17F
N° 1718
JUILLET
1985
LXe ANNÉE

LE HAUT-PARLEUR

LA REFERENCE EN ELECTRONIQUE

ISSN 0337 1883

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

● **HI-FI** LE LECTEUR DE DISQUES COMPACTS NAKAMICHI OMS 5 / L'AMPLIFICATEUR NEC A7

● **VIDEO** LE CAMESCOPE VHS PANASONIC MOVIE M1

● **REALISATION** UN JEU MUSICAL A MICROPROCESSEUR

● **MICRO-INFORMATIQUE** LE MICRO-ORDINATEUR AMSTRAD CPC 464

BELGIQUE : 105 F.B. ● CANADA : 2,50 $ ● SUISSE : 5 F.S. ● TUNISIE : 1,49 DIN ● ESPAGNE : 300 PTAS

(XIII) PRATIQUE DE LA MESURE

L'OSCILLOSCOPE

UN MINI PONT

Nous vous avons proposé, le mois dernier, une méthode très simple de mesure des impédances, ne nécessitant, à côté de l'oscilloscope à double trace, qu'un générateur BF sinusoïdal de fréquence connue.

Quelques essais complémentaires nous ayant fortifié dans la conviction de l'intérêt de ce procédé, nous vous proposons ce mois-ci la réalisation d'un mini-pont de mesure construit à partir de cette idée. Avec cet appareil ultra-simple et quasiment gratuit, vous pourrez mesurer les inductances de 1 mH à 100 H, et accessoirement les capacités de 1 nF à 100 µF !

Ce petit montage prend ainsi parfaitement la relève de notre inductancemètre-capacimètre, le LCF1 décrit dans les nos 1707 et 1708 du *Haut-Parleur,* lequel mesurait de 0,1 µH à 100 mH et de 1 pF à 0,1 µF.

Rappel du principe

Tout d'abord, rappelons la méthode indiquée le mois dernier (voir fig. 1). Une impédance à déterminer est placée en série avec une résistance R de valeur connue. Les deux composants sont soumis à la tension sinusoïdale d'un générateur BF. Les deux éléments étant en série, l'intensité I qui les traverse est évidemment la même. Les voies Y_1 et Y_2 de l'oscilloscope mesurent les tensions développées aux bornes des deux éléments : soit RI pour Y_1 et ZI pour Y_2. Si R = Z, alors RI = ZI, et les tensions envoyées sur les voies verticales sont d'amplitudes égales, ce qui est très facile à constater sur l'écran, à condition de choisir la même sensibilité pour ces deux voies.

Si l'impédance Z est une inductance, on a :

$$Z = L\omega = L \times 2\pi F$$

ω étant la pulsation du signal BF et F sa fréquence.

Si cette impédance est un condensateur, on a :

$$Z = 1/C\omega = 1/C \times 2\pi F$$

A l'égalité des tensions Y_1 et Y_2, on a R = Z. R étant une résistance est très facile à mesurer. On peut alors déduire soit L, soit C, des formules ci-dessus, à condition de connaître F, la fréquence BF appliquée.

En utilisant à la fois un fréquencemètre numérique et un ohmmètre de même technologie, les mesures sont très précises et le résultat excellent !

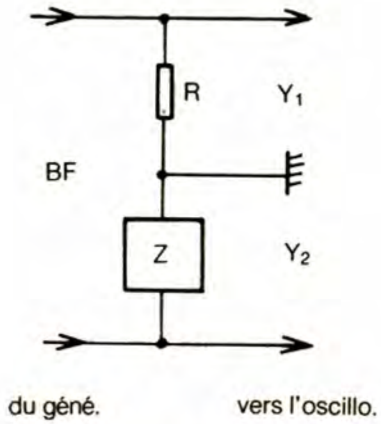

FIGURE 1.
Procédé minimum de mesure de Z.

