Traduit de Anglais vers Français - www.onlinedoctranslator.com

Évolution de la conception radio : construire le prochain

Hans Summers, G0UPL / AF7BF

Introduction

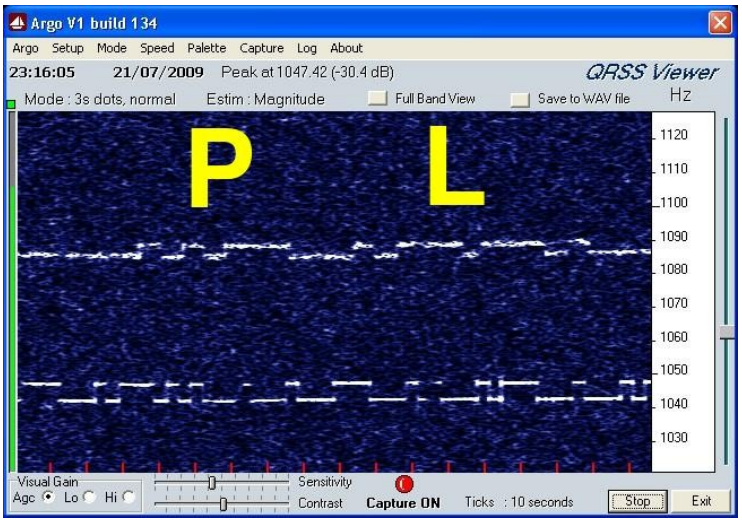
J'ai étudié la physique à l'université. Je ne suis ni ingénieur RF, ni ingénieur électronique, ni ingénieur du tout. Pourtant, je suis là, et j'ai fini par gagner ma vie en concevant des kits radio QRP Labs pour les amateurs de QRP. J'y ai beaucoup réfléchi ces derniers temps. Dans ce séminaire, je vais donc aborder brièvement l'histoire de QRP Labs, de ses débuts simples à sa complexité considérable, étape par étape. Je détaillerai ensuite la conception du prochain produit de la gamme QRP Labs, avec un objectif simple : créer l'un des plus grands émetteurs-récepteurs QRP de l'histoire de la radio amateur.

Kits QRP Labs

En mai 2010, j'ai présenté pour la première fois un séminaire FDIM à Dayton, sur le thème des modes QRSS (signaux faibles). J'ai exclu le WSPR (Weak Signal Propagation Reporter), qui était à l'époque un mode relativement nouveau et ne relevait pas de mon expérience personnelle.

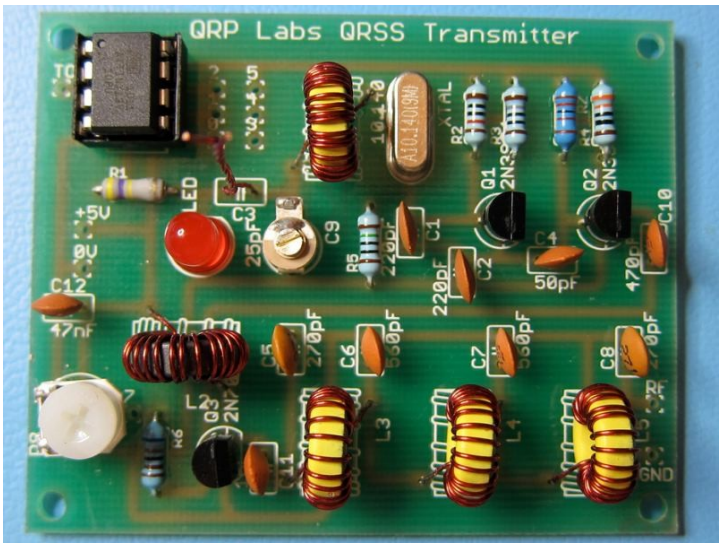
L'été précédent (juillet 2009), j'étais parti deux semaines en vacances à Grenade, dans les Caraïbes. Ma femme et moi ne sommes pas très rapides pour faire nos valises et ce n'est qu'à 3 heures du matin que nous avons enfin terminé. Il ne nous restait que deux heures de sommeil avant de nous lever et de prendre notre vol à l'aéroport londonien d'Heathrow. Deux heures ? À ce moment-là, je me suis dit : « À quoi bon dormir ? Je vais construire un émetteur QRSS ! » J'avais déjà un filtre passe-bas de 30 m d'un ancien projet et du code sur un microcontrôleur ATtiny13 à 8 broches pour reproduire les lettres « UPL » en boucle en Morse lent. Deux heures ont suffi pour construire un oscillateur à quartz et un amplificateur de 100 mW, assembler le tout dans une minuscule boîte de menthe, tester et régler le tout, et préparer le tout avec du fil d'antenne et un chargeur de téléphone portable, dans une boîte de glace fourrée dans la valise.





La capture d'écran (à droite) est un rapport de réception de M0PUB de l'autre côté de l'Atlantique, montrant la partie « PL » de la transmission « UPL ». Le logiciel « ARGO » (analyse spectrale) de Weak Signal est utilisé sur PC pour afficher la transmission, qui peut ensuite être décodée visuellement. J'ai utilisé un oscillateur à quartz de 10,140 MHz avec une LED rouge de 5 mm faisant office de diode varactor pour appliquer un léger décalage de quelques Hz (généralement 5 Hz) à la transmission lors des enfoncements de touches Morse.

Lorsque j'ai été invité à intervenir au FDIM de Dayton 2010, mon ami Steve G0XAR et moi avons eu l'idée de produire ensemble un kit QRSS pour l'événement. À l'époque, il n'existait aucun kit pour les modes QRSS. Il fallait soit fabriquer le sien, soit utiliser un émetteur-récepteur commercial. C'était une première.



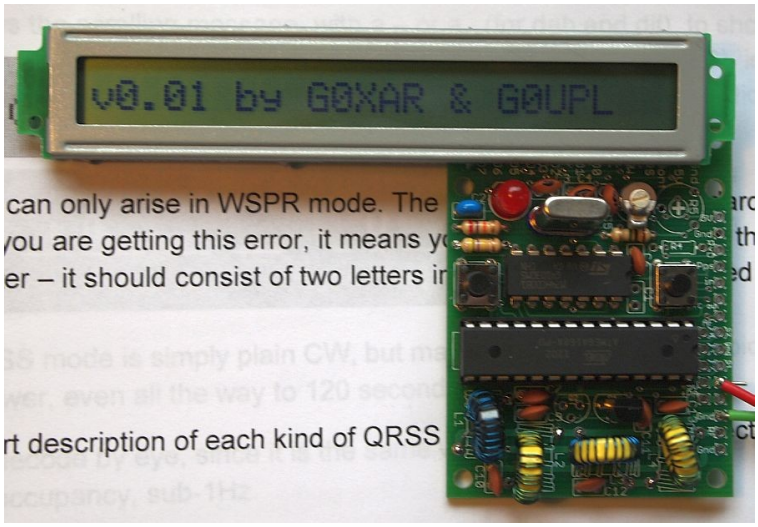


Utiliser le modèle éprouvé du QRSS de Grenade semblait tout naturel, et c'est ce que nous avons fait. Steve s'est occupé de la production (PCB, approvisionnement des composants, kitting), tandis que je me suis occupé de la conception, du firmware, de la documentation et du support. Nous n'avions aucune idée de la gestion d'une entreprise de kits, ni de leur prix, ni de quoi que ce soit. Nous avons décidé d'en produire 100 et de voir ce qui se passerait. Résultat : une longue accumulation de kits serpentait dans la salle de conférence de la FDIM lors de la soirée des fournisseurs. Tout le monde semblait vouloir un de ces petits kits à 15 $! Il m'a fallu toute la soirée pour les dissiper. Chaque puce AVR ATtiny13 devait être programmée spécifiquement avec une version de firmware incluant l'indicatif de l'opérateur.

Ce fut un franc succès et nous avons décidé de poursuivre la production après l'événement. Le premier problème fut un petit incident de clonage, assez agaçant à l'époque. Mais après un certain temps d'agacement, j'ai décidé de me consacrer à la conception du prochain kit QRP Labs. Fidèle à la philosophie « ne vous fâchez pas, ne vous vengez pas », le nouveau kit serait tellement meilleur, et avec une légère augmentation de prix, que les cloneurs devraient abandonner. Ce qui a résolu le problème et a permis à QRP Labs de progresser.

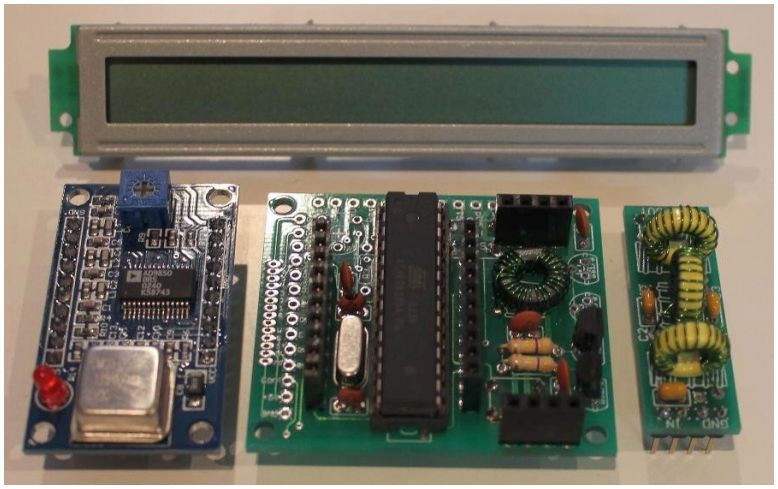
Ainsi commence une histoire d'évolution continue. Chaque kit QRP Labs s'appuie sur les enseignements et les éléments de ses prédécesseurs. À mesure que mes connaissances et mon expérience progressaient, la complexité et la qualité des kits ont progressé, tout comme leur popularité mondiale.

Le kit « Ultimate QRSS/WSPR » utilisait le même code source pour l'encodage CW que le premier kit QRSS, mais en y ajoutant bien plus. Il était désormais le premier produit à inclure le WSPR dans un format autonome, ne nécessitant pas de PC pour encoder les tonalités WSPR. D'autres modes étaient également disponibles, comme le mode Hellshreiber lent. Un boîtier plaqué double face, traversant et de meilleure qualité, était plus facile à construire et plus robuste. Il était doté d'un écran LCD et d'une interface utilisateur à deux boutons permettant à l'opérateur de le configurer lui-même ; plus besoin de programmes de microcontrôleurs compilés individuellement ! De plus, une interface GPS permettait de gérer le temps et la fréquence.

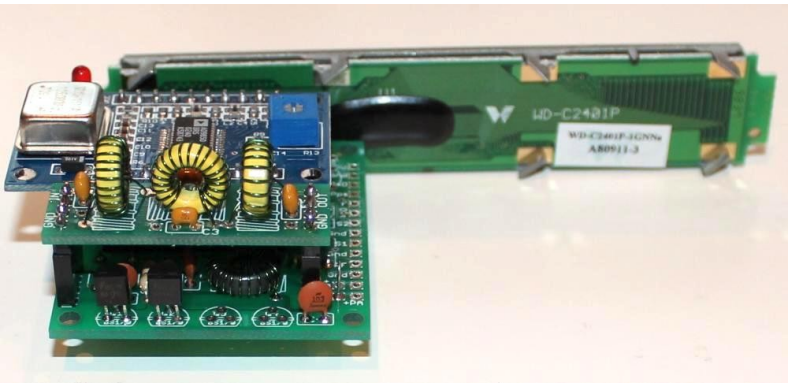


Fin 2012, Steve G0XAR et moi avons décidé à l'amiable de nous séparer du projet QRP Labs et quelques mois plus tard, j'ai décidé de le relancer à nouveau seul, avec un nouveau kit, l'Ultimate2.

Le kit QRSS/WSPR Ultimate2 était une évolution logique de l'Ultimate (alors connu sous le nom de U1). Une grande partie du code source était identique. Mais au lieu de l'oscillateur à quartz, j'utilisais un module DDS AD9850 (le circuit imprimé bleu à gauche). Ces modules étaient disponibles depuis quelques années en Chine à des prix très bas – bien inférieurs au prix d'une puce DDS AD9850 seule chez Digikey ! Je crois qu'un lot de puces est devenu obsolète avec l'entrée en vigueur de la réglementation ROHS (sans plomb) et s'est retrouvé sur le marché noir, où elles ont été transformées en cartes DDS enfichables.



L'autre avancée a été l'utilisation de la carte de filtre passe-bas enfichable. La souplesse et la précision en fréquence offertes par la carte DDS et la carte de filtre passe-bas enfichable ont permis de changer facilement de bande de fréquence pour le kit émetteur Ultimate2. C'est également sur l'U2 que j'ai pris l'habitude d'empiler les cartes à l'aide de connecteurs à broches : les cartes LPF et DDS étant connectées à la carte principale.



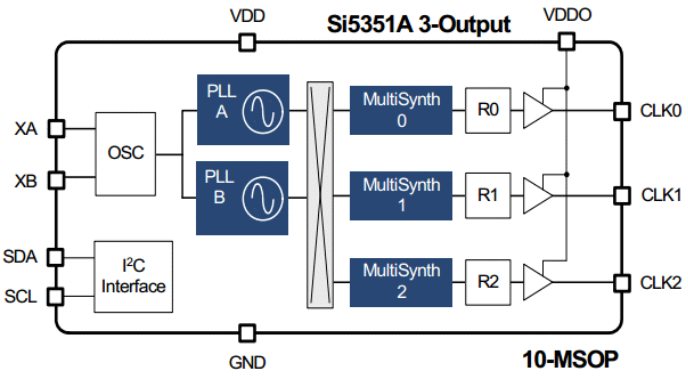
Le kit Ultimate3 a remplacé l'Ultimate2 moins d'un an plus tard. Le prix des attrayants écrans 16 x 2 rétroéclairés bleus basés sur le circuit intégré de contrôle HD44780 avait tellement baissé qu'il ne m'a pas coûté beaucoup plus cher de remplacer l'écran LCD 24 x 1 excédentaire que j'utilisais auparavant par cet écran plus performant.

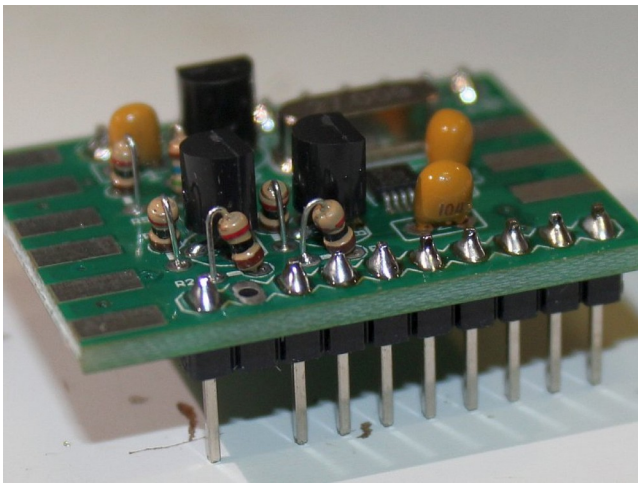


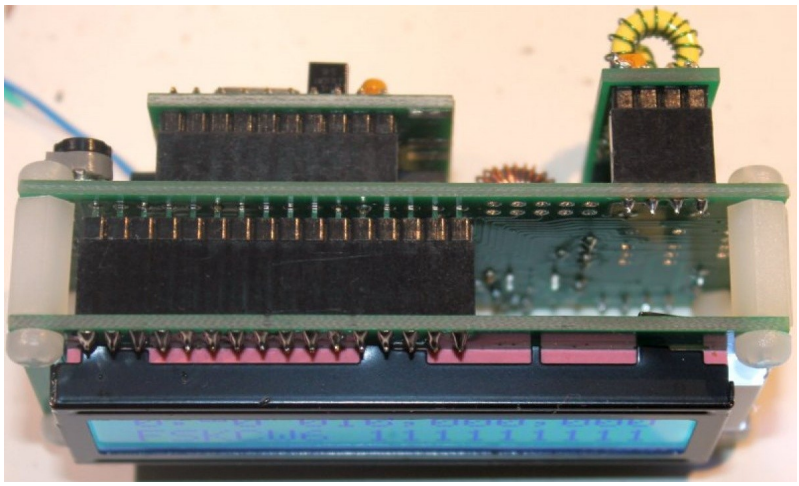
Là encore, l'U3 était basé sur le kit U2. La principale amélioration résidait dans la possibilité de communiquer avec le module LCD 16 x 2 en mode 4 bits, libérant ainsi plusieurs lignes d'E/S du microcontrôleur. J'ai ainsi pu ajouter un kit relais 6 bandes optionnel, avec des emplacements pour connecter davantage de cartes de filtre passe-bas. Le résultat était un 6-

Malheureusement, fin 2014, l'approvisionnement en modules DDS AD9850 du marché noir avait visiblement commencé à se tarir. Le fait que j'en aie utilisé environ 2 500 pour la production des kits U3 n'a sans doute pas aidé. Leur prix a plus que doublé et il est devenu de plus en plus difficile de les trouver.

Heureusement, à la même époque, un nouveau circuit intégré SiLabs faisait son entrée dans le monde de la radioamateur et j'en ai été informé par mon ami Jan G0BBL. Ce petit miracle, la puce Si5351A, est une boucle à verrouillage de phase numérique (PLL) entièrement intégrée, logée dans un minuscule boîtier CMS 10 broches 3 x 3 mm, programmée via un bus série I_2C et dotée de trois sorties programmables chacune sur n'importe quelle fréquence, de 3,5 kHz à plus de 200 MHz. Cette puce est rapidement devenue indispensable, au cœur de nombreux kits QRP Labs !





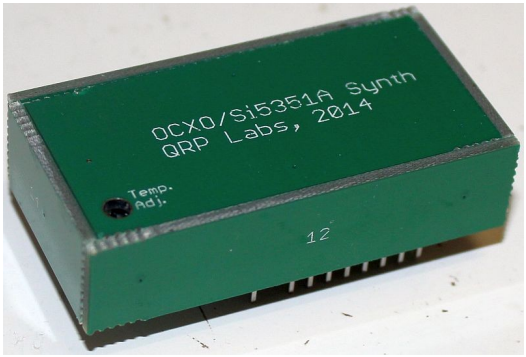


Le kit Ultimate3S était un remplacement pour l'Ultimate3, utilisant une puce Si5351A conçue sur une petite carte fille avec un brochage quelque peu compatible avec le module DDS AD9850 précédent afin qu'il

Il pourrait même être utilisé sur la carte Ultimate3. Le reste de l'Ultimate3 est resté quasiment inchangé, et pendant un temps, le même firmware a pu être utilisé sur l'Ultimate3 et l'Ultimate3S, avec des pilotes sélectionnés automatiquement pour les puces DDS AD9950 et Si5351A comme synthétiseur RF.

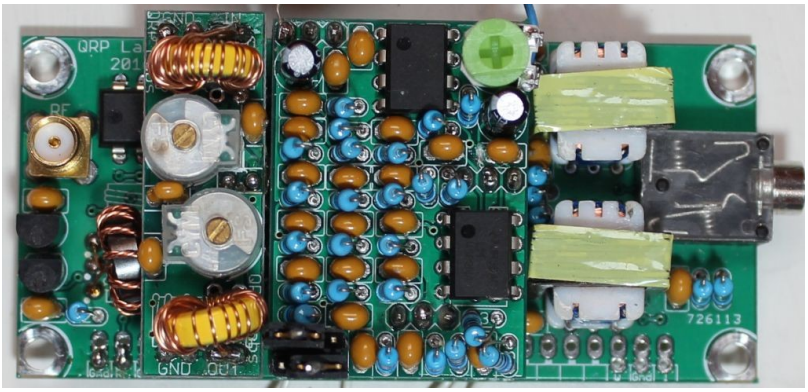
Tout un écosystème de kits compatibles s'est développé autour de l'Ultimate3S, toujours disponible aujourd'hui (de 2015 à 2023 et toujours aussi performant). De nombreuses cartes sont construites sur un circuit imprimé de 80 x 37 mm, quasiment identique au populaire module LCD 16 x 2 (80 x 36 mm).

