Les microcontrôleurs avancés offrent aux applications des avantages faible consommation

par
Donald Schneider, Directeur du Marketing produit Département de l'architecture
des microcontrôleurs avancés Microchip Technology Inc.

La faible consommation est souvent un véritable *leitmotiv* chez les fabricants de produits verts, sans qu'ont prenne vraiment la peine de la définir ou de la quantifier.

Selon l'application et la manière d'utiliser le microcontrôleur dans l'application, les exigences relatives à un microcontrôleur faible consommation peuvent différer. Les utilisations possibles peuvent être classées en trois catégories principales :

- Mode de consommation minimum. Il est utilisé sur des applications telles que les thermostats alimentés par batterie. Le mode de consommation minimum définit le niveau de puissance minimum disponible pour piloter l'afficheur LCD. En réduisant ainsi la puissance, la longévité des batteries est améliorée.

- Courant actif consommé. Sur des applications telles que les compteurs électriques, le niveau et la nature de la faible consommation renvoient au courant actif consommé par le système en fonctionnement.

- Applications spécifiques avec conservation de la date. Ces systèmes requièrent que la date et l'heure soient conservées, que le système comporte ou non une alimentation primaire, comme c'est le cas des compteurs électriques en cas de panne d'électricité.

Les exigences différant d'une application à l'autre, les développeurs recherchent des microcontrôleurs dotés de modes d'alimentation encore plus flexibles pouvant s'adapter au mieux au fonctionnement de leurs systèmes.

Auparavant, les microcontrôleurs possédaient : un mode actif (permettant au système de fonctionner), des modes « ralenti » et « sommeil » (permettant de réduire ou couper la puissance de commutation du CPU tout en autorisant le fonctionnement des périphériques) et des modes veille (permettant un fonctionnement limité des périphériques avec une consommation électrique minimale). Aujourd'hui, un certain nombre de nouveaux modes faible consommation s'y ajoutent permettant des microcontrôleurs encore plus flexibles, participant d'un mouvement global tendant à adopter des procédés silicium plus avancés, qui réduisent les coûts tout comme le courant actif consommé. Afin de présenter quelques uns des modes de fonctionnement disponibles sur les microcontrôleurs avancés produits aujourd'hui, le présent article expliquera comment ces nouveaux modes faible consommation sont utilisés sur différentes applications.

Chaque exemple sera créé à l'aide d'un outil logiciel d'estimation de la durée de vie des batteries (BLE, *Battery Life Estimator*) et d'un microcontrôleur 16 bits, de manière à pouvoir comparer

les différents modes d'alimentation en fonction des applications. Le BLE de Microchip est un outil logiciel gratuit grâce auquel les développeurs peuvent estimer la durée de vie des batteries de leurs systèmes et ainsi déterminer quel mode de fonctionnement disponible est le mieux adapté à leur application. Parmi ses fonctionnalités, la famille des microcontrôleurs PIC24FJ128GA310 inclut des nouveaux modes faible consommation et un pilote d'afficheur LCD, comme expliqué dans les exemples ci-après.

Les thermostats étant aujourd'hui de plus en plus complexes, ils doivent afficher davantage d'informations tout en couvrant de nombreuses zones géographiques. Bien souvent, une grande capacité de mémoire Flash programmable intégrée est requise pour y stocker des menus complexes en de nombreuses langues.

En général, des procédés avancés sont nécessaires pour produire des microcontrôleurs dotés de grandes capacités de mémoire à des prix compétitifs. Au fur et à mesure que les procédés de fabrication des semi-conducteurs se perfectionnent, le courant (actif) de fonctionnement tend à diminuer tandis que le courant de fuite du transistor tend à augmenter.

Cette augmentation du courant de fuite est surtout visible dans les spécifications du courant pour les modes faible consommation, tels que le mode veille. Les consommations en mode veille des microcontrôleurs avancés sont typiquement de l'ordre de 3 à 5 µA, alors qu'une application de thermostat typique ne fait rien d'autre, la plupart du temps, que de piloter un afficheur LCD. En général, un afficheur à segments LCD est piloté en mode veille, mode qui permet aux périphériques (ici, le pilote LCD) de fonctionner, tandis que le CPU et la plupart des autres périphériques sont éteints. Périodiquement, le thermostat « se réveille » et entre en mode actif : il lit la température, met à jour l'affichage, et envoie si nécessaire un signal d'allumage à la chaudière, au ventilateur ou au système de climatisation. Du fait que dans 99 % des cas, le mode veille suffit largement, les améliorations apportées à la consommation en mode veille constituent un point important pouvant améliorer significativement la longévité des batteries du système.