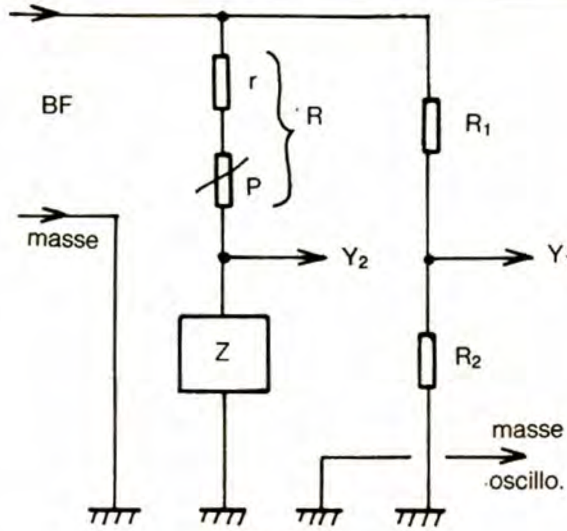

FIGURE 2.
Modification de la figure 1 rendant les masses communes.

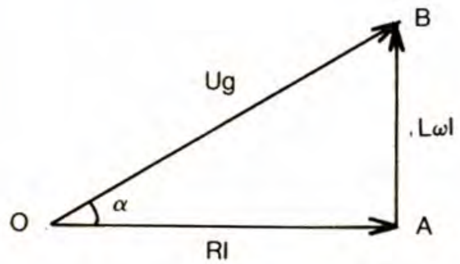

FIGURE 3.
Cas de l'inductance, vecteurs hors point de mesure.

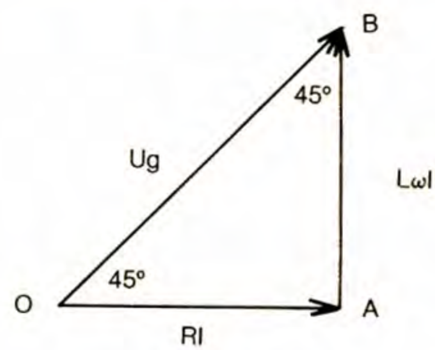

FIGURE 4.
Au point de mesure : $AB = OB\sqrt{2}/2$.

Notre schéma a pourtant un inconvénient : les masses du générateur BF et de l'oscilloscope sont distinctes ! Cela peut causer des soucis dans un atelier où normalement toutes les masses sont communes et reliées à la terre.

Nous avons donc revu ce schéma de manière à supprimer cet inconvénient, et en rendant en même temps les mesures plus rapides, sans nécessiter de calculs, au prix, c'est sûr, d'une précision moins bonne mais toujours suffisante pour ce type de travail !

Le nouveau schéma est visible en figure 2. On y retrouve évidemment la même structure de base : le générateur BF attaque toujours les composants R et Z connectés en série. On remarquera cependant que la résistance R est constituée d'un potentiomètre (monté en rhéostat) et d'une résistance fixe de butée. Ainsi, R pourra varier de r à r + P.

La voie Y_2 mesure toujours la tension aux bornes de Z, mais cette fois masse générateur et masse oscillo sont bien communes !

La voie Y_1 mesure une fraction de la tension du générateur, mais, pour comprendre la suite de l'exposé, il faut revenir nécessairement à la représentation vectorielle des tensions, déjà évoquée le mois dernier (voir la figure 3).

– Dans le cas de l'inductance :

La tension RI aux bornes de R est en phase avec l'intensité I. Elle est représentée par le vecteur $\overline{OA}$. La tension aux bornes de L est en avance de 90° sur l'intensité. Elle est représentée par le vecteur $\overline{AB}$, perpendiculaire à $\overline{OA}$. La somme des deux tensions, soit donc $\overline{OA} + \overline{AB}$, correspond à la tension du générateur, laquelle apparaît dans la figure sous la forme du vecteur somme de $\overline{OA}$ et $\overline{AB}$, c'est-à-dire de $\overline{OB}$.

Dans le cas de la figure 3, on constate que les tensions $\overline{OA}$ et $\overline{AB}$ sont inégales, avec $RI > ZI$. Nous obtenons alors un triangle rectangle OAB quelconque, avec les côtés OA et AB inégaux.

