

# générateur de référence 10 MHz

très précis, avec isolation galvanique

Alfred Rosenkränzer (Allemagne)

Dans des contextes de mesure complexes où il est crucial d'enregistrer et de corrélérer avec précision les fréquences, les appareils de mesure doivent fonctionner de manière aussi synchronisée que possible. Ils sont synchronisés en utilisant une fréquence de référence très précise. Cet article traite de la réalisation d'un tel générateur de référence.

En l'absence de contraintes contradictoires, l'appareil possédant la base de temps la plus précise est désigné comme maître dans ces configurations de mesure et son signal de sortie sert de référence pour les autres appareils. Il est possible de distribuer le signal en utilisant une configuration « daisy chain », où chaque appareil transmet la fréquence de référence de son entrée à sa sortie, formant ainsi une chaîne sérieuse. Une alternative est l'utilisation d'une connexion en étoile utilisant un amplificateur de distribution, permettant la disponibilité de plusieurs signaux de référence en parallèle. Une fréquence de 10 MHz a été établie comme référence standard.

## Problèmes de masse

Les boucles de masse représentent un problème répandu dans les installations de mesure et peuvent gravement perturber les mesures sensibles. Contexte : les masses des prises d'entrée et de sortie sont reliées à la terre de protection (PE) de la prise secteur,

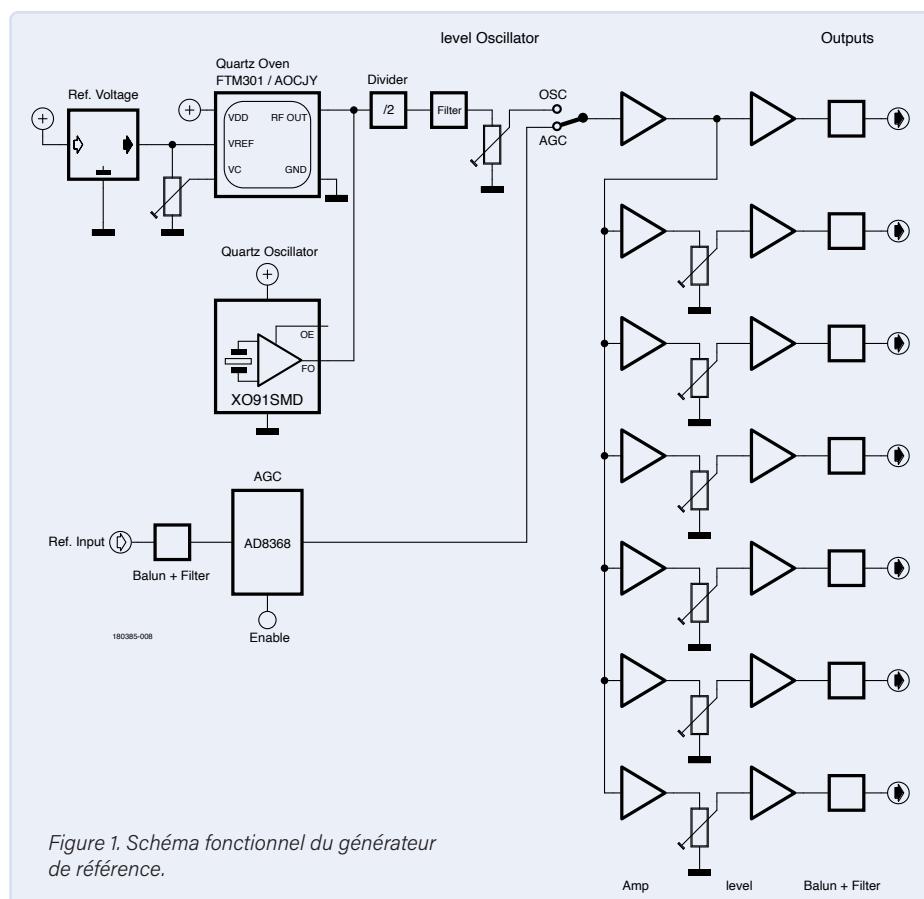


Figure 1. Schéma fonctionnel du générateur de référence.

aux connecteurs des interfaces de données (GPIB, USB) et aux masses des connecteurs des signaux de référence. Les champs magnétiques parasites peuvent se coupler avec ces boucles de masse qui en résultent, ou des courants d'égalisation peuvent circuler ; les signaux utiles sont ainsi perturbés par des signaux parasites indésirables.