- Kit Ultimate3S – le kit de base, avec son microcontrôleur, son module LCD, son filtre passe-bas enfichable et son synthétiseur Si5351A enfichable
- Version OCXO/Si5351A optionnelle du synthétiseur, un remplacement de plug-in compatible avec les broches comprenant le seul oscillateur à cristal contrôlé par four construit en kit au monde, offrant une stabilité de haute fréquence particulièrement utile sur les bandes VHF (kit OCXO désormais retiré)



- Carte de filtrage à relais commuté à 6 bandes (même taille de PCB 80 x 37 mm)
- Cartes enfichables de filtre passe-bas pour chaque bande de 2200 m à 2 m et 222 MHz
- Carte réceptrice (même taille de PCB 80 x 37 mm)
- Cartes enfichables de filtre passe-bande pour la carte réceptrice – également compatibles avec la carte de filtre à commutation de relais et populaires dans les projets homebrew personnels
- Carte de démodulation SSB polyphasée enfichable pour la carte réceptrice
- Kit PA 5 W avec mise en forme d'enveloppe en cosinus surélevé (même taille de PCB 80 x 37 mm)
- Kits de récepteur GPS (QLG1, remplacé plus tard par QLG2)

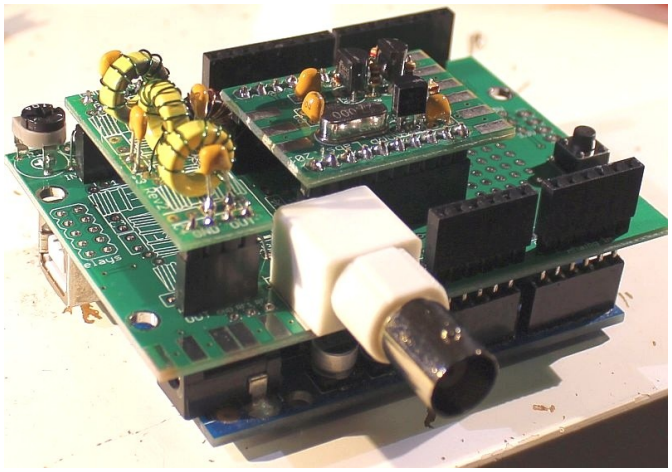
La carte réceptrice est intéressante pour son détecteur d'échantillonnage en quadrature (QSD, également appelé détecteur Tayloe) à double équilibrage, également utilisé dans des kits ultérieurs, et c'est à cette époque que j'ai utilisé pour la première fois l'amplificateur opérationnel LM4562 à faible bruit et hautes performances. L'amplificateur de puissance de 5 W et son modulateur de tension, qui permettait la mise en forme de l'enveloppe RF en cosinus surélevé, méritent également d'être mentionnés. N'oubliez pas de les mentionner pour la suite de cet article.



Le kit Ultimate3S nécessitait un couplage CA de la sortie du synthétiseur à l'amplificateur, ainsi qu'un potentiomètre de réglage de la polarisation. Je me suis retrouvé avec un lot de circuits imprimés Ultimate3 inutilisables, les modules DDS AD9850 étant devenus hors de prix et hors de portée, et la puce Si5351A ayant pris le dessus dans les conceptions QRP Labs. Le problème de l'utilisation des circuits imprimés U3 excédentaires a été résolu en créant deux nouveaux kits utilisant exactement le même circuit imprimé U3, mais avec un firmware et des options de plug-in différents. L'un était une horloge avec une fonction GPS optionnelle et des sorties d'affichage et d'alarme hautement configurables ; l'autre était un générateur de signaux VFO, également compatible avec le kit.

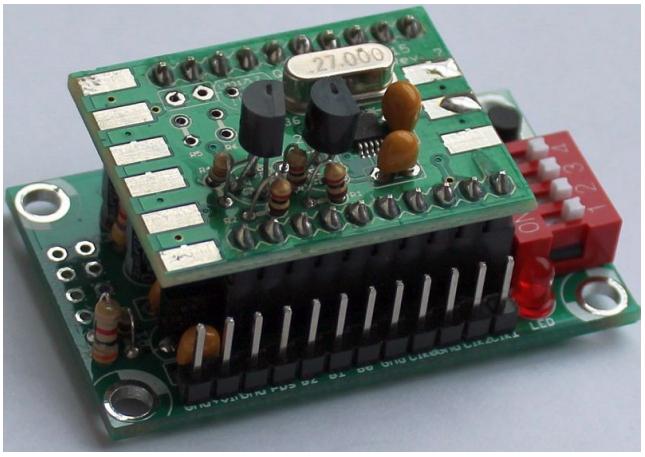
Carte de filtrage à relais pour produire une sortie sinusoïdale à large bande, avec une fonction GPS en option. Ces deux modèles sont devenus très populaires.

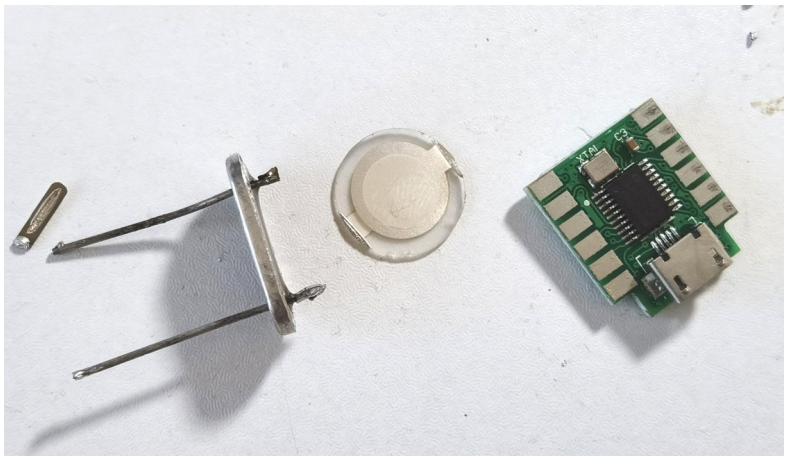
Un autre développement fut le kit de shield Arduino, une réponse à tous ceux qui estimaient que le firmware Ultimate1/2/3/3S devait être open source pour pouvoir développer leurs propres logiciels, et qui ignoraient ce qui m'était arrivé la dernière fois que j'avais publié le firmware (le premier kit QRSS et son clonage). Le kit Arduino était compatible avec la plupart des autres kits de la gamme Ultimate, qui pouvaient être connectés et contrôlés comme un système complet par votre propre code exécuté sur l'Arduino.



2016 : QRP Labs passe aux choses sérieuses

En 2016, j'ai quitté mes 22 ans de carrière dans l'informatique d'une banque d'investissement pour me consacrer à temps plein aux activités de QRP Labs. Cette année-là, j'ai produit deux nouveaux kits, à commencer par le kit de charge fictive de 50 ohms. Le kit « ProgRock triple quartz programmable » était un microcontrôleur associé à la carte synthétiseur Si5351A, fournissant une mémoire de configuration programmable non volatile permettant de configurer le Si5351A sans aucune programmation. Il pouvait être utilisé comme trois sorties indépendantes de remplacement de quartz, avec 8 banques de triplets de fréquences sélectionnables et une fonction GPS optionnelle. Il a été remplacé en 2023 par ProgRock2, de conception similaire mais de taille réduite, suffisamment compact pour tenir dans un boîtier de quartz HC6, et doté d'un port micro-USB intégré pour la programmation via un émulateur de terminal PC.





2016 a également été l'année du développement du PA 5W susmentionné pour l'Ultimate3S.

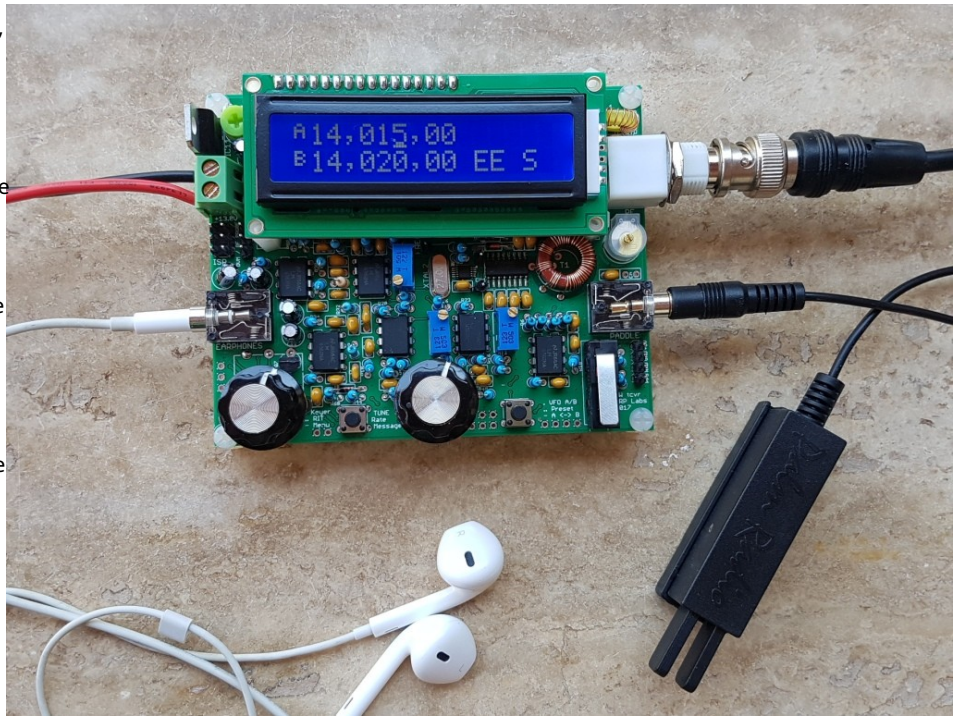
Les kits d'émetteurs-récepteurs CW de la série QCX

Pourtant, à quoi rêvais-je depuis plusieurs années ? Développer un kit émetteur-récepteur CW complet. En fait, j'avais déjà presque tous les modules développés : un générateur de signaux VFO, un émetteur, un module récepteur, une démodulation monophasée (SSB) et un amplificateur de puissance de 5 W avec mise en forme d'enveloppe RF, filtres passe-bande et passe-bas. Tous les éléments d'un émetteur-récepteur radio. Mais quel est le problème avec cette configuration ? Elle est modulaire. Le modulaire, c'est génial, on peut construire et comprendre toutes ces différentes configurations.

Modules, testez-les séparément, puis remplacez-les ou substituez-les. Parfait pour un projet amateur. Le problème, pour un fabricant de kits, c'est que si l'on additionne tous ces modules individuels, plus une carte mère qui les interconnecte, on obtient un émetteur-récepteur CW plutôt coûteux. J'en suis arrivé à la conclusion que le modulaire devait rester dans les projets amateurs. Pour produire un émetteur-récepteur au rapport performances/prix élevé, il faut le concevoir comme un produit à part entière.

L'idée m'est venue en février 2017, avec un e-mail de la RSGB (Radio Society of Great Britain), qui devait organiser le YOTA Summer Camp buildathon au Royaume-Uni en août 2017. L'e-mail indiquait qu'ils recherchaient des suggestions pour un assemblage de kits avec un budget de 1 000 £ pour 78 participants (environ 1 250 $ à l'époque). L'idée m'a semblé plutôt bonne et, après une bonne pause rigolote, j'ai supprimé l'e-mail et me suis remis au travail. Pourtant, je n'arrivais pas à m'en remettre. Que pouviez-vous vraiment faire pour 16 $ par participant ? Et si vous fabriquiez 500 kits et vendiez les 422 restants avec un bénéfice pour financer les 78 ? En peu de temps, il s'est lié à mon rêve d'émetteur-récepteur CW et en quelques heures, j'étais parti à la recherche de ce courrier supprimé dans le dossier Corbeille et j'ai répondu à RSGB avec ma proposition pour QCX, un émetteur-récepteur CW monobande 5W, un kit monocarte facile à construire, riche en fonctionnalités avec des performances élevées et un faible coût (49 $).

Le QCX était équipé d'un VFO synthétisé Si5351A, d'un réglage par codeur rotatif, d'un détecteur Tayloe (QSD) hautes performances avec annulation de bande latérale indésirable, d'un étage de puissance de classe E pour une sortie de 5 W à partir de trois transistors BS170 sans dissipateur thermique, d'un double VFO RIT et d'un mode Split, de mémoires de messages et de fréquences, d'un manipulateur IAMBIC, d'un décodeur CW, d'un équipement de test et d'alignement intégré et de sa propre clé Morse à micro-interrupteurs intégrée. Il offrait même une fonctionnalité supplémentaire : une balise WSPR et une interface GPS !



Plusieurs personnes ont commenté qu'il s'agit d'une sorte de modernisé Version de l'émetteur-récepteur Norcal 2030 ; son concept présente des similitudes : annulation de la bande latérale indésirable par QSD et par phasage ; et le circuit de déphasage à 90 degrés est identique à celui du NC2030. Il présente également un plus grand nombre de différences et d'améliorations. Le NC2030 a inspiré, mais n'a pas constitué le fondement, du QCX.

Poursuivant sur le thème de l'évolution des modules matériels et logiciels, QCX a réutilisé de nombreux éléments antérieurs que j'avais développés dans la gamme de kits QRP Labs :

- L'écran LCD bleu 16 x 2 et tout le firmware d'interface pour cela.
- QSD doublement équilibré du kit de module récepteur

- Les filtres passe-bas sont conçus de la même manière que le kit LPF
- Code de synthèse et de contrôle Si5351A du kit Ultimate3S
- Encodage CW, code de discipline WSPR et GPS de l'Ultimate3S
- Bouton et encodeur rotatif, système de menu LCD du code VFO et Ultimate3S

Le QCX a été un franc succès ; j'ai réussi à terminer le développement du kit à temps pour le camp d'été YOTA d'août, qui s'est apparemment bien déroulé. Lorsque les kits ont été mis en vente plus tard en août, les plus de 400 kits restants ont été vendus en un peu plus d'une journée. L'année suivante, j'ai dû m'efforcer de répondre à l'énorme demande pour ce kit d'émetteur-récepteur CW, qui a largement dépassé toutes les attentes ! À ce jour, environ 20 000 kits d'émetteur-récepteur de la série QCX ont été vendus en moins de six ans.

Début mai 2020, j'étais tellement agacé par mes propres erreurs de conception mécanique sur le projet QCX que j'ai décidé de les corriger. J'étais vraiment pressé par le temps et quelque chose avait dû me déraper : l'aspect mécanique. Parfait pour un Conception d'un émetteur-récepteur monocarte économique. Mais l'intégration dans un boîtier était complexe : l'écran LCD, le contrôle de gain, l'encodeur rotatif, les deux boutons et le micro-interrupteur sur le bord avant du circuit imprimé étaient tous situés à des hauteurs différentes. Les connecteurs étant situés à gauche et à droite, l'intégration de l'ensemble dans un boîtier était complexe, sauf si les commandes, les connecteurs et l'écran étaient montés hors carte (ce que beaucoup faisaient). Une entreprise allemande (BaMaTech) a proposé une solution astucieuse à ce problème : des encodeurs à axe, des rallonges de boutons et un boîtier en aluminium plié s'adaptaient au QCX sans câblage externe ni autre modification.



J'ai opté pour le QCX+, avec un circuit imprimé principal plus grand (plus facile à construire, offrant plus d'espace pour les modifications), une construction à deux circuits imprimés, tous les connecteurs étant situés sur le bord arrière du circuit imprimé principal et les commandes étant regroupées sur un circuit imprimé en face avant. Le boîtier en aluminium extrudé est robuste et élégant, offrant un espace intérieur généreux pour les modifications. Un kit de développement est fourni, comprenant une matrice de trous traversants métallisés de 0,1 pouce, des entretoises de 12 mm pour le visser à la carte mère et des connecteurs à broches aux emplacements stratégiques du circuit imprimé principal du QCX+. Le micrologiciel et le schéma sont identiques à ceux du QCX, mais la conception mécanique a été grandement améliorée.



À peine avais-je lancé cette nouvelle version améliorée Modèle QCX+, et a annoncé le retrait du QCX original qui est devenu connu sous le nom de QCX

Classique, puis les gens ont commencé à se plaindre que le nouveau QCX+ est plus gros et plus lourd, donc moins adapté aux opérations portables telles que les activations SOTA.



Le QCX-mini, lancé en décembre 2020, était ma réponse à ce problème. Il s'agit du même schéma (presque identique : un interrupteur de rétroéclairage supplémentaire est disponible via un menu) et du même firmware. Mais la mécanique a été revue et améliorée, avec un boîtier compact et robuste en aluminium extrudé noir. Le circuit imprimé est composé de nombreux composants CMS pré-assemblés par une usine d'assemblage. Le nombre de pièces à assembler en kit est donc inférieur à celui d'un QCX+, mais sa taille réduite permet un assemblage plus précis et détaillé.

QCX-mini est devenu très populaire pour les opérations portables et est disponible pour tous Bande passante de 160 m à 17 m (versions 15, 12 et 10 m sur demande). Les modèles QCX+ et QCX-mini sont disponibles assemblés moyennant un supplément.

Des modules supplémentaires sont disponibles : un module TCXO 25 MHz à 0,25 ppm, qui améliore d'un facteur 100 la stabilité en fréquence et en température par rapport à un quartz classique ; et un module AGC, qui corrige une fonctionnalité manquante sur le QCX et jugée indispensable par certains opérateurs. Ces modules s'installent facilement sur les émetteurs-récepteurs QCX-mini et QCX+.

J'espère que vous pourrez constater l'évolution des logiciels, du matériel et des idées de conception au fil du développement de la gamme de kits QRP Labs. Chaque kit hérite des idées, des blocs de circuits et des modules de code du micrologiciel de ses prédécesseurs.

La débâcle du QSX

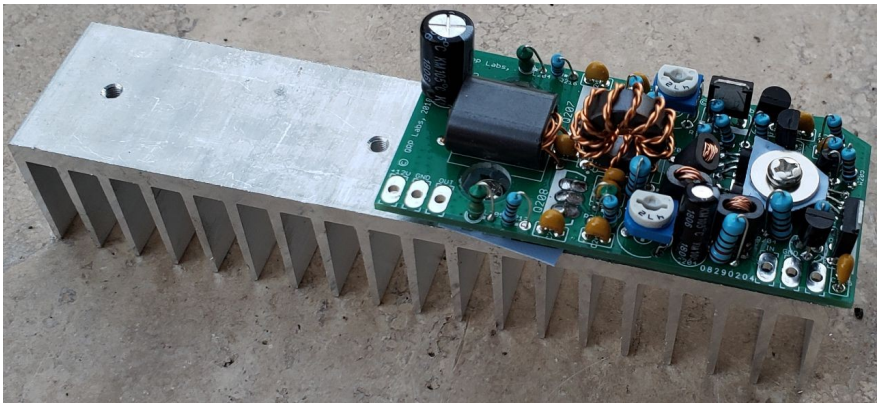


En 2018, porté par le succès retentissant du QCX et me sentant presque invincible, je me suis lancé dans un ambitieux projet toutes bandes et tous modes appelé QSX (QRP Labs Sideband Transceiver).