Afin d'offrir un mode d'alimentation inférieur au µA, de nombreux fournisseurs ont introduit de nouveaux modes faible consommation dits « veille prolongée ». La consommation typique en mode veille prolongée est de l'ordre de 10 à 50 nA. Ces composants peuvent en outre faire tourner une horloge/calendrier temps réel (RTCC) avec une consommation supplémentaire de 400 nA. Une première option consiste à éteindre complètement le composant, à l'exception d'une petite partie de la mémoire, du module RTCC, et peut-être du temporisateur du Watch Dog, pour obtenir une consommation extrêmement faible. Cependant, ces modes veille prolongée ne permettent pas le fonctionnement des périphériques, ni de conserver les données de la RAM. De plus, à cause de la perte de contenu de la RAM, lors du réveil de la veille prolongée, une routine de redémarrage doit être exécutée avant de pouvoir reprendre l'exécution du programme en cours.

Il existe toutefois une autre solution rendue possible par les nouveaux modes faible consommation comme le mode veille basse tension, qui permet de conserver les données de la RAM pour une consommation type de 330 nA, tout en autorisant le fonctionnement d'autres périphériques basse consommation. Avec ce mode veille basse tension, la RAM du composant reste intacte et la

consommation en mode veille diminue grâce à la réduction de la sortie du régulateur intégré du composant. En réduisant la tension d'entrée du circuit logique du composant et en limitant les périphériques actifs, la consommation en mode veille du microcontrôleurs peut être ramenée de 3,7 µA à 330 nA. Corollaire du mode veille du microcontrôleur, les périphériques comme les pilotes LCD, temporisateurs et modules RTCC peuvent fonctionner en consommant un courant supplémentaire minimal. Le mode veille basse tension permet au composant de revenir à l'état actif plus de deux fois plus rapidement que depuis une veille prolongée. Le composant commence ensuite l'exécution dès la prochaine instruction, et non en démarrant par une séquence de redémarrage, comme c'est le cas après un réveil depuis une veille prolongée.

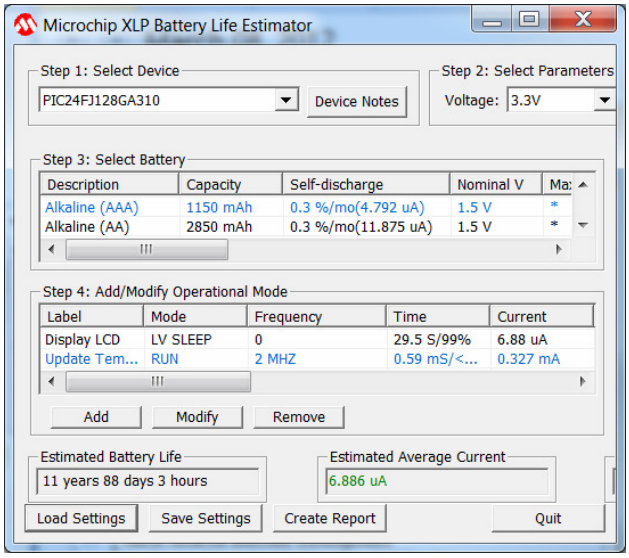

Figure 1 : Écran principal de l'outil d'estimation de la durée de vie des batteries (BLE)

La figure 1 montre l'écran principal de l'outil d'estimation de la durée de vie des batteries (BLE), où l'on peut voir le microcontrôleur et sa tension de fonctionnement, la batterie et les modes de fonctionnement. La durée de vie estimée pour ce modèle de thermostat est de 11 ans et 88 jours.

L'outil BLE modélise le temps passé par le microcontrôleur dans chaque mode de fonctionnement et calcule la consommation correspondant à chaque mode. L'écran de résultats du BLE, visible sur la figure 1, est celui servant à définir différents paramètres essentiels du système ainsi qu'à l'affichage des résultats concernant la durée de vie estimée et la consommation moyenne du système. En premier lieu, le microcontrôleur et la tension de fonctionnement du système sont sélectionnés, à partir desquels le BLE peut afficher les paramètres appropriés de spécification. Après quoi, un type de batterie, ou plusieurs batteries, est sélectionné ; dans le cas présent, il s'agit de 2 piles alcalines AAA. Il est également possible de sélectionner la tension de fonctionnement du système ainsi que sa température de fonctionnement, de manière à ce que les spécifications les plus appropriées soient utilisées dans le modèle d'estimation de la durée de vie des batteries. Enfin, les modes de fonctionnement qui seront utilisés par le système doivent être définis. Dans le cas de notre thermostat, deux modes de fonctionnement seront utilisés.

Pour modéliser le temps passé par le thermostat à uniquement afficher des informations sur l'écran LCD, un mode de fonctionnement « Display LCD » est créé. Le mode de fonctionnement Display LCD utilise le mode veille basse tension offrant le mode d'alimentation le plus faible permettant le pilotage de l'afficheur LCD. L'outil BLE est paramétré pour modéliser le mode veille basse tension pendant 29,5 secondes sur la boucle de 30 secondes utilisée pour modéliser la durée de vie utile du composant. Un second mode de fonctionnement « Update Temp and LCD » est utilisé pour modéliser le temps passé par le microcontrôleur à surveiller la température, mettre à jour l'afficheur LCD et communiquer avec le système de climatisation (CVC).