Pour éviter les boucles de masse dans les signaux de référence, les boucles de masse peuvent être évitées par une isolation galvanique en utilisant des transformateurs HF. De tels transformateurs sont disponibles en petits boîtiers avec des connecteurs BNC, par exemple chez Mini-Circuits. Pour une config-

uration *daisy chain*, ils doivent être insérés entre chaque paire d'appareils. Lors de l'utilisation d'un distributeur, un tel transformateur est inséré entre le distributeur et chaque entrée de référence des appareils de mesures. Actuellement, il semble qu'il n'existe pas sur le marché de distributeurs équipés de transformateurs de sortie RF intégrés qui permettraient une connexion simplifiée et sans mise à la terre des appareils de mesure. Cette lacune m'a motivé à développer un générateur de référence qui est non seulement équipé d'un oscillateur de haute précision, mais qui offre également plusieurs sorties non mises à la terre.



## Liste des composants

### Résistances

SMD 0603, sauf spécification contraire  
 R1, R3, R9, R53, R309, R314, R315 = 10k  
 R2, R310 = 4k7  
 R4 = 820  $\Omega$   
 R5 = 0  $\Omega$ , SMD 2012 \*  
 R6, R7 = 1k2  
 R8, R14, R52, R64, R75, R86, R97, R108, R123 = 390  $\Omega$   
 R10, R17 = 100  $\Omega$   
 R11, R18, R54, R57, R58, R61, R63, R66, R69, R72, R74, R77, R80, R83, R85, R88, R91, R94, R96, R99, R102, R105, R107, R110, R115, R118, R121, R124, R126, R129, R130 = 50  $\Omega$   
 R13, R67, R68, R78, R79, R89, R90, R100, R101, R111, R112, R113, R114, R119, R120, R307, R308, R318 = 0  $\Omega$  \*  
 R15 = 130  $\Omega$   
 R16 = 2k5, trim pot multitour, vertical, RM 1/10"  
 R25 = 1k  
 R50 = 120  $\Omega$   
 R51 = 200  $\Omega$ , trim pot multitour, vertical, RM 1/10"  
 R55, R56, R60, R65, R71, R76, R82, R87, R93, R98, R104, R109, R116, R117, R122, R127 = 470  $\Omega$   
 R59, R70, R81, R92, R103, R128 = 330  $\Omega$   
 R62, R73, R84, R95, R106, R125 = 500  $\Omega$ , trim pot multitour, vertical, RM 1/10"  
 R301, R306 = 150  $\Omega$   
 R302, R305 = voir texte  
 R303, R304 = 75  $\Omega$   
 R311...R313 = 10  $\Omega$ , SMD 2012  
 R316 = 68  $\Omega$   
 R317 = 180  $\Omega$

### Condensateurs

SMD 0603, sauf spécification contraire  
 C1 = 4,700  $\mu$  / 16 V, électrolytique, RM 5 mm, ø 13 mm \*  
 C2, C4, C8...C11, C19...C22, C34, C35, C51...C54, C56...C65, C82, C83 = 100n  
 C3, C5, C12...C18, C33, C36...C40 = 22  $\mu$  / 20 V, SMD SMCB  
 C6, C7 = 2,200  $\mu$  / 16 V, électrolytique, RM 5 mm, ø 13 mm  
 C23, C32 = 33p  
 C24 = 120p  
 C25, C90 = 5p6  
 C26 = 10p  
 C27 = 150p  
 C28, C31 = 100p  
 C29 = 12p