Une version monobande du QSX a été construite par les participants au camp d'été YOTA 2018 en Afrique du Sud en août 2018, mais elle présentait des problèmes matériels la rendant incomplète et inutilisable.

L'existence du projet est devenue
Tout était connu, sans que je cherche à préserver le moindre secret. Je pensais pouvoir terminer le projet QSX en quelques mois ! Quelle erreur !

Le seul module QSX lancé jusqu'à présent était le Linear 10 W, destiné à servir d'amplificateur de puissance. Il utilise une paire de MOSFET IRF510 économiques avec un driver push-pull BS170 pour un gain total de 26 dB, une plage de +/-1 dB de 160 m à 10 m et une quasi-absence de distorsion.
indestructible (surcharge, surtension, courts-circuits, circuits ouverts, décalages SWR, etc.).



Mon seul soulagement était que, à part
En prenant des commandes pour le Linear 10W, je n'avais pas été assez audacieux (ou insensé) pour accepter des précommandes QSX. Elecraft a accepté des précommandes quelques mois plus tard, lors du lancement du K4 à Dayton en mai 2019, dont les livraisons ont également dépassé les estimations. Certes, la pandémie de Covid-19 et les pénuries de composants qui en ont découlé sont un facteur. Mais il y avait aussi, du moins dans mon cas, l'optimisme excessif et rêveur suscité par le succès du QCX, la sous-estimation de l'ampleur du projet et le nombre impressionnant de nouveaux éléments du QSX par rapport aux kits précédents de la gamme QRP Labs.

Alors que les délais s'allongeaient et que la pression montait, la notoriété publique du projet a également suscité des suggestions, ce que l'on appelle aussi « feature creep » (dérive des fonctionnalités) : l'agrandissement du projet. Pression et créativité sont incompatibles et, très vite, je me suis senti quelque peu épuisé par le projet.

Finalement, j'ai réalisé qu'une telle négativité pouvait devenir mentalement dommageable et qu'il serait préférable de la mettre de côté et de ne rien forcer ; je me suis donc permis de travailler sur d'autres projets tels que :

- Suivi de ballons U4B
- Amplificateur de puissance 50 W pour la série QCX
- QDX (plus d'informations à ce sujet dans un instant)
- Evolutions QCX+ et QCX-mini du transceiver QCX

Il était bien plus productif, positif et profitable de laisser ces distractions intervenir que de s'enliser dans des blocages artistiques sur QSX. Et à bien des égards, comme je le mentionnerai plus tard, chacun de ces développements a constitué un pas (ou quelques pas) vers le QSX. Le moment venu, une agréable surprise nous attendra : le QSX sera prêt et commercialisé.

QDX, l'émetteur-récepteur à 5 modes numériques

Le prochain kit à succès de QRP Labs a été le QDX (QRP Labs Digital Transceiver). Ce projet a débuté fin 2019, inspiré par les performances et les fonctionnalités médiocres, et le prix exorbitant, de plusieurs kits de mode numérique destinés au FT8, le mode numérique le plus populaire aujourd'hui.

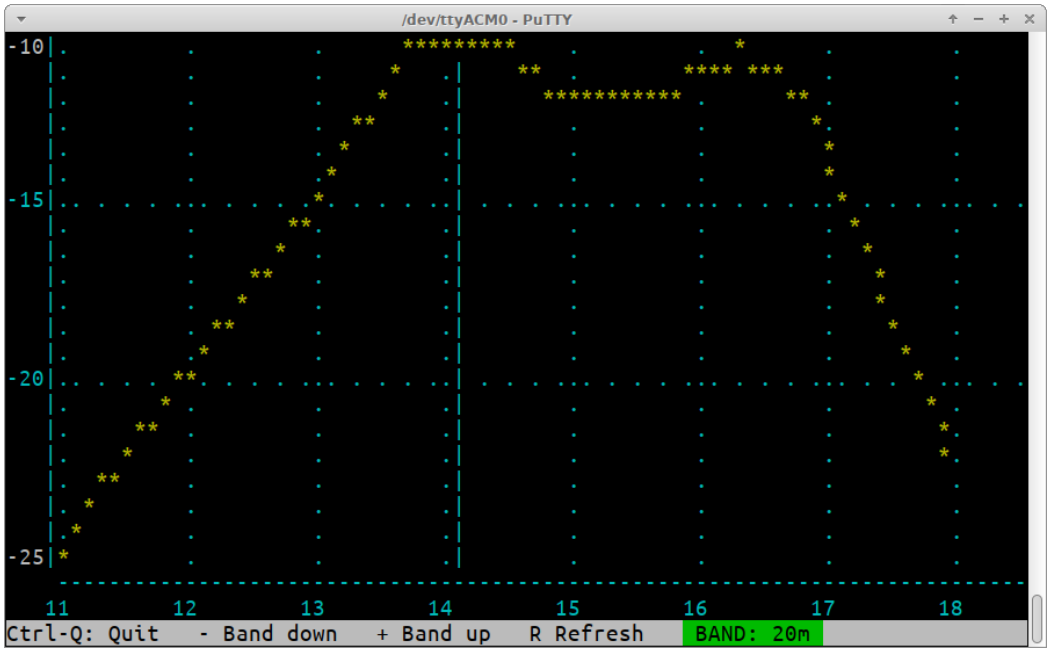
QDX est une petite boîte noire d'apparence innocente mesurant seulement 3,5 x 2,5 x 1 pouces, lancée en octobre 2021 (oui, elle aussi, a nécessité près de 2 ans de développement !).





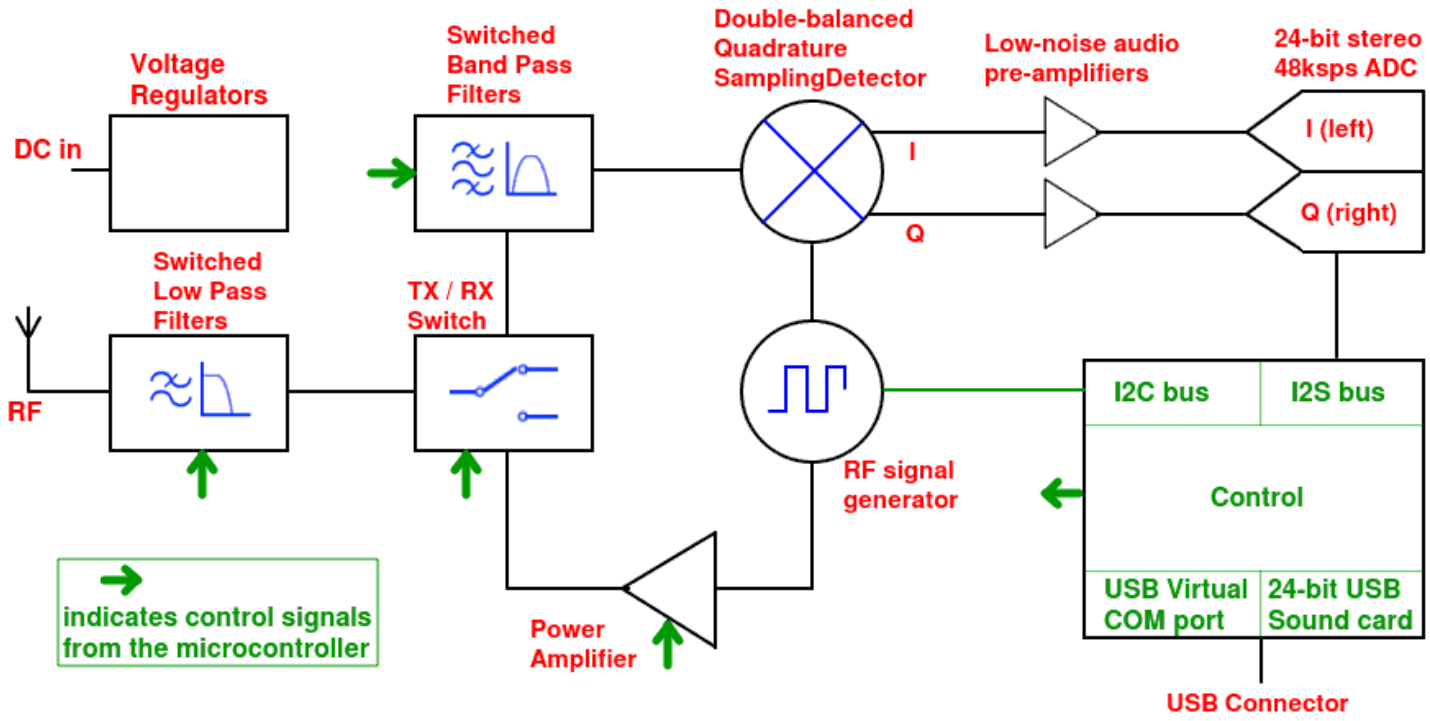
Le QDX est un récepteur SDR embarqué très performant, basé sur la méthode SDR IQ à conversion descendante, très répandue, et utilisant un convertisseur analogique-numérique stéréo 24 bits à 48 kbit/s. L'émetteur est un amplificateur push-pull de classe D original, développé pour cet émetteur-récepteur, avec des filtres passe-bas commutés par diodes PIN. Le TCXO et le Si5351A sont déjà présents sur la série QCX et les produits précédents. L'émetteur adopte une approche innovante : la mesure de la fréquence audio depuis un PC (logiciel WSJT-X codant les tonalités audio, etc.) et la synthèse directe de la fréquence RF requise. Il en résulte une réduction significative de la complexité et des performances améliorées : les caractéristiques de bande latérale indésirable, de porteuse résiduelle et d'intermodulation IP3, propres aux émetteurs-récepteurs BLU, sont totalement absentes du QDX, car il génère directement sa sortie RF unique. Cette simplicité et ces excellentes performances ont toutefois un prix : les modes multi-tons et à déphasage ne peuvent pas être transmis. Étant donné que la plupart des opérations numériques s'effectuent désormais sur des modes FT8 et certains autres modes WSJT-X qui sont tous des modes à modulation par déplacement de fréquence (FSK), ce n'est pas un trop mauvais compromis.

De plus, QDX comprend une carte son USB 24 bits virtuelle pour un transfert audio sans perte, sans distorsion et sans bourdonnement vers et depuis le PC ; et un port série COM virtuel pour le contrôle CAT afin que WSJT-X ou tout autre mode numérique
le logiciel que vous utilisez peut facilement changer la fréquence et gérer le Rx/Tx
changement etc.



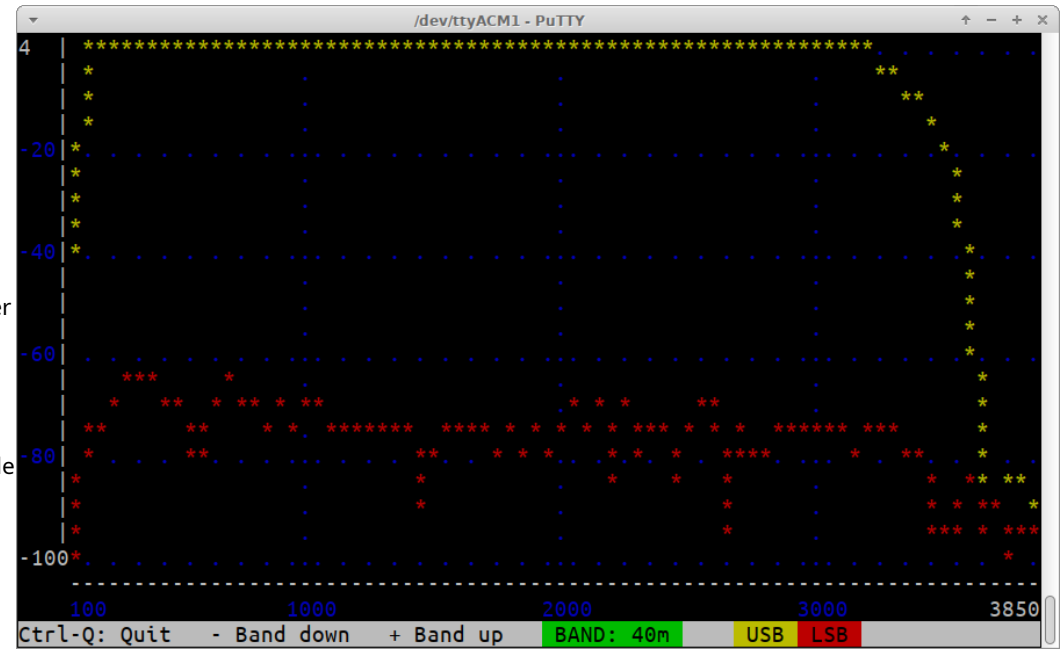
QDX comprend une seule LED d'état mais est par ailleurs un émetteur-récepteur « sans tête » contrôlé par le PC hôte ; bien qu'il dispose d'une suite d'émulateurs de terminal
des applications qui vous permettent d'expérimenter et d'appliquer différentes configurations, de balayer les filtres RF et
mesurer le rejet d'image, entre autres.

QDX utilise un microcontrôleur ARM 32 bits de la série STM32, un processeur Cortex M4 avec processeur DSP et unités à virgule flottante intégrés. Ce processeur implémente le SDR, contrôle l'ensemble du circuit et met en œuvre les interfaces USB vers le PC hôte.

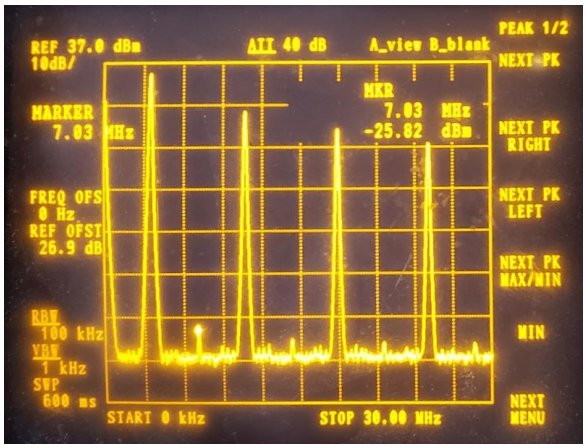


La partie récepteur du schéma de principe est un récepteur IQ classique à conversion descendante, tel qu'utilisé dans de nombreux émetteurs-récepteurs, notamment les Elecraft KX2 et KX3. Les performances de ce récepteur dépendent en grande partie de la plage dynamique du CAN et du bruit de fond (bruit d'entrée en tension) des amplificateurs opérationnels utilisés dans les préamplificateurs situés juste après le détecteur.

Une fois que la puce ADC a fourni un échantillonnage au signal numérique royaume, le microcontrôleur implémente un superhétéro récepteur avec FI 12 kHz et un filtre audio précis bande passante couvrant 150-3200Hz. QDX peut même utiliser la troisième sortie d'horloge du Si5351A pour injecter un signal de test dans sa propre entrée et mesurer sa propre caractéristique de bande passante audio, en utilisant les outils d'application de terminal fournis.



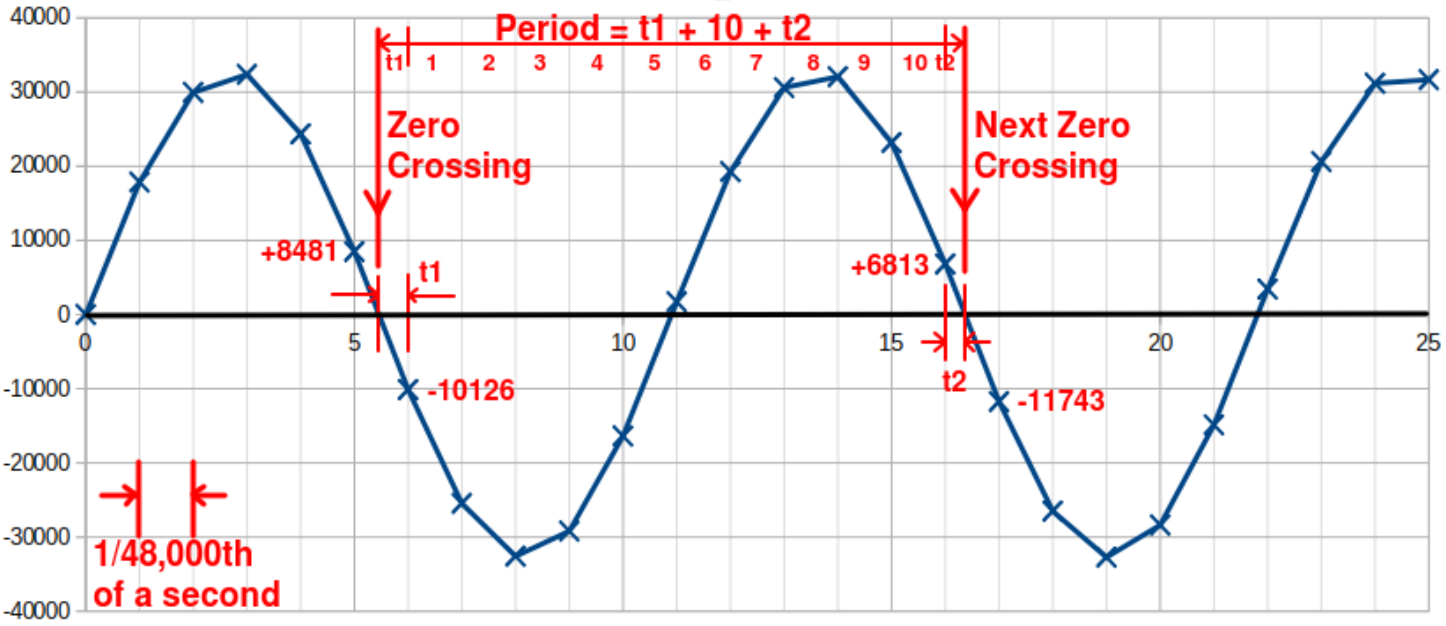
La conception de ces filtres est facilitée par le fait qu'un amplificateur push-pull annule dans une large mesure ses propres harmoniques paires - cela réduit considérablement la charge sur le filtre passe-bas pour nettoyer le contenu harmonique de la sortie et permet des filtres plus simples qui peuvent dans certains cas, être utilisés sur plus d'une bande.



J'ai développé l'utilisation de diodes 1N4007 ordinaires comme diodes PIN (pour la commutation RF) dans les commutateurs d'émission/réception de l'amplificateur de puissance 50 W de la série QCX et j'ai approfondi ce fonctionnement ici dans la conception QDX. Ces diodes servent à la commutation de l'un des trois filtres passe-bas de la carte. Une diode PIN est à l'état passant lorsqu'elle est en mode direct.
polarisé par un courant suffisamment élevé (30 mA en QDX) et bloqué lorsqu'il est polarisé en inverse par une tension suffisamment élevée. En QDX, cette tension est dérivée d'un redresseur/doubleur agissant sur la sortie de l'étage amplificateur de puissance.

Une autre évolution importante de la conception du QDX est apparue avec le PCB Rev 4, environ un an après son lancement. Ce circuit imprimé intègre un convertisseur de tension CC-CC à découpage pour fournir un courant de polarisation directe aux diodes PIN en émission, bien plus efficacement que les anciennes résistances pour l'alimentation +12 V. Le convertisseur à découpage est intégré à des composants discrets, et non à un circuit intégré SMPS « réel », la boucle de régulation et la modulation de largeur d'impulsion étant générées par le microcontrôleur QDX. Cette amélioration a permis de réduire la production de chaleur de trois quarts de watt en émission !

Lors de la transmission, le QDX mesure la fréquence audio en calculant l'intervalle précis entre les passages à zéro interpolés, une mesure très précise et rapide sur un seul cycle audio, rendue possible par l'utilisation de la carte son USB qui fournit des échantillons audio sans perte et sans distorsion directement à partir de WSJT-X.



