

Impédancemètre

Mesure de l'impédance des haut-parleurs

Le développement et la mise au point des enceintes acoustiques nous impose de connaître l'impédance de ses divers constituants, à savoir, les éléments électro-acoustiques eux-mêmes et les filtres associés.

Cette étude décrit un «Impédancemètre». Il va permettre d'effectuer des mesures en trois gammes : 20 Ω, 200 Ω et 2 000 Ω. Sa précision est de l'ordre de 1% et le résultat apparaît sur un afficheur numérique.

Il est équipé d'un oscillateur sinusoïdal de fréquence 1 000 Hz, mais peut être «excité» par un oscillateur externe pour des fréquences comprises entre 16 Hz et 32 000 Hz.

Le principe

Un signal sinusoïdal est appliqué, via une source de courant, à l'élément à mesurer (DUT = Device under test).

Si l'élément est excité par une source alternative de courant, la relation entre l'impédance et la tension alternative mesurée est linéaire.

La source alternative de courant est réalisée par l'excitation d'une grande résistance, grande par rapport à l'impédance à mesurer.

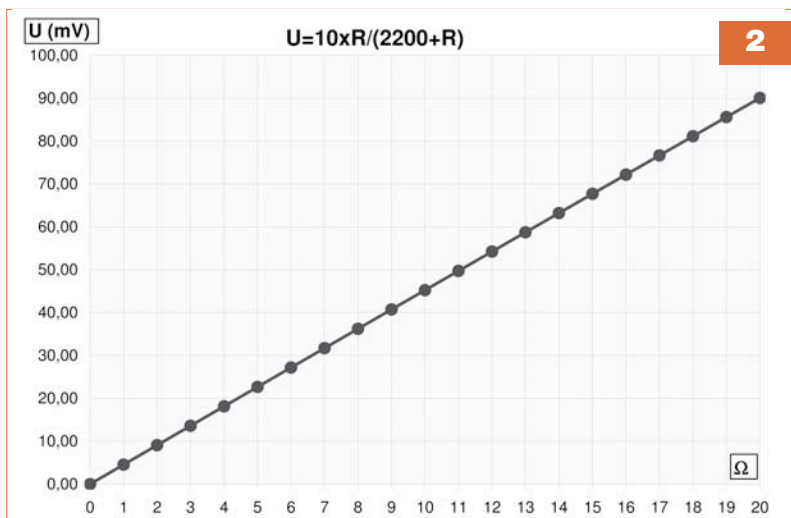
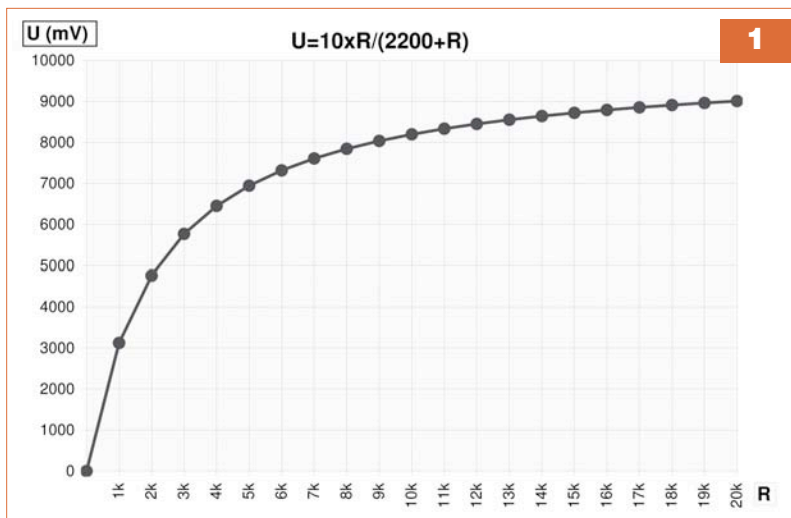
Ainsi, l'élément à mesurer, dans la gamme 20 Ω, est excité par une tension de 10 Vac et une résistance «série» de 2 200 Ω.