C30 = 39p

C66, C68, C70, C72, C74, C76, C78, C87 = 47p  
 C67, C69, C71, C73, C75, C77, C79, C88 = 3p3  
 C81, C89, C94 = 10n  
 C84...C86, C91...C93 = 1n

### Bobines

CMS 1210  
 L1...L7, L301 = 4 $\mu$ H  
 L8 = 1 $\mu$ H  
 L9 = 1 $\mu$ H

### Semi-conducteurs

D1...D4 = SK56, Schottky, 60 V / 5 A, DO214AA \*  
 D5...D8 = SK56, Schottky, 60 V / 5 A, DO214AA  
 D9, D10 = SK540, Schottky, 40 V / 5 A, DO214AC  
 D31 = 1N4148, SOD-123  
 LED1...LED3 = LED, SMD 0805  
 T1...T2 = 2N3904, SOT23-BEC  
 IC1 = 7805  
 IC2 = 7905  
 IC3 = LT1963AET-3.3 \*  
 IC4...IC11 = MAX4392ESA, SOIC8  
 IC6 = MCP1525TT, SOT-23-3 \*  
 U1 = AD8368ACPZ-WP, LFCSP-24 \*  
 U2 = SN74LVC1G80DBVR, SOT-23-5 \*  
 Y1 = AOCJY-20.000MHZ-F, SMD \*  
 XO1 = XO91, 20 MHz, SMD \*

### Divers

X1 = Borne à vis à 2 broches, RM 5 mm  
 X5 = Borne à vis à 3 broches, RM 5 mm  
 JP1, JP2 = Connecteur à 2 broches  
 Tr1 = transformateur 2 x 6 V, 2 x 300 mA, RM 20 mm, pour montage sur circuit imprimé\*  
 Tr3 = transformateur 2 x 6 V, 2 x 233 mA, RM 27.5 mm, pour montage sur circuit imprimé  
 Tr51...Tr81 = ADT1-1, RF transformateur, CMS \*  
 F1 = fuse 250 mA, 20 x 5 mm  
 Porte-fusible pour F1, pour montage sur circuit imprimé  
 K1 = relais FTR-B4S, CMS

\* voir texte

## Circuit

Un schéma fonctionnel du circuit du générateur est illustré dans la **figure 1**. La génération de l'horloge de base de 20 MHz est visible en haut à gauche, avec un simple oscillateur à quartz ou oscillateur à quartz thermostaté (OCXO) plus complexe et calibrable. Après une réduction de fréquence par division par deux à 10 MHz et un filtrage, la fréquence de référence est prête pour la mise en mémoire tampon et la distribution (partie droite). Il est également possible d'utiliser le circuit comme un simple amplificateur de distribution. Si vous avez accès à une fréquence de

référence externe de haute qualité, vous pouvez l'injecter dans l'entrée de référence en bas à gauche. Après une stabilisation de l'amplitude par un amplificateur RF spécial (AGC), ce signal est transmis au bloc d'amplificateurs de distribution à droite en tant que référence.

## Circuit

Comme vous pouvez le voir dans le circuit de la figure 2, les parties numériques et analogiques sont alimentées séparément. La génération d'horloge est fournie par l'alimentation 3,3 V autour de Tr1 et IC3. Un OCXO optionnel est également alimenté par cette

branche. Sa configuration permet d'obtenir une fréquence de référence précise et à faible dérive.

Les amplificateurs analogiques sont alimentés symétriquement avec  $\pm 5$  V par Tr3 et les deux régulateurs de tension classiques IC1 et IC2. Afin de garantir des tensions stables, de nombreux petits condensateurs électrolytiques de découplage de 22  $\mu$ F et des condensateurs multicouches de 100 nF, sont disposés sur le circuit. La stabilisation du niveau d'un signal de référence externe via l'AGC est réalisée par la branche +5 V, incluant de petits filtres RC (R311/C85 et R312/C84).

