6,28\sqrt{10 \cdot 10^{-3} \times 10 \cdot 10^{-9}} \approx 503\text{kHz}$$

Si  $L_r = 100\text{mH}$  et  $C_r = 10\text{nF}$  on a :

$$F = 1/6,28\sqrt{100 \cdot 10^{-3} \times 10 \cdot 10^{-9}} \approx 5,03\text{kHz}$$

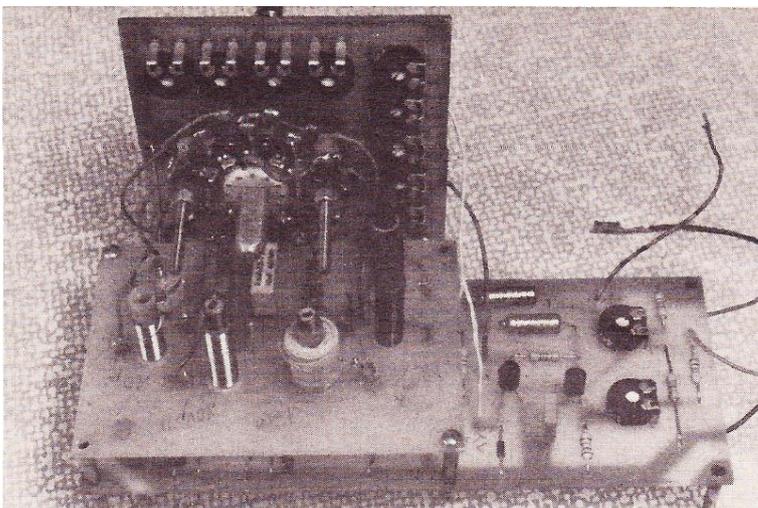
Disons tout de suite pour répondre à l'attente du lecteur, que la mesure de l'inductance inconnue se fait en la plaçant en série avec  $L_r$ , comme on le voit en figure 5. Dans ces conditions, l'inductance pratique de l'oscillateur est :



**Fig. 2 – détail de l'entrée en oscillation.**

Elle est donc augmentée, ce qui corollairement va diminuer la fréquence. Cette diminution de fréquence est détectée, mesurée et envoyée dans le cadre du galvanomètre qui indique la valeur de  $L_x$ . Une petite prouesse faite avec quelques composants ! Voir figure 1. Nous vous en donnerons plus loin l'explication mathématique. Mais revenons à notre oscillateur !

Peut-être imaginez-vous que le montage va réagir différemment en face de conditions aussi différentes qu'osciller à 5kHz et à 500kHz ! Vous avez alors raison ! Le gain dynamique du système dépend essentiellement du coefficient de surtension de l'ensemble  $L_r/C_r$ , vous devez vous en douter !



**Photo A. – Ensemble de l'électronique du LCF1. Au moment de ces photos, le potentiomètre de zéro était encore monté sur la platine A.**

Comme le passage d'un extrême à l'autre se fait en 5 gammes (pour l'inductancemètre), on imagine sans peine 5 coefficients de surtension différents et donc 5 niveaux de sortie également

différents, d'où grosses difficultés d'interprétation des résultats, sans parler même des risques, soit d'oscillations déformées, par excès de gain, ou d'arrêt de l'oscillateur, par gain insuffisant !

Un circuit de régulation s'avère donc indispensable. Pour ce faire, les tensions de sortie collecteur de  $T_2$  sont prélevées par  $R_9$  et détectées par  $D_2$ . Une tension négative apparaît à ses bornes, tension d'autant plus forte que le signal de sortie est fort. Cette tension est appliquée, via  $D_1$  à la base de  $T_1$ . Il s'ensuit une diminution du régime de ce transistor d'où réduction du niveau d'oscillation. Il s'agit cette fois d'un phénomène bien connu, lui aussi, de contre-réaction. Notons le fort découplage de la base de  $T_1$  par  $C_3$  éliminant toute trace d'alternatif et garantissant la contre-réaction uniquement sur le **niveau moyen** du signal et non sur la forme de ce signal !

Le signal utile étant prélevé sur le collecteur de  $T_2$  est affecté par cet effet de contre-réaction. Bien sinusoïdal sur le collecteur de  $T_1$ , il est à forme très caractéristique sur celui de  $T_2$ . Voir les oscillogrammes. La résistance ajustable  $P_1$  permet de choisir le régime de  $T_2$  pour une oscillation convenable dans toutes les gammes, avec une forme d'onde la plus symétrique possible.

## 2. Le fréquencemètre :

Un bien grand mot pour la seconde partie du montage construite avec  $T_3$  et  $T_4$ , mais cela correspond pourtant bien à la réalité des choses. Le transistor  $T_3$  est alternativement conducteur puis bloqué au rythme de l'oscillateur  $T_1/T_2$ . Le condensateur  $C_L$  est alors successivement chargé et déchargé à ce rythme. Si  $T_3$  est bloqué,  $C_L$  se charge à travers  $R_{12}$  et  $D_3$ .  $T_4$  est bloqué. Si  $T_3$  est saturé,  $C_L$  se décharge à travers  $T_3$  et la jonction de base de  $T_4$ , le rendant conducteur. Il s'ensuit des impulsions de courant dans le collecteur de  $T_4$ , au rythme de l'oscillateur. Le condensateur  $C_6$  intègre ces impulsions et fournit sur le collecteur de  $T_4$  une **tension moyenne** proportionnelle à la fréquence de l'oscillateur. On a ainsi :

$$V = k R_L C_L F.$$

Bien entendu, chaque gamme comporte son propre couple  $R_L C_L$ , permettant de retrouver la même tension  $V$  malgré la modification de  $F$ , qui passe, il faut se le rappeler, de 5 à 500 kHz ! Puisque la mise en série de  $L_x$  avec  $L_r$  réduit la fréquence de l'oscillateur, on va constater que  $V$  diminue également. Il suffit maintenant de mesurer  $V$  sur le collecteur de  $T_4$ .

## 3. Le pont de mesure :

La troisième partie du montage va réaliser la performance ; traduire les variations de fréquence, donc de  $V$ , en mesure de  $L_x$  ! Nous allons poser tout d'abord les données du problème à résoudre.

