

# générateur universel de signaux carrés

## stable jusque dans les hautes fréquences

Un générateur de signaux carrés suffit largement pour répondre à de nombreux problèmes de mesure. Il arrive que la richesse en harmoniques de ce signal présente un intérêt particulier. L'électronique moderne permet de construire assez facilement ce genre de générateur, avec en prime une indication précise de la fréquence et de l'amplitude.

On utilise d'ordinaire un générateur pour injecter un signal de test dans un circuit électronique et étudier la façon dont ce circuit le traite. Pour qu'un tel générateur puisse être utilisé efficacement partout, il importe que l'amplitude et la fréquence soient toutes deux réglables en fonction du circuit à tester. D'autre part, lorsqu'on souhaite tester un circuit numérique, une sortie supplémentaire compatible TTL n'est pas du luxe. Le circuit présenté ici remplit ces conditions. Il peut être qualifié d'universel dans la mesure où la gamme de fréquences délivrées est très large, de 10 kHz à 14 MHz.

Le générateur de signal comporte une sortie à 50  $\Omega$  classique, sans composante continue, dont l'amplitude se règle entre 0 V et 1 V. Elle est complétée par une sortie TTL numérique à amplitude fixe. La fréquence et l'amplitude choisies s'affichent sur un LCD de deux lignes. L'alimentation peut être confiée à un bloc secteur du commerce.

### Production du signal

Pour produire un signal de fréquence stable, on recourt généralement à un quartz ou à un résonateur céramique. L'inconvénient d'une telle solution est d'imposer des fréquences fixes ou la présence d'un diviseur de fréquence programmable qui complique sensiblement le montage et accroît la difficulté de couverture « analogique » d'une gamme de fréquences. Les oscillateurs RC sont certes simples et théoriquement réglables, mais pour la plupart des usages, ils ne sont pas assez stables.

Que choisir ? Une troisième voie ! Il existe des

oscillateurs intégrés tout prêts comme les deux exemplaires de *LinearTechnology*, un (des plus prolifiques) fabricant de semi-conducteurs. Comme ces deux circuits intégrés sont compatibles broche à broche, on peut, avec la variante « V1 » du même montage, en implantant le circuit LTC1799 [1], obtenir une gamme de fréquences étonnante de 1 kHz à bien 30 MHz. Si nos objectifs sont purement HF, nous prendrons la variante « V2 » avec le circuit LTC6905 [2] qui permet d'atteindre une gamme de fréquences de 17 à 170 MHz. La dérive en fréquence de ces générateurs réglables est très faible.

Une résistance,  $R_{set}$  câblée entre le +5 V et la broche 3, permet de régler la fréquence. On peut, en outre, par l'intermédiaire du niveau présent sur la broche 4, configurer un diviseur de fréquence supplémentaire N. Pour V1, ce diviseur N a les valeurs 1, 10 ou 100 selon que l'on met la broche 4 à la masse, en l'air ou au +5V. Pour V2, avec ces niveaux, on obtient pour N les diviseurs 1, 2 ou 4.

Les fréquences de ces deux variantes se calculent de la façon suivante :