Plaçons-nous maintenant dans le cas de deux tensions égales, ce que montre la figure 4. Dans ce cas, le triangle OAB devient rectangle isocèle, avec les côtés OA et AB égaux, les angles O et B mesurant 45°. Ce triangle est un demi-carré. Nous pouvons appliquer le théorème de Pythagore, valable dans tous les triangles rectangles particuliers ou quelconques :

$OB^2 = OA^2 + AB^2$
$= 2\ OA^2 = 2\ AB^2$

d'où l'on peut tirer :

$OB = OA\sqrt{2} = AB\sqrt{2}$

ou, inversement :

$AB = OA = OB\sqrt{2}/2 \simeq OB \times 0{,}707$

Ces calculs, qui rappellent peut-être à certains les joies nuancées de leur jeunesse, nous amènent à la conclusion pratique suivante : au moment de l'égalité des tensions aux bornes de R et Z (fig. 1 et 2), la tension aux bornes de Z (ou de R) est égale à 0,707 fois celle du générateur BF. Il suffit donc de déterminer les valeurs des résistances R_1 et R_2 de la figure 2 pour obtenir exactement la même réduction, ce qui nous permettra de déceler l'égalité des tensions RI et ZI aussi facilement pour la figure 2 que cela se faisait dans la figure 1, avec l'aide de l'oscilloscope à double trace.

R_1 et R_2 forment un pont diviseur. La tension du générateur BF est appliquée à $R_1 + R_2$, tandis que Y_1 mesure la tension aux bornes de R_2 seule, d'où :

$$\frac{U_G}{R_1 + R_2} = \frac{Y_1}{R_2}$$

ou : $Y_1 = U_G \times R_2/(R_1 + R_2)$

Fixons R_2 à 10 kΩ. Il faut trouver R_1 pour avoir $R_2/(R_1 + R_2) \simeq 0{,}707$, soit :

$$10/R_1 + 10 = 0{,}707$$

$$0{,}707\ R_1 + 7{,}07 = 10$$

$$R_1 = (10 - 7{,}07)/0{,}707$$

$$R_1 \simeq 4{,}14$$

Nous choisirons donc :

$R_1 = 4{,}14$ kΩ et $R_2 = 10$ kΩ

Ainsi, au moment précis de l'égalité des tensions aux bornes de R et Z, celles de Y_1 et Y_2 le seront aussi !

Mais revenons au composant variable R, constitué d'un potentiomètre de 10 kΩ de type bobiné, en série avec une résistance fixe de 100 Ω. Rappelons l'équation de l'égalité des tensions. D'abord dans le cas de l'inductance.

$RI = ZI = L\omega I$

$RI = L \times 2\pi F \times I$

en simplifiant par I :

$R = L \times 2\pi F$

soit : $L = R/2\pi F$

Nous pouvons nous arranger pour rendre le diviseur $2\pi F$ égal à une puissance de 10 : 100, 1 000 ou 10 000... ! Ainsi le calcul de L sera particulièrement facile : L = R/100 ou R/1 000 ou R/10 000.

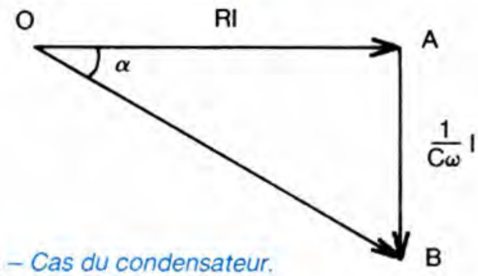

FIGURE 5. – Cas du condensateur.

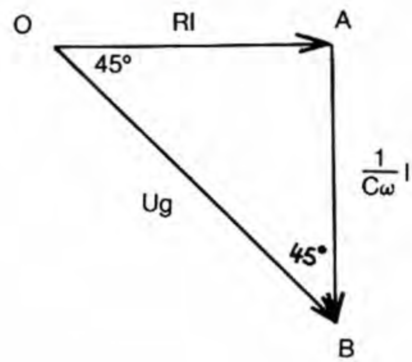

FIGURE 6.
Au point de mesure avec condensateur.

