

Prolonger la durée de vie des piles boutons dans les applications portables

La plupart des interfaces sans fil basse consommation comme Bluetooth, ZigBee ou Wi-Fi sont présentes dans bon nombre d'applications de l'Internet des objets, de dispositifs électroniques portés sur soi et d'applications médicales, de santé ou de fitness. Toutes ces applications mobiles nécessitent une petite pile bouton capable de fonctionner pendant plusieurs mois, voire des années, sans attention ni remplacement.

A lors que des protocoles de communication standardisés permettent de connecter à Internet un nombre croissant de dispositifs embarqués, l'étape suivante vers un « monde connecté » va consister à interconnecter les appareils utilisés à la maison ou autour de nous en gardant la possibilité de communiquer avec l'infrastructure Internet existante. Certains de ces appareils, comme les dispositifs portables de suivi de santé, les patches médicaux ou certains capteurs d'humidité, pour n'en nommer que quelques-uns, fonctionneront avec une petite pile bouton. Etendre la durée de vie de ces piles est l'un des points critiques pour une convergence réussie d'Internet et de ces dispositifs. Concevoir des dispositifs électroniques portés sur soi qui répondent aux attentes des consommateurs en matière de fonctionnalités, de connectivité haut débit, de compacité et d'autonomie est une tâche ardue, et cet article va tenter de fournir un aperçu et tenter d'expliquer comment les blocs d'alimentation, l'effet des balises, l'intervalle de temps entre deux transmissions d'une trame balise, le débit de données et la taille des paquets transmis, affectent la durée de vie d'une pile bouton.

Autonomie d'une pile : la question clé

Il peut s'avérer utile de disposer d'un réseau de dispositifs capables d'intégrer et de partager des informations pour prendre certaines mesures, comme avertir l'utilisateur lorsque son café est prêt, l'informer que le sèche-linge a terminé son cycle, ou

AUTEUR



Majid Dadafshar, ingénieur d'application, ON Semiconductor.

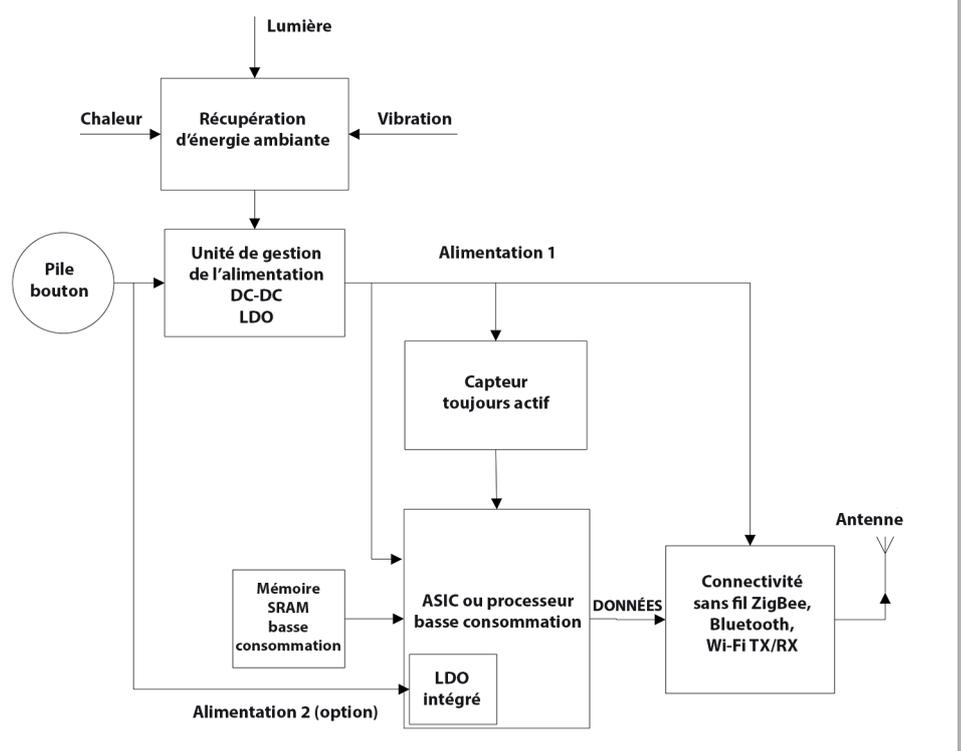
qu'une fuite d'eau est présente dans un mur. Mais le coût d'entretien ou de remplacement des piles peut être un obstacle à l'adoption de tels dispositifs portés sur soi ou équipements IoT, et il est crucial de bien comprendre le rôle des différents éléments de ces produits, pour pouvoir estimer correctement l'autonomie de la pile, ou le temps qu'il reste avant de devoir la remplacer.