Pour chaque gamme, nous voulons que :

- Au repos, le galvanomètre indique 0. L'oscillateur oscille alors à la fréquence déterminée par  $L_r$  seule ;

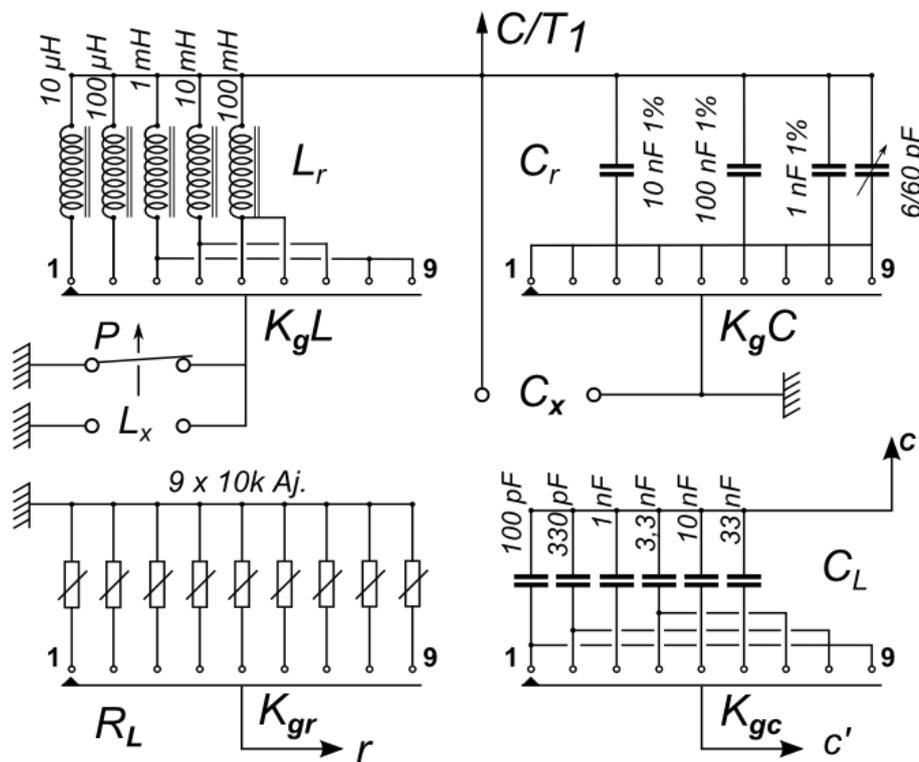
- En mesure, le galvanomètre indique la valeur de  $L_x$ , en donnant la pleine échelle pour le calibre considéré.

### Exemple :

Gamme 100  $\mu$ H :

- Repos :  $L_x = 0$ , lecture = 0 ;

- Mesure :  $L_x = 100 \mu$ H, lecture = 100 !



**Fig. 3 – schéma des commutations de gammes de 1 à 9 : 10μH ; 100μH ; 10mH ; 100mH ; 0,1μF ; 10nF ; 1nF ; 100pF.**

Voyons tout d'abord le repos ; la tension à mesurer  $V_z$  n'est pas nulle, puisque F ne l'est pas. On amène le galvanomètre à 0 en reliant le potentiel de retour du voltmètre construit avec  $G + R_{15} + P_2$ , non pas au - 12 V, mais à un potentiel intermédiaire  $U_c$ . Si l'on règle ainsi  $U_c = V_z$ , alors l'aiguille donnera le zéro !

Branchons maintenant une inductance  $L_x = 100 \mu H$ . L'aiguille dévie. Régions  $P_2$  pour lire 100 et le tour est joué !

Oui ... mais ! Hélas, la graduation n'est pas linéaire et, si l'aiguille indique - 50 -, cela ne fait pas 50  $\mu H$  ! Nous pourrions simplement vous donner l'équivalence point par point, sans explication supplémentaire. Mais ce serait dommage, car l'étude suivante ne manque pas d'intérêt !

Appelons  $v$  la déviation du voltmètre de sortie et rappelons que :

$$v = kF$$

( $k$  étant le produit de toutes les constantes d'une gamme donnée).

Mais ;

$$F = 1/6,28 \sqrt{(L_r + L_x) C_r}$$

Ce qui donne :

$$v = K \times 1 \sqrt{L_r + L_x}$$

Les autres facteurs, soit 6,28 et  $C_r$ , étant constants dans la gamme.

- Si  $L_x = 0$ , on a  $v = K/\sqrt{L_r}$

C'est donc la valeur de la contre tension à appliquer au voltmètre qui finalement mesurera :

$$v = K/\sqrt{L_r + L_x} - K/\sqrt{L_r} \quad (1)$$

NB. - Le lecteur peut vérifier que si  $L_x = 0$ , on a bien  $v = 0$ .

- Fin d'échelle.

L'inductance de référence  $L_r$  est égale, pour une gamme au calibre choisi. Ainsi, en gamme 100  $\mu\text{H}$ , on a :

$$L_r = 100 \mu\text{H}.$$

Rappelons que si  $L_x = 100 \mu\text{H}$ , on doit avoir la fin d'échelle. Dans ce cas  $L_r = L_x$  et :

$$\begin{aligned} v &= K/\sqrt{2 L_r} - K/\sqrt{L_r} \\ &= (K - K\sqrt{2}) / \sqrt{2 L_r} \end{aligned}$$

Affectons arbitrairement la valeur 100 à  $v$ , lors de la fin d'échelle.

d'où

$$(K - K\sqrt{2}) / \sqrt{2 L_r} = 100$$

et

$$K(1 - \sqrt{2}) = 100\sqrt{2 L_r}$$

$$K = 100\sqrt{2 L_r} / (1 - \sqrt{2})$$

Ce qui donne, lorsque le dénominateur a été rendu rationnel :

$$K = -100\sqrt{L_r} (\sqrt{2} + 2)$$

- En reportant cette valeur dans l'égalité (1), nous obtenons l'équation de déviation du voltmètre :

$$v = \frac{-100\sqrt{L_r} (\sqrt{2} + 2)}{\sqrt{L_r + L_x}} + \frac{100\sqrt{L_r} (\sqrt{2} + 2)}{\sqrt{L_r}}$$

Ou plus simplement :

$$v = \frac{-100\sqrt{L_r} (\sqrt{2} + 2)}{\sqrt{L_r + L_x}} + 100 (\sqrt{2} + 2)$$

En adoptant  $L_r = 100$ , nous allons obtenir la loi de variation de  $v$  en fonction de  $L_x$ , lorsque  $L_x$  varie de 0 à  $L_r$ , soit de 0 à 100.

$$v = \frac{-100 \times 10 (\sqrt{2} + 2)}{\sqrt{100 + L_x}} + 100 (\sqrt{2} + 2)$$

$$v = \frac{-3414}{\sqrt{100 + L_x}} + 341,4 \quad (2)$$

Les forts en maths n'auront pas de peine à tirer la loi réciproque, soit la valeur de  $L_x$  en fonction de  $v$  :

$$L_x = \left( \frac{3414}{314,4 - v} \right)^2 - 100 \quad (3)$$

La première loi (2) est utile pour tracer une échelle de remplacement pour le galvanomètre puisqu'il suffit de faire varier  $L_x$  de 0 à 100 pour savoir sur quelle graduation  $v$  se fixe l'aiguille. Au contraire, la loi (3) permet de connaître la valeur d'une inductance qui correspond à une valeur donnée de  $v$ . C'est ce qui se passe si vous utilisez un galvanomètre sans tracé spécial d'échelle, par exemple si vous utilisez celui du contrôleur universel.

Pour l'établissement des tables de conversion, nous avons fait travailler notre **Tavernier**. Les tables 1 et 2 vous donnent le résultat de ses efforts et des nôtres !

