Le microcontrôleur SimpleLink sans fil et sans quartz basé sur la technologie BAW de TI au cœur des progrès de l'IdO

James N. Murdock
Ingénieur de validation
Habeeb Ur Rahman Mohammed, Ph. D.
Responsable de validation
Priya Thanigai
Responsable marketing
Microcontrôleurs connectés
Texas Instruments

Les technologies sans fil sont la colonne vertébrale de notre monde connecté, en évolution constante. À mesure qu'elles repoussent les limites en termes de vitesse, de plages de performances et d'intégration, les fabricants de systèmes recherchent les solutions qui leur permettront d'adapter plus facilement leurs produits à l'Internet des Objets (IdO).

Grâce à sa technologie novatrice de résonateurs à ondes acoustiques de volume (BAW, *Bulk Acoustic Wave*), Texas Instruments franchit une nouvelle étape dans l'intégration des systèmes en proposant les tout premiers microcontrôleurs sans fil SimpleLink dépourvus de quartz externe. Directement inclus dans le boîtier des microcontrôleurs, ces résonateurs hautes performances, qui assurent une synchronisation précise, permettent en effet de s'épargner l'encombrement d'un quartz externe sans compromettre la puissance, la latence ou la stabilité de fréquence du dispositif.

Ce livre blanc présente les avantages des microcontrôleurs sans quartz externe pour les appareils connectés à l'IdO : un format plus compact, plus robuste, et des coûts optimisés.

Les microcontrôleurs sans fil sont les éléments de base de l'IdO

La notion d'Internet des Objets englobe tous les aspects de la connectivité, qu'il s'agisse d'automatiser un processus de production automobile grâce à l'apprentissage automatique ou de contrôler à distance votre grille-pain. Le terme est bien choisi : en effet, quand on évoque les « produits compatibles avec l'IdO », on parle souvent d'une collection d'« objets » très divers, allant de systèmes qui nécessitent une autonomie avancée (entendez par là : une intelligence artificielle) à des appareils qui facilitent le quotidien (votre grille-pain, par exemple). On ne peut pas nier que le besoin de connectivité est constant, omniprésent, et qu'il révolutionne en sourdine la manière dont nous formulons les problèmes et dont nous les résolvons. Sans l'IdO, la discussion actuelle sur le pouvoir des données et sur la manière d'utiliser les informations qui en sont issues pour améliorer notre qualité de vie n'aurait jamais été possible.

La technologie de base sur laquelle s'appuient ces produits connectés est le multicontrôleur sans fil, qui relie des nœuds de capteurs autonomes classiques (une sonnette ou un verrou de porte) à Internet. En la matière, la gamme de multicontrôleurs sans fil hautement intégrés SimpleLink de TI offre une large palette d'applications grâce à sa variété d'options de connectivité – des solutions propriétaire longue portée aux protocoles standardisés tels que le *Bluetooth*® basse consommation, Zigbee, Thread et le Wi-Fi.

Bien que ces technologies sans fil se diffusent de plus en plus, l'expansion de l'IdO reste limitée par plusieurs facteurs : délais de commercialisation longs, coûts plus élevés, produits plus volumineux (en raison de leur conception plus complexe), etc. Voyons donc quelles réponses un microcontrôleur sans fil et sans quartz externe basé sur la technologie BAW de TI peut apporter à certains de ces problèmes.

Simplifier l'intégration à l'IdO sans renoncer aux performances

La technologie BAW de TI est l'élément central des résonateurs MEMS (micro-électro-mécaniques) intégrés sur puce, lesquels sont constitués d'une lame de matériau piézoélectrique prise entre deux électrodes (voir Figure 1). Ce matériau est capable de convertir l'énergie électrique en énergie

mécanique acoustique en produisant des oscillations qui génèrent un signal d'horloge haute fréquence stable. Ce dernier peut être utilisé pour synchroniser avec précision les signaux radiofréquence (RF) ; il garantit la fiabilité de fonctionnement du système radio sans dégrader des paramètres tels que l'écart de fréquence ou la tolérance de température réduite.

