

15F

LE HAUT-PARLEUR

LA REFERENCE EN ELECTRONIQUE

ISSN 0337 1883

HI-FI. AUDIO. VIDEO. MICRO-INFORMATIQUE. REALISATIONS

HI-FI
LA BANDE
MAGNETIQUE A 50 ANS

REALISATIONS
REALISEZ UN
INDUCTANCEMETRE
CAPACIMETRE

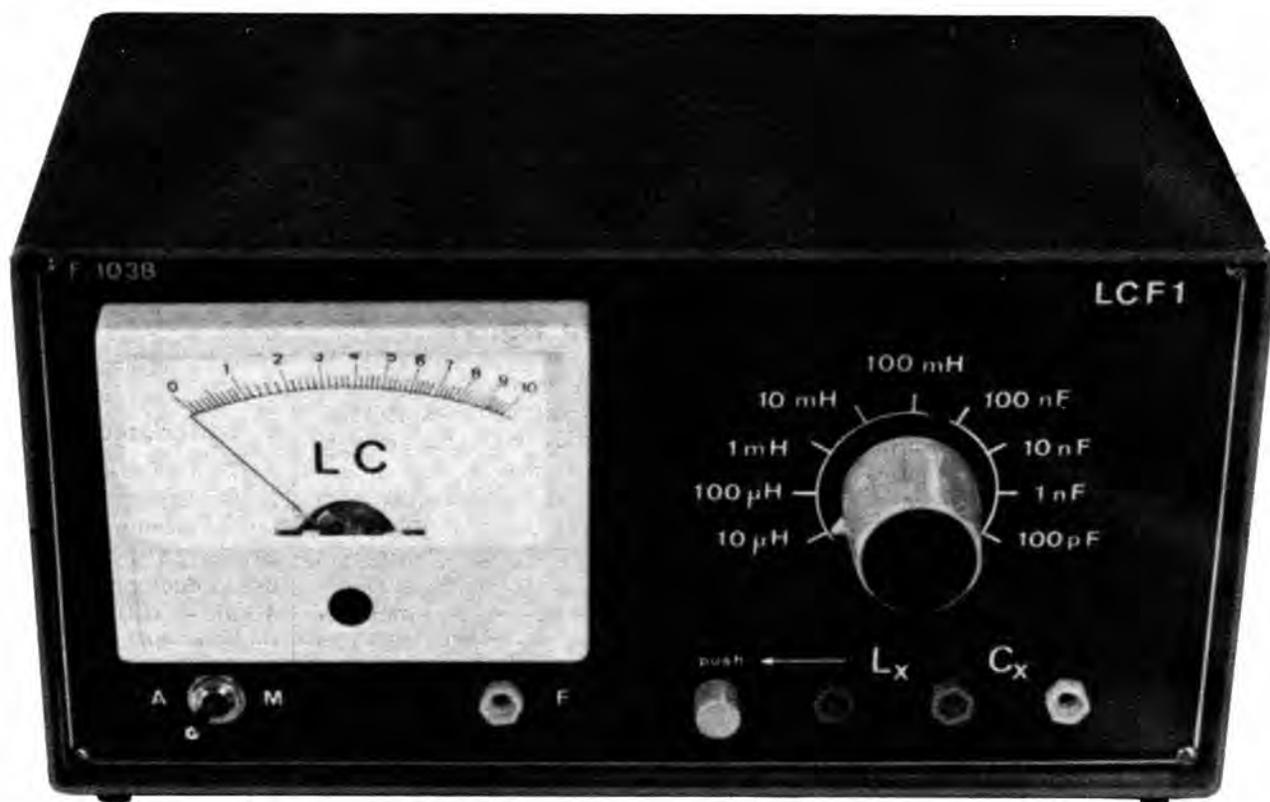
MICRO
INFORMATIQUE
LE MICRO ORDINATEUR
ORIG ATMOS
AU BANC D'ESSAI

Vidéo Actualité

LA CAMERA
JVC GX-N70



BELGIOUE : 105 F.B. • CANADA : 2.50 \$ • SUISSE : 5 F.S. • TUNISIE : 1.49 DIN • ESPAGNE : 300 PTAS



REALISEZ UN INDUCTANCEMETRE/ CAPACIMETRE

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 parlions 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 ! A 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'éclaircit 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 μ 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 μ F.

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 μ H 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 - Etude 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 fréquencesmètre TFX3. Toutefois dans ce cas, nous disposions du fréquencesmètre et de sa fonction ratiomètre A/B. L'obtention du résultat s'obtenait par l'intermédiaire d'un petit calcul. Rappelez-vous !

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

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 reparlons maintenant en prenant l'hypothèse que nos lec-

teurs 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 !