L'Internet des objets peut également s'avérer très utile pour les applications de santé utilisant des capteurs qui mesurent et surveillent différents

paramètres vitaux du corps humain. Cela permettra aux praticiens de surveiller la santé d'un patient se trouvant physiquement à l'extérieur de l'hôpital (fréquence cardiaque, pouls, tension artérielle, température corporelle et glycémie). Les dispositifs portés sur soi comme les montres connectées, les bracelets, les patches de surveillance que l'on colle sur la peau, ou même les textiles intelligents peuvent fournir des informations en temps réel au praticien grâce à une plate-forme informatique en nuage sécurisée et une base de don-

1 BLOC-DIAGRAMME TYPIQUE D'UN DISPOSITIF ÉLECTRONIQUE PORTÉ SUR SOI

Cinq éléments constituent les briques de base d'un dispositif porté sur soi : une pile bouton, un sous-système d'alimentation, des capteurs, un Asic ou un processeur à basse consommation, et une section radio.



nées ad hoc. Dans le cas des patches de surveillance, ceux-ci sont censés être portés par le patient pendant quelques jours, voire plus, et comme pour tous les dispositifs connectés alimentés par batterie, cela suppose une très faible consommation et une alimentation à haut rendement.

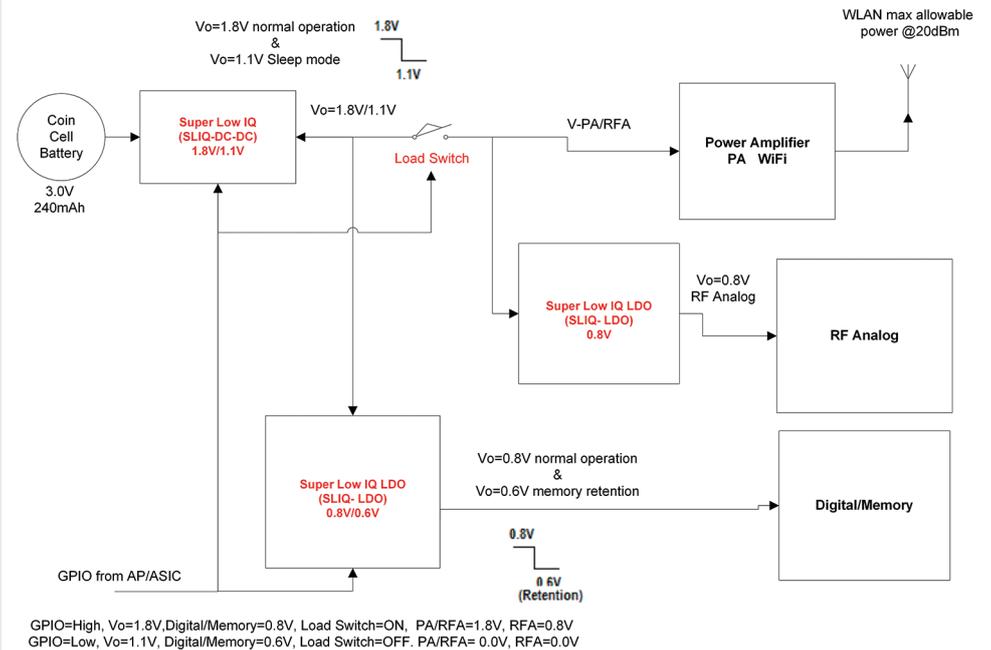
Les briques de base d'un dispositif électronique porté sur soi

Cinq éléments constituent les briques de base d'un dispositif porté sur soi : une pile bouton, un sous-système d'alimentation, des capteurs, un Asic ou un processeur à basse consommation, et une section radio (figure 1). Chacun de ces éléments doit offrir certaines caractéristiques particulières pour obtenir un dispositif portable connecté éco-efficace.