Pour avoir cette condition :

$2\pi F = 100 \rightarrow F = 100/2\pi \simeq 15{,}915$ Hz
$2\pi F = 1\,000 \rightarrow F = 1\,000/2\pi \simeq 159{,}15$ Hz
$2\pi F = 10\,000 \rightarrow F = 10\,000/2\pi \simeq 1\,591{,}5$ Hz
$2\pi F = 100\,000 \rightarrow F = 100\,000/2\pi \simeq 15\,915$ Hz

Dans ces conditions et pour ces fréquences, si le potentiomètre P est gradué en ohms, la graduation correspondra, à une virgule près, à la valeur de l'inductance inconnue en henrys !

– Dans le cas du condensateur :

La figure 5 montre la composition vectorielle des tensions dans ce cas. Le vecteur $\overline{OA}$ représente toujours la tension aux bornes de R, en phase avec I. Le vecteur $\overline{AB}$, celle aux bornes de Z, ici de C. On constate que la tension AB est en retard de phase de 90° sur l'intensité.

L'égalité des deux tensions donne encore un triangle rectangle isocèle (voir fig. 6). Cela prouve que, au sens près, les résultats des calculs précédents restent parfaitement applicables. Les résistances R_1 et R_2 de la figure 2, définies pour les inductances, ne sont pas à modifier pour les capacités !

A l'égalité des tensions, on a :

$RI = 1/Cw \times I$

ou $R = 1/C\omega = 1/C \times 2\pi F$

soit $C = (1/R) \times (1/2\pi F)$

On retrouve le même diviseur $2\pi F$, ce qui permet de récupérer tous les résultats précédents, obtenus pour les inductances. Par contre, C est proportionnel non plus à R, mais à son inverse ! Cela va nous obliger à prévoir deux graduations de P : une directe en ohms, pour les inductances et une autre, inverse en mhos, correspondant à la conductance, pour les capacités.

Réalisation pratique

1. Liste des composants

1 potentiomètre bobiné de 10 kΩ (P), grand diamètre de préférence.

1 résistance fixe de 100 Ω (r).

1 R_1 de 4,14 kΩ :

– soit de 4,12 kΩ, de la série E96 à 1 %, valeur approchée de 4,14 kΩ ;

PHOTO A.
Câblage du mini-pont.
On ne peut guère faire plus simple !

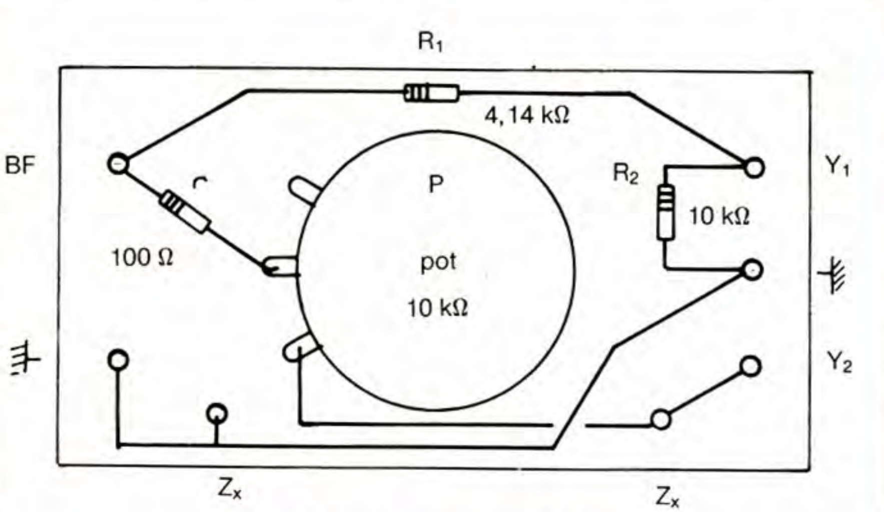

FIGURE 7. – Câblage du « minipont ».

– soit 2,74 kΩ en série avec 1,40 kΩ toutes deux de la série E96 à 1 %.
1 R_2 de 10 kΩ, 1 %.
7 douilles bananes.
1 boîtier quelconque.