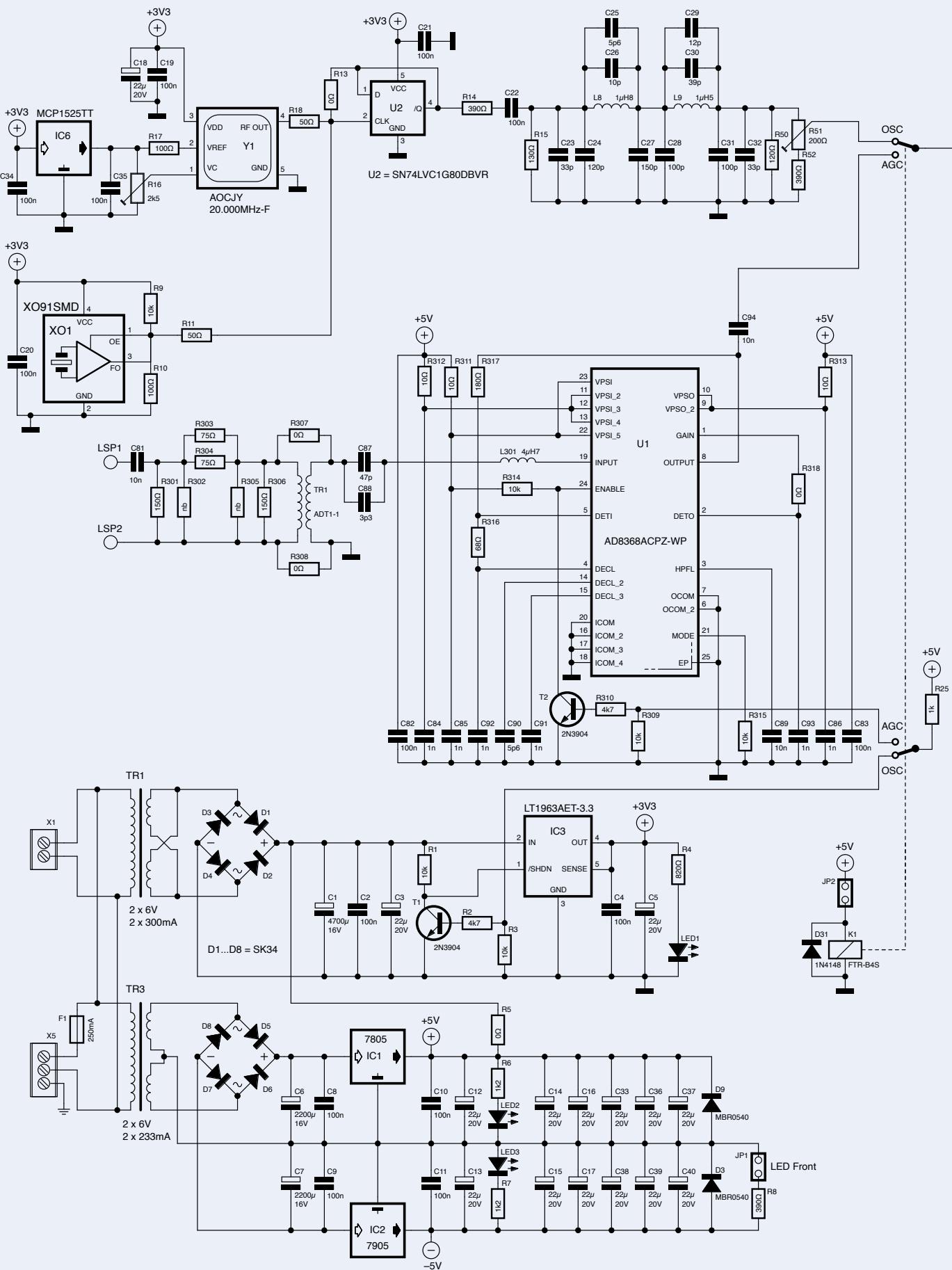