La tension mesurée vaut alors :

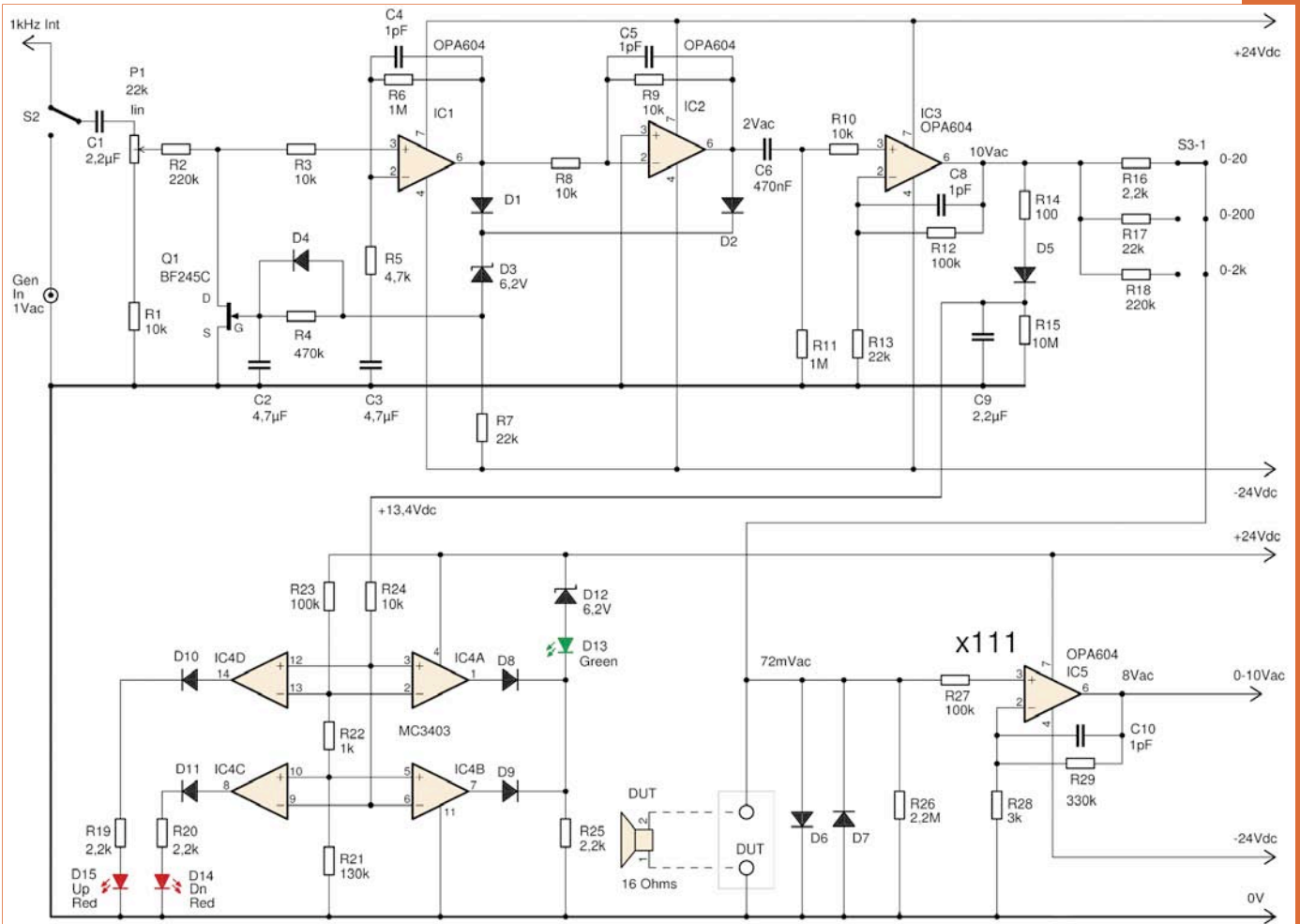
$$U = \frac{10 \times R}{2\,200 + R}$$

Le mathématicien établira que, pour la variable (R) tendant vers l'infini, la limite de (U) fait 10.

Confirmation de l'électronicien : la sour-



4



ce faisant 10 Vac, nous ne dépasserons jamais les 10 Vac...

Mais, si R varie de 0 à l'infini, la relation U-R... n'est pas linéaire (figure 1).

Si, toutefois, nous limitons R à 20 Ω, nous n'utilisons qu'une infime portion de départ de la relation U-R.

Dans ce cas, la relation est presque linéaire, comme montré en figure 2.

La figure 3 reprend le tableau des erreurs de mesure. Elles sont identiques pour les gammes 200 Ω et 2 000 Ω.