2. Câblage

Difficile de faire plus simple pour un appareil de mesure ! Ceux qui prétendent que l'auteur ne sait faire que du compliqué vont la trouver mauvaise !

La figure 7 montre la disposition retenue pour le proto. La photo A complète ce paragraphe. Des modifications de disposition sont évidemment possibles, rien n'étant critique dans ce montage.

3. La graduation

La résistance R, constituée de P + r, varie de 100 Ω à 10 000 + 100 Ω, soit de 100 à 10 100 Ω. Nous avons opté pour une graduation allant de 1 à 101 (voir les photos B et C). Pour tracer cette graduation, mesurer la résistance R à l'ohmmètre, numérique de préférence, et marquer un point aux valeurs remarquables : 1 pour 100 Ω, 2,5 pour 250 Ω, 5 pour 500 Ω... 100 pour 10 000 Ω.

La graduation inverse demande un petit calcul : à « n » de la graduation directe correspond 100/n de la graduation inverse. Ainsi à 50 correspond 100/50, soit 2.

Les photos donnent une très bonne idée du résultat à obtenir. Pour le proto, après un tracé préliminaire sur papier, la graduation a été reportée sur un support Scotchcal de face avant du boîtier. L'appareil a ainsi une meilleure allure !

4. Utilisation

Faut-il vous l'avouer ? Eh, oui ! Le générateur BF idéal pour alimenter le mini-pont est le TBF3, décrit en même temps, dans les pages de cette revue. En effet, il suffit de placer les roues codeuses sur 796, et le commutateur x_1/x_2 sur x_2, pour sortir 2 × 796, soit 1 592 Hz, en gamme 1. On obtient 15 920 Hz en gamme 10, 159,2 Hz en gamme 10^{-1} et 15,92 Hz en gamme 10^{-2} ! Soit un écart de ... 0,028 % par rapport à la fréquence idéale !

Bien entendu, si vous n'avez pas encore un TBF3, un autre générateur convient aussi. On peut soit se fier à son étalonnage (aie !) soit, ce qui est mieux, mesurer la fréquence en continu, au fréquencemètre. Il suffit alors de régler l'appareil sur 16, 160, 1 600 ou 16 000 Hz, donnant un écart de 0,5 % seulement, ce qui est tout à fait satisfaisant, sinon trop !

La tension de sortie du générateur peut être quelconque. Avec le TBF3 ou ses frères plus âgés, choisir de préférence une tension de 1 Vcc, résistant parfaitement à une charge réduite à 200 Ω, au minimum de P. Dans ces conditions l'oscilloscope aurait une sensibilité de 0,2 V/div. sur les deux voies verticales.

Le tableau suivant donne la correspondance entre la graduation type (de 0 à 100) et le résultat de la mesure :

Gammes	Fréquences	k	L	C
1	15,92 Hz	1	H	µF
2	159,2 Hz	/ 10	H	µF
3	1 592 Hz	× 10	mH	nF
4	15 920 Hz	1	mH	nF

Le coefficient k donne la correspondance entre la graduation et la mesure effective. En gammes 1 et 4, les lectures sont directes. En gamme 2, il faut diviser par 10. En gamme 3, il faut multiplier par 10.

PHOTO B.
Aspect du mini-pont terminé.
Remarquer la graduation extérieure directe en ohms pour les inductances, et la graduation interne en mhos, pour les capacités.

PHOTO C.
Autre vue du mini-pont. On voit ici le tableau d'utilisation collé sur une face, pour faciliter l'emploi de l'appareil.

Exemples

Mesure d'une inductance

Gamme 3

Fréquence du générateur : 1 592 Hz.
Lecture sur la graduation directe : 50.
k = × 10, donc 50 × 10 = 500.
Unité : mH.
L'inductance mesure 500 mH.

Mesure d'un condensateur

Gamme 2

Fréquence du générateur : 159,2 Hz.
Lecture sur la graduation inverse : 2,5.
k = / 10, donc 2,5 / 10 = 0,25.
Unité : µF.
Le condensateur mesure 0,25 µF.