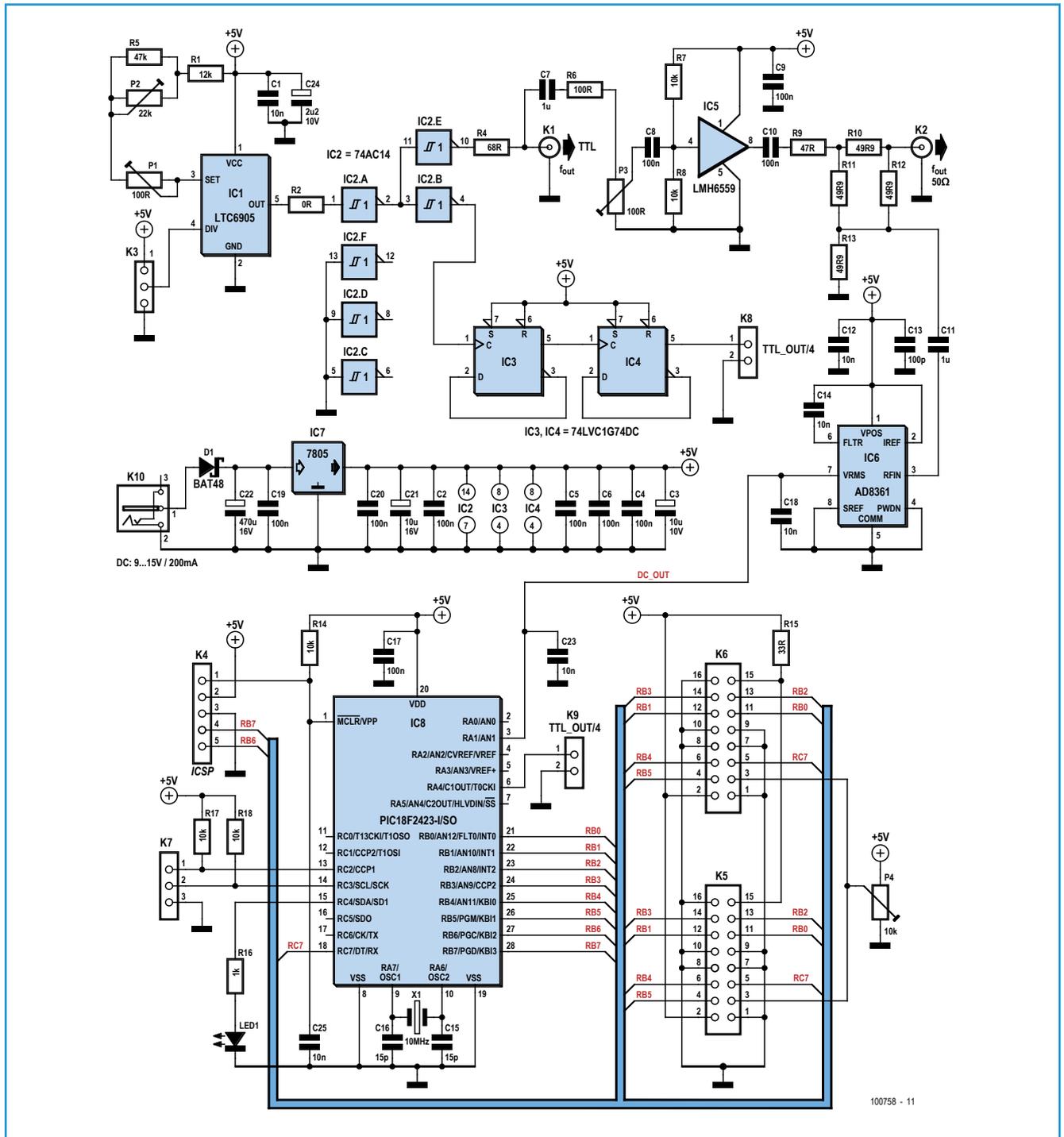
$$f_{V1} = \frac{10 \text{ MHz} \cdot 10 \text{ k}\Omega}{R_{set} \cdot N}$$

et

$$f_{V2} = \left( \frac{168,5 \text{ MHz} \cdot 10 \text{ k}\Omega}{R_{set}} + 1,5 \text{ MHz} \right) \cdot \frac{1}{N}$$

Pour des raisons de stabilité, évitez de dépasser certaines valeurs : pour  $N = 1$ , pas trop en dessous de 0,5 MHz ni trop au-dessus de 20 MHz dans la version V1 et, dans la version V2, pas plus de 140 MHz.