Le schéma

La stabilisation de l'amplitude

Le signal sinusoïdal est appliqué à un circuit stabilisateur d'amplitude, afin de garder bien constante l'amplitude d'excitation de la DUT pour des fréquences comprises entre 16 Hz et 32 kHz.

Cette précaution est indispensable pour rester sous les 1 % de précision dans la mesure, quelle que soit la fréquence.

Le circuit consiste en un amplificateur à

haut gain, suivi d'un redressement à double alternance qui pilote, par contre-réaction, un transistor à effet de champ. Ce dernier se comporte comme une résistance variant de l'infini à quelques ohms.

Le gain initial fourni par le premier AOP est de 46 dB. Les deux diodes D1 et D2 redressent le signal «audio» en double alternance (figure 4).

L'effet de champ est un BF245C. Pour obtenir, au départ, que ce transistor présente une «résistance de barreau» infinie, il faut le polariser négativement, ici à -6 Vdc.

Cette polarisation est obtenue par la diode zéner D3, qui soustrait 6,2 Vdc au signal redressé.

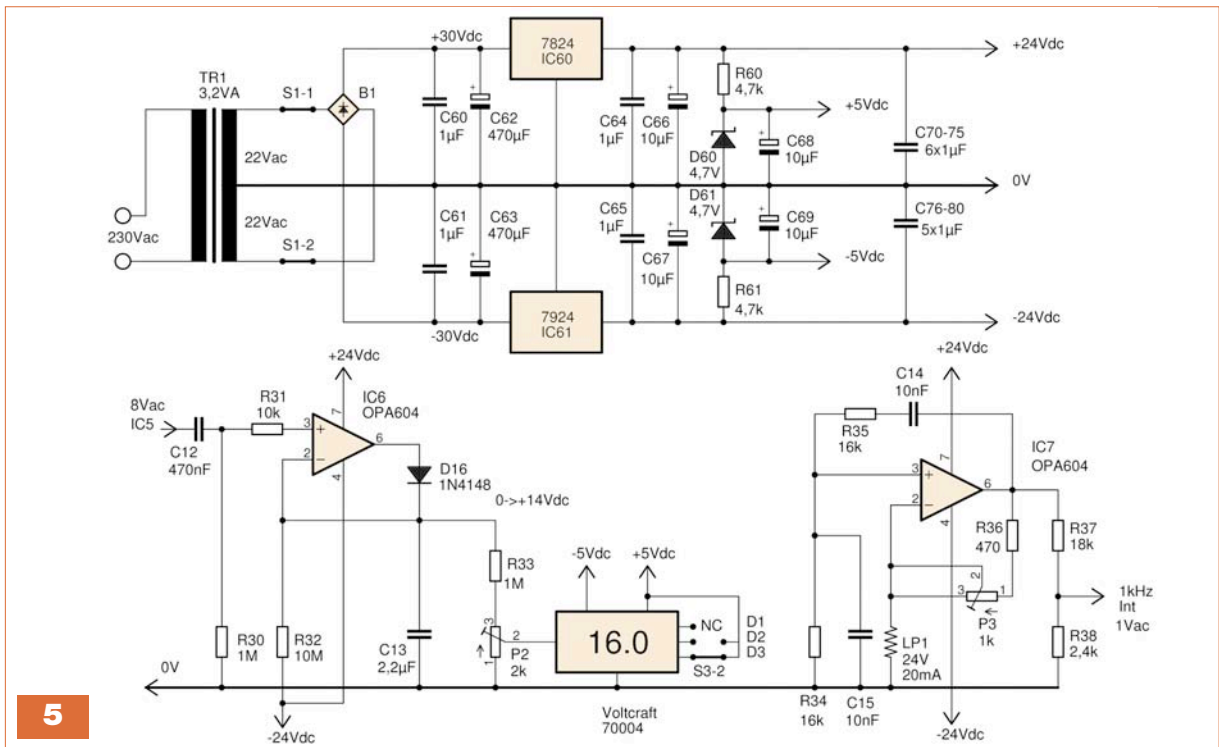
Une éventuelle variation de l'amplitude de l'oscillateur fait immédiatement varier la tension de «polarisation» et provoque la diminution ou l'augmentation de la «résistance du barreau» de Q1.

Cette contre-réaction limite le signal en sortie à 1,6 Vac.