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 μ H 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 : T₁ et T₂. Le circuit accordé est inséré

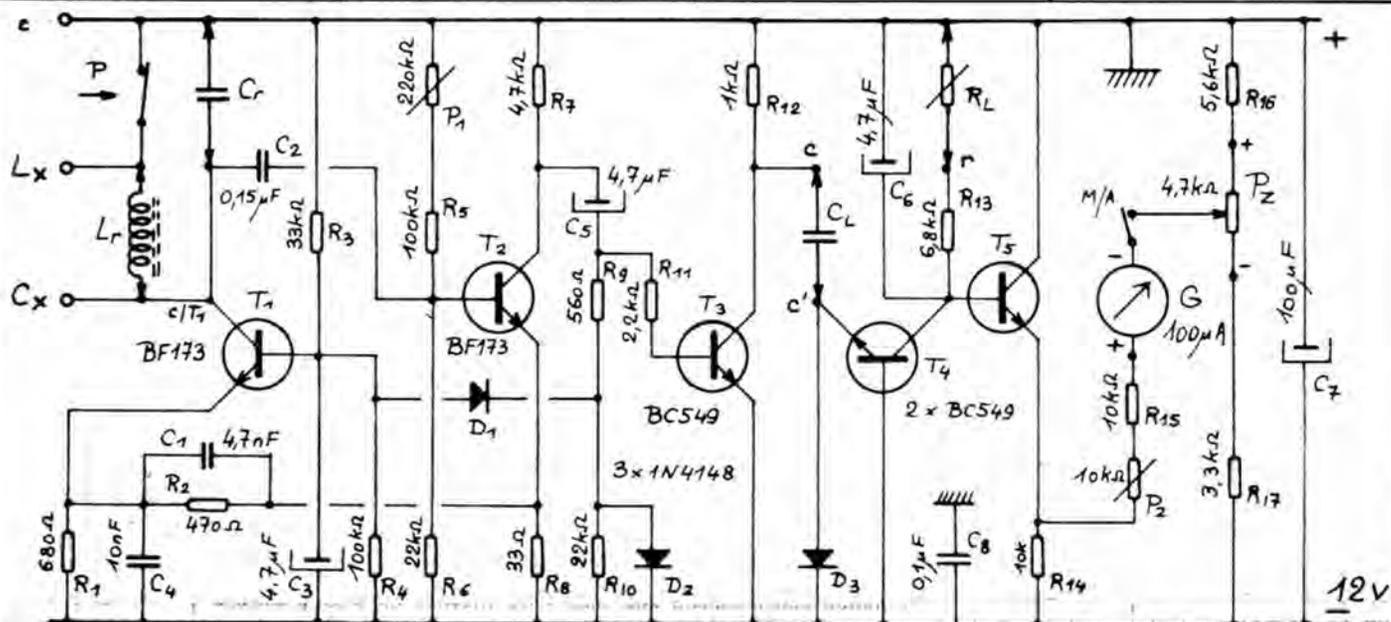


Fig. 1. - Schéma du LCF1.

dans le collecteur de T_1 , monté simplement en amplificateur, avec polarisation de repos, fixée par R_3 et R_4 . Ce premier étage est relié à l'étage suivant par le condensateur de couplage C_2 . Cet étage amplifie donc les signaux issus de T_1 . Les signaux amplifiés sont disponibles sur le collecteur de T_2 et sur son émetteur. Un couplage émetteur de T_1 /émetteur de T_2 est alors réalisé par R_2 et C_1 .

Imaginons que le potentiel de l'émetteur de T_1 monte (voir fig. 2). La base de T_1 , 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_1 , soit une baisse de son courant collecteur et donc une montée de la tension collecteur. Cette montée est transmise à la base de T_2 et se retrouve dans le même sens sur son émetteur où elle est réinjectée sur celui de T_1 , 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_1/T_2 .

C'est évidemment ce que nous voulions. Cette oscillation est pilotée par le circuit LC inséré dans le collecteur de T_1 . Aux bornes de L_r , 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 $L_r = 10 \mu\text{H}$ et $C_r = 10 \text{ nF}$, on a :