Kai Riedel (Allemagne)



**Circuit du générateur**

Pour simplifier, la **figure 1** présente le circuit complet dans sa variante V2. Un cavalier en K3 permet de configurer le diviseur N à 1, 2 ou 4. Pour N = 1, avec les valeurs choisies pour P1, P2, R1 et R5, on arrive à une gamme de 64 Hz à 145 MHz. Avec les diviseurs binaires 1, 2 et 4, on obtient donc trois gammes de

fréquences qui se chevauchent de façon tout à fait satisfaisante. Le potentiomètre P1 est, ici, chargé du réglage fin en pourcentage. Si IC1 est un LTC1799, les valeurs des deux potentiomètres et des résistances doivent être différentes pour que ça marche avec  $R_{set}$ . Avec  $R1 = 4,7 \text{ k}\Omega$ , sans R5,  $P1 = 2,2 \text{ k}\Omega$  et  $P2 = 100 \text{ k}\Omega$ , on arrive, pour N = 1, à une

Figure 1. Le circuit du générateur universel de signaux carrés est simple : IC1 produit les signaux, IC5 les amplifie et IC6 les mesure.

gamme de fréquences de 1 Hz à 20 MHz, ce qui nous donne également trois gammes se chevauchant tranquillement avec les diviseurs décimaux 1, 10 et 100. Dans la liste de composants, les valeurs de V1 sont entre parenthèses.

La sortie d'IC1 est d'abord tamponnée par les opérateurs d'IC2. Alors qu'en K1, le signal est directement compatible TLL, à la sortie à 50 Ω en K2, il est amené par IC5 (un amplificateur vidéo avec un gain de 1) à un niveau sans composante continue réglable par le potentiomètre P3 de 0 V à 200 mV<sub>eff</sub>.

Arrivés là, nous pourrions considérer le montage comme terminé. Si c'était le cas, nous ne saurions pas très bien quelle fréquence et quelle amplitude on aurait réglées. Un afficheur ne suffit pas, nous avons aussi besoin d'une électronique de mesure de la fréquence et de l'amplitude.

Dans un circuit moderne, ces tâches sont naturellement confiées à un microcontrôleur. Nous avons choisi un PIC18F2423 (IC8), modèle qui peut bien aller jusqu'à 40 MHz en fréquencemètre. Ce microcontrôleur comprend en outre un convertisseur A-N sur 12 bits qui permet une mesure d'amplitude d'une précision d'au moins 0,2 mV<sub>HF</sub>/bit.

Pour qu'IC8 puisse accomplir ces deux tâches, il a besoin d'un peu d'aide : pour la fréquence, il faut, au moins pour V2, un prédiviseur dont V1 se passe (il est remplacé par une résistance nulle). Les circuits IC3 et IC4 divisent la fréquence d'IC1 par 4 et permettent tout de même une étendue de mesure qui peut atteindre 160 MHz. La LED1 indique l'intervalle de mesure de fréquence de 100 ms. Un câble blindé conduit le signal de sortie d'IC4 depuis K8 via K9 jusqu'à l'entrée du microcontrôleur (broche 6).

L'amplitude a également bénéficié d'une solution intéressante : l'AD8361 est un détecteur de valeur efficace très linéaire, destiné aux hautes fréquences. Il fournit en sortie une tension continue proportionnelle à la tension alternative mesurée.

Sur la borne K7-1 ou sur sa broche RC2, le circuit IC8 distingue entre les deux variantes : V1 s'applique en présence d'un niveau « bas » et V2, d'un niveau « haut ». La borne K7-2 ou la broche RC3 est prévue pour vos éventuelles extensions.