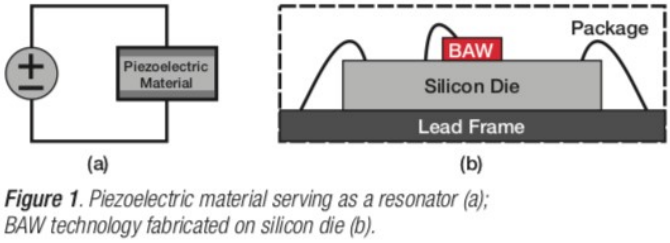


Figure 1. Piezoelectric material serving as a resonator (a); BAW technology fabricated on silicon die (b).

Figure 1. Matériau électrique servant de résonateur (a) ; technologie BAW sur un circuit imprimé en silicium (b).

Cette technologie fait désormais partie intégrante de la famille de microcontrôleurs sans fil SimpleLink de TI, plus particulièrement de la gamme CC2652R multiprotocole basée sur les standards *Bluetooth* basse consommation, Thread et Zigbee, qui permet au microcontrôleur de fonctionner sans oscillateur externe. Le schéma fonctionnel du microcontrôleur sans fil CC2652RB basé sur la technologie BAW (Figure 2) montre une vue détaillée du système radio. Ce dispositif comporte également :

- un processeur d'applications distinct basé sur la technologie ARM® M4F ;
- un cœur supplémentaire autonome gérant un contrôleur de capteur à très faible puissance (ULP-SC) dédié aux fonctions de détection et de commande ;
- plusieurs périphériques de communication filaires ;
- 608 Ko de mémoire non volatile intégrée, dont 256 Ko de mémoire en lecture seule sur les piles de protocole sans fil et 352 Ko de mémoire Flash intégrée pour la programmation par l'utilisateur.

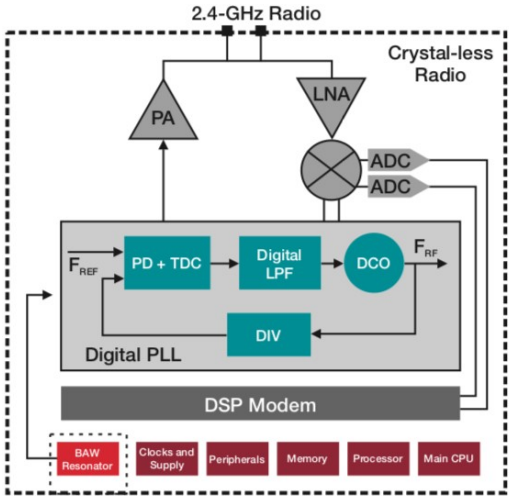


Figure 2: CC2652RB SimpleLink crystal-less BAW, expanded to show the radio sub-system and integrated TI BAW resonator.

Figure 2. Schéma du CC2652RB SimpleLink sans quartz basé sur la technologie BAW, détaillé afin de montrer le sous-système radio et le résonateur BAW intégré de TI.

Comme l'illustre la Figure 1, le résonateur BAW est entièrement intégré au boîtier QFN 7x7 mm du CC2652RB. En fournissant une fréquence de référence précise, il permet à la boucle d'asservissement de phase (PLL) de fonctionner à 48 MHz en toute fiabilité. Afin de garantir une stabilité optimale de la fréquence, quelles que soient les conditions de température et de tension (batterie), le résonateur BAW est doté d'une fonction de compensation active assurée par le système radio intégré. Celle-ci n'affecte pas la bande passante du microcontrôleur et permet au CC2652RB de garantir un écart de fréquence réduit de 40 ppm sur l'ensemble des plages de tension (1,8 V à 3,6 V) et de températures

(- 40 °C à 85 °C). Par comparaison, un quartz externe de 48 MHz présente un écart de fréquence raisonnable (généralement autour de 10 ppm) à température ambiante, mais qui tend à varier de plusieurs dizaines de ppm sur la plage de fonctionnement complète.
Le recours aux dispositifs CC2652RB dotés de la technologie BAW de TI élimine donc le problème complexe du choix d'un quartz (en particulier lorsque les exigences de précision en ppm sont élevées), simplifiant ainsi les décisions de conception.
Autres avantages d'un système sans quartz externe : une économie moyenne de 0,40 à 0,80 USD, mais aussi un nombre réduit de composants, ce qui limite les risques liés au remplacement du quartz (lorsque le délai de livraison est long).
La Figure 3 est une courbe type de l'écart de fréquence des résonateurs BAW intégrés sur le CC2652RB par rapport à un quartz externe du commerce. On constate que la précision de fréquence des microcontrôleurs sans fil sans quartz externe est aussi bonne que celle des microcontrôleurs sans fil qui en utilisent un. Notez que la valeur d'écart de fréquence requise pour des protocoles tels que le *Bluetooth*® basse consommation, Thread et Zigbee afin de maintenir l'intégrité de la connexion et de garantir une transmission fiable des données est de 40 ppm.