Le QDX est devenu un membre très populaire de la gamme de kits QRP Labs et est désormais notre kit le plus vendu. Tout comme le QCX-mini et le QCX+, nous le proposons également assemblé, testé et réglé moyennant un supplément.

Défis

Aucune histoire de ces dernières années ne serait complète sans une petite anecdote touchante sur les difficultés rencontrées. Au-delà de la thérapie du partage, les défis surmontés sont une leçon et une source d'inspiration. N'oubliez pas : ce qui ne nous tue pas nous rend plus forts.

Le premier défi dont je souhaite parler est de décider de quitter une carrière stable en entreprise pour se lancer dans une aventure aussi folle que de créer une entreprise de kits radio. Cela exige une réflexion approfondie, ainsi qu'un interlocuteur avisé, une voix de la raison, de bonnes stratégies de réduction des risques et un soutien indispensable. Quitter un environnement professionnel ne convient pas à tout le monde. Outre les risques évidents de perdre son emploi ou sa tête (selon la première éventualité), un emploi en entreprise offre une certaine sécurité. Généralement, on a un patron qui nous dit quoi faire, et cela se fait dans le cadre de l'entreprise, qui fournit toutes les fonctions de soutien nécessaires. Tant que vous faites le travail, ni trop bien, ni trop mal, tout se déroulera généralement sans problème et un salaire arrivera sur votre compte bancaire chaque mois. Bien sûr, tout l'argent que vous contribuez à gagner sert à quelqu'un d'autre. C'est le principe. Maintenant, lancez-vous : vous n'avez plus de patron pour vous guider, plus de cadre, plus de structure de soutien. Vous gardez l'argent, mais vous vivez et mourrez de vos propres ailes. Ce n’est pas une différence entre le bien et le mal, c’est juste différent et vous devez être sûr que c’est pour vous ; même si c’est le cas, c’est toujours un ajustement formidable qui ne doit pas être pris à la légère.

Travailler à domicile représente désormais un défi inédit, sans parler du changement de pays (du Japon à la Turquie, dans notre cas). Un bureau à domicile est un atout précieux, avec un temps de trajet relativement court. En revanche, rester concentré devient un défi, et travailler sérieusement sans interruption devient un objectif beaucoup plus difficile à atteindre. Surtout lorsqu'il s'agit d'un travail de conception aussi complexe, où la concentration est cruciale.

Le succès du QCX a entraîné une augmentation soudaine et brutale du volume des commandes, ce qui a été un véritable choc. Bien sûr, c'est un problème agréable à gérer, mais il reste un problème qu'il faut gérer et résoudre. Dans notre cas, cela a impliqué de délocaliser les opérations du Japon (où j'avais deux assistants japonais travaillant à temps partiel le soir pour expédier les kits QRP Labs) vers la Turquie, où j'ai pu me développer plus facilement. Vous avez donc maintenant des employés, bien trop peu de temps après avoir quitté la direction de l'entreprise...

Les défis techniques constituent un sujet à part entière, qui pourrait constituer un thème de séminaire à part entière. On ne saurait trop insister sur le nombre d'imprévus qui surgissent et vous mordent aux fesses au pire moment. L'électronique analogique, et plus particulièrement l'électronique RF, relève de la magie noire. Et encore plus lorsqu'on l'apprend sur le tas.

Avec l'arrivée de la pandémie de Covid, de nombreux défis supplémentaires sont apparus. Enfants scolarisés à domicile. L'arrivée d'un nouveau bébé dans la famille. Connaissez-vous Zoom ? Impossible de s'en passer. Ou pire, je déteste le réparer. Les confinements ont compliqué la présence des employés sur site.

La crise mondiale des semi-conducteurs est survenue en même temps que la pandémie de Covid et a engendré de nombreux nouveaux défis. Le débat fait rage quant à savoir si la Covid en est la cause, le déclencheur ou quoi que ce soit d'autre. Quoi qu'il en soit, les composants sont soudainement devenus difficiles à trouver. Auparavant, commander tout ce dont on avait besoin se résumait à un simple clic, aller sur le site web de Digikey, Mouser, etc., et choisir les composants.

Vous avez besoin de payer par carte bancaire et de vous assurer de les recevoir quelques jours plus tard à Hong Kong pour l'assemblage de la carte – sans jamais imaginer que Digikey puisse être en rupture de stock – pour vous retrouver soudainement dans une situation où presque tout ce que vous désirez est en rupture de stock et nécessite un délai de livraison de plus d'un an. Dans la plupart des cas, cela signifie simplement que ni Digikey ni le fabricant n'ont la moindre idée du délai de livraison. Il a fallu trouver de nouveaux fournisseurs, ce qui a entraîné le problème des composants contrefaits ou sous-spécifiés. Dans de nombreux cas, des substitutions ont dû être effectuées, ce qui a entraîné son lot de surprises et de travaux de validation. Aïe !

Pendant ce temps, la demande de kits QRP Labs ne cessait de croître, tout comme la taille de l'équipe. La production devait donc se poursuivre tant bien que mal pour répondre à la demande. Notre petite taille nous a permis de gérer avec souplesse les fournisseurs, les composants, les substitutions et les modifications de conception, ce qui nous a permis de maintenir la quasi-totalité de la gamme de kits sans interruption majeure. La plus importante interruption a duré quelques mois, concernant la conception de l'amplificateur différentiel QDX, compatible avec le nouveau CAN PCM1804 à entrée différentielle.

Tremplins vers QSX ?

Comme je l'ai mentionné précédemment, QSX n'a pas encore vu le jour, au grand dam de beaucoup. Pourtant, de nombreux éléments de QSX ont été développés et éprouvés. Plusieurs observateurs avisés ont commenté ce point. Chacun de ces éléments nous rapproche du jour où QSX sera enfin prêt.

Le premier domaine à mentionner est sans doute celui des enceintes. En commençant par l'enceinte du kit de sonorisation 50 W, dont les profilés ont également été utilisés dans les kits QCX-mini et QDX (avec des longueurs de coupe et des panneaux avant et arrière différents), puis en poursuivant avec la conception de l'enceinte QCX+, j'ai développé des compétences et des techniques de conception mécanique, ainsi que des fournisseurs et des fabricants, qui faciliteront grandement la conception et la production professionnelles de l'enceinte finale pour QSX.

La commutation de bande et la commutation émission/réception posaient problème dans QSX. Cependant, la maîtrise de la commutation émission/réception par diode 1N4007 dans le système de sonorisation de 50 W, de la commutation du filtre passe-bas dans QDX, ainsi que des conceptions LPF plus simples dans QDX, sont autant d'éléments indispensables pour QSX.

Peu de gens savent que le code source de QDX était initialement basé sur QSX. Ainsi, une partie du code source de QSX (filtrage SDR et DSP intégré) est désormais perfectionnée et disponible sous la forme du kit QDX.

Les kits QLG2, QDX, ProgRock2 et U4B sont tous basés sur la série de microcontrôleurs STM32 et incluent une procédure de mise à jour du firmware. Le kit apparaît alors comme une clé USB sur un PC hôte. La mise à jour du firmware consiste simplement à copier le nouveau fichier sur cette clé USB. C'était une exigence cruciale pour QSX, car c'était la première fois que j'utilisais des microcontrôleurs STM32. Ces kits intermédiaires ont donc perfectionné ce chargeur de démarrage USB (procédure de mise à jour du firmware) et ont permis de développer une grande expérience et du code sur la série STM32. Un progrès considérable pour l'émetteur-récepteur QSX.

Les applications terminales de QDX et U4B seront également utilisées dans QSX. J'ai toujours eu l'intention de développer un langage de script pour QSX afin que les utilisateurs puissent développer des fonctionnalités personnalisées selon leurs propres spécifications. Le système de suivi de ballons U4B intègre ce langage de programmation BASIC, directement applicable à QSX.

Evolution, pas big bang !

J'espère que vous pourrez voir la façon dont la gamme de kits QRP Labs a évolué au fil des ans depuis ses humbles débuts en mai 2010. Comment chaque kit utilise des concepts, des idées, des blocs de circuits, des conceptions mécaniques et des modules de code de micrologiciel développés pour les kits précédents.

QSX était une étape trop ambitieuse et trop ambitieuse. Je réalise aujourd'hui qu'évoluer progressivement, étape par étape, et garder le silence aurait été une stratégie bien meilleure, moins stressante et plus efficace. Le célèbre émetteur-récepteur analogique monobande CW QCX n'est pas né de manière spectaculaire en 2010. Il est arrivé à la fin d'une série de kits prédécesseurs, capitalisant sur leurs succès.

Construire le prochain : QMX

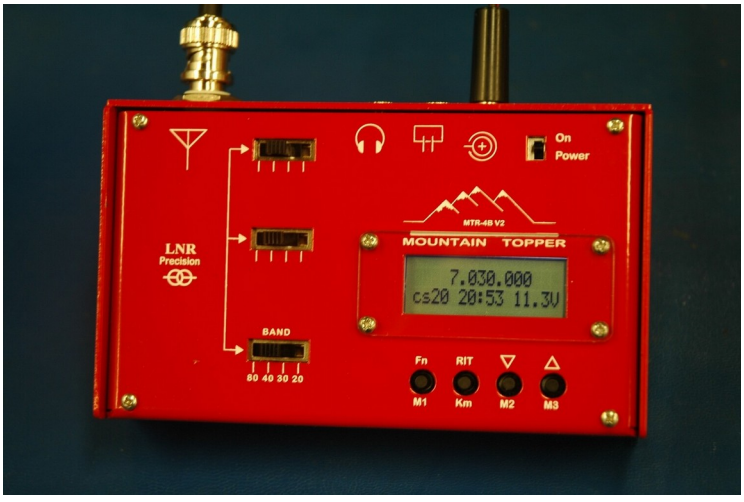
Venons-en maintenant à la conception de ce qui pourrait bien devenir l'étape finale du QSX. Et, ce faisant, l'un des meilleurs systèmes QRP portables jamais conçus.

QMX. Le M comme Mariage. Magnifique. Fusion. Merveilleux, et bien d'autres choses du même genre. C'est ce que l'on obtient en combinant la conception mécanique et conceptuelle du QCX-mini avec l'implémentation numérique multibande SDR du QDX. En bref : QDX + QCX-mini = QMX.

Cette partie de l'histoire détaille certaines des décisions de conception prises lors du développement de QMX.

Pourquoi QMX ?

Parce qu'il constitue une nouvelle étape vers le QSX. Cela semble une progression logique. Et parce qu'il existe un besoin pour un émetteur-récepteur multibande et multimode portable, performant, peu coûteux et compact. Nombreux sont ceux qui possèdent des appareils comme un Elecraft KX3, un Yaesu FT817, etc. Mais si vous l'emportez avec vous en pleine nature, s'il est volé, cassé ou endommagé, cela représente un véritable gouffre financier. Certains préfèrent un modèle moins cher pour leurs opérations portables. Les populaires LNR Precision, haut de gamme, sont une option, mais 370 $ sont loin d'être abordables, et ils sont limités à la CW. Les performances ne sont pas exceptionnelles, la commutation de bande est maladroite et le design est un peu ringard à mon avis. La série uSDX répond aux exigences d'un prix abordable, mais elle subit une baisse de performances non négligeable, sans compter le boîtier en plastique imprimé en 3D qui ne garantit pas la qualité. Aucun des deux ne dispose d'un grand écran extérieur facile à lire. (Photos provenant des sites Web respectifs).





De nombreuses personnes m'ont demandé un émetteur-récepteur QCX CW multibande. Or, transformer cette conception monobande en un émetteur-récepteur multibande est intrinsèquement difficile. L'étage de sortie de classe E est difficilement multibande, car il s'agit par définition d'un circuit de charge résonnante accordé. Il n'y a certainement pas de place dans un QCX-mini pour la commutation de bande. Le micrologiciel de la puce ATmega328 occupe déjà entièrement les 32 Ko de mémoire Flash du processeur. Passer à une puce AVR plus performante est possible, mais cela nécessiterait un boîtier CMS, ce qui rend impossible l'intégration d'une puce de mise à niveau. Cela implique donc de nombreux développements pour un chargeur de démarrage afin de permettre les mises à jour du micrologiciel. La mise en multibande d'un QCX pose de nombreux problèmes : les filtres passe-bas, les filtres passe-bande et les circuits de charge résonnante de classe E dépendent tous de la bande et nécessitent une commutation.

De nombreuses personnes se sont demandé si le QDX (émetteur-récepteur 5 bandes en modes numériques) pouvait fonctionner en CW, ou pouvait être conçu pour le faire. L'absence de mise en forme d'enveloppe RF dans le QDX s'explique par un choix de conception (pour des raisons de simplicité et de coût). C'est (raisonnablement) acceptable pour les modes numériques où le signal est FSK et où la seule transition nette entre les porteuses RF se situe au début et à la fin de la transmission, où elle est relativement inoffensive. Cependant, si vous transmettez en CW (qui est par nature un mode à modulation on/off) sans mise en forme d'enveloppe, vous générez des clics large bande qui gêneront les personnes sur les fréquences proches, même avec une puissance QRP de seulement 5 watts. La mise en forme d'enveloppe est donc nécessaire pour la CW. Son implémentation en QDX est aisée. Cependant, il vous faudra tout de même saisir votre message CW sur un PC et le faire envoyer au QDX sous forme audio. La plupart des opérateurs CW souhaitent bénéficier d'une expérience CW complète, avec une manipulation correcte sur une touche droite ou une palette. Alors, pourquoi ne pas le faire correctement ? D'où QMX.

Caractéristiques

J'aimerais intégrer toutes les fonctionnalités de l'interface utilisateur autonome de QCX-mini (aucun ordinateur hôte nécessaire), avec toutes les fonctionnalités SDR, DSP et numériques intégrées de QDX, disponibles sur un ordinateur hôte en option si nécessaire.

J'aimerais également inclure plusieurs objectifs supplémentaires, notamment le potentiel du SSB (j'y reviendrai plus tard). Certains sont tellement ambitieux que je n'ose même pas les mentionner maintenant.

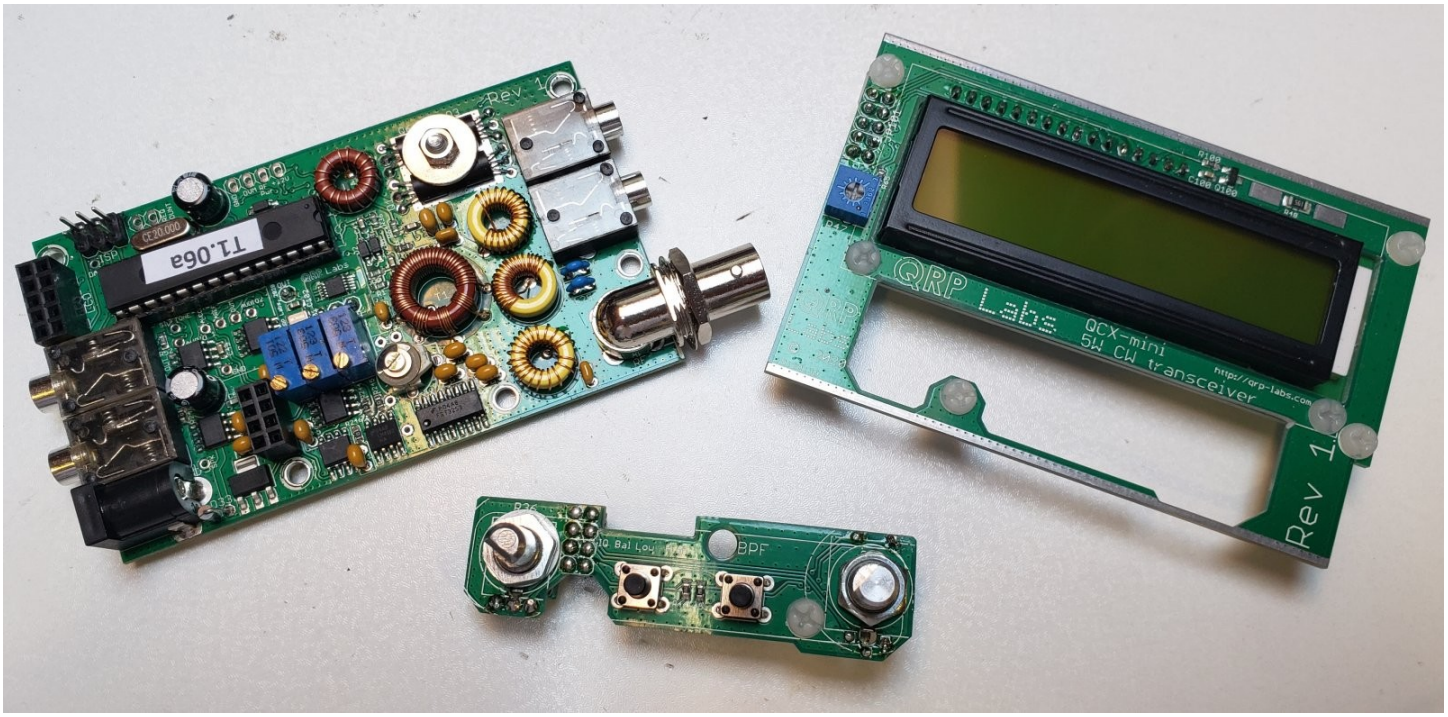
Un faible courant de réception est un paramètre recherché par de nombreux utilisateurs pour un fonctionnement portable. Un DSP implique un processeur puissant, ce qui consomme beaucoup d'énergie. C'est un domaine où la conception analogique présente un avantage. C'est pourquoi j'aimerais inclure des convertisseurs CC-CC à découpage pour les rails d'alimentation internes de 3,3 V et 5 V, afin d'optimiser l'efficacité des alimentations. Cependant, ces convertisseurs à découpage ne doivent pas générer de bruit RF susceptible d'interférer avec les performances du récepteur.

Je souhaite inclure une nouvelle fonctionnalité : la mesure du TOS en ligne. C'est une autre demande fréquente, notamment pour les applications portables où le QMX est souvent utilisé et où les antennes sont susceptibles d'être plus variables qu'à domicile. On pourrait critiquer le QDX et le QCX-mini en raison de leur vulnérabilité et de leur manque de protection contre les situations de TOS défavorables. Essayons donc d'y remédier dès maintenant, en intégrant la mesure et la mesure du TOS, ainsi que des fonctions de protection, au micrologiciel.

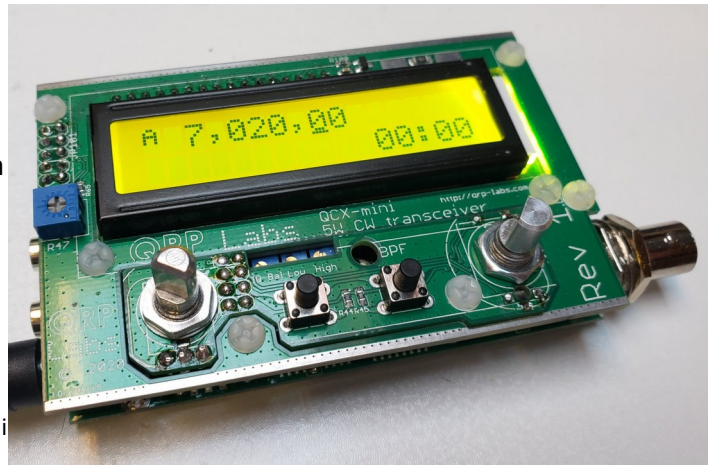
J'aimerais également faire quelques pas supplémentaires vers QSX, comme mentionné précédemment, et cela influencera le processus de conception, en particulier du côté logiciel de la conception.