R-DUT	U-DUT	Erreur
0	0,00	0,00%
1	4,54	0,04%
2	9,08	0,08%
3	13,62	0,12%
4	18,15	0,15%
5	22,68	0,18%
6	27,20	0,20%
7	31,72	0,22%
8	36,23	0,23%
9	40,74	0,24%
10	45,25	0,25%
11	49,75	0,25%
12	54,25	0,25%
13	58,74	0,24%
14	63,23	0,23%
15	67,72	0,22%
16	72,20	0,20%
17	76,68	0,18%
18	81,15	0,15%
19	85,62	0,12%
20	90,09	0,09%

3

Pour une tension «d'excitation» comprise entre 0,9 et 1,1 Vac, le signal en sortie varie de 40 mVac au maximum.



5

Alimentation en tension continue :	9V ou 5V ou +/-5V (8 à 30V avec adaptateur de mesure)
Consommation de courant :	env. 3 mA
Ecran :	à 3 1/2 caractères LCD, (afficheur à cristaux liquides) Affichage 1999
Polarité :	Signe automatique en cas d'entrée négative
Affichage de dépassement :	„1” ou „-1”
Tension de mesure maxi :	199,9 mV DC (sans adaptateur de mesure)
Exactitude de mesure :	+/- (0,1% +2 digits) pour +23 °C (+/- 5 °C) et une humidité relative de l'air de <80%, non condensante
Résolution :	0,1 mV
Cadence d'acquisition :	2-3 mesures par seconde
Résistance interne :	>= 1000 MOhm
Hauteur des chiffres :	14 mm
Dimensions du boîtier avant :	62mm x 26mm x 19mm (L x H x P)
Dimensions de l'ouverture d'emplacement :	60mm x 24mm

6



A

Tout générateur, dont la stabilité en amplitude est inférieure à 1 dB, permettra une mesure directe sans réajuste-

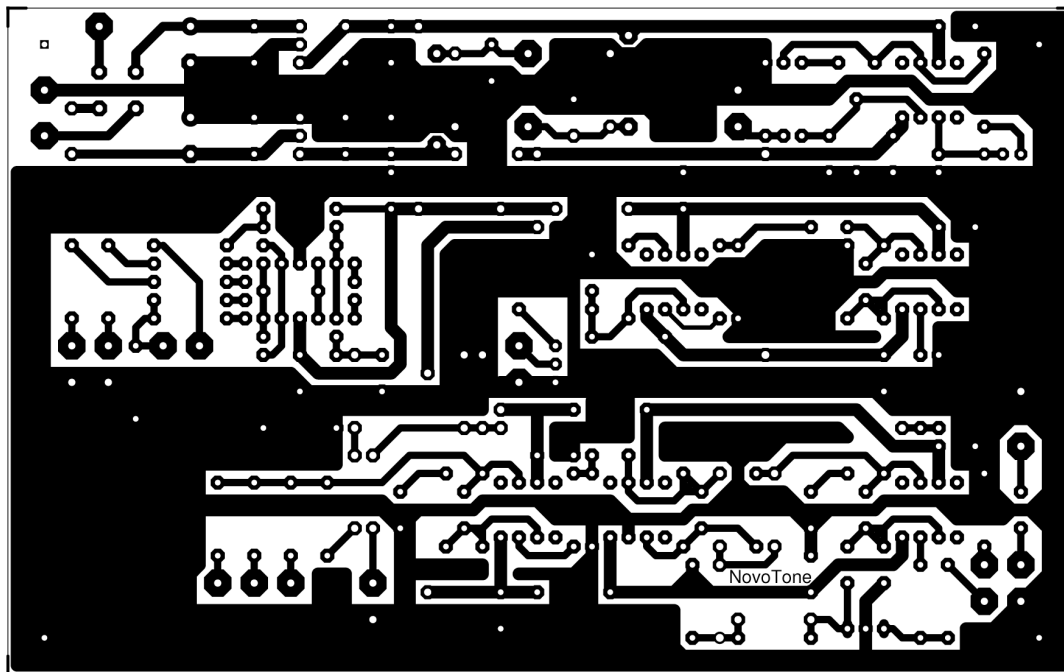
ment de l'amplitude. Le signal, stabilisé, est appliqué à un amplificateur «tampon» qui fournit la tension de

10 Vac à l'élément à mesurer. Comme la précision de la mesure dépend directement de la précision de cette tension, cette dernière est mesurée en permanence. Elle est redressée et injectée dans un double «comparateur» (IC4) qui pilote trois leds. La led verte D13 s'illumine quand le signal «d'excitation» se trouve compris dans une fourchette de 0,1 dB. La led D15 s'illumine quand le signal est trop important et la led D14 quand il est trop faible. En clair, tant que la led verte est illuminée, la mesure est correcte et conforme aux spécifications.