Les capteurs environnementaux, qui récupèrent les paramètres physiques comme la température, l'humidité, la pression, la pollution de l'eau et de l'air, les capteurs médicaux, qui mesurent différents paramètres vitaux du corps humain, ou tout autre capteur (médical, accéléromètre, gaz, humidité), collectent tous en temps réel des données provenant de leur environnement et les envoient à l'Asic basse consommation pour traitement. Les données collectées par les capteurs peuvent en outre être stockées et analysées par l'Asic basse consommation ou un processeur afin d'en tirer des enseignements utiles.

2 EXIGENCES DE CONCEPTION PRÉLIMINAIRES

Le tableau I, qui donne des indications chiffrées sur la conception d'un dispositif porté sur soi compatible Wi-Fi, ne contient pas assez d'informations pour fournir un design complet, mais il permet d'établir un bloc-diagramme pour le sous-système d'alimentation.



I.

Coin Cell Battery	Capacity		
3.0V	240mA/h		
		Active	Sleep
Output section:	Vo	Mode	Mode
RF Analog	0.8V	3mA	0 mA
Digital/Memory	0.8V/0.6V	10mA	3uA
PA (WiFi)	1.8V	TBD	TBD

Dans certains dispositifs médicaux implantables miniatures (MIMD pour Miniature Implantable Medical Device), il pourra alors s'avérer

nécessaire de développer une nouvelle catégorie d'Asic. De nouveaux Asic à faible consommation peuvent ainsi être conçus pour exécuter des fonctions très spécifiques, ce qui réduit à la fois leur taille et l'énergie nécessaire à leur fonctionnement. Étant donné qu'un Asic faible consommation n'utilise que l'énergie nécessaire à une tâche spécifique, aucune énergie n'est gaspillée pour des fonctions inutiles et on pourra donc utiliser des piles ou batteries plus petites et réduire encore la taille du dispositif ou prolonger son autonomie.

- A.- Etendre la durée de vie des piles qui alimentent les dispositifs électroniques portés sur soi est l'un des points critiques pour une convergence réussie d'Internet et de ces appareils.

Dans le domaine des dispositifs électroniques portés sur soi, il est essentiel d'utiliser des technologies basse consommation pour les processeurs pour abaisser la tension de fonctionnement interne, de réduire la fréquence de l'oscillateur embarqué en phase de veille et d'optimiser les circuits pour réduire la consommation. Pour tous les blocs logiques, qu'ils soient en mode actif ou en veille, il existe des solutions dans



II.- EXIGENCES DE CONCEPTION AVEC PRISE EN COMPTE DE L'AMPLIFICATEUR DE PUISSANCE (PA)

Coin Cell Battery	RF power dBm / mW	Capacity		
3.0V		240mA/h		
			Active	Sleep
Output section:		Vo	Mode	Mode
RF Analog		0.8V	3mA	0 mA
Digital/Memory		0.8V/0.6V	10mA	3uA
PA (WiFi) 17dBm @ 2.4GHZ	17dBm / 50mW	1.8V	28mA	0
PA (WiFi) 16dBm @ 5.0GHZ	16dBm / 40mW	1.8V	22mA	0
PA (WiFi) 20dBm max RF power@ 2.4GHZ	20dBm max RF power/ 100mW	1.8V	56mA	0

L'élément amplificateur de puissance (PA, Power Amplifier en anglais) pour le Wi-Fi ou pour tout autre protocole sans fil est le bloc qui consomme le plus dans un dispositif porté sur soi.

l'industrie des semi-conducteurs pour réduire la consommation. Le « clock gating » est une technique qui permet de réduire la consommation dynamique dans une puce en n'activant les horloges (et pas l'alimentation) de certains blocs logiques que lorsque des tâches sont à effectuer. Lorsqu'aucune tâche n'est en attente, les signaux d'horloge de certains blocs logiques peuvent être coupés, réduisant ainsi l'énergie consommée par les blocs en question.

Dans de nombreuses applications médicales, un Asic ou un processeur basse consommation est chargé de sécuriser les données en effectuant le cryptage et le décryptage des données reçues avant de les transmettre via une liaison sans fil à une passerelle (par réseau PAN, WAN ou LAN) et, partant, à une plate-forme distante dans le nuage assurant la connectivité de bout en bout.