Conception mécanique

Le QCX-mini est une conception mécanique assez sympa dont je suis plutôt fier. Le boîtier est en aluminium extrudé, mesurant 9,4 cm de large, 6,3 cm de profondeur et 2,5 cm de haut (sans compter les boutons de commande). À l'intérieur se trouve un écran qui se glisse dans les rails des parois du boîtier. La carte mère, légèrement plus petite, s'y connecte par l'arrière et n'utilise donc pas les rails. Une petite carte enfichable, supportant le contrôle de gain et les boutons, se détache de la découpe de l'écran LCD. Le tout s'assemble et se fixe à l'aide d'entretoises et de vis en nylon. Les plaques d'extrémité en aluminium (gauche et droite) sont vissées dans leurs coins, dans les trous des extrusions d'aluminium. Aucune autre vis de montage n'est nécessaire pour fixer les cartes QCX-mini à leur boîtier. L'écran LCD jaune/vert 16 x 2 est daté (disons, très daté, les écrans HD44780 datent du milieu des années 80), mais reste idéal pour une installation portable pour de nombreuses raisons : lisible en plein soleil, grands caractères faciles à lire, faible coût et faible consommation (moins de 1 mA en mode veille). Le rétroéclairage est éteint. Cette image montre les cartes QCX-mini :



Voici comment les planches s'empilent (à droite).



Le QMX a beaucoup plus de composants à intégrer. Mais par fierté et par souci du détail, je refuse d'agrandir le boîtier. Ce sera donc un défi de conception majeur. Je souhaite que le boîtier reste visuellement presque identique à celui du QCX-mini.

Le QMX possède les mêmes connecteurs à gauche et à droite que le QCX-mini. L'alimentation CC, la sortie audio et l'entrée paddle se trouvent à gauche. La sortie RF (BNC), la sortie PTT et la connexion série se trouvent à droite. Cependant, la connexion série du QCX-mini est une connexion à 38 400 bauds sur une prise jack stéréo 3,5 mm. En revanche, le QMX nécessite un connecteur USB.

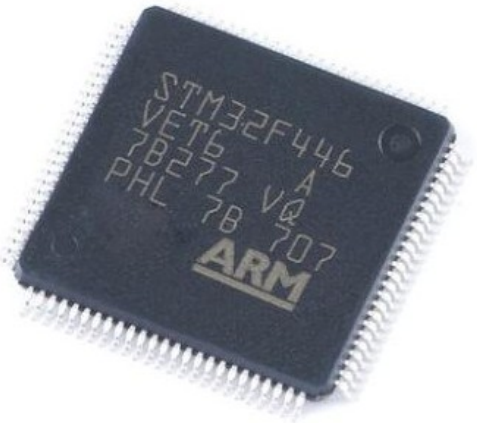
Carte son stéréo USB 48 ksps 24 bits et ports série COM virtuels.

Quel connecteur USB ? Eh bien, USB-micro ? Désolé, beurk. D'après mon expérience, il est fragile. Qui a eu un téléphone Android à l'époque de l'USB-micro et dont la connexion par câble est devenue intermittente au bout d'un moment ? Ou pire, le problème venait du téléphone, bien plus difficile à gérer qu'avec un nouveau câble. J'ai utilisé l'USB-micro sur le premier lot de trackers U4B et il y a eu des problèmes de connexion ; je dois l'utiliser sur le module ProgRock2, qui est minuscule par conception, mais au moins la connexion USB est probablement temporaire. Cependant, je préférerais ne pas l'utiliser ici, dans une conception destinée à être portable et qui doit être robuste. L'USB-mini était pratique, mais jamais aussi courant. L'USB-B (USB standard), souvent utilisé sur les imprimantes, est robuste, tombe rarement en panne et c'est ce que j'aime utiliser dans QDX. Mais il est gros, trop gros, il ne rentre pas sur le circuit imprimé QMX à la hauteur disponible sous le module LCD. Il nous reste donc l'USB-C, l'implémentation moderne et populaire de l'USB, capable de fournir une alimentation à de nombreuses tensions différentes, compatible avec les deux sens de branchement et, espérons-le, mécaniquement plus robuste que l'USB-micro. Dans QMX, nous n'utiliserons pas les fonctionnalités d'alimentation complexes ; nous nous en tiendrons aux connexions USB classiques. De plus, pour réduire les risques de problèmes de connexion sur le terrain – et puisqu'il s'agit d'un composant essentiel – nous choisirons un connecteur USB-C Digikey de haute qualité, doté de broches traversantes plutôt que de connecteurs CMS.

Hormis le changement du connecteur de l'ordinateur hôte (USB-C) et l'étiquetage en façade, le reste du QMX ressemblera beaucoup au QCX-mini et sera difficile à distinguer. Le QCX-mini est une implémentation d'émetteur-récepteur très appréciée et incroyablement mignonne ; il est donc tout à fait logique de réutiliser sa conception mécanique ; et c'est un beau défi de ne pas augmenter sa taille (par exemple, en élargissant le boîtier).

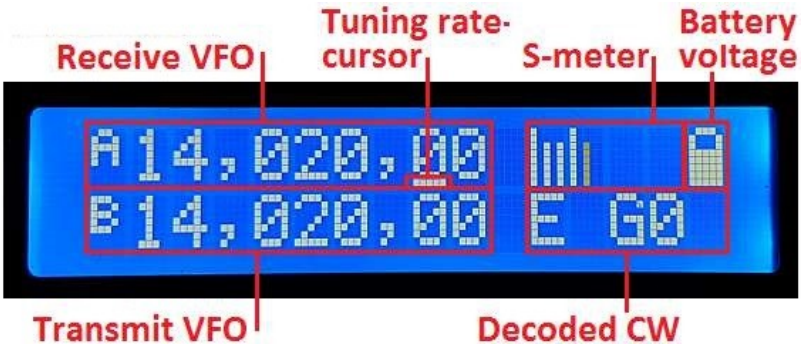
Microcontrôleur

Bien entendu, conformément à notre approche évolutive progressive, nous conserverons la série STM32. Le QDX est équipé d'un microcontrôleur 64 broches. Pour le QMX, nous souhaitons intégrer davantage de fonctionnalités, d'E/S, de périphériques, de mémoire Flash et de RAM, car j'aurai plusieurs choses à tester sur le chemin menant progressivement à l'émetteur-récepteur HF 10 W QSX, tous modes et toutes bandes. Le QMX a donc besoin d'un processeur supérieur, avec un microcontrôleur 100 broches, probablement le STM32F446VET6. Ce n'est pas une coïncidence si vous remarquez que le STM32F446 est le même membre de la famille que celui utilisé dans le QSX jusqu'à présent (versions YOTA 2018).



Interface utilisateur

L'interface du QCX, composée de deux boutons et d'un encodeur rotatif, est intuitive et nous l'utilisons depuis six ans ; elle est elle-même issue des anciens systèmes de menu et de contrôle utilisés sur les kits de balises de la série Ultimate décrits précédemment, ainsi que sur le kit VFO/SigGen (code de gestion de l'encodeur rotatif). Reprenons donc l'interface utilisateur du QCX, qui



utilise le même écran LCD 16 x 2. Le même système de menus peut être utilisé, avec bien sûr des modifications pour intégrer les fonctionnalités avancées de QMX.

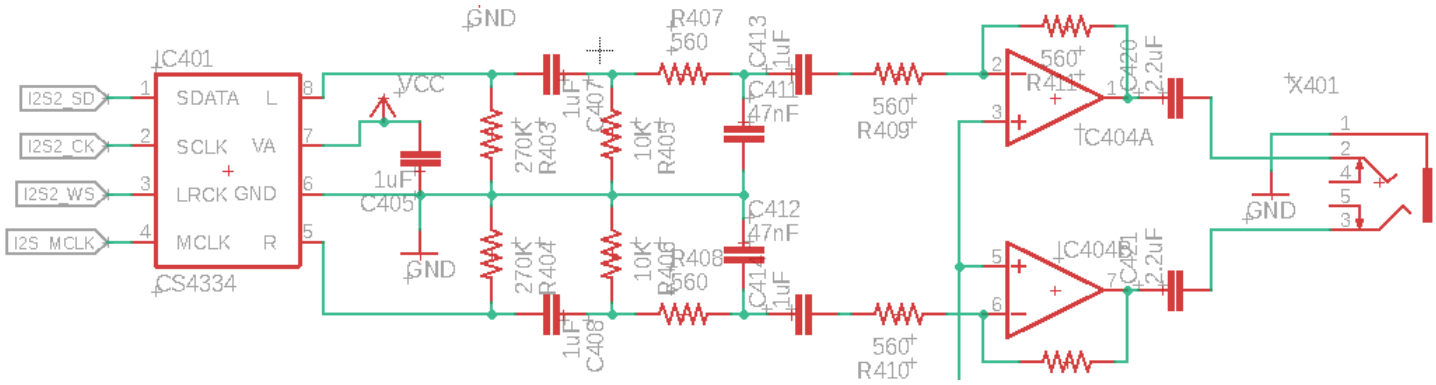
L'interface utilisateur de la série QCX est familière. De nombreux propriétaires-exploitants de QMX sont d'anciens propriétaires-exploitants de la série QCX. C'est une raison supplémentaire de conserver une interface utilisateur similaire.

Une troisième raison, plus pragmatique, est de ne pas repenser entièrement l'interface utilisateur ! Pour moi, l'objectif de 2023 est la réutilisation, l'évolution progressive.

Voilà, c'est tout – gardons l'interface utilisateur aussi similaire que possible à la série QCX et en particulier au QCX-mini !

L'exception concerne le contrôle de gain. Le QCX, de conception analogique, utilise un potentiomètre comme contrôle de gain. Le QMX étant de conception numérique, sa conception électronique interne est bien plus proche de celle du QDX que celle du QCX. Alors, pourquoi fabriquer un étage de sortie audio analogique avec un potentiomètre analogique comme autrefois ? De plus, on ignore peut-être que les potentiomètres analogiques utilisés dans le QCX-mini et le QCX+ sont des composants personnalisés, fabriqués sur mesure pour QRP Labs. Il est toujours plus économique, plus rapide et moins vulnérable aux problèmes d'approvisionnement de pouvoir s'approvisionner en composants standards prêts à l'emploi plutôt qu'en composants personnalisés.

Pour le QMX, la sortie audio est un DAC stéréo 24 bits, ce qui offre une plage dynamique suffisante pour un contrôle entièrement numérique du niveau de sortie audio (comme pour le QSX – vous voyez un schéma ?). Un encodeur rotatif peut donc être utilisé, comme sur le bouton droit du QCX-mini. Cela nous donne également un bouton supplémentaire, utilisable pour, par exemple, changer de mode, de bande et allumer/éteindre !



La sortie audio utilise la même puce DAC I2S 24 bits, CS4334, que le QSX. Il n'y a pas d'accident. Les canaux gauche et droit alimentent séparément deux moitiés d'un amplificateur opérationnel qui pilote les écouteurs. La séparation des canaux permettra à l'avenir de régler le gain pour équilibrer les canaux gauche et droit pour les personnes malentendantes, ou, à terme, d'assurer une réception binaurale.

Conception de l'émetteur-récepteur

La conception de l'émetteur-récepteur actuel est très proche de celle de l'émetteur-récepteur QDX 5 bandes à modes numériques, avec quelques ajouts. Il s'agit essentiellement de prendre un QDX, d'y ajouter une mise en forme d'enveloppe RF, une interface utilisateur et quelques autres nouveautés, et de l'intégrer dans un boîtier QCX-mini.

La conception suit de près le schéma fonctionnel de QDX présenté précédemment. Je n'ai pas l'intention de détailler l'intégralité de la conception de QDX, qui était le sujet du séminaire de l'année dernière et est largement documentée ailleurs. Je la résumerai, puis nous aborderons les nouveautés de QMX.

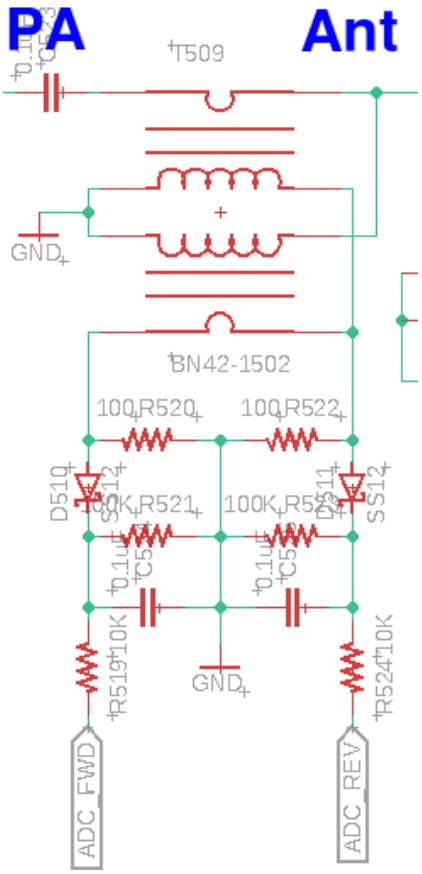
Le récepteur est équipé d'un détecteur d'échantillonnage en quadrature (QSD, également appelé détecteur de Tayloe) à double équilibrage qui convertit les signaux RF en bandes de base I et Q. Ces signaux sont amplifiés et échantillonnés à 48 kbit/s par un convertisseur analogique-numérique (CAN) 24 bits très performant. Le reste de la démodulation est réalisé numériquement dans un SDR embarqué sur un processeur ARM STM32F4 32 bits, qui implémente un récepteur superhétéro avec une fréquence intermédiaire de 12 kHz. En amont du QSD se trouve un simple circuit accordé résonant série servant de filtre passe-bande, avec des condensateurs et des inductances sélectionnés par un commutateur CMOS sous contrôle du processeur. La commutation émission/réception peut être simple et le filtrage passe-bas est partagé entre les sections émetteur et récepteur.

L'émetteur utilise un amplificateur de puissance push-pull avec deux BS170 de chaque côté. Ce système présente l'avantage d'un très faible taux d'harmoniques d'ordre pair, simplifiant ainsi la conception du filtre passe-bas. Il comporte trois filtres passe-bas, chacun contenant deux inductances toroïdales et quatre condensateurs NP0. Ces filtres passe-bas sont commutés par diode PIN, sous le contrôle du processeur, pour sélectionner la bande.

L'oscillateur synthétisé est notre bon vieux Si5351A. En mode émission, il produit des signaux déphasés de 180 degrés et, en réception, une sortie en quadrature permettant de piloter directement le QSD, sans recourir à l'ancien circuit diviseur par 4. C'est une astuce que j'ai développée en 2017 pour le QCX : elle réduit le nombre de composants et offre des performances élevées.

Plusieurs différences clés entre QDX et QMX méritent d'être discutées plus en détail :

- Interface utilisateur (écran LCD, boutons et connecteurs déjà évoqués)
- Mesure du ROS
- Mise en forme de l'enveloppe RF
- Alimentations électriques



Mesure du ROS

Un pont SWR standard est utilisé, qui échantillonne les puissances directe et inverse. Il reste toujours en ligne entre l'amplificateur de puissance et l'antenne. Les tensions de sortie sont mesurées par les entrées CAN du microcontrôleur.

Ce circuit ou des variantes de celui-ci sont présents dans de nombreux émetteurs-récepteurs et wattmètres autonomes.

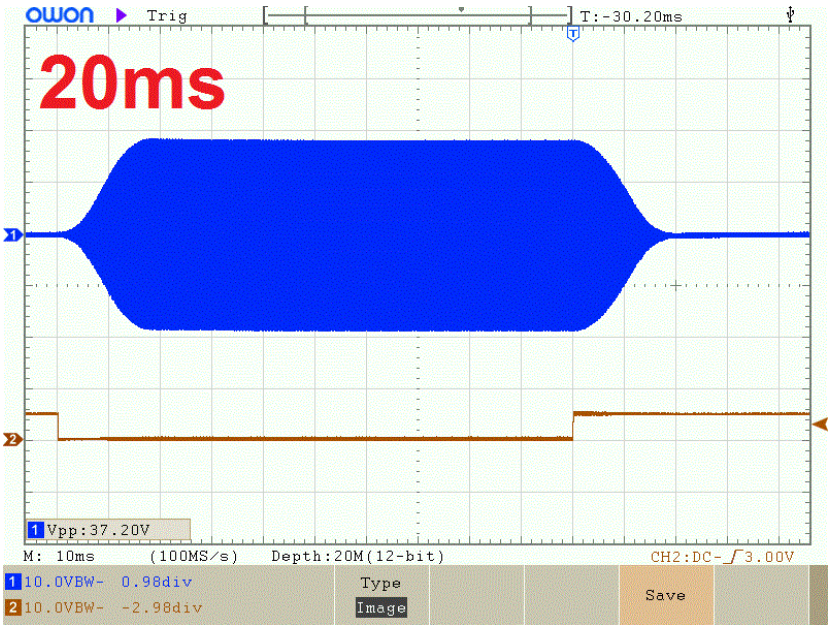
Notez que les deux transformateurs sont souvent intégrés à des tores en ferrite tels que les tores FT50-43. Nous utilisons ici une méthode plus compacte : un noyau binoculaire. Les deux transformateurs sont chacun bobinés dans deux trous distincts. Concernant le noyau binoculaire, ce qui se passe d'un côté est électriquement invisible de ce qui se passe de l'autre. L'utilisation d'un seul noyau binoculaire au lieu de deux tores permet donc de réduire le nombre de pièces et, dans notre cas, de réduire l'espace requis, un facteur crucial dans QMX.

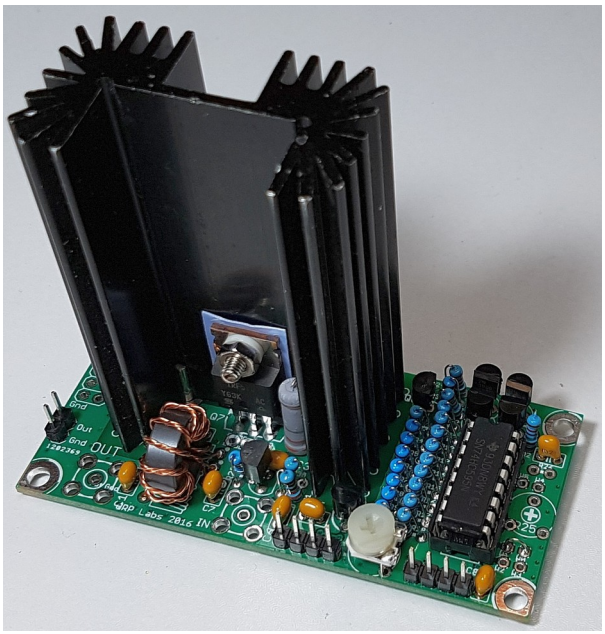
Mise en forme de l'enveloppe RF

L'émetteur-récepteur QCX CW utilise un simple transistor PNP pour obtenir une forme trapézoïdale approximative des fronts d'attaque et de fuite. Cette forme n'est pas idéale en cosinus surélevé, mais elle est suffisamment proche pour offrir d'excellentes performances sans clic.

Le problème est que les temps de montée et de descente sont fortement influencés par les variations de tolérance des composants, notamment le paramètre hFE du transistor PNP, et ces temps peuvent varier considérablement, même entre les composants d'un même lot. Nous visons un temps de montée et de descente de 5 ms, mais la variation réelle d'un QCX à l'autre est considérable. Il serait également appréciable que les temps de montée et de descente puissent être ajustés selon les préférences des opérateurs, ou automatiquement en fonction de la vitesse de manipulation, etc. Pour atteindre l'objectif d'extension SSB, un contrôle précis de la mise en forme de l'enveloppe (en fait, de la modulation d'amplitude) serait excellent. Nous y reviendrons ultérieurement.