La mesure

Pour la compréhension du schéma, nous publions les tensions mesurées avec une DUT de 16 Ω. La tension développée aux bornes de l'élément fait 72 mVac. Cette tension est amplifiée d'un facteur 111, pour obtenir 8 Vac environ en sortie de IC5. Cette tension pilote un circuit redresseur, sans seuil, pour obtenir +10,7 Vdc (figure 5). La tension de «mesure» est mise à niveau par le pont diviseur R33 / P2, pour obtenir les +16,0 mVdc appliqués sur l'afficheur... qui indiquera [16.0].

L'afficheur présente une gamme de tension d'entrée de 199,9 mVdc (figure 6).



7

Nous aurions pu, en remplaçant P2 par une valeur de 20 k Ω , appliquer une tension de 160 mVdc et afficher dans ce cas [16.00]. Toutefois, la précision des mesures étant au maximum de l'ordre de 1%, ce quatrième digit est non significatif et ... perturbant.

L'oscillateur embarqué

Le circuit choisi est un oscillateur de Wien, de fréquence 1 kHz, décrit de nombreuses fois dans notre revue.

La stabilisation de l'amplitude est assurée par l'ampoule LP1.

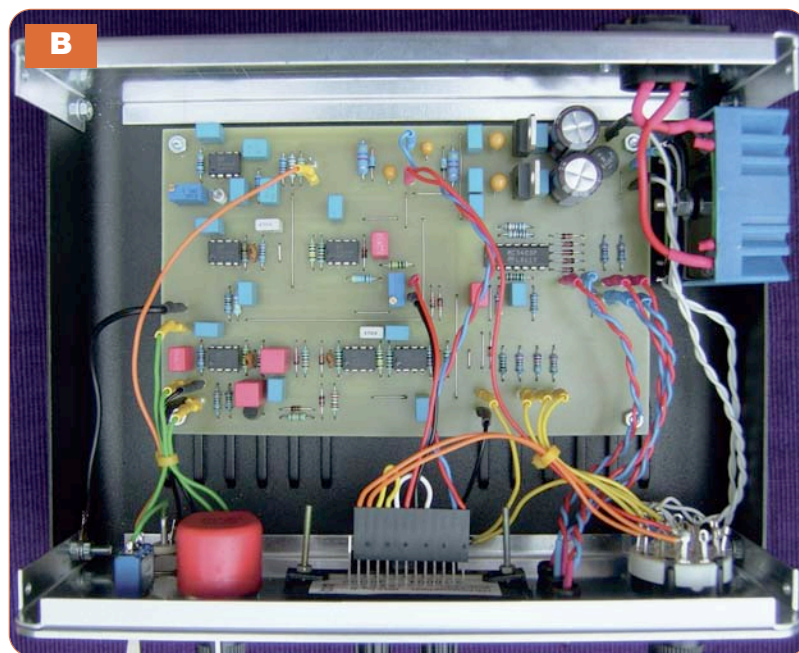
Le potentiomètre P3 règle la tension de sortie, pour une valeur de 10 Vac environ. Nous y reviendrons pour le calibrage de l'appareil.

L'alimentation

Le circuit d'alimentation est simplifié au maximum. Nous avons besoin de deux tensions symétriques de ± 24 Vdc et de ± 5 Vdc pour l'afficheur.

A noter que le MC3403 (ou TL064) est alimenté en +24 Vdc.

Le transformateur est un «torique» de 3,2 VA, de consommation non mesurable à vide. C'est pourquoi il est connecté directement sur le 230 Vac, la mise sous tension se faisant au niveau du secondaire.