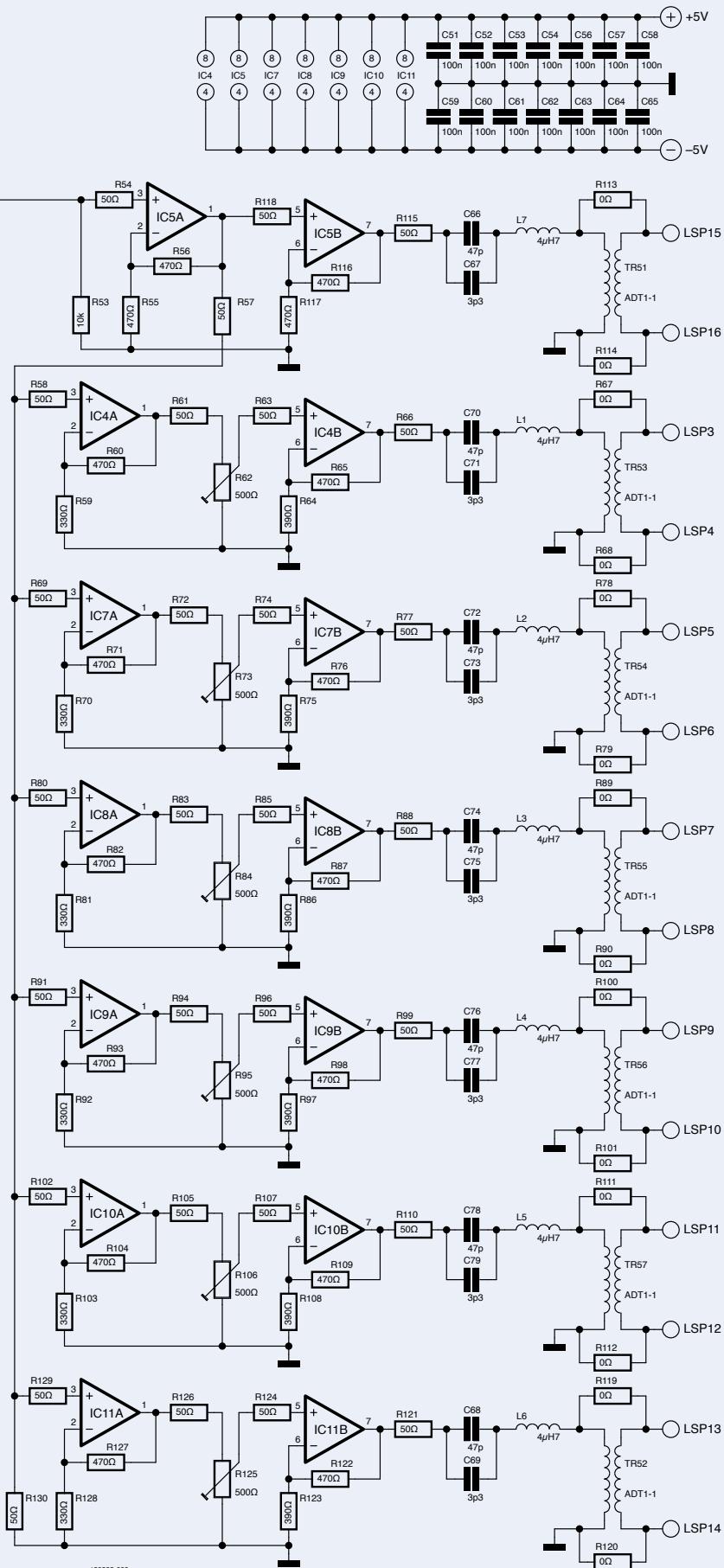