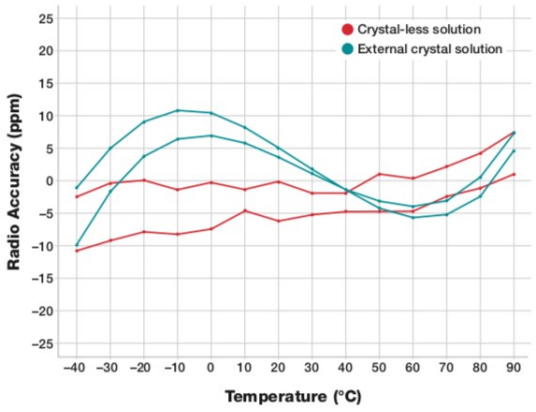


Figure 3: CC2652RB crystal-less wireless SimpleLink MCU radio frequency accuracy.

Figure 3. Précision de fréquence radio du multicontrôleur sans fil et sans quartz externe CC2652RB SimpleLink.

La précision de fréquence a également un impact important sur la sensibilité du capteur, qui se définit comme le plus faible signal qu'un capteur est capable d'identifier tout en maintenant le taux d'erreur par paquet (PER) attendu.
Si l'on compare la sensibilité du capteur du CC2652RB à celle d'un système à quartz externe, comme sur la Figure 4, on constate que le composant basé sur la technologie BAW affiche des performances égales et ne montre aucune dégradation en conditions opérationnelles.

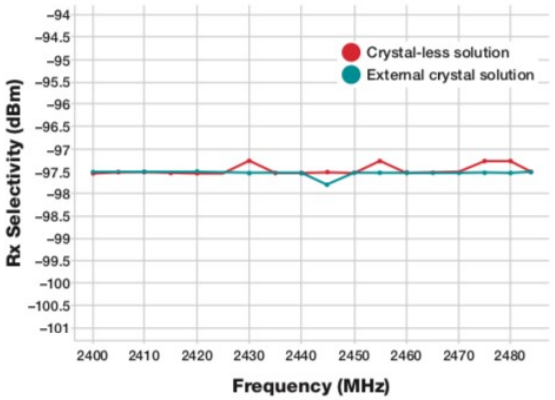


Figure 4: Receiver sensitivity on the CC2652RB MCU.

Figure 4. Sensibilité du capteur du microcontrôleur CC2652RB.

Nous avons évoqué les principaux paramètres de performance, tels que les écarts de fréquence en fonctionnement et la sensibilité du capteur ; penchons-nous maintenant sur la consommation

énergétique de la technologie BAW intégrée. Dans cette perspective, il est préférable d'envisager les scénarios basés sur un protocole sans fil standard tel que le Bluetooth® basse consommation. Notez que le recours au résonateur BAW s'intègre parfaitement à la pile Bluetooth® basse consommation, et que le logiciel est capable d'activer le résonateur de manière intelligente, en fonction des besoins (gestion du cycle de fonctionnement), afin de limiter au maximum l'énergie utilisée. Dans le cas d'un résonateur BAW intégré, on observe généralement une augmentation de la consommation de l'ordre de 500 µA.
Le Tableau 1 (page suivante) montre que, pour un cycle de fonctionnement type, l'augmentation de la consommation de puissance active liée à l'utilisation du résonateur BAW de TI a un impact minime sur la consommation énergétique globale.
Cette faible incidence est compensée par les avantages du microcontrôleur CC2652RB en termes d'intégration et de fiabilité.