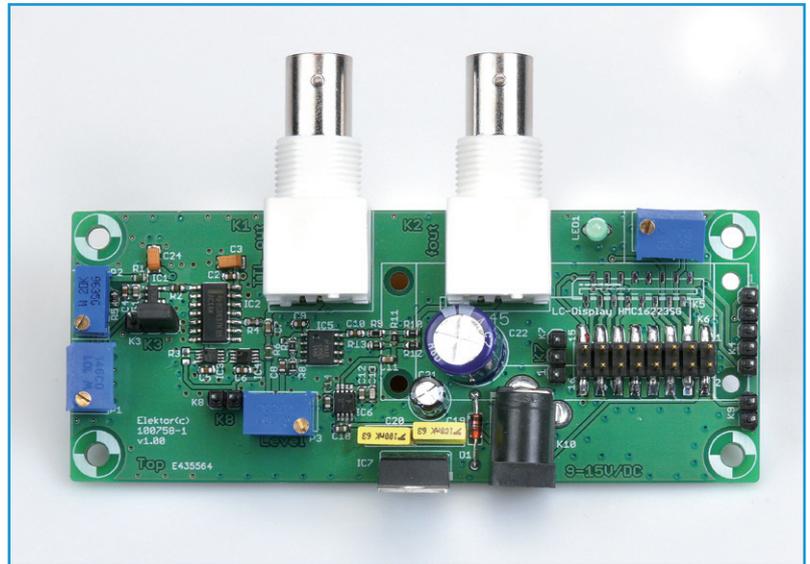
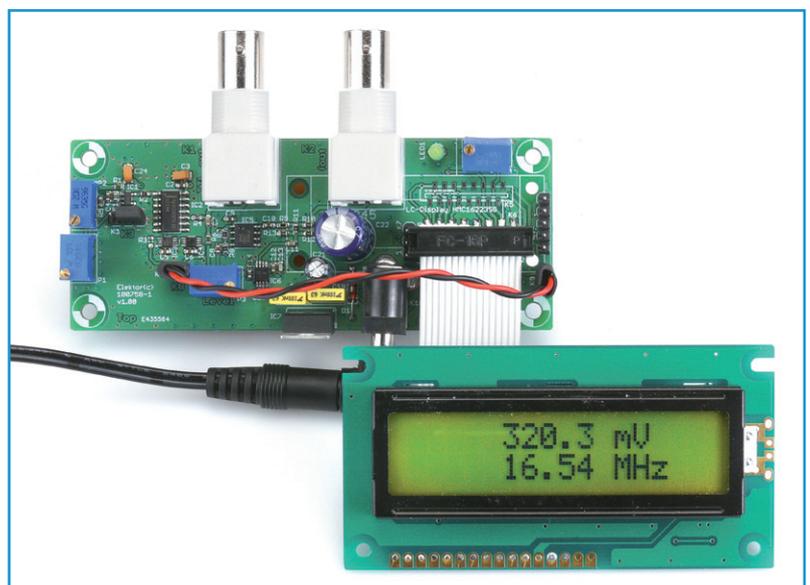


Figure 2. Une utilisation cohérente de CMS permet d'obtenir un générateur universel de signaux carrés très compact.

### Microprogramme

Comme il en est d'usage, le microprogramme de cet article [3] est disponible gratuitement sur le site d'Elektor. Il a été développé avec la version d'évaluation gratuite du compilateur de C MPLAB 18. Comment fonctionne-t-il ? En simplifiant : Timer0 compte les impulsions sur l'entrée externe TOCKI. Toutes les 100 ms, Timer1 déclenche une interruption. Dans la routine d'interruption correspondante, le contenu du registre de comptage de Timer0 est lu pour la mesure de la fréquence et une conversion A-N est lancée pour la mesure du niveau de sortie. Après une mise à l'échelle, l'écran affiche la fréquence

Figure 3. Le prototype du générateur universel de signaux carrés avec afficheur en service.



**Caractéristiques techniques**

- module compact avec fréquence et amplitude variables
- gammes de fréquence :  
 V1 = 10 kHz à 20 MHz ; V2 = 17 MHz à 145 MHz  
 divisées chacune en trois bandes de :  
 - V1 : 10 à 200 kHz ; 0,1 à 2 MHz et 1 à 20 MHz  
 - V2 : 17 à 36 MHz ; 33 à 73 MHz et 64 à 145 MHz
- Stabilité de la fréquence : V1 =  $\pm 40$  ppm/K ;  
 V2 =  $\pm 20$  ppm/K
- Forme de la courbe : signal carré
- Rapport cyclique : 50 %
- Deux prises BNC en sortie :  
 - K1 : compatible TTL (5 V)  
 - K2 : réglable de 0 à 200 mV<sub>eff</sub> sur 50  $\Omega$ , sans composante continue
- Affichage : LCD à deux lignes pour l’amplitude et la fréquence
- Alimentation : 9 V à 15 V, max. 200 mA

Figure 4.  
L’oscillogramme montre un signal de sortie de forme tout à fait satisfaisante pour cette fréquence.

