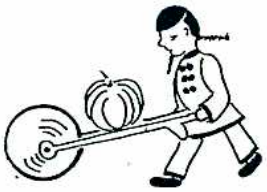
PILOTE à HAUTE STABILITE pour BALISE SHF
Synthétiseur à oscillateur auxiliaire

André Jamet F9HX



Les Chinois ont inventé
la roue.
On le dit.

F9HX a inventé le
synthé à oscillateur auxiliaire.
Il le dit…

But

De nombreuses balises réalisées par des OM sont en service dans les bandes amateur. Elles permettent un diagnostic des performances d'un équipement, de la propagation à un instant donné, de vérifier la précision du calage en azimut d'une parabole, de constater la directivité d'un aérien et bien d'autres choses encore.

Malheureusement, très souvent, l'exactitude de la fréquence en SHF n'est pas très bonne. Alors, trouver une balise est quelquefois hasardeux, même si la connaissance de la fréquence de réception est assurée.

Il est donc intéressant de disposer d'un moyen permettant une très grande stabilité de la fréquence des balises SHF malgré les variations éventuelles de température et le vieillissement de leurs composants.

Solutions

La solution utilisée le plus souvent est l'emploi d'un OCXO de construction OM. Le quartz pilote oscille aux alentours de 100 MHz, en partiel 3 ou 5. Pour que le montage n'oscille pas en fondamental, un circuit accordé est placé dans le circuit. Son accord a une influence considérable sur la fréquence d'oscillation et cela obère la stabilité. De plus, il a été constaté que les quartz de coupe AT présentaient un défaut important : le *retrace* effect. Après un arrêt, l'oscillateur ne reprend pas la fréquence sur laquelle il oscillait. En plus du vieillissement inhérent à ces composants de stabilité moyenne, ce défaut de retrace est très gênant lorsque l'oscillateur est soumis à des mises sous tension et des arrêts. Ce n'est pas le cas d'une balise qui est censée fonctionner en permanence. Cependant, il peut y avoir des coupures du courant d'alimentation et des arrêts volontaires pour la maintenance. En pratique, tous les OM pratiquant les SHF ont pu constater le manque d'exactitude de la fréquence des balises pilotées de la sorte.

Il est nécessaire, comme pour les OL de transverters SHF, d'utiliser une référence de fréquence de haute qualité. Cela suppose, tant pour le vieillissement que pour la non-répétitivité, d'utiliser un OCXO professionnel à 5 ou 10 MHz. Ces composants sont très onéreux à l'état neuf. Bien que la demande ait fortement augmenté depuis l'introduction du synthétiseur F5CAU/F9HX, on peut trouver de seconde main de tels OCXO à des prix abordables.

A partir de cette fréquence ultra-stable, il faut la manipuler pour obtenir celle désirée. La solution du PLL est réalisable. Un DDS (Direct Digital Synthesiser) peut être une bonne solution, même si le bruit de phase est un peu fort car ce n'est pas très gênant pour une balise.

Pour ceux qui n'aiment pas jongler avec la stabilité de la boucle d'un PLL et ceux qui craignent la soudure de puces CMS à quarante pattes, voici une solution originale.

Solution proposée

La description de notre synthétiseur de fréquence utilisable pour les SHF a été décrit dans plusieurs revues [1,2,3] et été réalisé à plus de cent exemplaires. Il a aussi été décrit par plusieurs OM sous

des formes voisines sous le vocable de DFS (Direct Frequency Synthesis) [4,5,6]. Il permet effectivement, à partir d'un oscillateur à quartz de haute stabilité, d'obtenir une fréquence par multiplication, division et addition. Elle servira d'oscillateur local pour un transceiver. La figure 1 rappelle le montage délivrant une fréquence de 106,5 MHz destinée à piloter un OL à 10 224 MHz pour un transceiver 3 cm.