**TABLE 1**

*Valeurs de  $v$  en fonction de  $L_x$*

$L_x$	$v$								
0	0,0	20	29,7	40	52,9	60	71,5	80	86,9
1	1,7	21	31,0	41	53,9	61	72,3	81	87,6
2	3,4	22	32,3	42	54,9	62	73,2	82	88,3
3	5,0	23	33,6	43	55,9	63	75,0	83	89,0
4	6,6	24	34,8	44	56,9	64	74,8	84	89,7
5	8,2	25	36,0	45	57,9	65	75,6	85	90,4
6	9,8	26	37,3	46	58,9	66	76,4	86	91,1
7	11,4	27	38,5	47	59,8	67	77,2	87	91,7
8	12,9	28	39,6	48	60,8	68	78,0	88	92,4
9	14,4	29	40,8	49	61,7	69	78,8	89	93,1
10	15,9	30	42,0	50	62,6	70	79,6	90	93,7
11	17,4	31	43,1	51	63,6	71	80,3	91	94,4
12	18,8	32	44,2	52	64,5	72	81,1	92	95,0
13	20,2	33	45,4	53	65,4	73	81,8	93	95,7
14	21,6	34	46,5	54	66,3	74	82,6	94	96,3
15	23,0	35	47,6	55	67,2	75	83,3	95	96,9
16	24,4	36	48,7	56	68,1	76	84,1	96	97,5
17	25,8	37	49,7	57	68,9	77	84,8	97	98,2
18	27,1	38	50,8	58	69,8	78	85,5	98	98,8
19	28,4	39	51,8	59	70,7	79	86,2	99	99,4
20	29,7	40	52,9	60	71,5	80	86,9	100	100,0

Dans sa version complète, le LCF1 comporte 5 gammes de mesure des inductances :

- de 0 à 10  $\mu H$
- de 0 à 100  $\mu H$
- de 0 à 1 mH
- de 0 à 10 mH
- de 0 à 100 mH

Bien entendu, la même échelle, à un déplacement de virgule près, est valable pour les cinq gammes.

**TABLE 2****Valeurs de  $L_x$  en fonction de  $v$ .**

$v$	$L_x$								
0	0,0	20	12,8	40	28,3	60	47,2	80	70,6
1	0,6	21	13,5	41	29,2	61	48,2	81	71,9
2	1,2	22	14,3	42	30,0	62	49,3	82	73,2
3	1,8	23	15,0	43	30,9	63	50,4	83	74,6
4	2,4	24	15,7	44	31,8	64	51,5	84	75,9
5	3,0	25	16,4	45	32,7	65	52,6	85	77,3
6	3,6	26	17,2	46	33,6	66	53,7	86	78,7
7	4,2	27	17,9	47	34,5	67	54,8	87	80,1
8	4,9	28	18,7	48	35,4	68	55,9	88	81,5
9	5,5	29	19,4	49	36,3	69	57,1	89	83,0
10	6,1	30	20,2	50	37,3	70	58,2	90	84,4
11	6,8	31	21,0	51	38,2	71	59,4	91	85,9
12	7,4	32	21,8	52	39,2	72	60,6	92	87,4
13	8,1	33	22,5	53	40,1	73	61,8	93	88,9
14	8,7	34	23,3	54	41,1	74	63,0	94	90,4
15	9,4	35	24,2	55	42,1	75	64,2	95	92,0
16	10,1	36	25,0	56	43,1	76	65,5	96	93,5
17	10,8	37	25,8	57	44,1	77	66,7	97	95,1
18	11,4	38	26,6	58	45,1	78	68,0	98	96,7
19	12,1	39	27,5	59	46,1	79	69,3	99	98,4
20	12,8	40	28,3	60	47,2	80	70,6	100	100,0

Comme cela ne coûte presque rien, nous avons adjoint 4 gammes de mesure des condensateurs. On peut en effet noter que, comme tout le principe du système repose sur la formule de Thomson, dans laquelle les effets de L et C sont absolument identiques, tout ce qui est vrai pour L, l'est pour C !

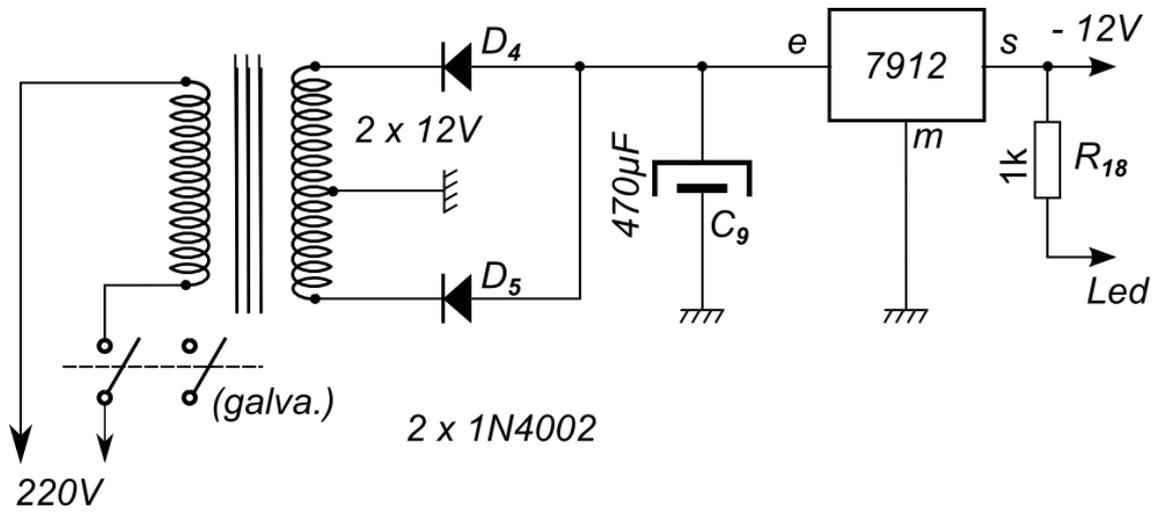
Le LCF1 mesure donc aussi :

- de 0 à 100 pF
- de 0 à 1 nF
- de 0 à 10nF
- de 0 à 100nF

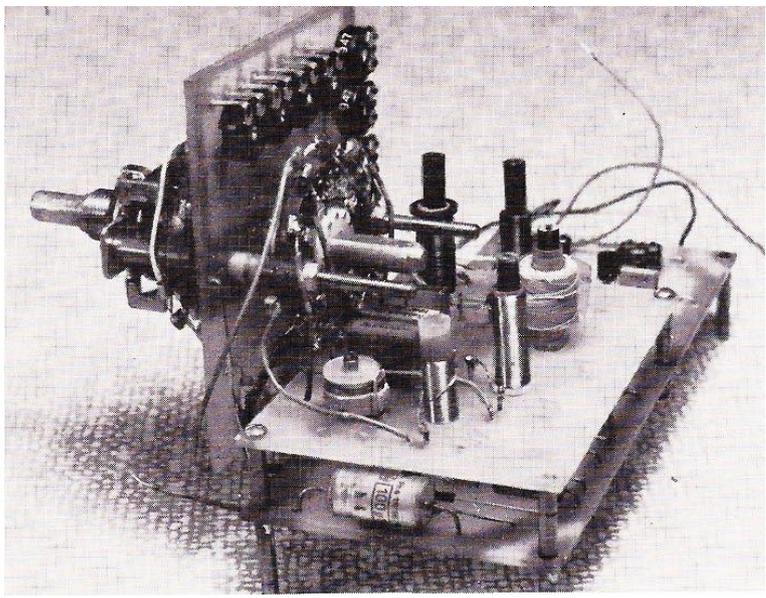
Au-delà, l'oscillateur pose des problèmes de fonctionnement. Nous verrons qu'à la rigueur, les mesures indirectes au-dessus de 100 mH et 100 nF sont possibles.