Figure 2. Le circuit détaillé du générateur de référence est un peu plus compliqué, mais les sept amplificateurs de sortie sont conçus de la même manière.



180385-009

Deux LED sur le circuit imprimé signalent que le système est prêt à fonctionner. Il est possible de monter une diode supplémentaire sur le panneau avant. Lorsque tous les étages de sortie sont assemblés, un courant d'environ 180 mA circule dans la branche  $\pm 5$  V.

### Oscillateurs

Un générateur à quartz de haute précision tel que le FTM301 de FOX ou, l'OH300-50503CF-020.0M [1] de Connor-Winfield (Y1 dans la figure 2) est utilisé comme oscillateur. Pour des besoins moins exigeants en termes de précision, un simple oscillateur à quartz de 20 MHz (XO1 dans la figure 2, [2]) est également suffisant. Il est important de noter que seul l'un de ces deux dispositifs doit être installé. Si Y1 est monté, le circuit consommera jusqu'à 800 mA de la branche 3,3 V pendant quelques secondes après la mise sous tension pendant le chauffage. Ensuite, le courant se stabilise à environ 350 mA.

La fréquence de l'oscillateur Y1 peut être ajustée en utilisant l'entrée VC (broche 1), avec une tension de contrôle allant de 0 à 2.5 V, générée par IC6 et réglable par le potentiomètre R16. Si XO1 est utilisé à la place de Y1, nous pouvons omettre IC6 et le potentiomètre de réglage R16. Certains oscillateurs disposent de leur propre tension de référence, qui peut être prélevée sur la broche 2. Dans un tel cas, nous pouvons omettre IC6 et installer R17 à la place. Pour les oscillateurs qui ne possèdent pas leur propre tension de référence, il es nécessaire de monter IC6 et R17 peut être omis. La calibration de la fréquence de référence se fait par l'ajustement de R16, nécessitant une source de fréquence de référence externe à la fois adaptée et d'une haute précision.

Si une précision absolue n'est pas essentielle, l'oscillateur à quartz XO1, simple et peu coûteux, logé dans un boîtier XO91, fera l'affaire. Il est important de rappeler qu'un seul oscillateur doit être monté - soit Y1, soit XO1. Utiliser XO1 présente l'avantage d'une consommation de courant plus faible; par conséquent, le transformateur supplémentaire TR1 n'est pas nécessaire, et le redresseur D1...D4 peut être omis. À la place, R5 est monté pour dériver les 3,3 V nécessaires de la branche 5,5 V. R11 est monté lorsque XO1 est utilisé et R18 lorsque Y1 est utilisé.

Afin d'obtenir un rapport cyclique optimal de 50% du signal de 10 MHz, il es possible de diviser les 20 MHz du générateur d'horloge



Figure 3. Le circuit imprimé partiellement assemblé du prototype.

primaire par une bascule D. Une autre solution consiste à utiliser des générateurs 10 MHz, ce qui signifie que U2 est omis et que son entrée est connectée à la broche de sortie en montant R13. Un filtre passe-bas passif de Cauer d'ordre 5 intégrant L8 et L9 permet de supprimer les harmoniques du signal de 10 MHz et de convertir le signal rectangulaire en une onde sinusoïdale. La fréquence de coupure du filtre est de 11 MHz, son ondulation n'est que de 0,1 dB, et les impédances d'entrée et de sortie est de  $100\Omega$ . Le diviseur de tension R14/R15 réduit le signal d'entrée, et C22 supprime les composantes de tension continue (= moitié de la tension de fonctionnement). R50, R51 et R52 constituent les terminaisons de la sortie du filtre. Nous pouvons régler l'amplitude avec le potentiomètre R51 ce qui permet de l'adapter à la plage des niveaux d'entrée de l'AGC. Pour choisir entre le signal du générateur interne et l'entrée de référence, il es possible d'utiliser le relais K1 et un commutateur sur le panneau avant.