Globalement le capteur, le processeur, le chemin de transmission et la

passerelle, une fois associés, fonctionnent alors avec une application sous contrôle de l'utilisateur (applications domotiques, sécurité, vente au détail, suivi, etc.), ce qui est essentiel pour une bonne utilisation des données collectées. Lorsque vous choisissez une technologie sans fil pour votre application finale, vous devez aussi tenir compte de facteurs comme la durée de vie théorique de la batterie, le débit maximal (en Mbit/s), la consommation d'énergie, la portée maximale, et la possibilité ou non de connecter le dispositif à Internet en Wi-Fi.

De l'influence d'une connectivité Wi-Fi sur l'autonomie

Examinons maintenant l'exemple de la conception d'un dispositif électronique porté sur soi doté d'une connectivité Wi-Fi, et essayons de déterminer les effets du volume des données collectées, de la vitesse de

transmission, de la sécurité, de la taille des paquets transmis, des charges impulsionnelles, etc. sur la consommation et la durée de vie de la pile. Une autre solution pour limiter la consommation d'énergie, en plus du clock gating évoqué plus haut, consiste à couper l'alimentation des blocs qui ne sont pas utilisés. A ce titre, l'élément amplificateur de puissance (PA, Power Amplifier en anglais) pour le Wi-Fi ou pour tout autre protocole sans fil est le bloc qui consomme le plus, et on peut l'allumer ou l'éteindre à l'aide d'un commutateur de charge (tableau I et figure 2).

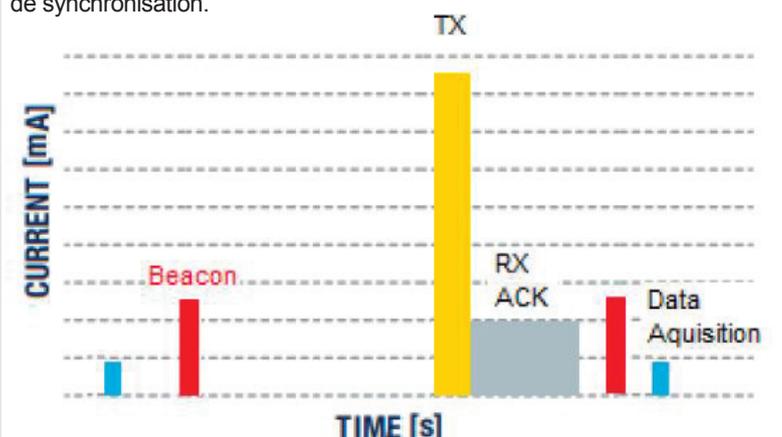
Maintenant, nous devons calculer la consommation de courant de l'amplificateur à partir de sa puissance RF en dBm. Par exemple, la puissance RF en Wi-Fi est d'environ 17 dBm (50 mW) à 2,4 GHz, de 16 dBm (40 mW) à 5 GHz, et de 20 dBm (100 mW) au maximum pour les émissions RF autorisées par la réglementation (tableau II).

Chaque transmission implique le renvoi d'un ACK (accusé de réception) par le destinataire. Il y a donc émission (TX) et réception (RX) à chaque transmission et le courant fluctue entre les phases TX et RX. Le courant TX (>30mA) est supérieur au courant RX (5 mA) avec une durée active TX/RX de 2 ms, le reste du temps se passant soit en mode SLEEP (sommeil), soit en mode réception de trames balises.

On notera que de nombreux amplificateurs PA ou émetteurs RF présents au sein d'un dispositif porté sur soi sont la plupart du temps en mode veille et ne sont sollicités pour l'envoi des données de mesure ou de