L'alimentation du LCF1 se fait en - 12 V, ce qui permet d'avoir les éléments mesurés côté masse. Le schéma de cette alimentation est donné en figure 4. On peut constater qu'il est simple et parfaitement classique. Un régulateur 7912 garantit une bonne stabilité de la tension fournie.

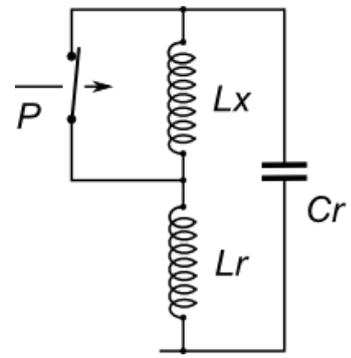
Un phénomène désagréable apparaît à l'arrêt de l'appareil ; le galvanomètre part en butée puis revient à 0. Cet effet a été bêtement supprimé en utilisant un tumbler à deux interrupteurs, l'un pour le secteur et l'autre pour ce galvanomètre, ce qui élimine radicalement le défaut en question !



**Fig. 4 – L'alimentation.**



**Photo B. – Les éléments  $L_r$  et  $C_r$ .**



$P$  fermé : Calibrage

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r C_r}}$$

$P$  ouvert : Mesure

$$f' = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_r + L_x)C_r}}$$

**Fig. 5 – Principe du LCF1.**

## II. Réalisation

### 1. Liste des composants :

2 x	BF173	R <sub>7</sub> :	4,7 kΩ
3 x	BC549 B ou C	R <sub>8</sub> :	33 Ω
3 x	1N4148	R <sub>9</sub> :	560 Ω
2 x	1N4002	R <sub>10</sub> :	22 kΩ
1 x	7912	R <sub>11</sub> :	2,2 kΩ
1 x	LED rouge de 3mm	R <sub>12</sub> :	1 kΩ
R <sub>1</sub> :	680 Ω	R <sub>13</sub> :	6,8 kΩ
R <sub>2</sub> :	470 Ω	R <sub>14</sub> :	10 kΩ
R <sub>3</sub> :	33 kΩ	R <sub>15</sub> :	10 kΩ
R <sub>4</sub> :	100 kΩ	R <sub>16</sub> :	5,6 kΩ
R <sub>5</sub> :	100 kΩ	R <sub>17</sub> :	3,3 kΩ
R <sub>6</sub> :	22 kΩ	R <sub>18</sub> :	1 kΩ
P <sub>1</sub> :	220 kΩ ajustable horizontal	P <sub>z</sub> :	4,7 kΩ genre P20 à la loi linéaire
P <sub>2</sub> :	10 kΩ ajustable horizontal	R <sub>I</sub> :	9 ajustables horizontaux de 10 kΩ
C <sub>1</sub> :	4,7 μF MKM	C <sub>6</sub> :	4,7 μF chimique 16 V
C <sub>2</sub> :	0,15 μF MKM	C <sub>7</sub> :	100 μF chimique 16 V
C <sub>3</sub> :	4,7 μF chimique 16 V	C <sub>8</sub> :	470 μF chimique 25 V
C <sub>4</sub> :	10 nF MKH	C <sub>aj</sub> :	6/60 pF RTC
C <sub>5</sub> :	4,7 μF chimique 16V		

### Divers :

- 1 jeu de circuits imprimés.
- 1 jeu de C et L de référence pour les gammes.
- 1 transfo 220 V/ 2 x 12 V, 3 VA à picots pour CI.
- 1 tumbler à double inverseur.
- 1 poussoir à contact repos ou 1 inverseur.
- 1 boîtier de dimensions minimum : 20 X 10 X 10cm.
- 1 galvanomètre 100 μA, démontable pour changement d'échelle.
- 1 commutateur de gammes comprenant 1 encliquetage AB adaptable, 2 galettes AB à 2 circuits et 9 positions.
- 2 boutons pour P, et commutateur.
- 1 fil secteur et fusible éventuel.
- 3 douilles bananes de 2 mm plus tube de laiton pour entretoises, visserie, fil de câblage...

Jeu de trois condensateurs C<sub>r</sub> à 1% disponibles chez **Selectronic** :

-	1	nF	réf.	13.2471
-	10	nF	réf.	13.6550
-	100	nF	réf.	13.6180

Ainsi que toutes les bobines chez **Électronique Diffusion** dans la série "SELF RADIALES" :

-	10	μH	réf.	HFSRA10UH
-	100	μH	réf.	HFSRA100UH
-	1	mH	réf.	HFSRA1MH
-	10	mH	réf.	HFSRA10MH
-	100	mH	réf.	HFSRA100MH

## Caractéristiques des bobines $L_c$ :

Toutes les bobines peuvent être réalisées sur mandrin de NEOSID, type K426C

- 10  $\mu\text{H}$  : 60 spires jointives de 15/100<sup>ème</sup> email. Noyau NEOSID.
- 100  $\mu\text{H}$  : 180 spires 15/100<sup>ème</sup> email en deux couches. Noyau NEOSID.
- 1 mH : 400 spires de 12/100<sup>ème</sup> soie en nid d'abeille. Noyau NEOSID.
- 10 mH : 850 spires 7/100<sup>ème</sup> email, en couches. Noyau FerroX 4 X 25 mm.
- 100 mH : 2500 spires 7/100<sup>ème</sup> email, en couches. Noyau FerroX 4 X 25 mm.

## 2. Réalisation des circuits imprimés :

Le LCF1 comporte quatre circuits imprimés :

- a) Le CI. **A** (figure 6). il supporte l'essentiel des composants du montage.
- b) Le CI. **B** (figure 7). Il porte les inductances et condensateurs  $L_r$  et  $C_r$ .
- c) Le CI. **C** (figure 8). il est monté sur le commutateur de gammes et porte les résistances ajustables R1 et les condensateurs C1.
- d) Le CI. **D** (figure 9). Sur lequel est montée l'alimentation.