Donc pour QMX je suis revenu à la conception développée avec Alan G8LCO pour le kit PA 5W conçu pour les kits Ultimate3/3S QRSS/WSPR.





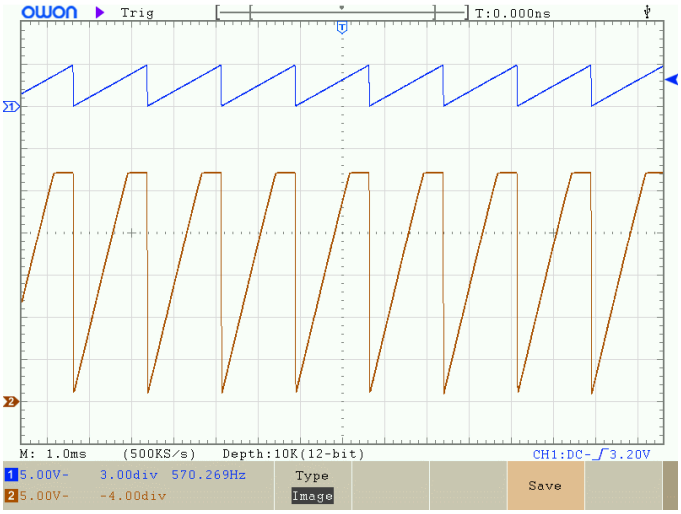
Le circuit peut être considéré comme un régulateur de tension variable dont la tension de sortie est déterminée par une tension de commande, éventuellement fournie par un convertisseur numérique-analogique (CNA) piloté par un microcontrôleur. Dans notre cas QMX, le microcontrôleur STM32 choisi possède ses propres CNA 12 bits internes, rapides et précis, ce qui simplifie encore davantage la tâche.

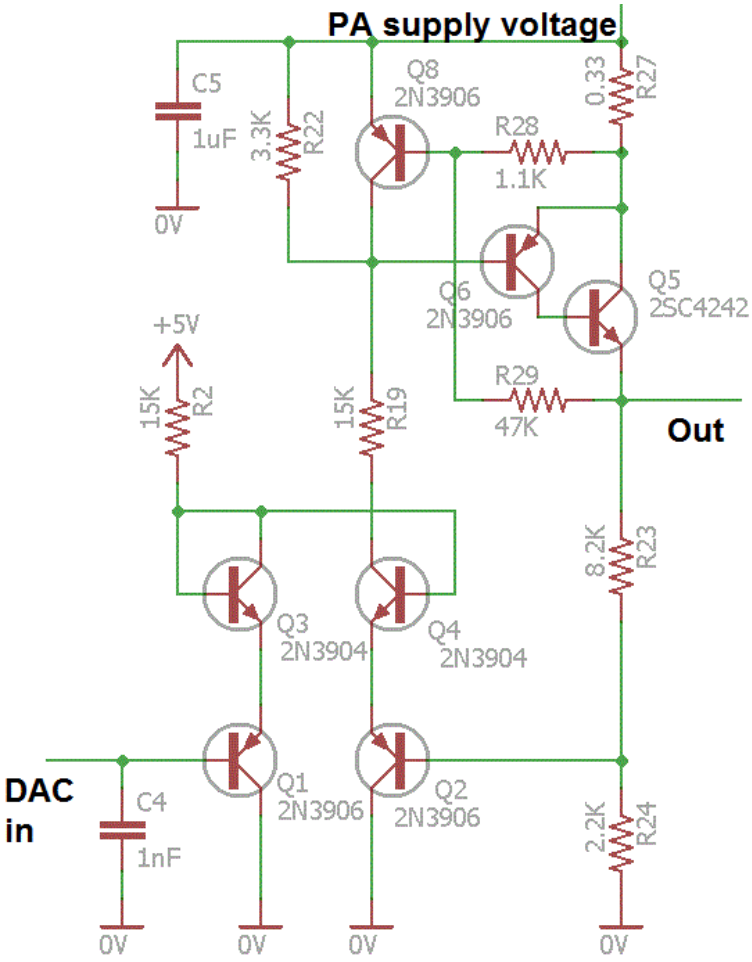
On pourrait même considérer cela comme une sorte d'amplificateur opérationnel de puissance ! Le fragment de schéma reproduit ci-dessous est tiré du manuel du PA 5 W. Dans le QMX, la même configuration est utilisée, mais les transistors sont bien sûr remplacés par des transistors miniatures CMS adaptés.

La tension à l'entrée de commande du CNA sera comprise entre 0 et 3,3 V, par pas de 4096 (12 bits). La tension de sortie est simplement cette tension de commande multipliée par le rapport créé par le diviseur de potentiel R23/ R24.

Lors des tests du PA 5W, ce circuit s'est avéré très linéaire et à fonctionnement rapide.

Dans cette capture d'écran, la fréquence de rampe de forme d'onde triangulaire est de 570 Hz. La rampe de tension de commande est affichée sur la trace supérieure (bleue) et la tension de sortie est la trace inférieure (marron).



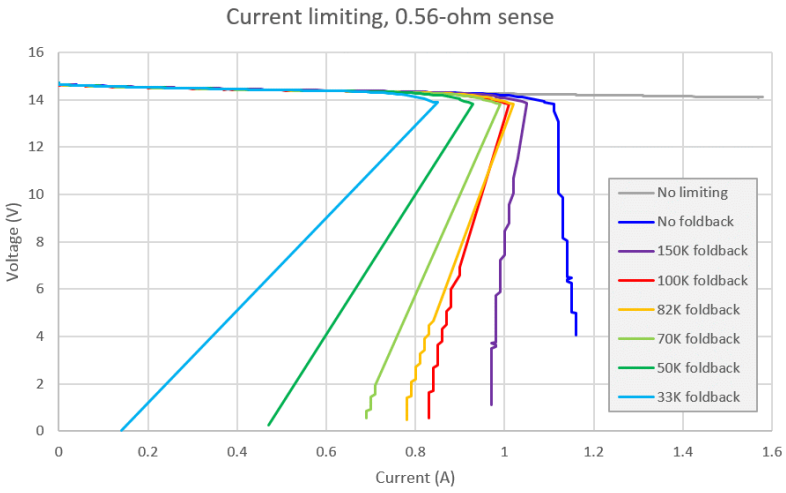


Nous espérons que ce circuit sera suffisamment rapide et précis dans cette application également.

La capture d'écran de la portée montre également ce que

Cela se produit si le gain (rapport diviseur de potentiel R23/R24) est trop élevé. Comme pour tout amplificateur opérationnel, la sortie est limitée par la tension du rail d'alimentation. Il est donc nécessaire d'être vigilant, notamment lorsque la tension d'alimentation de l'émetteur-récepteur peut elle-même avoir une plage variable. Le microcontrôleur du QMX peut également mesurer cette tension d'alimentation et ainsi prédire la tension de commande maximale du CNA pour une tension d'alimentation donnée, afin d'éviter l'écrêtage.

Un autre avantage de ce circuit de mise en forme est sa fonction de limitation du courant de repli. En cas de dépassement d'un seuil de courant, le circuit s'arrête automatiquement et immédiatement.



Ainsi, en cas de court-circuit, voire de courant trop élevé causé par une mauvaise correspondance du ROS, le PA s'arrêterait automatiquement pour éviter la condition de courant élevé.

Il s'agit d'une fonctionnalité supplémentaire très utile pour éviter les dommages au PA dans des situations abusives !

Alimentations électriques

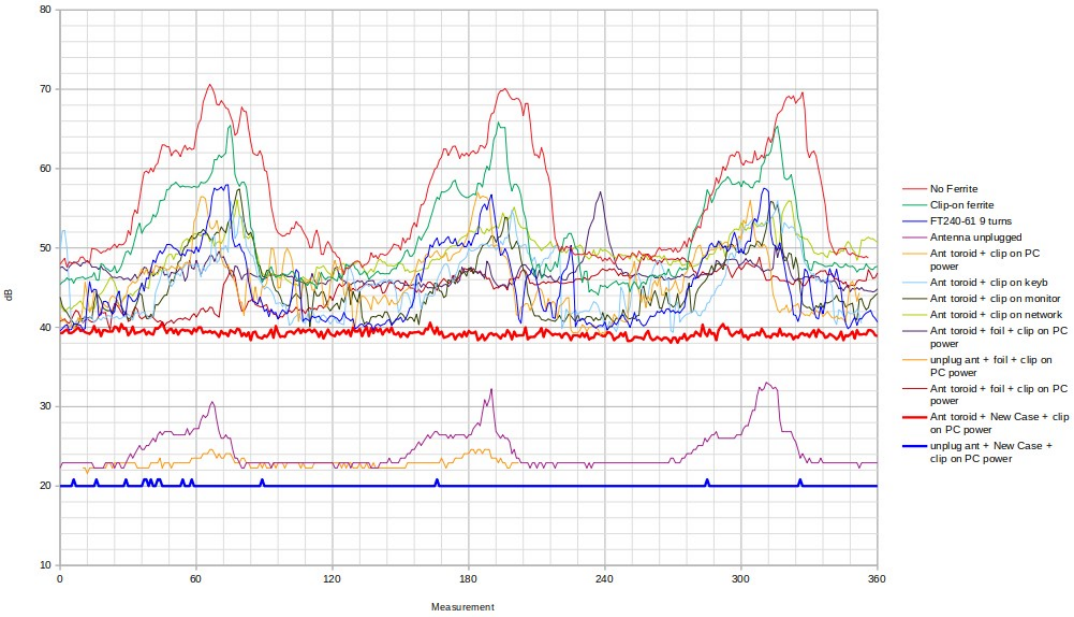
C'est un problème crucial. On peut critiquer autant qu'on veut les faibles performances d'intermodulation des signaux forts d'un récepteur superhétéro SA602 de la guerre froide, comme celui utilisé dans les radios Mountain Topper (par exemple). Mais on vous dira toujours, à juste titre, « Ah oui, mais sa consommation de courant de réception est très faible ! Au sommet d'une montagne, je me soucie plus de la stabilité de la batterie que des détails de sa plage dynamique ! » Eh oui !

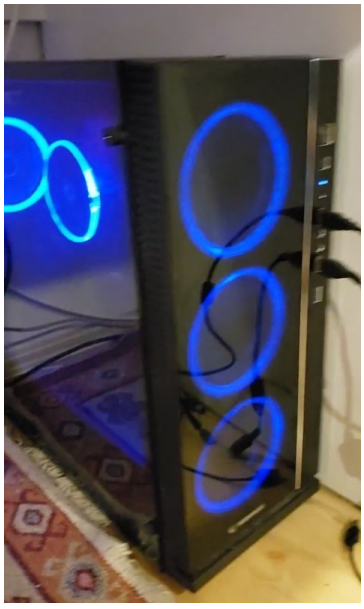
Malheureusement, un faible courant de réception est l'ennemi d'une architecture de récepteur SDR embarqué hautes performances. Le synthétiseur Si5351A consomme à lui seul 25 à 30 mA. Le microcontrôleur cadencé à 72 MHz (QDX) ou plus consomme également beaucoup de courant. Des performances élevées et un faible bruit sont corrélés à une consommation de courant plus élevée dans les amplificateurs opérationnels. Il est donc nécessaire d'avoir quatre amplificateurs opérationnels à faible bruit et hautes performances dans les préamplificateurs du CAN sur les canaux de bande de base I et Q, car ce point critique détermine la sensibilité et la plage dynamique de l'ensemble de la radio. La puce du CAN consomme également un courant important. À titre indicatif, le QDX consomme environ 150 mA en réception. Sur le QMX, nous ajoutons la sortie audio et le module LCD (avec rétroéclairage désactivable). La consommation de courant ne peut aller que dans un seul sens.

Nous avons besoin d'alimentations de 3,3 V et 5 V, ainsi que d'une alimentation de polarisation directe en émission uniquement pour les diodes PIN. Si la consommation totale de ces alimentations est comprise entre 150 et 200 mA, la consommation de réception sera identique avec une alimentation de 12 V pour la radio, si nous utilisons des régulateurs de tension linéaires.

C'est une toute autre histoire avec des régulateurs de tension à découpage (convertisseurs CC/CC) ! Le rendement de conversion est alors bien supérieur et nous gaspillons moins d'énergie que de chaleur. Si la consommation de courant sur un bus 3,3 V est par exemple de 100 mA, avec un convertisseur à 100 % d'efficacité, la consommation de courant sous 12 V ne serait que de 27,5 mA. Une amélioration considérable ! En pratique, nous n'atteignons jamais un rendement de conversion de 100 %, bien sûr, mais les améliorations restent importantes et appréciables.

Après avoir décidé que nous avions besoin de régulateurs de tension à découpage, le problème suivant est le BRUIT. Les régulateurs à découpage ont la réputation d'être des générateurs de bruit RF !





Voici un exemple de bruit de régulateur à découpage. Ce graphique est un enregistrement de mes tests effectués il y a quelques années pour améliorer les performances de mon récepteur de station (QCX) face aux interférences de l'alimentation à découpage de mon nouveau PC. De nos jours, il est difficile d'acheter un PC qui ne soit pas livré dans un boîtier avec au moins une paroi en verre trempé et rempli de toutes sortes de LED colorées inutiles. Faraday se retournerait dans sa tombe. Vous pouvez observer sur le graphique les énormes pics de bruit qui apparaissent et disparaissent toutes les deux minutes à mesure que le bruit dépasse la fréquence de fonctionnement (l'axe horizontal représente le temps en secondes).

Tous les détails sont une longue histoire. En résumé, j'ai dû chercher un boîtier entièrement métallique ; à sa réception, il s'est avéré qu'il avait une façade en plastique.



Ma belle-mère m'avait récemment fait don d'un vieux boîtier de tuner TV câblée dont le couvercle en acier pouvait être découpé à la taille souhaitée et inséré dans la façade en plastique du nouveau PC. J'ai ainsi obtenu une cage de Faraday. Le problème résidait également dans le courant d'alimentation en mode commun sur le câble coaxial de l'antenne (autre sujet). La solution consistait à installer 10 tours de câble coaxial RG58 autour d'une ferrite FT240-43. Grâce à toutes ces mesures, le bruit de l'alimentation du PC est passé de plus de 30 dB au-dessus de la bande de bruit de l'antenne à un niveau totalement indétectable.

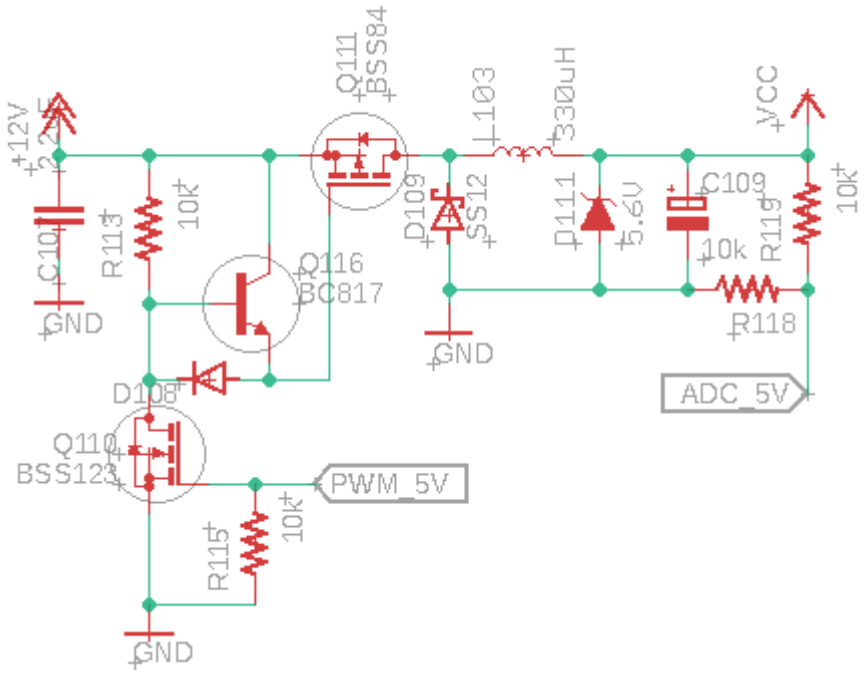
Le problème des alimentations à découpage réside dans le fait que le courant est en principe commuté brusquement, généralement à 50 kHz ou plus. Après cette commutation, un circuit de lissage à inductance et condensateur compense les pics de tension pour obtenir la tension de sortie souhaitée ; un circuit de contrôle gère la modulation de largeur d'impulsion (MLI) et/ou le contrôle de fréquence nécessaires pour réguler la tension de sortie à la tension cible.

La commutation brutale génère des harmoniques très haut dans le spectre RF. Le problème est que ces alimentations sont censées être aussi économiques et dangereuses que possible ; qui se soucie des interférences radio ? Elles utilisent généralement de simples oscillateurs à résistance et condensateur, qui dérivent et présentent de très mauvaises performances en matière de bruit de phase. On obtient donc généralement une bande de bruit qui fluctue vers le haut et vers le bas ; en HF, on obtient un horrible bruit rauque de type S9+, large de plusieurs kHz, qui fluctue lentement vers le haut et vers le bas, et qui, si l'on ajuste la bande vers le haut ou vers le bas, semble se répéter tous les 50 kHz environ.

Mon idée avec QMX est de concevoir des convertisseurs à découpage qui résolvent ces problèmes comme suit :

1. Produisez la fréquence PWM à partir du microcontrôleur, de sorte qu'elle soit référencée au cristal (bonnes performances de bruit de phase étroit et faible) - toute interférence doit être limitée à une bande étroite ou à un birdie.
2. Contrôler la fréquence à laquelle la commutation se produit ; le microcontrôleur sait sur quelle fréquence fonctionne la radio et devrait être capable de prédire où les harmoniques vont atterrir ; il peut donc ajuster la fréquence de commutation afin de déplacer les inévitables oiseaux vers un endroit inoffensif loin de la fréquence de fonctionnement.
3. Placez les convertisseurs CC sur leurs propres circuits imprimés séparés pour protéger le reste du circuit. Cela s'explique en partie par le fait que le circuit imprimé principal est plein...

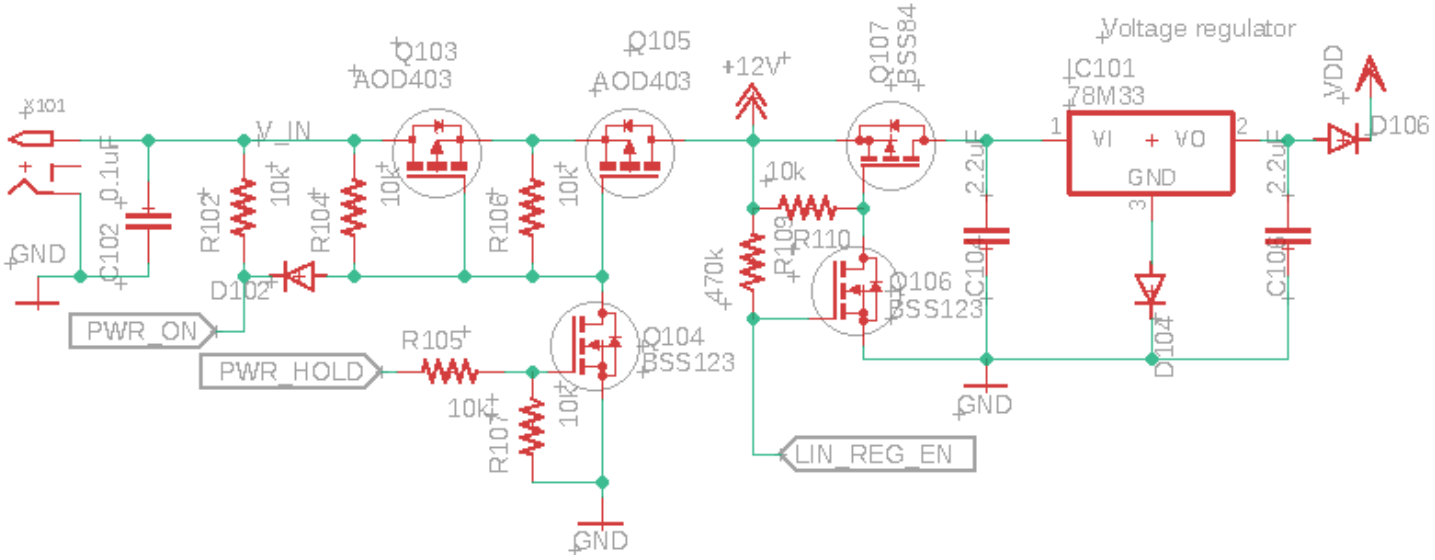
Le fragment de circuit présenté ici est le régulateur 5 V. Ce circuit est identique à celui que j'ai développé pour le courant de polarisation directe de la diode PIN dans le PCB QDX Rev 4, qui offrait un excellent amélioration de l'efficacité et suppression de trois quarts de watt de génération de chaleur inutile du boîtier pendant la transmission.