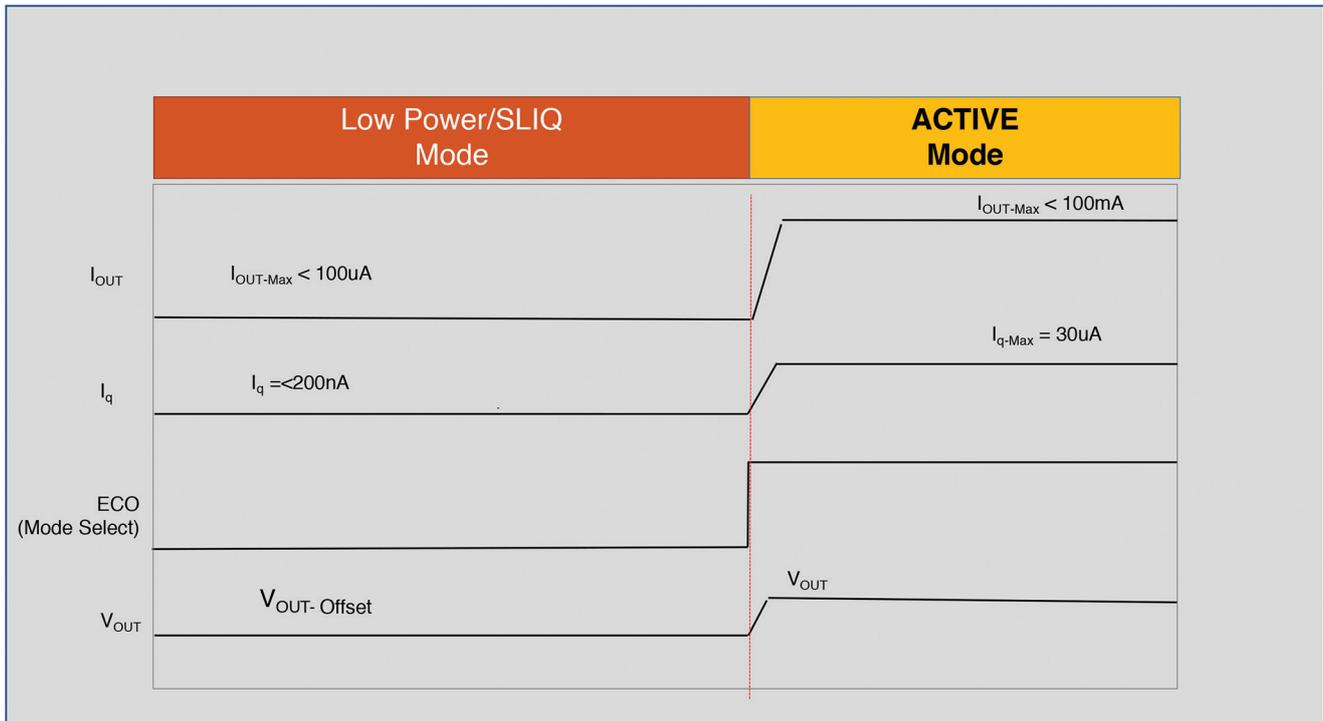
3 PROFIL DE TRANSMISSION

Avant d'essayer d'estimer l'autonomie de la pile, il faut pouvoir calculer la consommation moyenne en regardant de plus près les détails de synchronisation.



4 MODE DE FONCTIONNEMENT SLIQ POUR LDO

En abaissant la tension de sortie du convertisseur DC-DC en mode SLIQ ou en mode veille, la tension à travers le LDO est également diminuée, ce qui réduit la dissipation au sein des circuits LDO.



données traitées que selon un très faible rapport cyclique. Ceci étant dit ils consomment une quantité considérable d'énergie, donc avant d'essayer d'estimer l'autonomie de la pile, il faut pouvoir calculer la consommation moyenne en regardant de plus près les détails de synchronisation (figure 3).

La durée de transmission réelle dépend de nombreux facteurs, tels que le nombre d'octets par paquet, le nombre de paquets, l'intervalle entre les trames balises, le surdébit lié à l'encodage des données et le nombre total de bits à transmettre. Par exemple, avec 5 paquets de 200 octets et 40% de surdébit d'encodage, cela donne un total de 11.200 bits à transmettre. Avec un débit de données d'environ

2,75 Mbit/s pour la transmission Wi-Fi, il faudra 407 μs (TX sur la figure 3) pour transmettre ces 11.200 bits de données.

Dans le protocole sans fil WLAN 802.11, il existe des trames de données pour transporter l'information et des trames de gestion pour assurer le transfert des données. Les trames balises sont des trames de gestion que l'on peut définir en configurant le point d'accès, ce qui permet à toutes les stations d'établir et de maintenir des communications. Les signaux balises sont utilisés en tant que mécanisme de découverte avec une plage de puissance d'émission comprise entre environ -40 dBm et +4 dBm pour la diffusion du signal. Les trames balises génèrent quant à elles plus de surdébit et de bits, et