Tous ces CI sont de préférence en époxy de 15/10<sup>ème</sup>, simple face, encore que la bakélite HF puisse convenir. Les tracés sont très simples, donc exécutables à la main ou par le procédé habituel ; Photocopie de l'original sur transparent, puis tirage sur époxy présensibilisé.

La gravure exécutée, procéder à l'étamage des pistes puis au perçage. En général, percer à 8/10<sup>ème</sup>. Les trous d'angles sont agrandis à 25/10<sup>ème</sup> pour recevoir les entretoises taillées dans du tube de laiton. On agrandira au diamètre convenable les trous des composants concernés ; résistances ajustables, gros condensateurs, transfo... . Les trous d'angles de B sont à percer à 20/10<sup>ème</sup>. Le CI d'alimentation reçoit 4 entretoises de 10 mm soudées aux angles. Le CI principal porte 6 entretoises : 2 longues de 33 mm, deux moyennes de 20 mm et deux courtes de 15 mm. Longues et courtes supportent en même temps le CI B tandis que les moyennes ne concernent que A. On pourra voir cela sur les photos proposées.

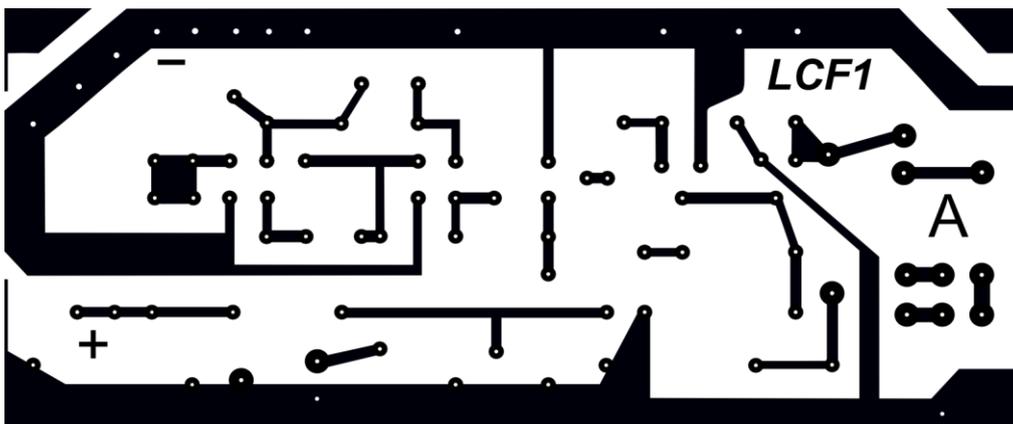


Fig. 6 – Circuit Imprimé principal A.

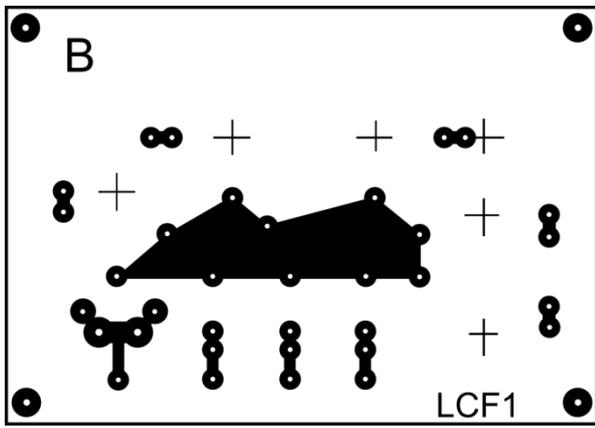


Fig. 7 – Circuit Imprimé B.

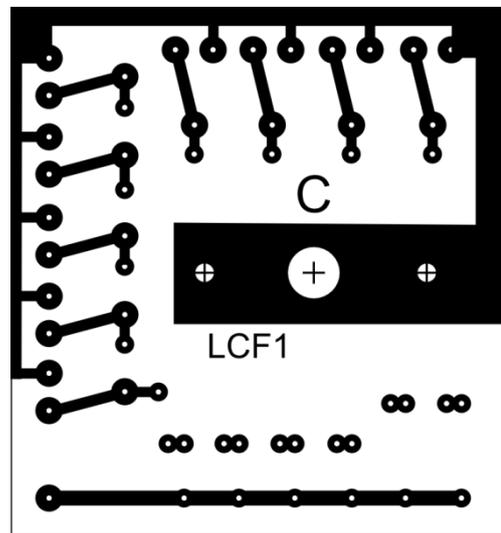


Fig. 8 – Circuit Imprimé C.

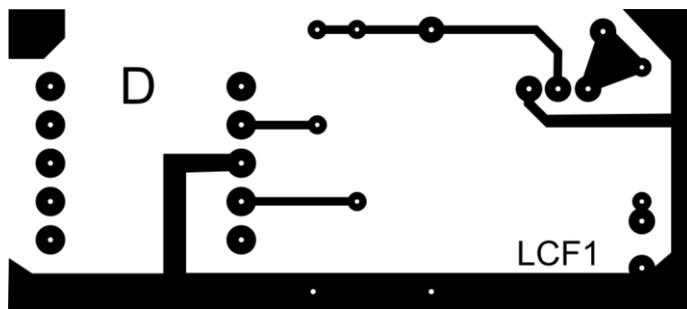


Fig. 9 – Circuit Imprimé de l'alimentation.