Le transistor MOSFET à canal P est commuté par un signal PWM provenant du microcontrôleur. Ce dernier surveille également la tension de sortie via une entrée CAN et dispose d'une boucle de régulation intégrée au micrologiciel. Le transistor NPN Q116 améliore le rendement en assurant une décharge rapide de la charge de grille Q111, autrement dit une
Extinction rapide. Plus de détails dans le manuel du QDX. Notez qu'ici, j'ai également ajouté une diode Zener de 5,6 V comme protection en sortie. Qui n'aurait pas peur qu'un problème survienne et que, pfffff, tous les circuits 5 V grillent à cause d'une tension d'alimentation trop élevée ?

Des circuits convertisseurs abaisseurs à composants discrets très similaires sont utilisés pour le rail 3,3 V et le courant de polarisation directe de la diode PIN (comme sur QDX).

Sur la ligne 3,3 V, il y a une petite complication. Le microcontrôleur sert de boucle de régulation pour les trois convertisseurs abaisseurs. Or, le microcontrôleur a besoin de 3,3 V pour fonctionner. Comment peut-il obtenir 3,3 V pour alimenter sa boucle de régulation, si le régulateur de tension qui l'alimente est lui-même contrôlé par le microcontrôleur ? C'est le cas classique de l'œuf et de la poule.



La solution consiste à inclure un régulateur de tension linéaire 78M33. À la mise sous tension, les circuits de commutation Q106 et Q107 assureront l'activation du régulateur de tension linéaire 78M33. Ensuite,

le microcontrôleur peut démarrer et se régler lui-même, et lorsqu'il se sent prêt, il peut passer au régulateur abaisseur efficace en tirant le signal LIN_REG_EN vers le bas.

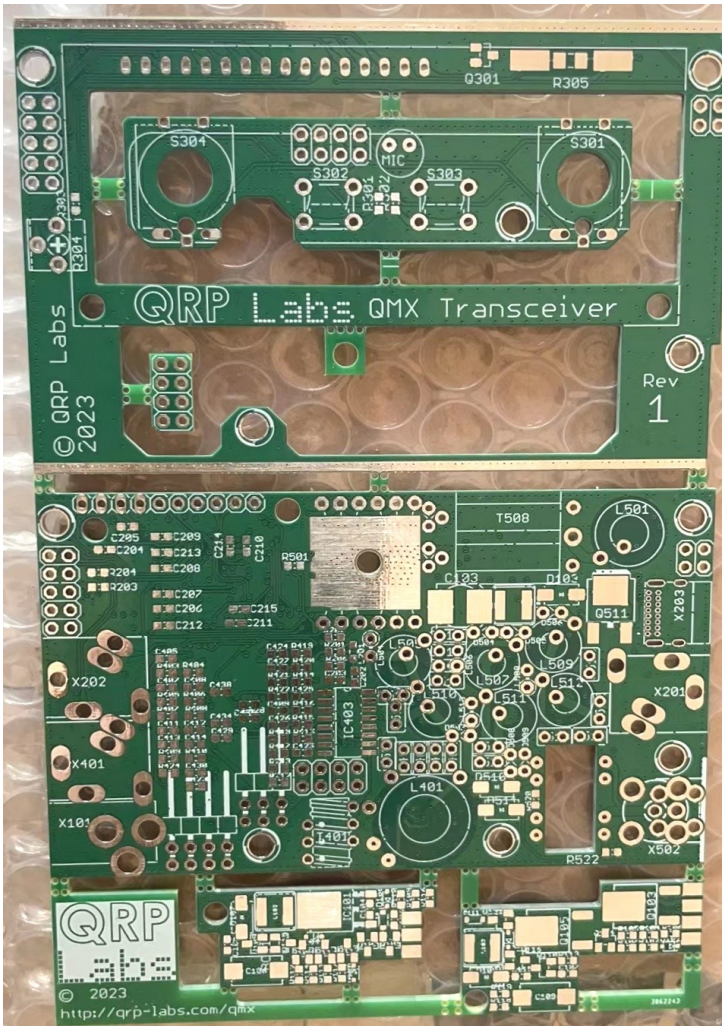
Le circuit ci-dessus offre bien plus que cela : il intègre un AOD403 comme protection contre les inversions de polarité, ainsi qu'un interrupteur d'alimentation programmable connecté au bouton de l'encodeur rotatif gauche. Cela confère au QMX un interrupteur marche/arrêt, lui permettant par exemple d'être connecté en permanence à des batteries. Appuyez sur le bouton pour allumer le QMX. Le microcontrôleur applique alors un signal logique haut de 3,3 V à PWR_HOLD, ce qui maintient l'alimentation jusqu'au relâchement du bouton (ce dernier pouvant alors être utilisé normalement à d'autres fins). Lorsque le QMX est éteint, il relâche PWR_HOLD et le MOSFET canal P se désactive, coupant ainsi l'alimentation du circuit. Autre avantage : le QMX peut enregistrer son état (fréquence de fonctionnement, volume, mode, etc.) avant de s'éteindre. Ainsi, lors de la prochaine mise sous tension, il se rallume exactement dans le même état que celui où il l'avait laissé.

Conception de circuits imprimés

Le boîtier du QCX-mini est vraiment minuscule. Les connecteurs occupent une place importante sur la carte. On pourrait trouver des connecteurs plus petits, comme les connecteurs 3,5 mm... mais ceux-ci fonctionnent et nous les utilisons depuis longtemps (QCX, QCX+, QCX-mini) ; tout changement comporte des risques. Un connecteur plus petit pourrait avoir une durée de vie plus courte ou des problèmes de fiabilité ; qui sait, jusqu'à ce que des milliers de radios soient sur le terrain et que les problèmes commencent !

Agrandir le boîtier résoudrait bien des problèmes, mais j'avais déjà défini mon défi, et il est là : le QMX doit s'adapter au boîtier QCX-mini, point final.

La photo montre le prototype du PCB.



Il existe naturellement des similitudes avec le QCX-mini. Le QCX-mini possède deux circuits imprimés : un circuit imprimé principal et un circuit imprimé d'affichage. Ce circuit imprimé d'affichage comprend également une petite carte contenant les boutons et les commandes, ainsi que deux petites plaques d'espacement permettant d'ajuster la hauteur du circuit imprimé de commande.

Pour QMX, tout a été réalisé sur une seule carte, de 9,1 x 14 cm. Celle-ci contient des cartes sécables, ce qui permet de la décomposer en :

- Panneau d'affichage (en haut)
- Carte principale (en bas)
- Tableau de commandes
- Deux petites cartes d'alimentation
- Plaques d'espacement pour le montage de la carte de commande

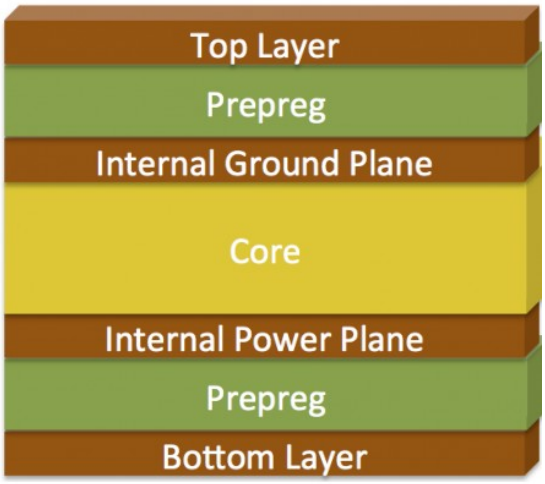
Les cinq cartes sont toutes connectées au PCB principal à l'aide de connecteurs à broches peu coûteux.

Mon principal problème était que le grand nombre de composants CMS nécessaires, qui devaient être disposés de part et d'autre du circuit imprimé principal, impliquait un manque d'espace pour acheminer les signaux d'interconnexion nécessaires entre les couches supérieure et inférieure. Sans parler de la nécessité de prévoir un plan de masse adéquat pour gérer le bruit. Pour les cartes de régulateurs abaisseurs à découpage, faute de place, je devais placer les composants uniquement sur la face supérieure ; et pour éviter les interférences, je voulais que la face inférieure de ces cartes serve uniquement de plan de masse. Là encore, je n'avais aucun endroit pour acheminer les pistes.

J'ai donc dû me résigner à concevoir ma toute première carte multicouche, ce qui semblait très intimidant. Mais finalement, ce n'est pas si difficile, et à bien des égards, c'est même plus facile que de se débattre avec autant de signaux et de maintenir l'intégrité du plan de masse sur une carte classique à deux couches (cuivre supérieur et inférieur). Il existe des vidéos YouTube et des sites web. Aujourd'hui, toutes les informations du monde sont à portée de main et vous pouvez apprendre tout ce que vous voulez.

Certains pourraient ne pas apprécier l'idée d'une carte multicouche. Certains veulent voir chaque piste. Bon, je vais vous donner un grand schéma pour que vous puissiez voir où vont toutes les pistes. D'autres s'inquiètent : comment vont-ils réparer une piste cassée et inaccessible à l'intérieur de la carte ? Désolé, vous ne le ferez pas. J'aimerais vous demander : comment comptez-vous endommager cette piste interne cachée à l'intérieur, en premier lieu ? « Et si je la perçais ? »... POURQUOI percer un circuit imprimé, surtout un circuit imprimé multicouche... Bon, si vous le faites, tout est possible.

Une vidéo intéressante sur YouTube a parlé de l'erreur de l'empilement de cartes à 4 couches le plus courant qui comporte des signaux sur les couches supérieure et inférieure, un plan de masse sur une couche intérieure et un plan d'alimentation sur une autre. L'explication était très claire. Un « via » est un trou métallisé percé à travers la carte pour transférer ou connecter un signal de la couche supérieure à la couche inférieure. La vidéo expliquait qu'un courant de retour circule sur le plan de masse sous tout signal. Au point où le signal transite à travers la carte, du haut vers le bas, le courant de retour du plan de masse doit alors circuler sur le plan de tension d'alimentation (qui est également supposé être la masse RF). Le problème est que vous avez maintenant deux signaux de retour de masse non connectés, s'éloignant de ce via de transition de couche, et vous venez de créer une petite antenne dipôle capable de rayonner n'importe quel signal sur la piste, voire de capter du bruit. Pour résoudre ce problème, il faut installer une faible impédance.

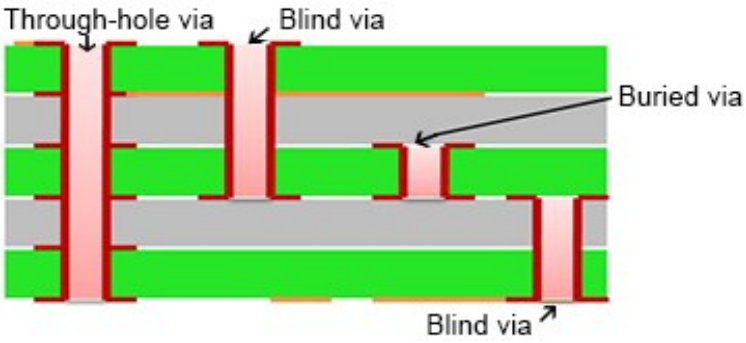


connexion entre les deux masses (dans ce cas, plan de masse et plan d'alimentation).

La vidéo expliquait que la seule façon d'y parvenir, étant donné leurs potentiels CC différents, était d'intercaler un condensateur entre elles. Certes, les couches elles-mêmes agissent comme un condensateur, mais celui-ci n'est ni particulièrement grand, ni utile, ni de faible impédance. Idéalement, il faudrait donc un condensateur à côté de chaque via assurant la transition du signal d'une couche à l'autre. Ce condensateur doit bien sûr être placé sur l'une ou l'autre des couches et posséder son propre via reliant un côté à la couche opposée. Rien n'est aussi performant ni aussi faible qu'un simple via reliant les deux plans de masse. La meilleure solution est donc d'oublier le plan d'alimentation et de relier les deux plans internes à la masse. La vidéo indiquait que même une piste de 8 mils peut supporter plus d'un ampère de courant ; des pistes épaisses ou des plans d'alimentation massifs ne sont donc pas nécessaires pour gérer le courant dans la plupart des applications (sauf si vous concevez de l'électronique industrielle de forte puissance, par exemple).

J'étais prêt à concevoir ma carte à quatre couches, avec deux plans de masse au milieu, mais j'ai réalisé que même quatre couches ne suffiraient pas si je voulais avoir de bons plans de masse partout. Ce que je fais, car c'est essentiel sur une carte qui combine une électronique analogique sensible et performante avec une électronique numérique potentiellement bruyante, comme un microcontrôleur rapide.

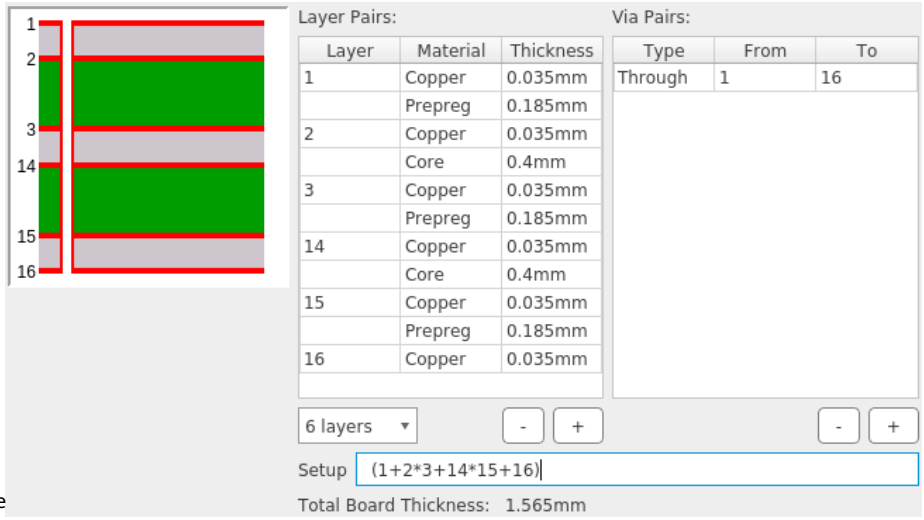
J'ai même fait preuve d'ingéniosité en incluant de nombreux vias borgnes. Les vias borgnes et enterrés sont ceux qui ne traversent pas entièrement le circuit imprimé (voir schéma). Un via borgne commence ou se termine sur une surface du circuit imprimé et ne le traverse que partiellement ; un via enterré n'existe qu'à l'intérieur.



Ils sont utiles car si vous êtes coincé dans un endroit étroit pour acheminer un signal et que vous ne pouvez pas y placer une via car il y a un composant CMS

Par exemple, sur la face inférieure du circuit imprimé, sous cet emplacement, vous pouvez toujours connecter un signal de la couche supérieure du circuit imprimé à une couche interne grâce à un via borgne. Il ne traverse pas complètement le circuit imprimé et n'entre pas en contact avec le composant CMS situé sur la face inférieure. Ces vias sont également utiles pour la réalisation de connexions de plan de masse supplémentaires, car ils peuvent être réalisés sous les composants CMS.

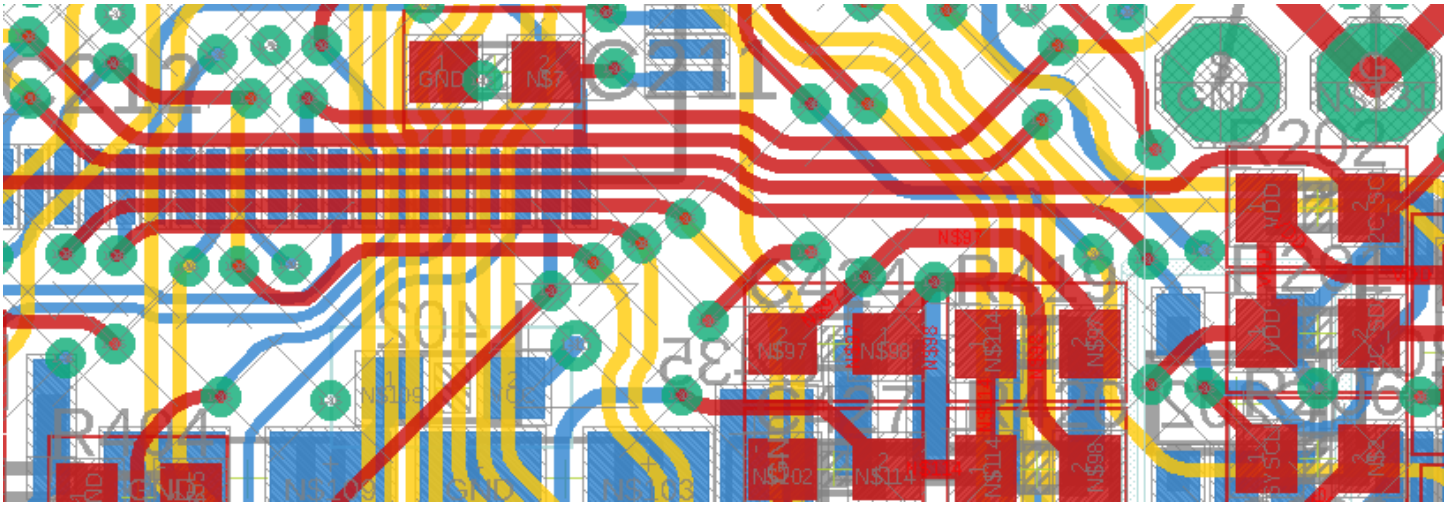
L'image montre l'empilement des couches dans Eagle CAD, que j'utilise pour toutes mes conceptions de circuits imprimés. Six des 16 couches disponibles sont utilisées.



1 : Couche supérieure (composants CMS)
2 : Plan de masse uniquement 3 : Interconnexion de signaux
4 : Principalement des connexions électriques 5 : Uniquement des connexions de plan de masse
6 : Couche inférieure (composants CMS)

J'ai conservé deux couches pour le plan de masse, sans exception. La couche 4 est principalement composée de connexions d'alimentation avec un quelques interconnexions de signaux où je ne pouvais pas les gérer autrement ; mais principalement des plans de masse.