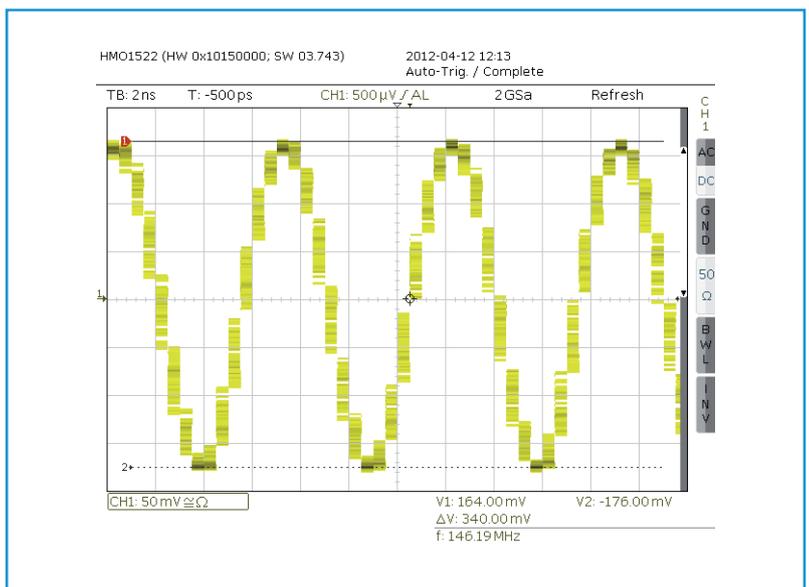
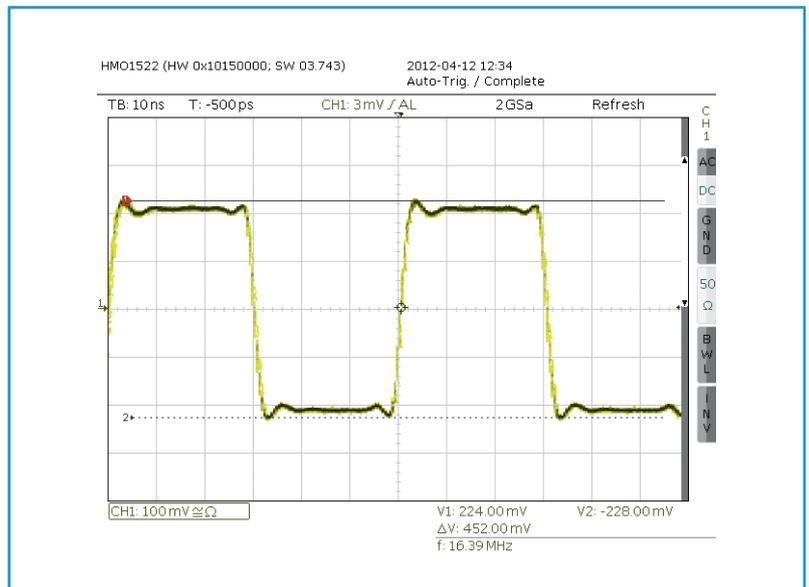
et le niveau (valeur efficace) du signal rectangulaire. Ensuite, les valeurs de départ sont rechargées dans les deux compteurs et on recommence une boucle.  
 L’interface K4 est prévue pour la programmation du contrôleur. La mémoire du circuit IC8 n’est utilisée que partiellement et vous laisse beaucoup de place pour vos propres extensions.

**Affichage et montage**

Comme le montre la **figure 2**, la plupart des composants du générateur universel de signaux carrés sont des CMS et le montage peut être très compact. Au risque de nous répéter : le circuit IC8 enregistre fréquence et amplitude. Ces informations sont ensuite transférées vers un afficheur LCD de deux lignes.