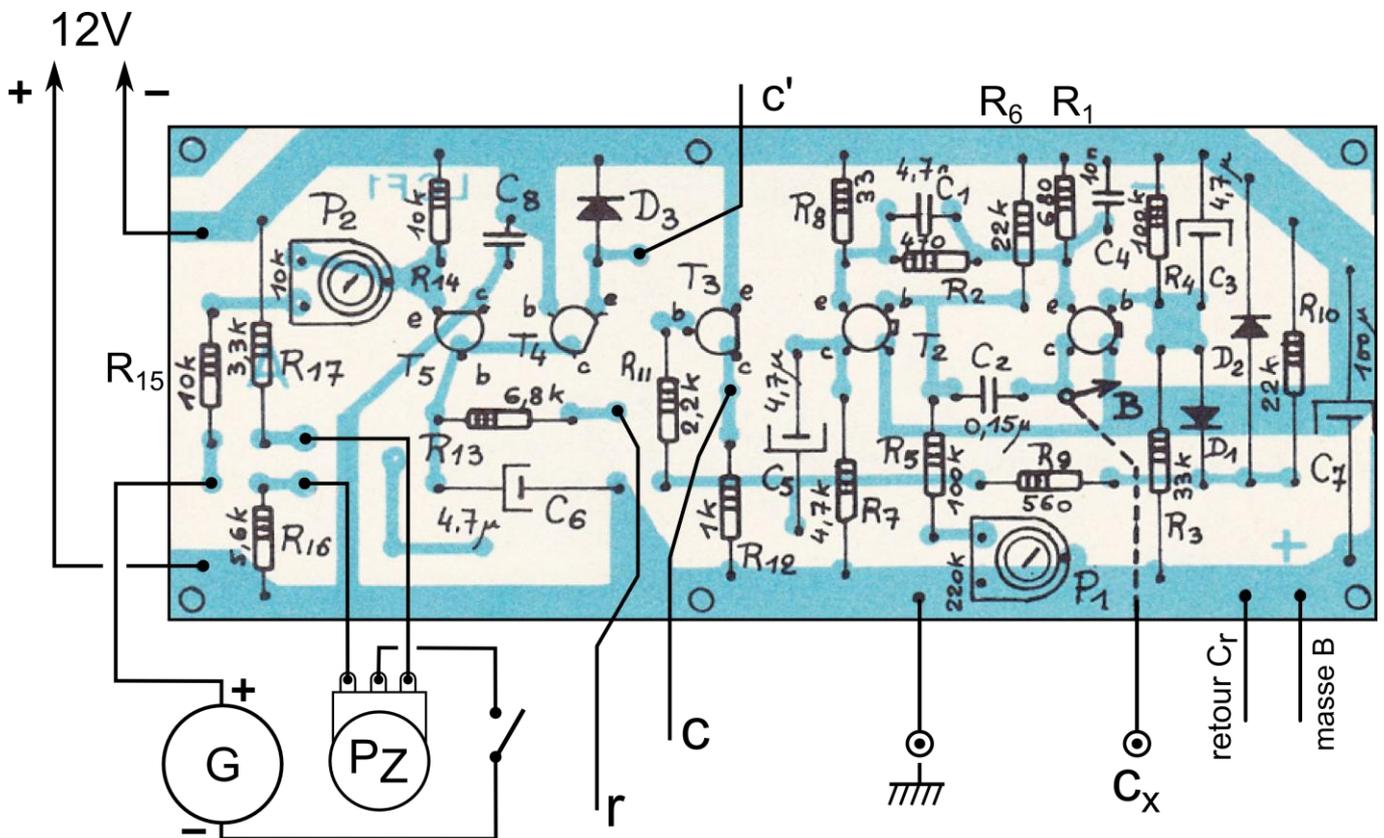
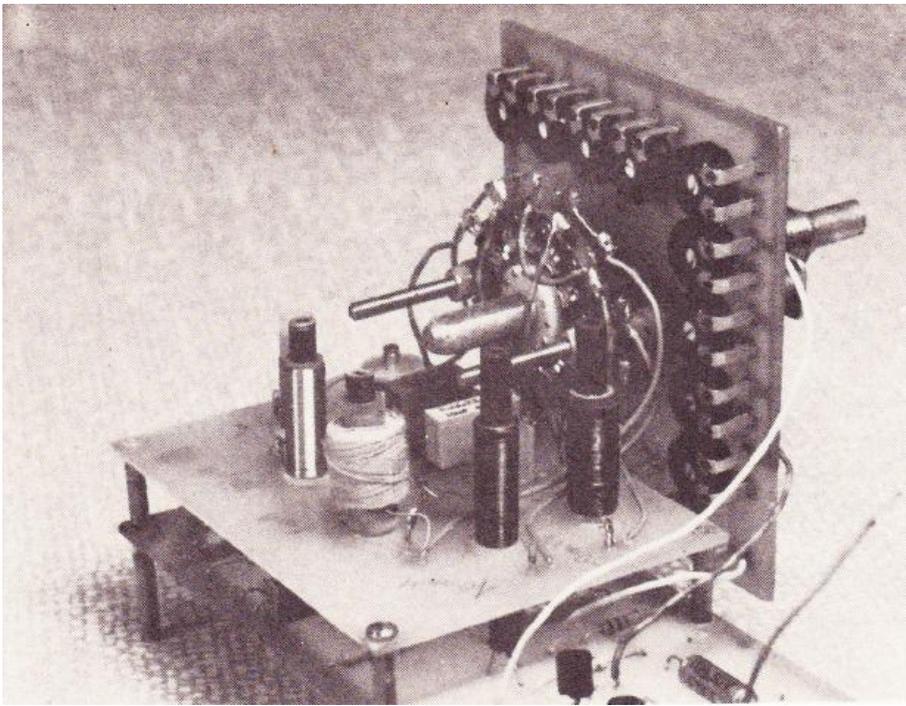
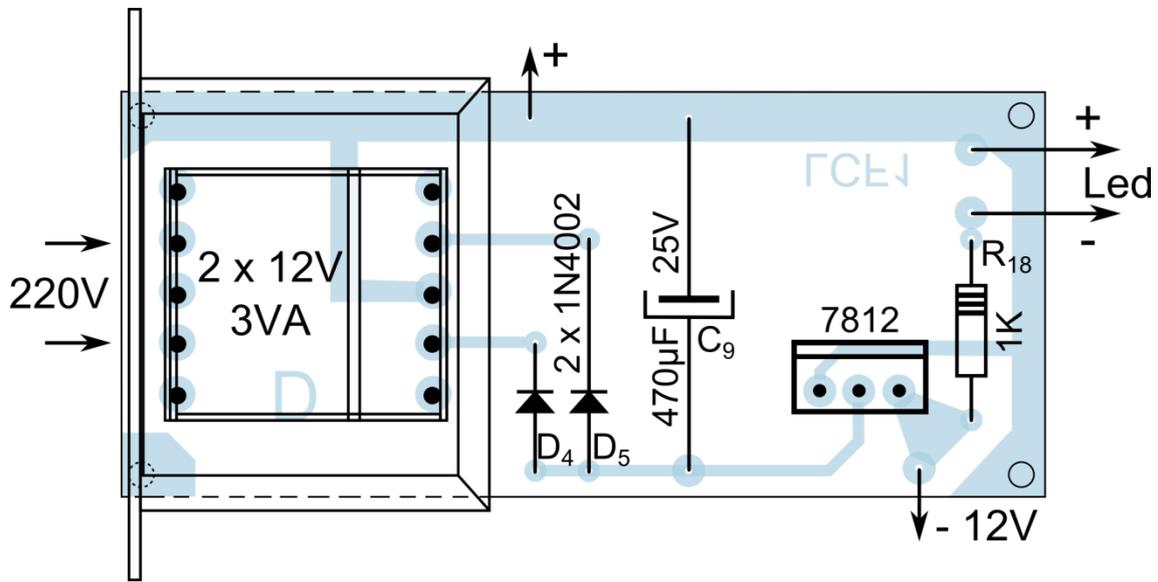


Fig. 10 – Pose des composants sur le circuit A.