Mise en œuvre

La mécanique

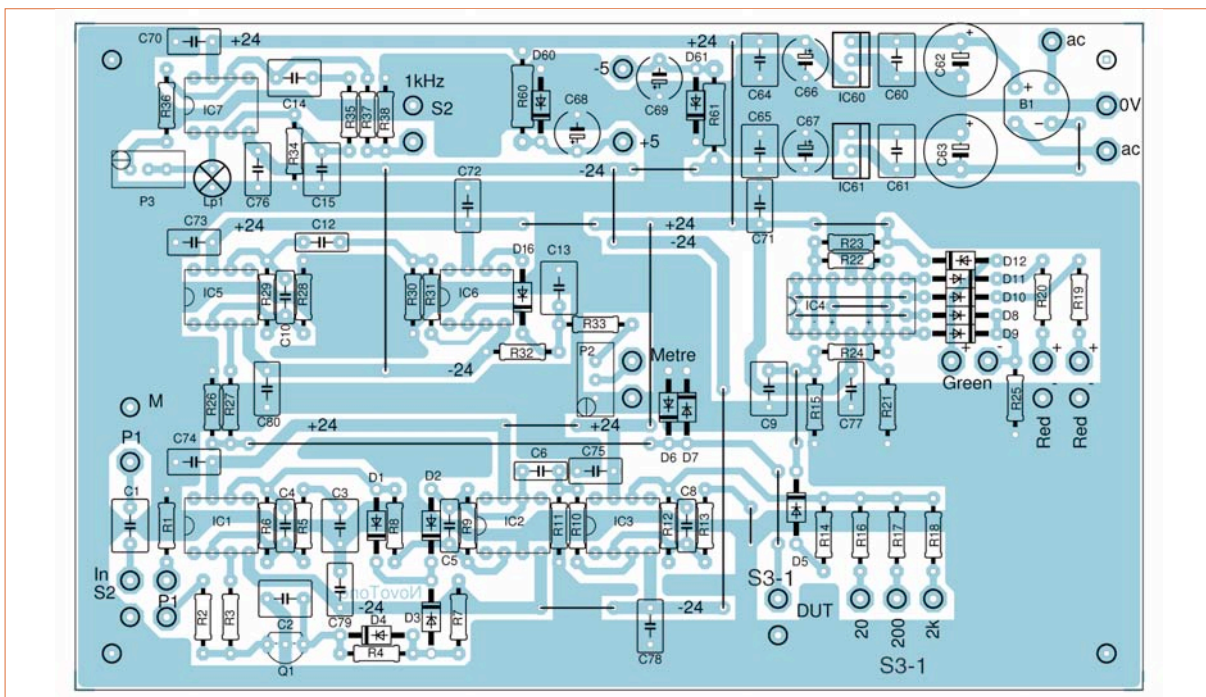
L'appareil est monté dans un boîtier aux dimensions de 200 x 150 x 70 mm.

La face avant, fournie par la société Schaeffer pour notre prototype, supporte tous les éléments de paramétrage.

Il y a lieu de percer la plaque de façade en aluminium fournie avec le boîtier, en se servant de la face sérigraphiée Schaeffer. La face avant Schaeffer sera maintenue contre cette plaque, par les divers éléments.

Les **photos A et B** vous serviront de guide pour la réalisation.

8



Nomenclature

• Condensateurs

C1, C9, C13 : 2,2 μ F / 50 V / 5 mm
 C2, C3 : 4,7 μ F / 50 V / 5 mm
 C4, C5, C8, C10 : 1 pF / 100 V / 5 mm
 C6, C12 : 470 nF / 100 V / 5 mm
 C14, C15 : 10 nF / 50 V / 5 mm / 2%
 C60, C61, C64, C65, C70 à C80 :
 1 μ F / 50 V / 5 mm
 C62, C63 : 470 μ F / 50 V / 5 mm
 C66, C67, C68, C69 : 10 μ F / 35 V / 5 mm /
 Tantale
 C7, C11 : non repris

• Semiconducteurs

Q1 : BF245C
 B1 : 200 V / 1A
 D1, D2, D4 à D11, D16 : 1N4001

D3, D12 : zéner 6,2 V / 400 mW
 D60, D61 : zéner 4,7 V / 400 mW
 IC1, IC2, IC3, IC5, IC6, IC7 : OPA604
 IC4 : MC3403 ou TL064
 IC60 : 7824
 IC61 : 7924