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

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

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

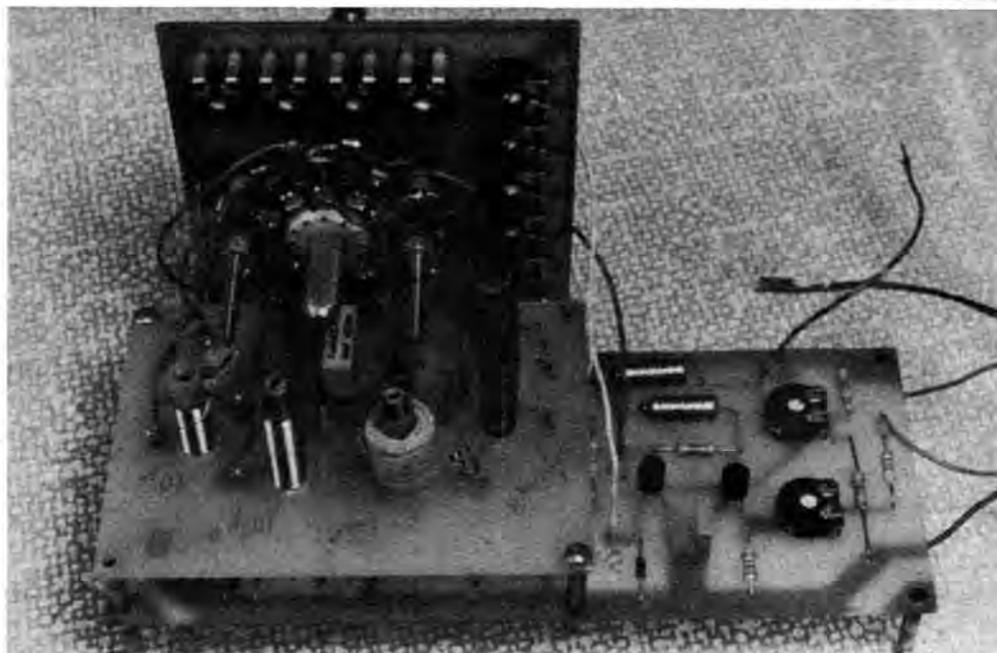


Photo A. - Ensemble de l'électronique du LCF 1. Au moment de ces photos, le potentiomètre de zéro, était encore monté sur la platine A.

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 :

$$L = L_r + L_x$$

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 ce montage va réagir différemment en face de conditions aussi différentes qu'osciller à 5 kHz et à 500 kHz ! 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 ! 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 si-

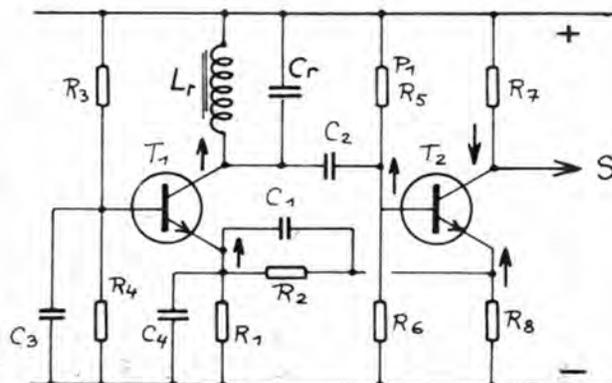


Fig. 2. - Détail de l'entrée en oscillation.

gnal 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 fréquencesmètre

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 cou-

rant 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 fré-

quence 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

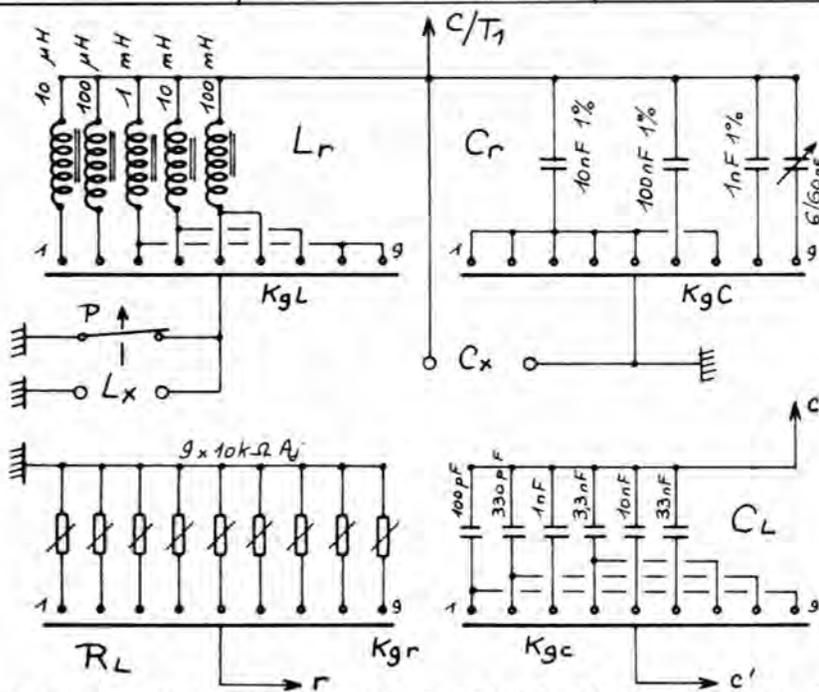


Fig. 3. - Schéma des commutations de gammes de 1 à 9 : 10 μ H ; 100 μ H ; 1 mH ; 10 mH ; 100 mH ; 0,1 μ F ; 10 nF ; 1 nF ; 100 pF.