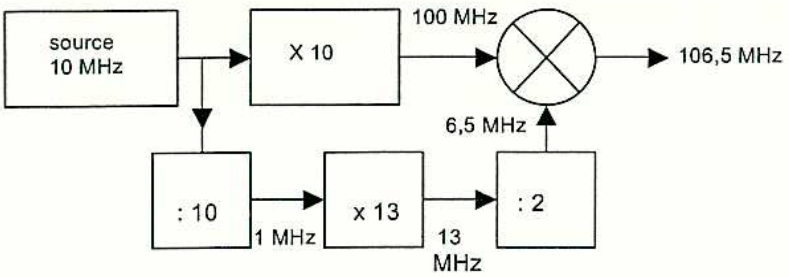


Figure 1. Schéma-bloc synthétiseur 106,5 MHz

Cependant, il n'est pas possible d'obtenir une fréquence quelconque avec ce schéma car les opérations arithmétiques ne le permettent pas en partant d'une référence unique.
L'idée, sans doute originale (sans doute, parce qu'on ne peut jamais être certain d'innover), est d'ajouter un **oscillateur auxiliaire** à fréquence ajustable dans la chaîne de traitement du signal. Sa stabilité en fréquence devra être très bonne, mais moindre que celle de la référence à 10 MHz. Un exemple est donné figure 2 pour une émission à 10 368,900 MHz dans la bande des balises. Cette fréquence a été choisie car elle permettra, comme on le verra plus loin, de faciliter les mesures de stabilité. La sortie du synthétiseur est à 108,009375MHz et sera multipliée ensuite par 96. L'oscillateur auxiliaire est à 1,990625 Hz pour établir la relation :

110 MHz – 1,990625 MHz = 108,009375 MHz

Quelles sont la précision et la stabilité obtenues avec ce montage qui inclut un simple oscillateur à quartz dans la chaîne ?

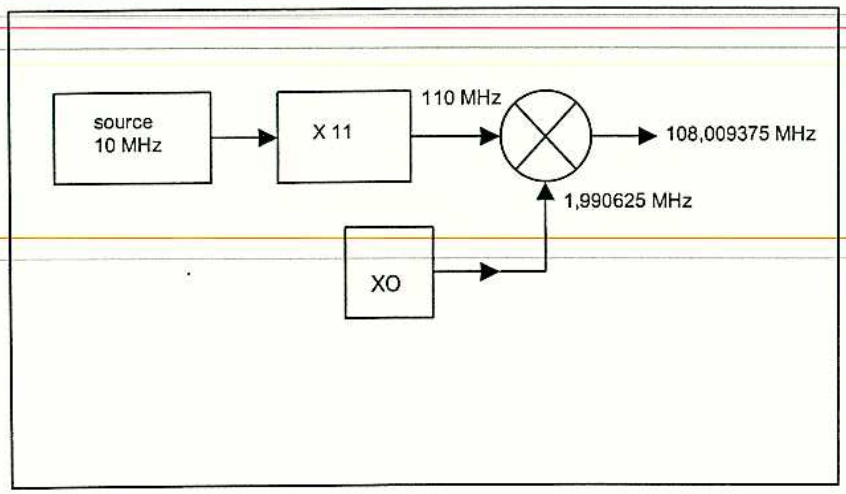


Figure 2. Schéma-bloc du synthétiseur pour balise 10 368,900 MHz

La fréquence 110 MHz est connue et stable comme la référence d'entrée à 10 MHz. Les combinaisons où elle entre conservent sa qualité. Alors, le seul élément apportant un risque d'erreur de fréquence et d'instabilité est l'oscillateur auxiliaire qui est à environ 2 MHz.
Quelle est son influence sur la fréquence produite par le synthétiseur et l'impact sur la fréquence de la balise à 10 GHz ?
Si la stabilité de l'oscillateur auxiliaire est de 10^{-7} (0,1 ppm) soit 0,2 Hz à 2 MHz, l'écart apparaîtra après multiplication par 96 pour obtenir 10 GHz. Il sera de : 0,2 x 96 = 19,2 Hz
si la fréquence de référence est parfaitement exacte.
Son influence est donc environ 50 fois moindre que celle produite par un OCXO travaillant aux alentours de 100 MHz.
En pratique, avec une balise dont on connaît la fréquence avec cette précision, et avec un récepteur dont la connaissance de fréquence est du même ordre que celle de la balise, on obtient un écart qui peut être inférieur à la centaine de hertz. En position BLU du récepteur, on est certain d'être bien syntonisé pour trouver la balise. L'orientation de la parabole reste alors le seul paramètre à faire varier.