Si l’on utilise un écran à connecteur FPC comme le modèle 120545 de Pollin, on peut faire un montage en sandwich : en posant, par exemple, l’écran avec des entretoises débrochables sur la platine du générateur et en l’enfichant sur K5. La **figure 3** représente la

Figure 5.  
À 143 MHz, limite supérieure de fréquence de la variante V2, le signal n’est plus vraiment rectangulaire. Il reste cependant encore utilisable pour des mesures.



construction avec un écran standard de 2 x 16 caractères raccordé à K6 par un câble plat.

**Compléments**

**L'encart** donne les caractéristiques techniques des deux variantes. Sur les oscillogrammes des figures 4 et 5, on voit la forme du signal pour le prototype de variante V2, à 16 MHz et 146 MHz. À la limite inférieure de fréquence, l'aspect rectangulaire est encore bien présent, tandis que dans les hautes fréquences, en haut de la gamme, les coins s'ar-

rondissent légèrement. Le signal reste toutefois utilisable, même dans ces fréquences, car il s'agit là des très hautes fréquences que même les oscilloscopes les plus chers ne parviennent pas à représenter de façon parfaite. Pour finir, un avertissement : bien que la résonance radio soit relativement réduite, évitez de brancher des bouts de câble qui pourraient faire antenne sur les sorties. Sans vous en rendre compte, vous risqueriez de parasiter, avec la sortie TTL, des bandes de fréquences utilisées.

**Liste des composants :**

Valeurs pour V2  
(valeurs pour V1 entre parenthèses)

**Résistances :**

- (0603 sauf mention)
- R1 = 12 kΩ (4,7 kΩ)
- R2 = 0 Ω
- R3 = absent (0 Ω, cf schéma d'implantation)
- R4 = 68 Ω
- R5 = 47 kΩ (absent)
- R6 = 100 Ω
- R7, R8, R14, R17, R18 = 10 kΩ
- R9 = 47 Ω
- R10 à R13 = 49,9 Ω
- R15 = 33 Ω
- R16 = 1 kΩ
- P1 = 100 Ω (2,2 kΩ) aj. à dix tours, vert. \*
- P2 = 22 kΩ (100 kΩ) aj. à dix tours, vert. \*
- P3 = 100 Ω aj. à dix tours, vert. \*
- P4 = 100 kΩ aj. à dix tours, vert. \*

**Condensateurs :**

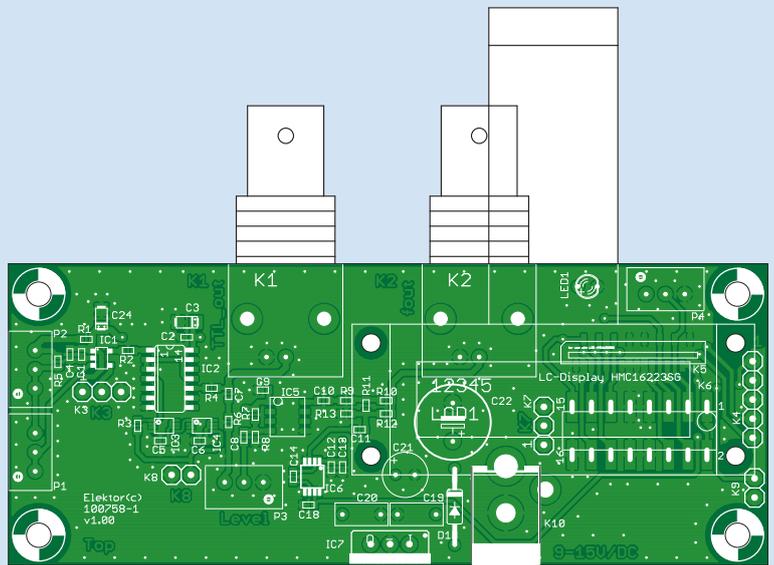
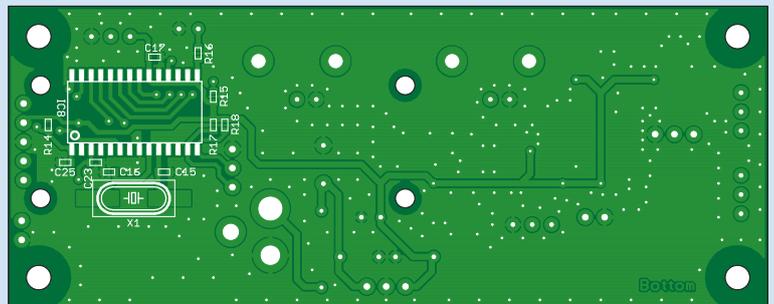
- (céramique 0603 sauf mention)
- C1, C12, C14, C18, C23, C25 = 10 nF, X7R
- C2, C4, C5, C6, C8, C9, C10, C17 = 100 nF, X7R
- C3 = 10 µF/10 V, tantale, type A
- C7, C11 = 1 µF, X5R
- C13 = 100 pF, NP0
- C15, C16 = 15 pF, NP0
- C19, C20 = 100 nF, MKT, au pas de 5 mm
- C21 = 10 µF/16 V, au pas de 2,5 mm, ø 6 mm
- C22 = 470 µF/16 V, au pas de 5 mm, ø 10 mm
- C24 = 2,2 µF/10 V, tant., type A