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	74.0	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

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 T₄.

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 μH :
– repos : L_x = 0, lecture = 0 ;
– mesure : L_x = 100 μH, lecture = 100 !

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 + R₁₅ + P₂, 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 μH. L'aiguille dévie. Réglons P₂ 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 μH !

Nous pourrions simplement vous donner l'équiva-

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

Mais
F = 1/6,28 √(L_r + L_x) C_r,
ce qui donne :

v = K × 1/√(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/√L_r.

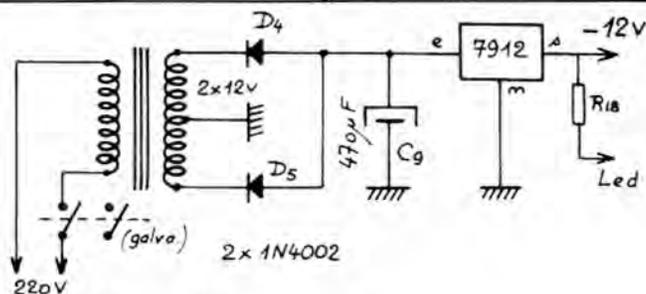


Fig. 4. – L'alimentation.

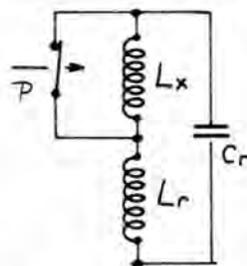


Fig. 5. – Principe du LCF 1.

P fermé : Calibrage

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

P ouvert : Mesure

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

TABLE 2
Valeurs de L_x en fonction de v

v	L _x	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

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 μH , 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 :

$$v = K/\sqrt{2L_r} - K/\sqrt{L_r}$$

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

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

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

$$\text{d'où } K(1 - \sqrt{2}) = 100\sqrt{2L_r}$$

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

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

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

$$+ 100(\sqrt{2} + 2)$$

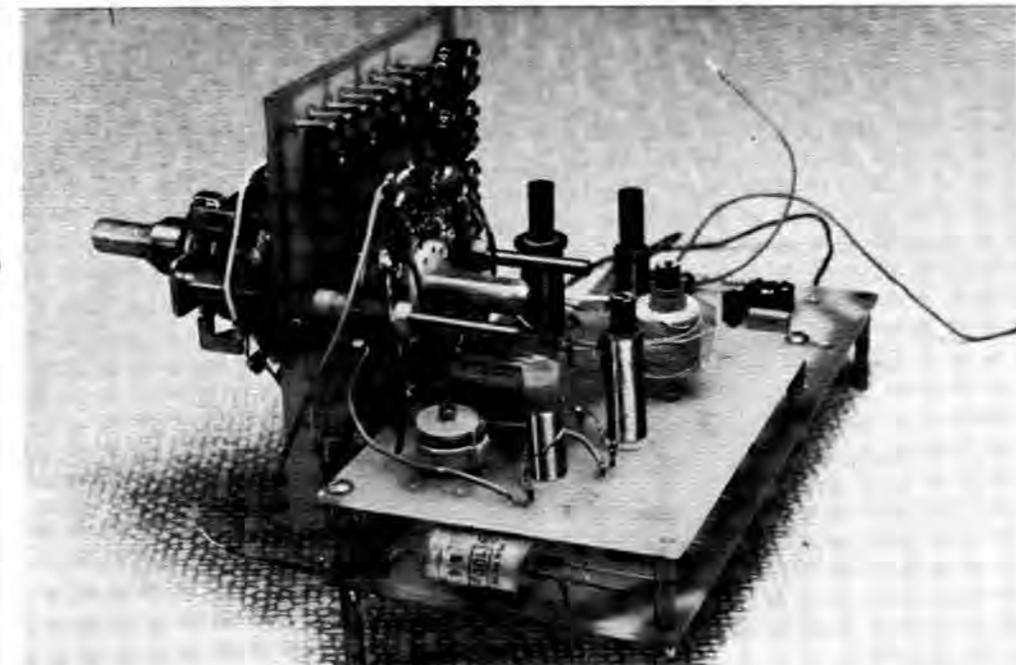


Photo B. - Les éléments L_r et C_r .

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

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

$$L_x = \left(\frac{3414}{341,4 - v}\right)^2 - 100 \quad (3)$$

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 tableaux 1 et 2 vous donnent le résultat de ses efforts et des nôtres !

Dans sa version complète, le LCF 1 comporte 5 gammes de mesure des inductances :

- de 0 à 10 μH
- de 0 à 100 μH

- 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.

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 LCF 1 mesure donc aussi :

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

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

L'alimentation du LCF 1 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 !

(à suivre)
F. THOBOIS