Remarquons que les valeurs extrêmes mesurées sont :

Gammes	L		C	
	mini	maxi	mini	maxi
1	1 H	100 H	1 µF	100 µF
2	0,1 H	10 H	0,1 µF	10 µF
3	10 mH	1 000 mH	10 nF	1 000 nF
4	1 mH	100 mH	1 nF	100 nF

Chaque gamme possède un rapport de mesure de 100 ! Les gammes se recouvrent donc fortement, ce qui permet toujours de choisir celle qui donne la meilleure précision.

On peut rappeler que, à l'égalité des tensions RI et ZI, correspondant à un point de mesure, le déphasage entre le signal du générateur (OB) et la tension aux bornes de Z (AB) est de 45°, aussi bien avec une inductance qu'avec un condensateur. Les photos D, E et F illustrent ces conditions.

Photo D : signaux Y_1 et Y_2 hors point de mesure. Les tensions sont très différentes.

Photo E : les mêmes signaux au point de mesure, donnant l'égalité des deux amplitudes.

Photo F : gros plan de E, pour mesure du déphasage. En balayage décalibré, la période occupe 8 divisions, le déphasage étant alors de 1 division, soit une valeur de 360°/6 = 45°. Ce qui corrobore bien la théorie !

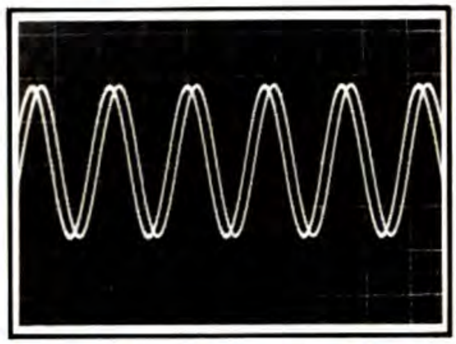

PHOTO D. – Signaux Y_1 et Y_2 hors accord : les amplitudes sont différentes.

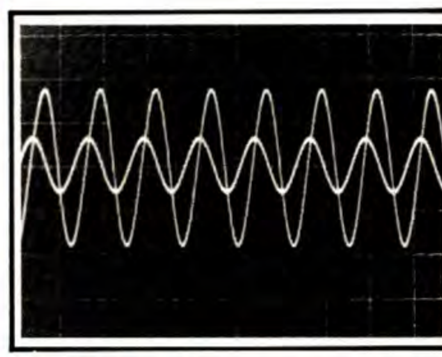

PHOTO E. – Mêmes signaux à l'accord du mini-pont : les amplitudes sont égales.

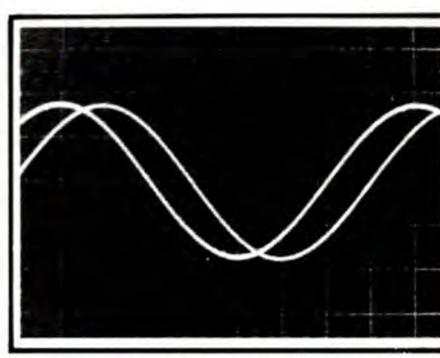

PHOTO F. – Mesure du déphasage à l'accord : 1 division pour 8, cela fait 45° !

Conclusion

Si vous avez la chance d'avoir un bon oscilloscope à double trace et un générateur BF, nous pensons que vous devez réaliser le montage proposé ! Nous avons vu récemment décrire des ponts RLC fort complexes ! Mesurent-ils jusqu'à 100 henrys ? Certainement pas ! Par ailleurs, la mesure des résistances au pont n'a aucun intérêt depuis l'existence des ohmmètres numériques. Enfin, ces ponts ont le grave défaut d'exiger des impédances de comparaison.

Et c'est bien là que le bât blesse, car ces inductances ou capacités étalonnées sont quasi introuvables ! Ce gros défaut des ponts classiques constitue évidemment le point fort de notre mini-pont ! Pas la moindre bobine de référence ! Alors, chers amis... à vos fers à souder !

F. THOBOIS