• Résistances

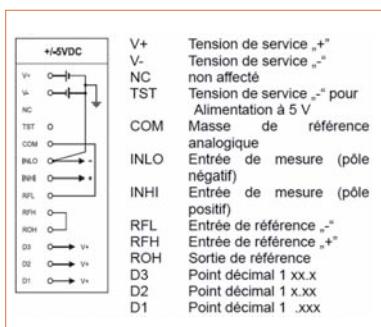
R1, R3, R8, R9, R10, R24, R31 : 10 k Ω /
 1/2 W / 1%
 R2, R18 : 220 k Ω / 1/2 W / 1%
 R4 : 470 k Ω / 1/2 W / 1%
 R5 : 4,7 k Ω / 1/2 W / 1%
 R6, R11, R30, R33 : 1 M Ω / 1/2 W / 1%
 R7, R13, R17 : 22 k Ω / 1/2 W / 1%
 R12, R23, R27 : 100 k Ω / 1/2 W / 1%
 R14 : 100 Ω / 1/2 W / 1%

R15, R32 : 10 M Ω / 1/2 W / 1%
 R16, R19, R20, R25 : 2,2 k Ω / 1/2 W / 1%
 R21 : 130 k Ω / 1/2 W / 1%
 R22 : 1 k Ω / 1/2 W / 1%
 R26 : 2,2 M Ω / 1/2 W / 1%
 R28 : 3 k Ω / 1/2 W / 1%
 R29 : 330 k Ω / 1/2 W / 1%
 R34, R35, R36 : 16 k Ω / 1/2 W / 1%
 R37 : 18 k Ω / 1/2 W / 1%
 R38 : 2,4 k Ω / 1/2 W / 1%
 R60, R61 : 4,7 k Ω / 1 W / 5%

• Divers

LP1 : ampoule 24 V / 20 mA
 P2 : 2 k Ω / 10T
 P3 : 1 k Ω / 10T
 26 picots de 1,3 mm

9



La carte est fixée par quatre entretoises M3 / M-M, isolée de 5 mm du capot du fond, à 15 mm de la face arrière. La face arrière ne supporte que la seule prise «châssis» du secteur.

Caractéristiques Techniques

Gamme de mesure	20 - 200 - 2000 Ω
Gamme de fréquence	16 Hz \rightarrow 32 kHz
Précision 20 Hz \gg 20 kHz	<1% +/- 2 digit
Précision 20 kHz \gg 32 kHz	<2% +/- 2 digit
Précision 16 Hz \gg 20 Hz	<2% +/- 2 digit
Entrée oscillateur	0,8 \gg 1,6 Vac
Stabilisation de l'amplitude	+/- 1 dB
Consommation	230 Vac - 14 mA - 3,2 VA
Dimensions	200 x 150 x 70 mm

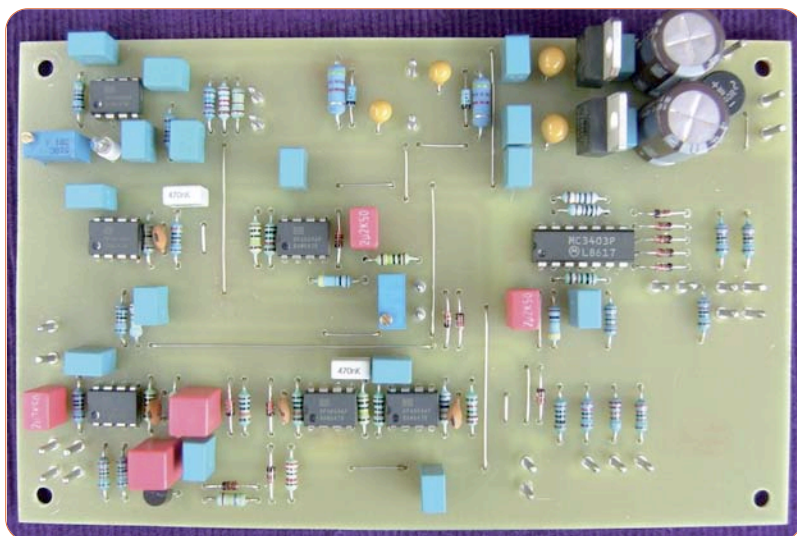
10

Le circuit imprimé

La carte mesure 148,5 x 93 mm (figure 7). Insérer, en premier lieu, les vingt six picots de 1,3 mm. Le reste du montage ne présente pas de difficulté, à

condition d'utiliser les composants pré-conisés dans la nomenclature (figure 8 et photo C).

Il est préférable de tester la carte en dehors du boîtier. Pour ce faire, il faut



C

raccorder le petit transformateur TR1. Vérifier la présence des tensions ± 24 Vdc et $\pm 4,7$ Vdc.

Ajuster le potentiomètre P3, pour obtenir un signal de 1 Vac environ sur le picot (1 kHz).