**Semi-conducteurs :**

- D1 = BAT48, DO-35
- IC1 = LTC6905CS5 (LTC1799CS5), TSOT-23-5
- IC2 = CD74AC14M96G4, SO-14
- IC3, IC4 = 74LVC1G74DC (supprimé), VSSOP-8
- IC5 = LMH6559/MA, SO-8
- IC6 = AD8361ARMZ, msOP-8
- IC7 = LM7805, TO-220
- IC8 = PIC18F2423-I/SO, SOICW-28, programmé 100758-41
- LED1 = LED, verte, 3 mm

**Divers :**

- K1, K2 = prise BNC pour circuit imprimé, soudée, TE 1-1337543-0
- K3, K7 = barrette 3 picots, au pas de 2,54 mm



- K4 = barrette 5 picots, au pas de 2,54 mm
- K5 = prise FFC 16 contacts, CMS, au pas de 1 mm, MOLEX 670-6934 \*
- K6 = barrette DIL 2x8 picots, au pas de 2,54 mm \*
- K8, K9 = barrette 2 picots, au pas de 2,54 mm
- K10 = prise secteur encartable, 2,1 mm
- X1 = quartz 10 MHz, HC49/CMS
- LCD, Pollin HMC16223SG ou Elektor 120061-71 \*

\* voir texte

Pour les deux variantes, le point suivant est important : si vous trouvez plus pratique de remplacer les ajustables par de vrais potentiomètres, les liaisons avec le circuit imprimé doivent être soit aussi courtes que possible, car la broche 3 d'IC1 est très sensible à toutes sortes de parasites radioélectriques. Si vous souhaitez pouvoir changer de fréquence depuis un organe de commande en face avant, au lieu de le faire avec les cavaliers, branchez simplement un commutateur avec la borne médiane sur K3. La broche 4 du circuit IC1 n'est pas aussi sensible que sa broche 3.

Le site [3] ne se contente pas de vous proposer le microprogramme en téléchargement ou la commande d'un circuit imprimé. Si vous n'avez pas de programmeur, vous pouvez également y commander un microcontrôleur

préprogrammé. Et vous pouvez aussi vous procurer auprès d'Elektor un module LCD adapté. L'alimentation peut se faire par un bloc secteur classique. La tension de sortie n'a pas besoin d'être stabilisée.

(100758 – version française : Claire Dodé)

#### Liens

[1] [www.linear.com/product/LTC1799](http://www.linear.com/product/LTC1799)

[2] [www.linear.com/product/LTC6905](http://www.linear.com/product/LTC6905)

[3] [www.elektor-magazine.fr/100758](http://www.elektor-magazine.fr/100758)

#### L'auteur

Kai Riedel est ingénieur développement chez Turck, à Beierfeld. Il se passionne pour l'électronique depuis son enfance. Ses domaines de prédilection sont les petits appareils de contrôle et de mesure à microcontrôleurs, les expériences de haute fréquence et les réparations de toutes sortes d'appareils électroniques. Kai est aussi pianiste et organiste.