#### Amplificateur de distribution

IC5A amplifie le signal par un facteur 2 et le distribue à six des sept étages de sortie via une ligne terminée par  $50\Omega$  (R130) afin d'éviter les réflexions sur les pistes du circuit imprimé assurant ainsi une distribution de niveau aussi uniforme que possible sur toutes les entrées des sept étages de sortie. La résistance de  $50\Omega$  de ces étages sert à découpler la capacité d'entrée des ampli-op installés. Six de ces étages sont équipés de deux ampli-op vidéo chacun. L'amplitude des signaux sur ces six voies peut être ajustée individuellement à l'aide de trimots de  $500\Omega$ .

Le deuxième ampli-op de IC5 pilote un filtre passe-bande série composé des deux

condensateurs C66 et C67 montés en parallèle, de la bobine L7 et enfin du transformateur HF Tr51 ADT1-1 [3] via une résistance de  $50\Omega$ . Cet étage de sortie n'a pas de potentiomètre de réglage et sa tension de sortie n'est donc pas réglable.

Si vous n'avez pas besoin d'isolation galvanique, vous pouvez laisser de côté les transformateurs HF Tr51 à Tr57 et mettre à la place deux résistances  $0\Omega$ . Dans mon prototype, j'ai utilisé des amplificateurs optoélectroniques MAX4392ESA [4] dans un boîtier SOIC8. Cependant, vous pouvez également utiliser d'autres amplificateurs vidéo adaptés à une alimentation de  $\pm 5V$ . Avec une isolation galvanique et un panneau avant/arrière métallique, il est évidemment nécessaire de s'assurer que les prises BNC sont isolées !

#### Entrée de référence et AGC

Dans ce sous-circuit, nous utilisons un circuit intégré AGC AD8368 [5] d'Analog Devices (U1). Le montage de la figure 2 est conforme aux recommandations de la fiche technique. Pour éviter de surcharger l'entrée, un atténuateur de  $6dB$  est connecté avant le transformateur d'entrée HF Tr81. Lorsqu'une isolation galvanique n'est pas requise, il est possible de se passer du transformateur qui peut être remplacé par les deux résistances R307 et R308. La stabilisation du niveau par AGC fonctionne avec des signaux d'entrée compris entre 70 et 2 000 mVSS à  $50\Omega$ . Des niveaux d'entrée inférieurs réduiront le niveau de sortie - tandis que des niveaux d'entrée plus élevés l'augmenteront.

#### Alimentation

Après la mise sous tension du circuit avec un OCXO non chauffé, le flux de courant est



Figure 4. Circuit imprimé partiellement assemblé et installée dans un boîtier Teko.

nettement plus important qu'ultérieurement à l'état chauffé. Pour cette raison, un transformateur relativement puissant avec des diodes Schottky et un grand condensateur de filtrage est prévu. Le  $3,3V$  stabilisé est généré par le régulateur à faible chute LT1963AET-3,3 (Analog Devices). Le régulateur nécessite un refroidissement. Nous pouvons alors le visser sur la paroi arrière d'un boîtier en aluminium avec isolation. Sa tension de sortie peut être coupée via l'entrée d'arrêt si vous souhaitez utiliser la fréquence de référence externe et utiliser le circuit uniquement comme un amplificateur de distribution. Cette configuration permet d'éviter les interférences entre le signal du générateur interne et le signal de référence externe. Le relais K1 est contrôlé par un commutateur sur le panneau avant, qui est connecté à JP2. Un contact inverseur du relais sélectionne le signal d'entrée pour l'amplificateur de distribution. L'autre contact contrôle l'entrée SHDN de IC3 via T1 et l'entrée ENBL de l'AGC via T2.

Encore une remarque sur ce circuit : une bonne isolation thermique de l'OCXO réduira sa consommation d'énergie. Il a atteint sa précision maximale après 30 minutes au plus tard.

#### Options de montage

Le circuit imprimé offre plusieurs possibilités de montage. Les composants optionnels sont marqués d'un astérisque dans la liste des composants. Par souci de clarté, les options de montage sont à nouveau spécifiées ici :

#### OCXO ou générateur à quartz simple

Pour l'OCXO Y1, Tr1, les diodes D1...D4, et C1 doivent être montées. R5 est omis. Pour XO1, Tr1, les diodes D1...D4 et C1 sont omises. R5 est monté à la place.