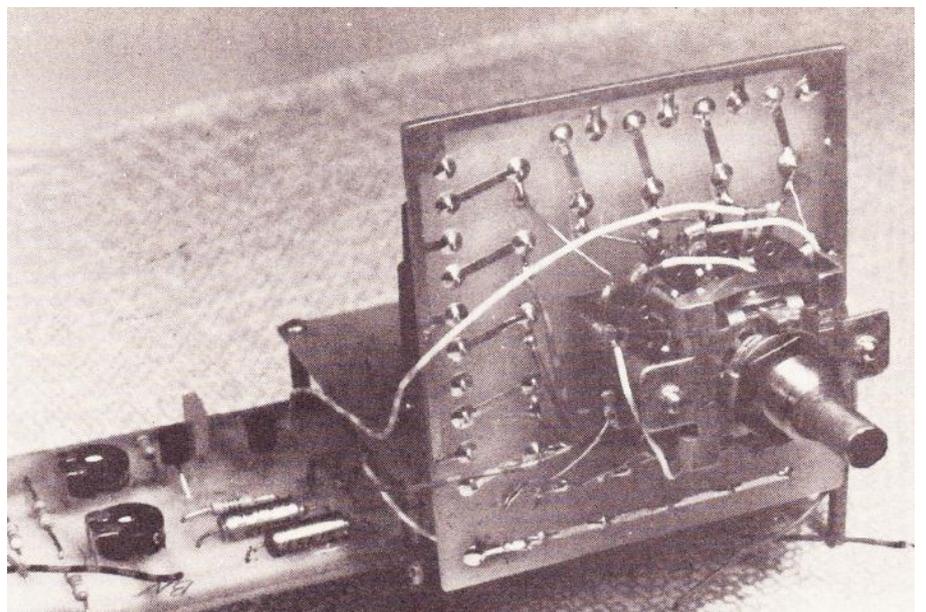


**Photo C.**



**Fig. 14 – Alimentation.**

**Photo D.**



**TABLE 3**

**Composants particuliers à chaque gamme et fréquence obtenue au repos.**

GAMMES	CALIBRES	$L_r$	$C_r$	$C_i$	FREQUENCES
1	10 $\mu$ H	10 $\mu$ H	10 nF	100 pF	503,3 kHz
2	100 $\mu$ H	100 $\mu$ H	10 nF	330 pF	159,2 kHz
3	1 mH	1 mH	10 nF	1 nF	50,3 kHz
4	10 mH	10 mH	10 nF	3,3 nF	15,9 kHz
5	100 mH	100 mH	10 nF	10 nF	5,03 kHz
6	0,1 $\mu$ F	100 mH	0,1 $\mu$ F	33 nF	1,59 kHz
7	10 nF	10 mH	10 nF	3,3 nF	15,9 kHz
8	1 nF	1 mH	1 nF	330 pF	159,2 kHz
9	100 pF	1 mH	100 pF Aj	100 pF	503 kHz

### 3. Montage électrique :

a) **Circuit principal A.** Voir figure 10. C'est très simple et la figure appelle peu de commentaires. Tous les composants sont à souder bien à plat. Faire évidemment très attention au sens des transistors, diodes et chimiques.

b) **Circuit B.** Voir figure 11. On pourra réaliser des picots à souder avec des chutes de fils de composants. Les souder sur B, ce qui permettra de raccorder facilement les fils des inductances.

Les mandrins doivent pénétrer à frottement dur et il sera bon de les avoir en main, avant de percer les trous. Souder les condensateurs  $C_r$  puis les bobines. Attention de ne pas briser les fils fins. Un fil nu vertical est soudé sous B et assure la liaison entre A et B, vers le collecteur de  $T_1$ . La soudure sur A est à faire en dernier, B étant installé et maintenu sur A.

c) **Circuit C.** Voir figure 12. Souder les neuf résistances ajustables et les condensateurs  $C_L$ . Le CI C est fixé sur l'encliquetage, entre les galettes correctement orientées. Voir figures 11 et 13.

Assurer toutes les liaisons entre les éléments  $R_L$ ,  $C_L$  et la galette avant. Voir figure 13. Monter maintenant A et B d'une part et encliquetage, et C d'autre part, à leur place définitive dans le boîtier. Faire les liaisons entre les bobines  $L_r$ , les condensateurs  $C_r$  et la galette arrière (voir figure 11) avec du petit fil rigide. Ces fils assurent le maintien des éléments entre eux lors d'un démontage. Terminer les en se reportant à la figure 10.

d) **circuit D.** voir figure 14. C'est enfantin et nous n'insistons pas ! Par contre on évitera de relier l'alimentation et le circuit dans le mauvais sens.

### 4. Mise en service. Réglages.

Procéder à la classique mais sérieuse vérification de rigueur ! Ne pas connecter maintenant le galvanomètre.

a) Brancher l'oscilloscope entre collecteur de  $T_2$  et masse. Mettre Sous tension. L'oscillation doit apparaitre immédiatement. Ajuster le réglage  $P_1$  pour qu'il en soit ainsi et pour que la forme d'onde soit bien symétrique. Vérifier cette oscillation pour chacune des 9 gammes.

b) la phase suivante du réglage exige un fréquencemètre numérique. On réglera les 5 inductances de manière à obtenir les fréquences données par la table 3. Ceci en fonction inductancemètre et poussoir au repos. On doit alors obtenir les fréquences données pour le capacimètre, sauf en gamme 100 pF pour laquelle il est nécessaire d'ajuster le condensateur 6/60 pF.

Si vous ne disposez pas d'un fréquencemètre, vous pouvez vous contenter de laisser les bobines au réglage fait par l'auteur. L'écart avec le réglage idéal doit être faible. Le réglage du CV se fera alors plus tard.

c) cette première étape accomplie, on peut mettre le galvanomètre en service. Amener P au milieu de sa course. Placer  $P_2$  au maximum de sa valeur (à fond vers la gauche). Toutes les résistances  $R_L$  à mi-course. Mettre sous tension, dans une gamme quelconque. Il est logique de commencer par celle de 10  $\mu$ H. le galvanomètre va probablement dévier dans un sens ou dans l'autre. Agir sur la résistance  $R_L$  de cette gamme pour amener l'aiguille à zéro. Procéder ainsi de gamme en gamme pour caler les résistances  $R_L$ .

d) Il reste maintenant à faire l'étalonnage. Pour cela, nous devons simplement régler la sensibilité du voltmètre par  $P_2$ .

On va se servir de l'inductance de 1 mH fournie en supplément dans le jeu de bobines. Se placer dans ce calibre, connecter l'inductance étalon.

Vérifier le zéro. Appuyer sur le poussoir. Le galva dévie ! Amener l'aiguille exactement en fin d'échelle à l'aide de  $P_2$ . Vérifier à nouveau le 0. Retoucher éventuellement  $P_2$ .

Si  $P_2$  à fond, la fin d'échelle ne peut être obtenue, la valeur de  $R_L$  est insuffisante. Augmenter la valeur de celle de la gamme 1 mH. Reprendre le réglage du zéro par  $P_z$ , puis celui de  $P_2$ . Procéder ainsi jusqu'à obtenir à la fois le bon zéro et la fin d'échelle corrects dans cette gamme.

Si cette correction a été nécessaire, il faudra reprendre le calage de toutes les résistances  $R_L$ , sans changer le réglage de  $P_z$ .

Une fois le réglage de  $P_2$  fait, toutes les gammes sont automatiquement calées, y compris celles du capacimètre.