Un oscillateur 1,990625 MHz stable

Nous avons vu les défauts inhérents aux OCXO VHF, *retrace effect* et vieillissement qui agissent sur leur fréquence qui est de l'ordre de 100 MHz. Si leur stabilité était de l'ordre de 10^{-7} (0,1 ppm) cela entraînerait une variation possible de :
100 MHz x 10^{-7}= 10 Hz et 10 x 96 = 960 Hz à 10 GHz ce qui serait acceptable.
En pratique, ces OCXO VHF à quartz fonctionnant en partiel 3 ou 5 (overtone) ne sont pas aussi stables et l'on constate des dérives bien supérieures dues aussi à la bobine du circuit accordé. Au contraire, l'oscillateur auxiliaire HF fonctionne en fondamentale, sans circuit accordé auxiliaire, et avec un quartz « *plus épais* ». Les essais ont montré que la stabilité requise était obtenue avec un quartz accessible par les amateurs.
Néanmoins, la conception et la réalisation de l'oscillateur doivent être particulièrement soignées. Pour cela, il a fallu s'inspirer des schémas et du montage des OCXO professionnels à 5 ou 10 MHz. L'oscillateur proprement dit est un simple Colpitts comportant des éléments actifs et passifs de haute qualité.
Afin de préserver le faible bruit de phase de l'oscillateur, son alimentation à tension constante est très fortement filtrée.
L'oscillateur est faiblement couplé à un étage tampon à FET suivi d'un MMIC amplificateur pour atteindre le niveau de puissance requis pour le mélangeur.
Sans réaliser un vrai OCXO, le maintien du boîtier du quartz à une température assez constante est cependant nécessaire. Il existe des clips munis d'une PTR (résistance à coefficient positif de température). Il est préférable d'utiliser un véritable régulateur réalisé sous la forme d'un petit carré de céramique servant de circuit imprimé CMS, que l'on accole au boîtier du quartz (voir le détail du montage : Annexe 3 et [7]. La température est ainsi maintenue à 40 °C environ pour une température ambiante pouvant varier dans les limites usuelles. Le régulateur de température est alimenté séparément pour éviter toute influence des variations de son débit sur la fréquence de l'oscillateur.

Le quartz a été taillé sur cahier des charges :

Un quartz 1,990625 MHz résonnant en fondamentale, accord parallèle avec 30 pF, boîtier HC49, pour fonctionnement à + 40 ° C, précision ± 5 ppm, taille AT angle 0 minute environ. Ce quartz est le point clé du montage. La figure 3 montre la dérive du quartz utilisé en fonction de sa température

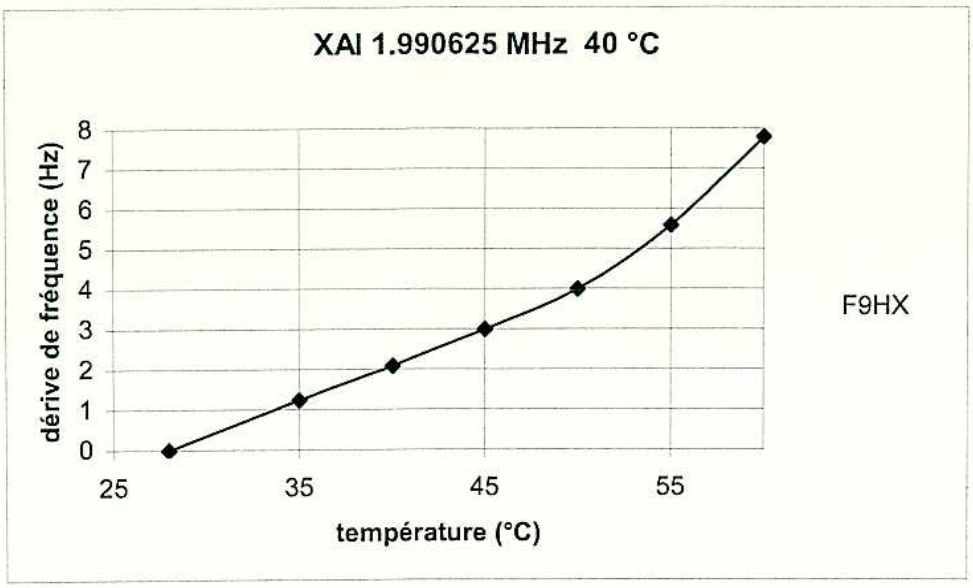


Figure 3. Dérive en fréquence du quartz utilisé dans l'oscillateur auxiliaire

Performances de l'oscillateur auxiliaire

Comme le montre la figure 4, la tenue aux températures les plus basses est excellente. Au-delà de 45 °C, le régulateur de température ne joue plus son rôle et le quartz suit la température ambiante. Les variations de la tension 12 volts d'alimentation sont négligeables, de l'ordre de la résolution de nos mesures (le dixième de hertz), dans la fourchette 10 à 14 V