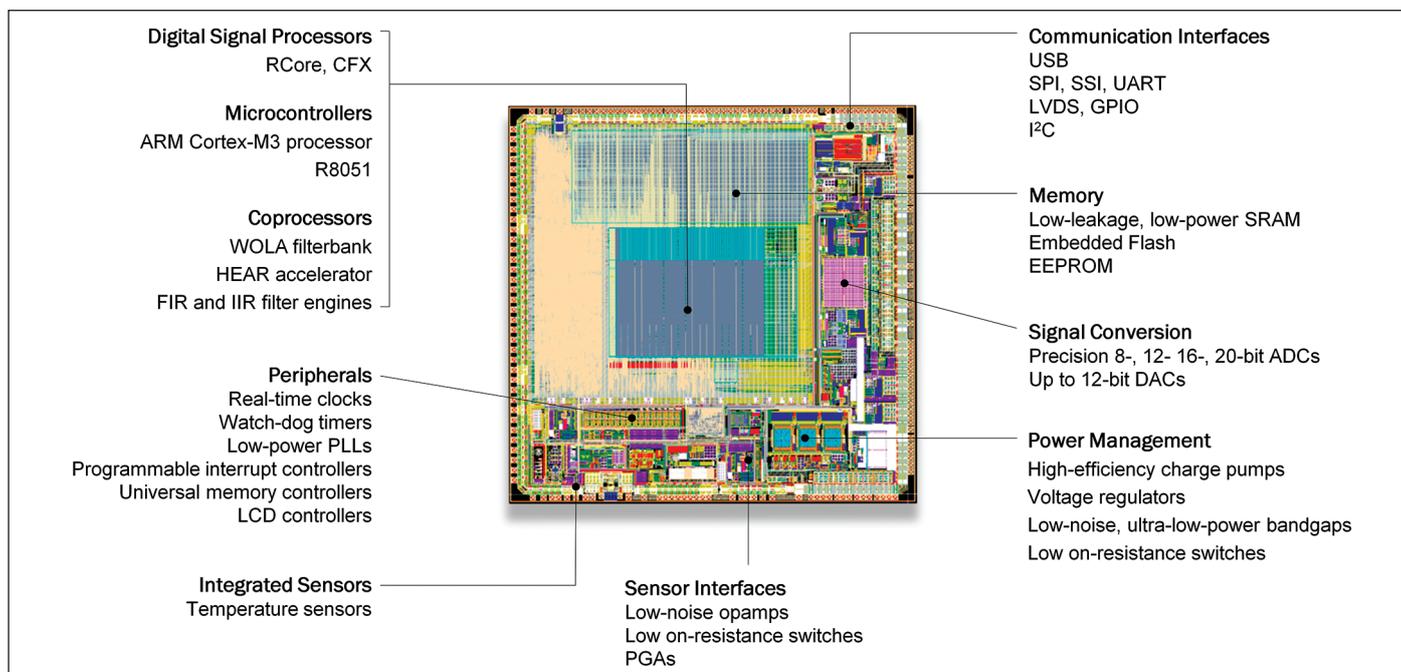
entraînent une dissipation d'énergie supérieure. Chacune d'entre elles contient des informations comme la valeur de l'intervalle entre balises (de 100 à 2000 ms) qui correspond au temps entre chaque transmission de signal balise, et fait en général une cinquantaine d'octets.

Lorsqu'une station passe en mode d'économie d'énergie, elle doit connaître l'intervalle entre signaux balises, afin de pouvoir se réveiller au bon moment pour recevoir le signal et mettre à jour son horloge locale, afin de rester synchronisée avec les autres stations connectées à un point d'accès donné. Plus l'intervalle entre les signaux balises est court, plus le signal est stable, mais il peut aussi avoir un impact significatif sur l'autonomie de la batterie.

III.- EFFETS DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES DE CONCEPTION SUR LA DURÉE DE VIE DE LA PILE

Application	# of Received beacons During Activity time	# of packet of Transferred payload During Activity time	Activity (sec)	In-Activity (sec)	Payload Byte size	Time between Beacons (msec)	Coin cell Battery life(yrs)
# 1	10	1	1	30	110	100	2.025
# 2	5	5	1	900	200	100	0.4281

On peut réduire l'intervalle entre signaux balises, ce qui entraîne une augmentation du nombre de signaux balises et le surdébit, mais se traduit aussi par une consommation supérieure des dispositifs qui mettent en œuvre un mode économie d'énergie, puisqu'ils devront se réveiller plus souvent, réduisant d'autant le bénéfice du mode d'économie d'énergie.