Sur les 6 couches, les zones inutilisées constituent un plan de masse en cuivre coulé. Des vias relient les plans de masse au plus près de chaque via de signal, à des intervalles ne dépassant pas 2,5 mm dans les zones ouvertes. La jonction des plans de masse est importante. Elle garantit que les courants de retour à la masse empruntent toujours le chemin d'impédance le plus faible possible vers la masse, minimisant ainsi les risques de boucles de masse dues au bruit. L'intérieur du circuit imprimé pouvant également être considéré comme une cavité micro-ondes, la jonction fréquente du plan de masse permet de diviser les cavités en cavités beaucoup plus petites, dont la fréquence de résonance est bien plus élevée et où elles sont moins gênantes.



La première mauvaise surprise est arrivée lorsque j'ai commandé 5 prototypes de PCB (quantité minimale). 117 $ (23,50 $ pièce), un sacré bond par rapport aux quelques dollars habituels par PCB, même pour un PCB plus grand comme celui-ci ! Waouh, le fait d'avoir 6 couches, c'est vraiment réussi. Espérons qu'avec la production en série, le prix baissera considérablement.

Peu de temps après avoir surmonté cette épreuve et payé... J'ai reçu un e-mail du fabricant : « Oh, après l'audit, on doit vous l'annoncer, le coût réel sera de 1 519 $! » Dire que je suis tombé de ma chaise serait un euphémisme. Pour cinq cartes ! Il s'est avéré que les vias borgnes et enterrés rendent les choses plus chères. Beaucoup plus chères. Vous pensez être malin avec tous ces vias borgnes et enterrés, mais vous découvrez que, oh ! Leur fabrication n'est ni si simple ni si économique.

De retour à la planche à dessin – j'ai passé quelques jours supplémentaires à réparer ma configuration PCB à 6 couches pour supprimer tous les vias borgnes et enterrés !

Les 6 couches ne sont vraiment pas aussi difficiles qu'il y paraît et je pense vraiment que j'ai passé moins de temps sur la disposition QMX que sur le QCX-mini.

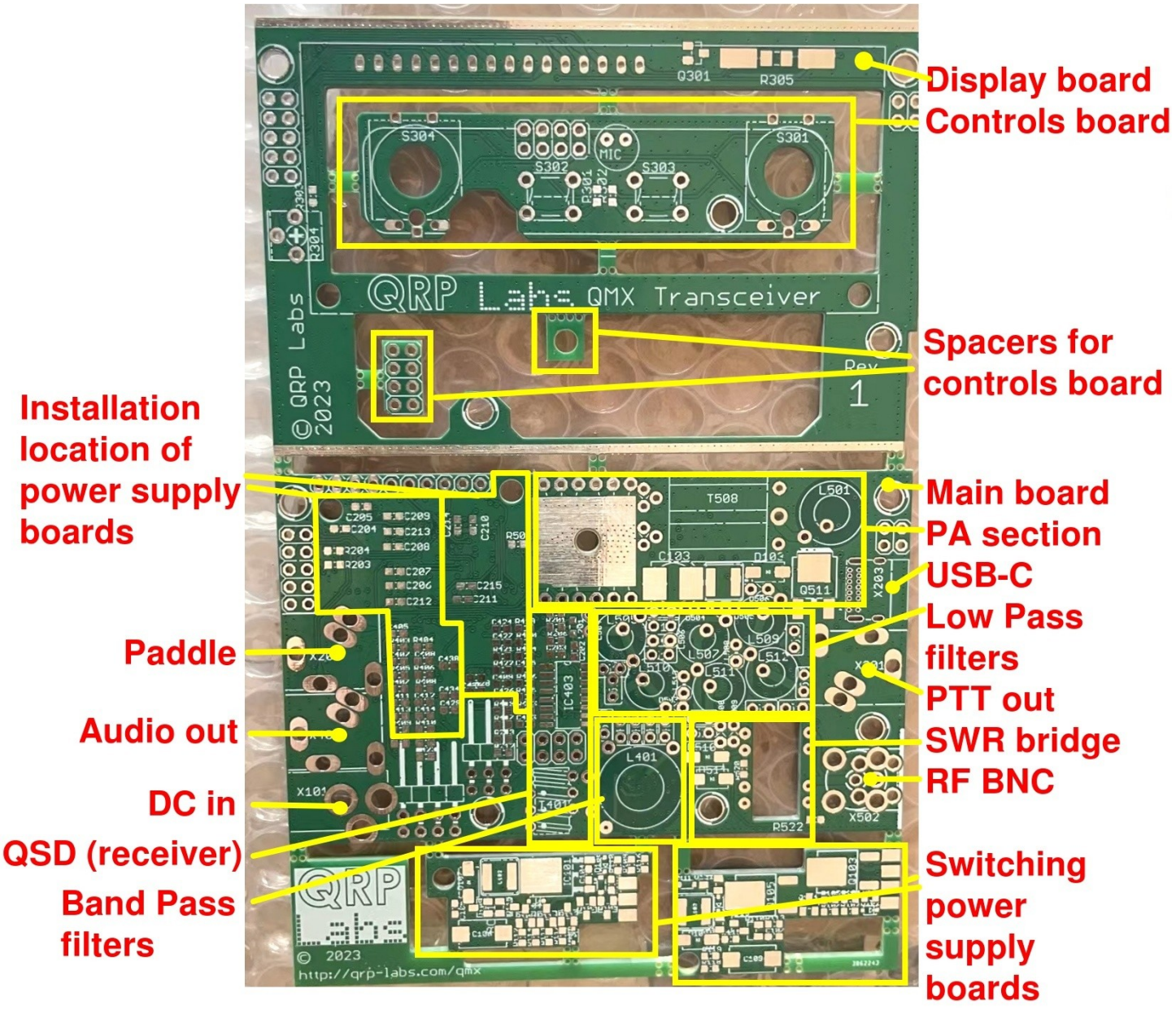
Aménagement physique – tout intégrer

Réussir à intégrer tous les composants nécessaires dans un boîtier aussi compact a représenté un défi majeur. J'ai utilisé des composants CMS autant que possible. Il reste néanmoins les composants les plus volumineux, comme les connecteurs, les tores, les commandes et l'écran LCD.

La surface de la carte étant insuffisante pour accueillir tous les composants CMS, j'ai dû concevoir deux petites cartes enfichables pour les régulateurs à découpage du convertisseur abaisseur, 3,3 V et 5 V. Le convertisseur de polarisation directe à diode PIN se trouve sur le circuit imprimé principal, près du transformateur de sortie.

L'espace vertical entre la surface inférieure du circuit imprimé LCD et la surface supérieure du circuit imprimé principal est de 11 mm. Cependant, le circuit imprimé du module LCD lui-même en réduit l'espace de 1,6 mm, et présente d'autres protubérances, telles que les plots époxy contenant les circuits intégrés du module LCD et les languettes métalliques qui maintiennent le module LCD en sandwich. Il est donc nécessaire de concevoir l'agencement des composants en tenant compte de tous ces éléments, afin que rien ne vienne gêner le reste !

- La position des connecteurs sur les bords gauche et droit de la carte mère est quasiment identique à celle du QCX-mini, à l'exception du nouveau connecteur USB-C pour les données série. Ce dernier libère également de la place pour quatre connecteurs à broches supplémentaires entre la carte mère et la carte LCD.
- Les connexions de l'en-tête des broches de la carte de contrôle ont été déplacées pour faire de la place aux connecteurs d'en-tête des broches situés en dessous sur la carte principale, pour les cartes de convertisseur abaisseur enfichables.
- Presque tous les tores doivent être posés à plat sur la carte ! La seule exception concerne le transformateur de ligne de transmission trifilaire FT37-43, qui fait partie du double QSD équilibré du circuit récepteur. Il dispose d'un emplacement pour le placer debout sous le centre du circuit imprimé de commande.
- Des tores T30-6 plus petits sont utilisés pour les inductances du filtre passe-bas, de sorte qu'il y a (espérons-le) suffisamment d'espace pour intégrer les diodes, les selfs radiales et les condensateurs NP0 du LPF et des circuits de commutation !
- Tous les circuits intégrés situés sous la position des cartes enfichables d'alimentation à découpage sont limités à la partie inférieure du PCB, avec uniquement des résistances et des condensateurs sur la partie supérieure, car ils sont de très faible hauteur, inférieure à 1 mm.
- Les cartes d'alimentation à découpage ne comportent que des composants sur la face supérieure. Des condensateurs tantale extra-plats ont dû être utilisés à la place des condensateurs électrolytiques, car ces derniers sont trop hauts pour y loger des composants.
- Pour le pont SWR, d'après mon analyse, je pense qu'un tore binoculaire plus petit que le BN43-202 peut être utilisé dans le transformateur de sortie. J'ai choisi un BN43-1502. Sa section est identique à celle du BN43-202, mais sa longueur est deux fois plus courte.
- Malgré cela, le BN43-1502, plus petit, ne rentre pas dans la hauteur disponible entre le bas de l'encodeur rotatif de la carte de commande et la surface supérieure du circuit imprimé principal. J'ai donc dû découper un rectangle, visible en bas à droite de la carte principale, pour y loger le noyau binoculaire.



Objectifs ambitieux : SSB

Le SSB est le seul objectif ambitieux dont je vais parler. Les autres restent mon secret, pour l'instant.

La capacité SSB est importante non seulement pour la transmission en SSB, mais aussi parce que certains modes numériques, comme le PSK31 ou le WinLink, qui impliquent une modulation par décalage de phase ou plusieurs tonalités simultanées, ne fonctionnent pas sur QDX avec son excitateur non linéaire et son amplificateur de puissance. L'utilisation de l'amplificateur à découpage push-pull dans QDX et sa méthode unique de mesure de la fréquence audio et de synthèse directe des RF présente de nombreux avantages, comme indiqué précédemment, notamment la simplification considérable du circuit, car il ne nécessite ni excitateur SSB, ni pilote linéaire, ni amplificateur de puissance, autant d'éléments qui complexifieraient la conception.

La réception SSB ne pose aucun problème, et QDX le fait déjà, en effet, très bien... de nombreuses personnes ont fait remarquer que le récepteur QDX surpasse leurs Yaesu, Kenwood, Icom, etc. Le problème est la transmission SSB.

Le projet d'émetteur-récepteur uSDX était initialement basé sur le QCX Classic, avec quelques modifications matérielles et un tout nouveau firmware développé par Guido PE1NNZ sur le microcontrôleur ATmega328. Par la suite, Manuel DL2MAN a beaucoup travaillé à l'amélioration de l'amplificateur de puissance de classe E et à la création d'une implémentation performante, qui ne repose plus sur le QCX. Il existe aujourd'hui plusieurs productions uSDX en Extrême-Orient, ainsi qu'une implémentation uSDX « officielle » appelée (tr)uSDX, approuvée et prise en charge par PE1NNZ et DL2MAN.

L'émetteur-récepteur uSDX utilise les signaux I et Q en bande de base QSD existants du récepteur QCX et implémente une SDR sur ce microcontrôleur à faibles ressources, échantillonnant les canaux I et Q avec le CAN multiplexé 10 bits de l'ATmega328. Sa sortie audio utilise la modulation de largeur d'impulsion (PWM).

À l'émission, l'uSDX implémente une version de la restauration d'enveloppe de classe E (EER). Le signal SSB est divisé en composantes de phase et d'amplitude, qui peuvent ensuite être transmises via l'amplificateur de puissance de classe E de la radio. La modulation de la composante de phase est assurée par des transmissions à variation rapide de fréquence vers le Si5351A, ce qui équivaut à moduler en phase le signal de l'oscillateur vers l'amplificateur de puissance. La composante d'amplitude était initialement implémentée sur l'uSDX par un signal PWM connecté au circuit de mise en forme de l'enveloppe RF. Cependant, les conceptions actuelles utilisent un condensateur de blocage CC entre le circuit de commande de la porte logique et la grille des MOSFET de l'amplificateur de puissance, puis appliquent une polarisation CC variable aux grilles des MOSFET. Cette polarisation CC est dérivée d'une sortie PWM du processeur.

Globalement, l'uSDX est une conception très astucieuse, et il est étonnant qu'un émetteur-récepteur radio multibande et multimode ait pu être conçu avec un matériel aussi limité ! Cependant, à mon avis, ce n'est pas un émetteur-récepteur suffisamment performant.

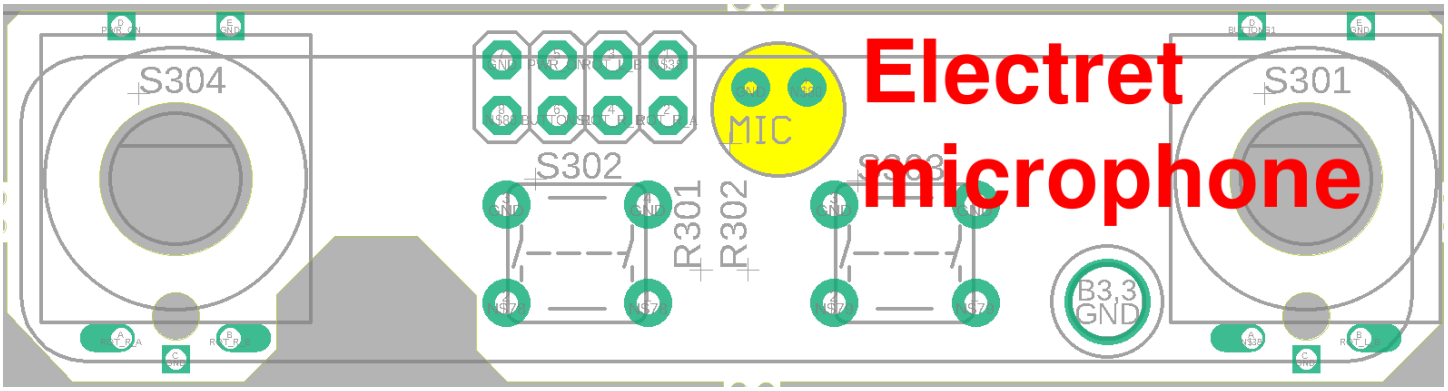
À la réception, les performances sont (à mon avis) fortement limitées par les contraintes matérielles. La plage dynamique d'un CAN est déterminée par le nombre de bits, à raison de 6 dB par bit. Il s'agit d'un maximum théorique ; les performances réelles sont toujours inférieures à 6 dB multipliés par la profondeur de bits du CAN, car elles sont également déterminées par le bruit de fond de la puce CAN utilisée. De plus, uSDX gère tout ce DSP sur un microcontrôleur 8 bits obsolète cadencé à 20 MHz.

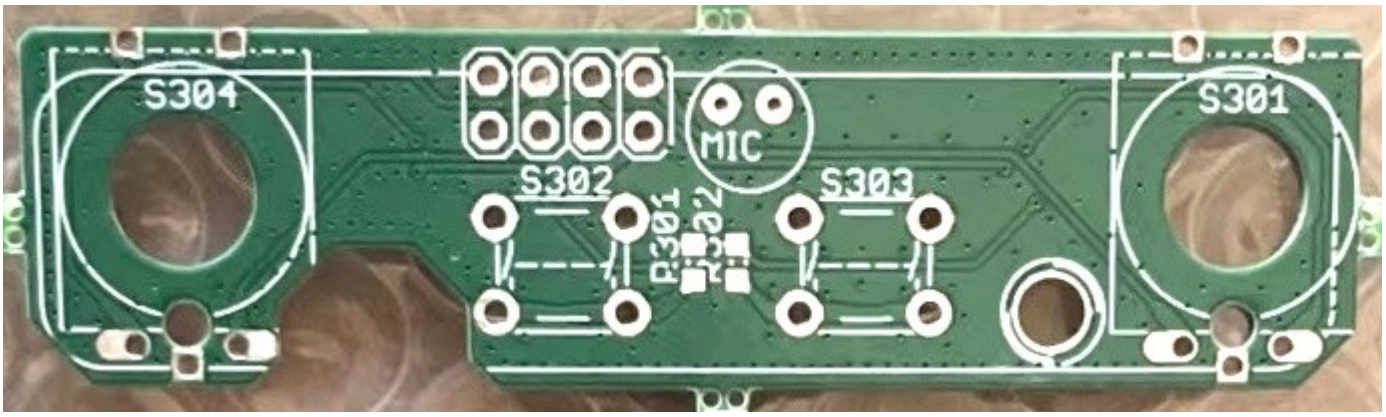
En transmission, les limitations de la modulation d'amplitude par une sortie PWM de processeur à faible résolution et la petite plage de contrôle (je mesure 10 dB environ) du contrôle d'amplitude offerte par la polarisation CC aux portes MOSFET BS170, ainsi que sa non-linéarité et encore une fois les limitations sévères imposées par un microcontrôleur 8 bits 20 MHz aussi bas de gamme (par rapport aux normes modernes), se combinent pour avoir un impact sur la qualité du signal de transmission qu'il peut produire.

QMX, en revanche, présente plusieurs avantages :

- Microcontrôleur ARM Cortex M4 32 bits rapide de 180 MHz avec unités DSP et à virgule flottante
- CAN stéréo 24 bits 48 kbit/s hautes performances en réception, ce qui donne un récepteur SSB aux performances vraiment excellentes (déjà en production chez QDX depuis 18 mois) - et devrait offrir des performances bien améliorées en émission
- Modulateur de puissance AM contrôlé par DAC 12 bits

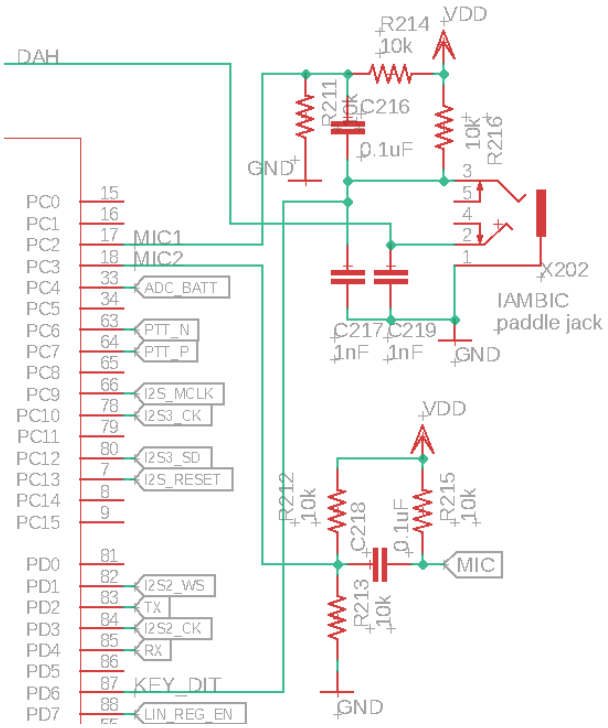
C'est pourquoi le petit PCB de contrôle de la conception QMX dispose d'un espace pour un petit microphone électret !





Deux entrées ADC du microcontrôleur sont connectées à la connexion du microphone interne à la carte de commande, ainsi qu'à la prise IAMBIC Paddle - qui peut ensuite être utilisée pour brancher un microphone externe et un commutateur PTT si vous le souhaitez.

Seuls le temps et les tests diront si l'objectif ambitieux d'inclure la transmission SSB est réalisable. Je le pense ; mais la vraie question est de savoir si son fonctionnement est suffisant (performances suffisantes) pour figurer sur la liste officielle des modes et fonctionnalités pris en charge.



Conclusion

J'espère que cet article vous a intéressé et vous a permis de mieux comprendre l'évolution des kits QRP Labs ; et j'espère que le nouveau design QMX vous enthousiasmera autant qu'à moi ! Je pense que c'est un système plein de potentiel.
Un développement continu, ainsi qu'une combinaison exceptionnelle de performances et de fonctionnalités dans un format compact à un prix aussi bas. Et surtout, une étape supplémentaire dans l'évolution des kits QRP Labs !
Plus d'informations : http://qrp-labs.com/qmx

73, Bon homebrewing et bon QRP !