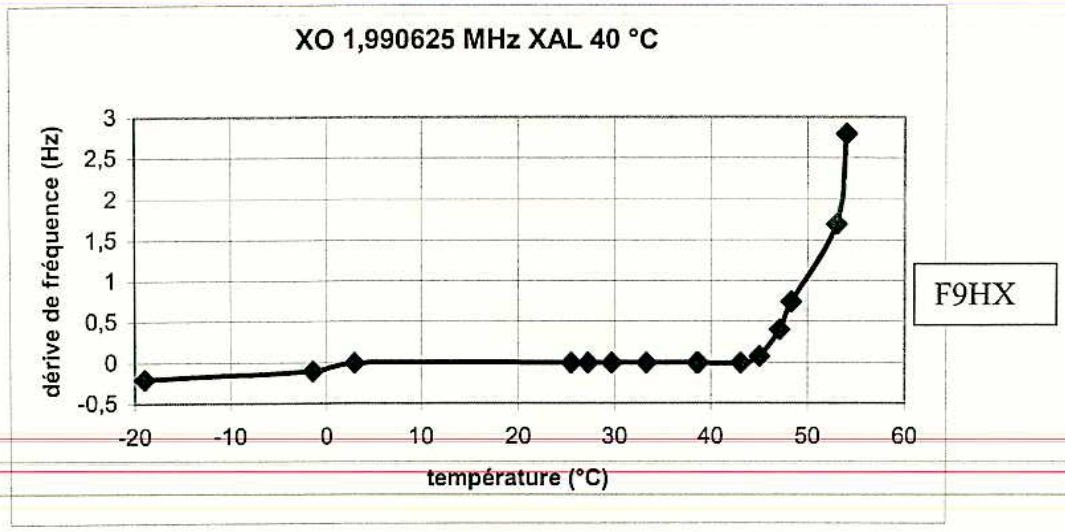


Figure 4. Dérive de l'oscillateur auxiliaire avec la température

Le montage est laissé sous tension durant une semaine : pas de dérive mesurable.
Après un arrêt d'un mois et après une heure de marche, l'écart du au retrace est le suivant :
après un quart d'heure : 0,7 Hz (soit 67 Hz à 10 GHz !)
une heure : 0,5 Hz
5 heures : 0,3 Hz
Il n'est pas certain que cet écart est du au seul synthétiseur, car le fréquencemètre est à la limite des ses performances n'étant pas piloté par GPS.

Modulation de la balise

Une balise doit pouvoir être identifiée lors de son écoute. Pour cela, elle transmet un message donnant son indicatif et diverses informations [9 et Annexe 1]. En SHF, la modulation est de type F1A, c'est à dire de la télégraphie par déplacement de fréquence (FSK = frequency shift keying).

Dans ce synthétiseur, ce glissement de fréquence est réalisé par l'action d'une diode varicap placée en parallèle avec le condensateur de charge du quartz HF. Compte tenu de la multiplication de fréquence du système complet, pour obtenir un déplacement de 400 Hz à 10 GHz, le déplacement de la fréquence doit être de :

400 : 96 = 4,166 Hz.

Par rapport aux OCXO VHF modulés par une varicap, le sens de la variation de fréquence de l'oscillateur 2 MHz doit être inversé. En effet, on *soustrait* sa fréquence à celle du 110 MHz : si le vernier baisse de fréquence, celle de sortie augmente. C'est la raison de l'insertion du transistor Q6 entre le signal CW de 0/5 volts et la varicap.

Grâce au potentiomètre P1 il est possible d'ajuster le déplacement de fréquence de 0 à environ 800 Hz.

Etude détaillée du schéma du synthétiseur

Examinant le schéma-bloc de la figure 2 et le schéma complet de la figure 5, on peut suivre le trajet des signaux.