Relier le picot (1 kHz) au picot d'entrée (R2). Vérifier que la tension sur le picot (20) fait bien 10 Vac environ. Placer une résistance de 16 Ω aux bornes des picots (DUT) et y relier le picot (20).

La tension aux bornes de la résistance de 16 Ω doit faire 72 mVac environ, pour 8 Vac en sortie de IC5.

Régler P2 pour obtenir une tension de +16 mVdc sur le picot (Mètre).

A ce stade, les valeurs mesurées ne sont pas critiques et seront réajustées après montage.

L'afficheur

Le 70004 de Voltcraft est raccordé, comme montré en **figure 9 et photo D**. Le point décimal D1 n'est pas utilisé. Le point D3 est raccordé au +4,7 Vdc pour la gamme (20) et le point D2 pour la gamme (2k). Il est préférable d'utiliser un connecteur à douze broches pour le raccordement. La broche 13 (D1) n'est pas raccordée.

Assemblage final

Après le placement de la carte dans le boîtier, relier les différents éléments aux picots et remettre sous tension.

En position (1 kHz) et le bouton du potentiomètre «Level» à mi-course, régler P3 (amplitude de l'oscillateur

interne) pour illuminer la led verte. Vérifier, en tournant légèrement le bouton de part et d'autre du point milieu, que la led verte reste bien illuminée avant qu'elle ne s'éteigne au profit d'une des deux leds rouges.

Pour rappel, **la led verte est la référence de la mesure** et l'amplitude de l'oscillateur interne ou externe n'est pas critique. Elle s'établit entre 1 Vac et 1,5 Vac, mais doit, ensuite, rester constante.

Placer une résistance de 18 Ω , à 1% et régler P2 pour une lecture de [18.0] sur l'afficheur.

La masse de la carte (M) est reliée à la vis de fixation gauche de la face avant. Les trous de passage dans les deux capots doivent être dégagés de la peinture à l'aide d'un foret, de manière à assurer un bon contact électrique.

En l'absence de cette liaison, la carte doit être «flottante».

Utilisation

L'oscillateur interne générant le signal de fréquence 1 kHz est la référence utilisée la plupart du temps.

Avec l'oscillateur externe, il est possible de mesurer la variation de l'impédance en fonction de la fréquence.

Cet appareil permet, principalement, de mesurer l'impédance des haut-parleurs et des enceintes acoustiques. Vous constaterez, à l'usage, que l'impédance d'un haut-parleur varie en fonction de la fréquence, mais aussi en fonction des contraintes de son environnement.



D

Nomenclature

NOMENCLATURE HORS CARTE

Boîtier : 200x150x70 mm (Conrad réf. 520403)

Face avant Schaeffer

Afficheur Voltcraft 70004

Socle connecteur

12 souliers de câble «dito»

D13 : led verte \varnothing 5 mm / 2 mA

D14, D15 : led rouge \varnothing 5 mm / 2 mA

P1 : 22 k Ω / Lin

S1 : interrupteur DPDT

S2 : interrupteur SPDT

S3 : commutateur 4C/3P

TR1 : transformateur 2 x 22 V / 3,2 VA

Bouton index axe 6 mm

Bouton index axe 6,35 mm

4 entretoises isolées de 5 mm / M3 / F-F

3 socles led \varnothing 5 mm

2 socles «plug» 4 mm

26 souliers de 1,3 mm

Socle BNC isolé

Socle secteur 1 A

Ainsi, la mesure diffère fortement si le haut-parleur repose sur son aimant ou s'il est retourné vers le plan de la table. La fréquence de résonance est directement mesurable en faisant varier la fréquence de l'oscillateur externe.

L'impédance, à la fréquence de résonance, peut valoir dix fois l'impédance nominale. Ceci met en évidence l'importance de l'impédance interne des amplificateurs, qui doit être la plus faible possible. En effet, une faible impédance de sortie «écrase» la fréquence de résonance, au même titre qu'une enceinte bien amortie.

Et - in cauda venenum - pour abaisser l'impédance de sortie d'un amplificateur, il n'y a qu'une solution : une contre-réaction sérieuse et bien étudiée...

J.L. VANDERSLEYEN

Pour les données de fabrication, du circuit imprimé ou de quelque problème d'approvisionnement, n'hésitez pas à me contacter à l'adresse :

jl.vandersleyen@skynet.be ou via notre site www.novotone.com