● B.- Exemple typique d'un Asic basse consommation conçu spécifiquement pour le marché des dispositifs électroniques portés sur soi.

Chaque signal balise contient aussi des informations sur les débits de données que le WLAN est apte à véhiculer (1, 2, 5,5 Mbit/s, etc). En augmentant l'intervalle entre signaux balises, on peut réduire le nombre de signaux balises et le surdébit, mais aussi rendre les processus d'association et d'itinérance moins réactifs. On peut également réduire l'intervalle entre signaux balises, ce qui entraîne une augmentation du nombre de signaux balises et le surdébit, mais se traduit aussi par une consommation supérieure des dispositifs qui mettent en œuvre un mode économie d'énergie, puisqu'ils devront se réveiller plus souvent, réduisant d'autant le bénéfice du mode d'économie d'énergie (tableau III).

Un outil spécifique

Nous avons également besoin de notre propre outil pour saisir tous les paramètres pour différentes applications et ainsi examiner l'ensemble des paramètres de conception pour pouvoir effectuer des calculs de consommation d'énergie et estimer la durée de vie de la pile. Plus les intervalles entre signaux balises sont courts, plus la durée de vie de la pile est courte, mais plus l'appareil peut être découvert rapidement.

La puissance de diffusion radio a un impact direct sur la portée du signal, et plus cette puissance est élevée, plus la portée est grande. Augmenter la puissance peut également rendre le signal plus stable, mais cela peut aussi impacter négativement la durée

de vie de la pile. Etant donné que la puissance active dépend à la fois de la tension d'alimentation et de la fréquence ($\text{Fréquence} \times V^2$), on peut contrôler la puissance active en contrôlant dynamiquement la tension d'alimentation ou en modulant la fréquence d'horloge du processeur en fonction de l'intensité des calculs à effectuer. En mode veille ou lorsqu'une puissance moindre est nécessaire, le système peut soit réduire la fréquence, soit abaisser la tension d'alimentation.

La nouvelle tendance en matière de gestion d'énergie pour réduire la puissance dissipée s'appuie sur un convertisseur DC-DC SLIQ (Super Low IQ, ou courant de repos ultra-faible), associé à un LDO offrant plusieurs modes sélectionnables. En abaissant la tension de sortie du convertisseur DC-DC en mode SLIQ ou en mode veille, la tension à travers le LDO est également diminuée, ce qui réduit la dissipation au sein des circuits LDO (figure 4).

L'avantage d'une telle conception à convertisseur DC-DC SLIQ ou à LDO SLIQ est de pouvoir changer ou réduire le courant de veille en passant du mode actif au mode SLIQ. On peut aussi modifier les tensions de sortie grâce à des tensions d'offset prédéfinies en usine, pour passer d'une tension de sortie plus élevée (0,8V par exemple) en mode actif, à une tension de sortie plus basse (0,6 V par exemple) au passage en mode SLIQ, pour assurer la rétention mémoire par exemple.

Tout concevoir pour des applications à ultrabasse consommation

Pour qu'un dispositif électronique porté sur soi assure une autonomie étendue de la pile, sa conception doit donc faire appel à un Asic à faible consommation capable d'effectuer des calculs lourds en consommant un minimum. Protocoles de connectivité sans fil comme Bluetooth Smart ou ZigBee avec amplificateurs de puissance radio, circuits intégrés pour l'alimentation et capteurs à faible courant de fuite, tous doivent être conçus pour garantir une très faible consommation. Pour qu'une pile bouton puisse durer plusieurs mois, voire des années, le débit de données, l'intervalle entre signaux balises et le temps d'émission, doivent également tous être pris en compte pour réduire la consommation moyenne à quelques dizaines de milliampères (mA) en mode actif, et à quelques nanoampères (nA) en mode veille.

L'utilisation d'un commutateur de charge pour déconnecter des rails d'alimentation l'amplificateur et la section numérique, permet aussi de réduire sensiblement la consommation des différentes sections lorsqu'elles ne sont pas utilisées. L'utilisation d'un convertisseur DC-DC SLIQ associé à un LDO SLIQ offrant à la fois une chute de tension très faible et une broche de sélection « MODE », permet aussi de réduire la consommation et de prolonger la vie de la pile. ■