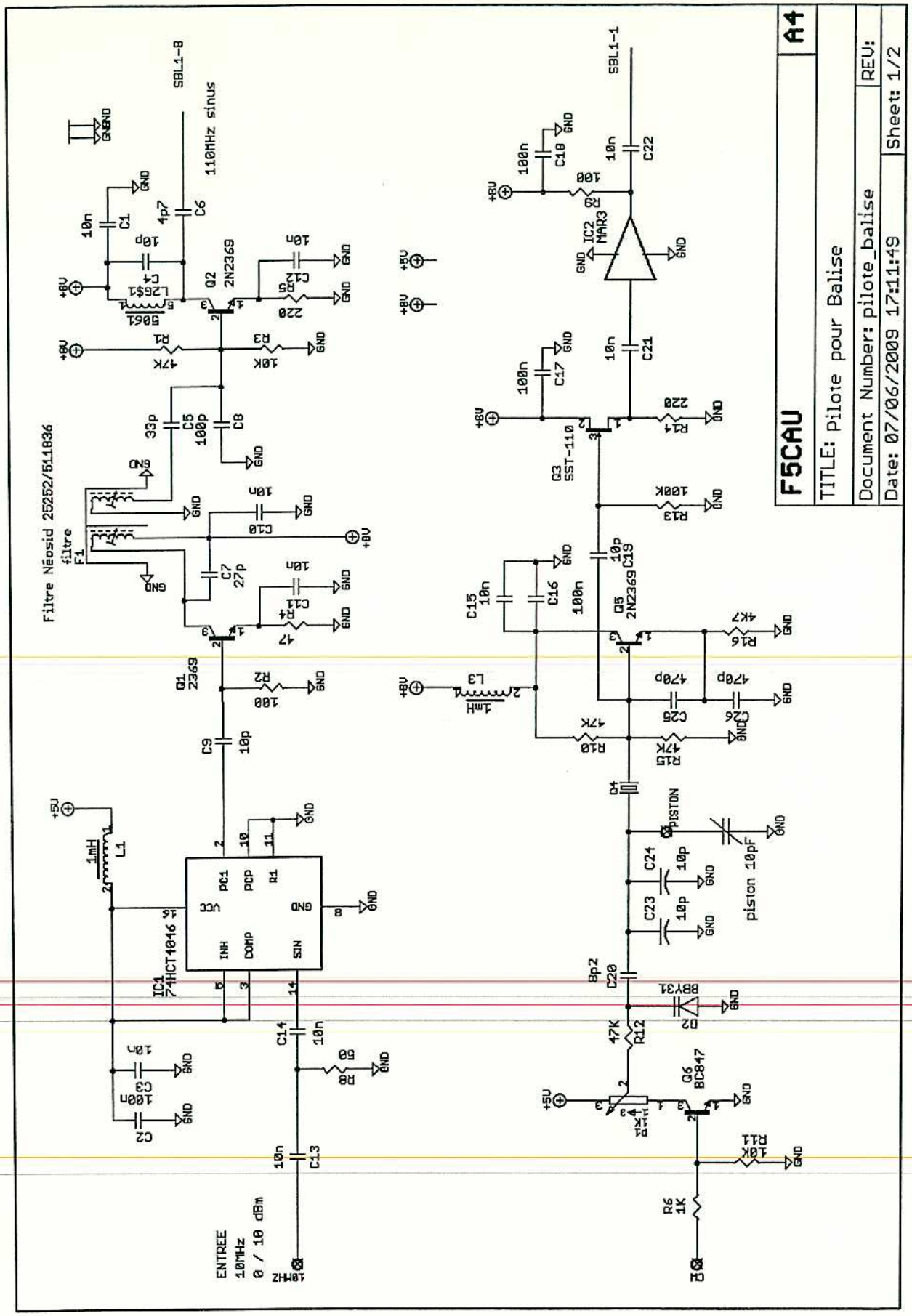
Le signal à 10 MHz, issu de l'OCXO de référence est tout d'abord transformé en signal CMOS. Celui-ci est utilisé dans une première chaîne pour délivrer l'harmonique 11, soit 110 MHz sous forme sinusoïdale. Une seconde chaîne, l'oscillateur auxiliaire, produit du 1,990625 MHz sinusoïdal.