## Oscillateur 20 ou 10 MHz

Pour les oscillateurs de 20 MHz, le diviseur U2 doit être utilisé. R13 est omis. Pour les oscillateurs de 10 MHz, U2 est omis. R13 doit être monté.

## Tension de référence de l'OCXO

Si l'OCXO possède une source de tension de référence interne, IC6 n'est pas nécessaire et R17 doit être monté. Sans source de tension de référence interne, IC6 est requis. R17 ne doit pas être monté dans ce cas.

## Génération de fréquence interne ou externe, ou les deux

Il est possible d'équiper uniquement les oscillateurs internes ou uniquement l'entrée pour une référence externe avec CAG, ou les deux parties. Lors de l'utilisation d'un générateur interne, l'AGC est désactivé. Lors de l'utilisation de l'entrée externe avec AGC, l'alimentation 3,3 V et donc les oscillateurs et le diviseur sont éteints.

## Isolation galvanique

Si l'isolation galvanique n'est pas essentielle,

il est possible d'omettre les transformateurs RF. Dans ce cas, les deux résistances 0 Ω par transformateur doivent être montées pour les ponter. Dans ce cas, il faut respecter la polarité correcte lors de la connexion des prises BNC.

## R302 et R305

Ces résistances sont utilisées pour obtenir une valeur de résistance exacte en les connectant en parallèle avec R301 et R306. Les valeurs spécifiées de R301 et R306 sont suffisamment précises pour l'atténuation de 6 dB prévue ici. Vous pouvez donc omettre R302 et R305.

## Construction

La **figure 3** montre la carte partiellement assemblée, dont les fichiers Eagle sont téléchargeables gratuitement sur le site d'Elektor [6]. La **figure 4** montre une carte installée dans un boîtier en plastique avec des panneaux avant et arrière en métal. Comme déjà mentionné, les prises BNC doivent être installées avec une isolation galvanique. Le générateur de référence décrit dans cet article est polyvalent, très précis et permet d'éviter les boucles de masse dans les configura-

tions de test complexes. D'ailleurs, quelques cartes vierges sont encore disponibles auprès de l'auteur. ↗

180385-04

## Questions ou commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur  
(alfred\_rosenkraenzer@gmx.de), ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

## À propos de l'auteur

Alfred Rosenkränzer a longtemps exercé comme ingénieur en développement. Ses débuts professionnels se sont déroulés dans le secteur de la technologie télévisuelle professionnelle. Depuis la fin des années 1990, il s'est spécialisé dans le développement de circuits numériques haute vitesse et de circuits analogiques pour les équipements de test de circuits intégrés. L'audio constitue sa spécialité.



## Produits

▶ JOY-iT JDS6600 Générateur de signaux et compteur de fréquences  
[www.elektor.fr/18714](http://www.elektor.fr/18714)

▶ OWON SDS1202 Oscilloscope à 2 voies (200 MHz)  
[www.elektor.fr/20251](http://www.elektor.fr/20251)

**CONNECTED.  
NO MATTER  
THE CONDITIONS.**



**WÜRTH  
ELEKTRONIK**  
MORE THAN  
YOU EXPECT

**WE meet @ PCIM Europe**  
Hall 6 - 342

### The IP67 & IP68 Protected Industrial Connection

Discover high-quality circular connectors designed for demanding environments. With its ingress protection, our connectors ensure reliable connections for applications such as fieldbus, actuators/sensors, and robotics.

Ready to Design-In? Take advantage of personal technical support and free samples ex-stock. [www.we-online.com/circular](http://www.we-online.com/circular)

### Highlights

- New M12 A-coding portfolio
- Adapted to work in demanding environments with IP67 & IP68 protection
- Male & female versions of all connectors
- Available in 4, 5 and 8 polarities

#CIRCULARCONNECTORS