Task	CC2652RB with integrated BAW	CC2652R with external crystal	Standby power increase with BAW enabled
Bluetooth® low energy peripheral, Protocol Data Unit: 328 µs Connection interval = 7.5 ms	771 µA	727 µA	7%
Bluetooth® low energy peripheral, Protocol Data Unit: 328 µs Connection interval = 4 s	2.44 µA	2.36 µA	4.4%

Table 1: *Power consumption comparison for devices with external crystal vs. integrated TI BAW technology.*

Tableau 1. Comparaison de la consommation énergétique des composants dotés de quartz externes et de la technologie BAW intégrée de TI.

Des contraintes d'espace ? La technologie BAW de TI peut vous aider
Sur le marché des produits connectés, on voit actuellement se développer des technologies sans fil dédiées au secteur médical, qui améliorent considérablement notre qualité de vie. On peut citer plusieurs exemples d'applications d'IdO révolutionnaires : les stimulateurs cardiaques, les lecteurs de glycémie fonctionnant en continu, les pompes à perfusion ou encore les systèmes de surveillance à distance des patients, qui offrent un moyen simple et peu coûteux d'améliorer la qualité générale des soins médicaux. Mais au moment de concevoir les systèmes de connectivité sans fil de ces dispositifs médicaux portés par les patients, il est important de prendre un compte un élément essentiel : l'optimisation du volume. En effet, pour les appareils cités, il est facile de voir à quel point chaque millimètre carré économisé peut être crucial pour l'utilisabilité du produit.

La Figure 5 représente le dessin du circuit imprimé du CC2652R doté d'un quartz externe.
Elle met en évidence l'espace occupé par ce dernier et le tracé des pistes conductrices qu'il nécessite.

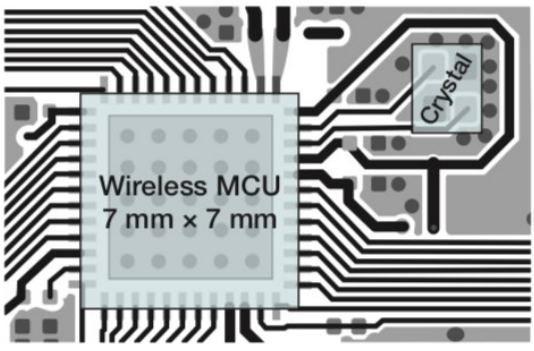


Figure 5: *Board layout showing the space used by an external crystal on the Launchxl-cc26x2r1.*

Figure 5. Dessin de circuit imprimé indiquant l'espace occupé par un quartz externe sur le Launchxl-cc26x2r1.

À titre d'exemple, un quartz classique utilisé dans les kits de développement du CC2652R LaunchPad (1,7 mm × 2 mm) a été remplacé par un composant CC2652RB à résonateur BAW, ce qui a permis un gain de place de 12 %.
Nous avons évoqué différents aspects matériels des microcontrôleurs CC1652RB dotés de la technologie BAW de TI. Mais qu'en est-il de leur facilité d'utilisation ? La façon dont le résonateur BAW cadence le signal d'horloge en radiofréquence du microcontrôleur est tout à fait claire pour les développeurs, car ces opérations s'intègrent parfaitement aux piles de protocoles sans fil de l'écosystème SimpleLink.
Les premières versions du kit de développement logiciel SimpleLink seront basées sur le protocole *Bluetooth* basse consommation 5.0, la prise en charge de Thread, Zigbee et du multiprotocole étant prévue sur les versions ultérieures. Pour les développeurs qui utilisent actuellement des produits SimpleLink, l'effort de portage du logiciel vers le composant CC2652RB basé sur la technologie BAW est très limité. Pour plus d'informations, consultez le guide de démarrage.

Une intégration améliorée, sans compromis sur les performances
Les microcontrôleurs sans fil et sans quartz externe SimpleLink dotés de la technologie de résonateurs BAW de TI offrent des avantages qui intéresseront aussi bien les concepteurs de matériel que les développeurs d'applications. Ils constituent une alternative fiable, robuste et compacte aux quartz externes, sans le moindre compromis sur les performances. Le degré d'intégration inédit des microcontrôleurs sans quartz ouvre de nouvelles perspectives enthousiasmantes pour les produits dédiés à l'IdO : il révolutionne l'adoption, la mise en œuvre et l'utilisation des technologies sans fil sur les nœuds périphériques, tout en offrant une option de connexion plus intelligente.

Ressources :
Dossier produit
Dossier outil
Fiche technique
Guide de démarrage
Dossier du kit de développement logiciel