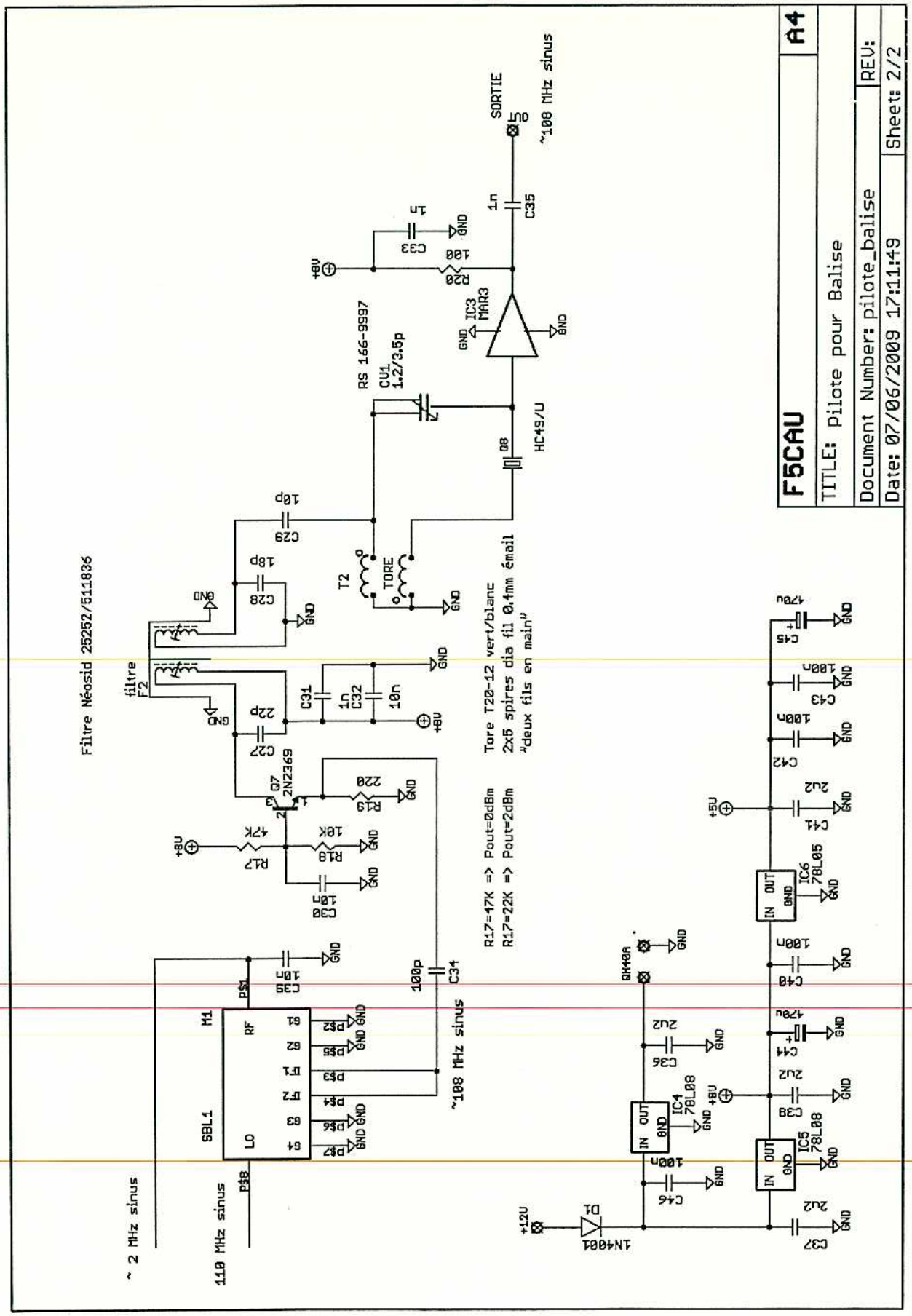
Alors, le signal de la première chaîne à 110 MHz est mélangé avec celui sortant de la seconde chaîne pour obtenir le signal de sortie à 108,003375 MHz.

Comme dans les synthétiseurs à fréquence « rondes » [1], un filtre à quartz est utilisé pour « nettoyer » le signal de sortie avant amplification.

NDLR :

Cet article est également publié dans le Radio-REF de novembre 2009.


F5CAU
A4
TITLE: Pilote pour Balise
Document Number: pilote_balise
REV:
Date: 07/06/2009 17:11:49
Sheet: 1/2
Filtre Néosid 25252/511836
filtre
F1
SBL1-8
110MHz sinus
SBL1-1
IC1
74HCT4046
IC2
MAR3
Q1
2369
Q2
2N2369
Q3
SST-110
Q5
2N2369
Q6
BC847
PISTON
piston 10pF
ENTREE
10MHz
0 / 10 dBm
10MHZ
E



A SUIVRE dans votre prochain HYPER
Mais PENSEZ a vous abonner !