Si vous n'avez pas utilisé de fréquencemètre numérique, régler le 6/60 pF en mesurant une capacité de 100 pF de bonne précision et en obtenant, par retouches successives de  $R_L$  et du CV, d'une part le zéro et d'autre part la fin d'échelle.

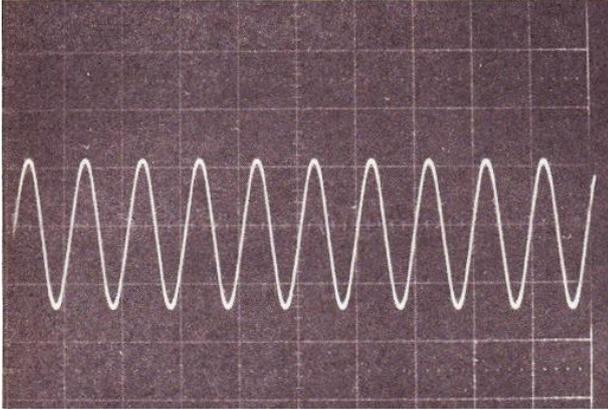
Enfin rappelons que l'auteur peut régler les LCF1 dont les réalisateurs ne possèdent pas le minimum indispensable pour un calage correct !

### **5. L'échelle de lecture :**

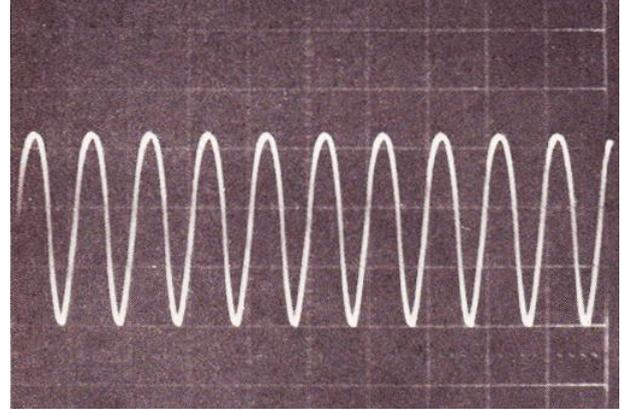
Nous avons déjà dit que l'équation de conversion du montage n'était pas de type linéaire et donnait une graduation à intervalles plus serrés en fin d'échelle. Il existe donc deux possibilités :

a) Garder l'échelle linéaire du galvanomètre et utiliser une table de conversion pour traduire les déviations en valeurs mesurées. C'est très simple et très efficace. Voir table 2. C'est d'ailleurs cette solution qu'il faut adopter si l'on utilise un contrôleur universel extérieur. À noter que la sensibilité de ce dernier doit être en principe de 100  $\mu$ A, avec les valeurs du schéma. On peut évidemment corriger les valeurs de  $R_{15}$  et de  $P_2$  pour s'adapter à une autre sensibilité. Par exemple, les doubler pour un cadre de 50  $\mu$ A.

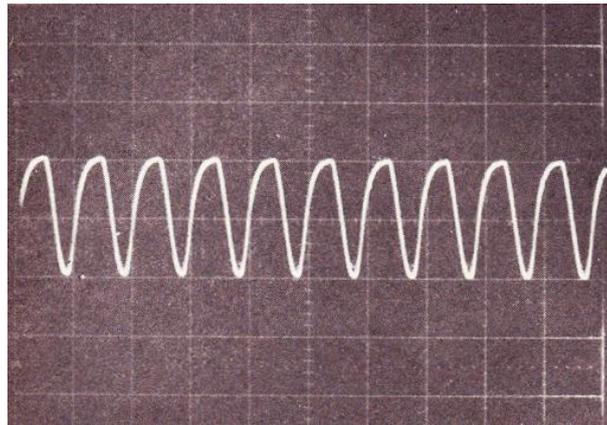
b) Redessiner l'échelle du cadran ! C'est plus facile qu'on ne le croit ! Si la chose est possible, nous conseillons de garder le cadran d'origine, en le retournant simplement. Pour le tracé de l'échelle, commencer par chercher une photocopieuse de bonne qualité, capable de faire des réductions. Faire un test pour déterminer son échelle exacte. Puis dessiner la graduation à grande échelle pour avoir le final après deux photocopies réduites. Le résultat est très bon si l'original est fait avec des symboles à report direct, traits et caractères, genre **ALFAC** ou **MECANORMA** ! Il suffit enfin de découper le cadran et de le coller, pour une finition parfaite.



*Osc. 1*



*Osc. 2*



*Osc. 3*

### III. Conclusion :

Le LCF1 est un appareil simple, peu coûteux et très intéressant à réaliser ! Il doit vous permettre, une fois terminé, de devenir des familiers de l'inductance et de ne plus craindre ces composants, comme par le passé !

Le LCF1 peut donner parfois des résultats un peu différents de certains marqués sur des composants du commerce, par exemple. Il ne faut pas s'en étonner. En effet la valeur de l'inductance dépend souvent des conditions de sa mise en œuvre. Par exemple de la fréquence à laquelle elle travaille. Les inductances du commerce sont en principe mesurées à 1000 Hz ! Le LCF1 mesure toujours à fréquence plus élevée. Remarquons simplement que, en utilisation réelle, l'inductance ne travaille quasiment jamais à 1 000 Hz, du moins constamment. Très souvent, dans les montages HF on est très au-dessus de cette fréquence ! Par ailleurs, dans le LCF1, l'inductance sous mesure est traversée par le courant collecteur de  $T_1$ . Ce courant contribue à augmenter la valeur de l'inductance si elle est équipée d'un noyau !

Il faut donc admettre que la mesure d'une inductance n'est pas une chose très facile et qu'une certaine approximation est inévitable. Ne nous inquiétons pas cependant : l'essentiel consiste bien à disposer d'un appareil de précision suffisante pour permettre une approche convenable d'une inductance donnée.

Le LCF1 remplit parfaitement ce rôle et à ce titre, il devrait figurer dans l'atelier de tout amateur d'électronique.

## **Annexe :**

### ***Mesure des valeurs hors calibre.***

Le LCF1 mesure jusque 100 mH et 0,1  $\mu$ F. si vous voulez dépasser ces valeurs, vous le pouvez à condition de disposer d'une inductance ou capacité auxiliaire de valeur bien connue. De préférence 100mH et 0,1 $\mu$ F.

a) Mesurer l'inductance auxiliaire, si sa valeur n'est pas connue. Le résultat de cette valeur est noté  $L_{aux}$ .

b) connecter  $L_x$  en parallèle sur  $L_{aux}$ .

*Mesurer  $L_{\acute{e}q}$ .*

c) on a :

$$1/L_{\acute{e}q} = 1/L_{aux} + 1/L_x$$

D'où :

$$L_x = (L_{aux} - L_{\acute{e}q}) / (L_{aux} \times L_{\acute{e}q})$$

Pour les capas, le principe est le même, mais en mettant  $C_x$  en série avec la capacité auxiliaire  $C_{aux}$ .

**F. THOBOIS**