Sur la figure 2, l'écran *Add/Modify Mode* (Ajouter/modifier un mode) montre le nouveau mode veille basse tension et l'implémentation d'un mode de fonctionnement dans le BLE. À partir de cet écran, les développeurs peuvent ajuster les paramètres de durée, ici réglés sur 29,5 secondes. Dans la case *Additional System Current* (Courant du système supplémentaire), ils peuvent ajouter une consommation électrique estimée pour les courants autour du microcontrôleur. Ici, 4 µA de courant système ont été ajoutés, pour représenter le courant consommé par l'afficheur LCD, et 1 µA supplémentaire de courant a été ajouté pour représenter le courant requis pour les résistances de polarisations internes du LCD. Après quoi, le mode d'alimentation est sélectionné (ici, il s'agit du mode veille basse tension) ainsi que les périphériques requis. Afin de fournir un modèle juste du courant du système, le pilote LCD, BOR, WDT et RTCC ont été sélectionnés. La consommation totale du système par le microcontrôleur seul est de 1,88 µA, à laquelle doivent être ajoutés 5 µA de consommation du système, ce qui donne un résultat de 6,88 µA requis par le système lorsqu'il fonctionne en mode veille basse tension.

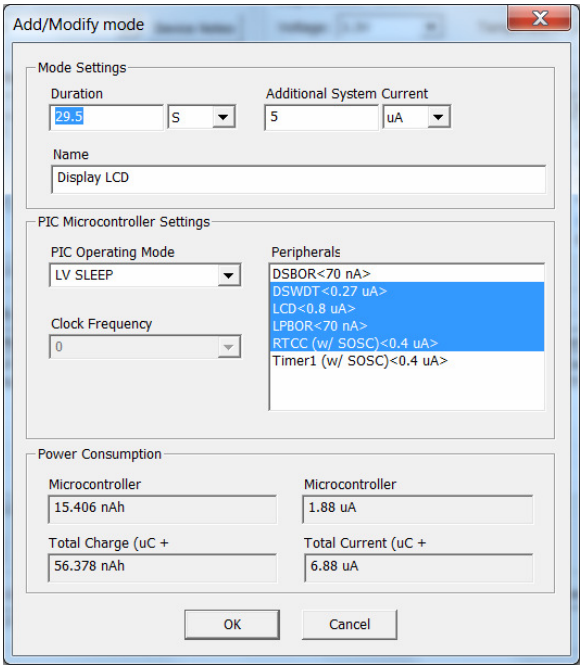

Figure 2 : Écran d'édition des modes de l'outil d'estimation de la durée de vie des batteries

L'écran d'édition des modes du BLE, que l'on peut voir sur la figure 2, permet aux développeurs de nommer et spécifier les conditions pour chaque mode d'alimentation utilisé.

L'écran principal du BLE montre une consommation moyenne de 6,88 µA lorsque le composant est en mode veille basse tension, et d'un peu plus de 327 µA au cours du bref laps de temps où il est à l'état actif, pour une consommation moyenne inférieure à 6,9 µA. La durée de vie estimée pour la batterie du système est de près de 12 ans, soit près de 5 années supplémentaires par rapport à la durée de conservation des batteries. La figure 3 montre une deuxième analyse similaire réalisée avec le mode veille au lieu du mode veille basse tension. Les résultats indiquent une consommation moyenne d'environ 10,5 µA et une durée de vie des batteries inférieure de 3 ans.

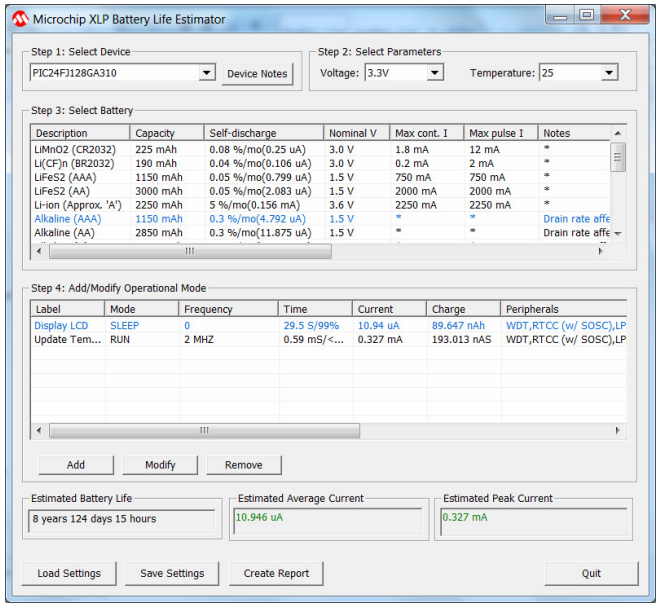

Figure 3 : Outil d'estimation de la durée de vie des batteries

Comme montré sur la figure 3, l'estimation de la durée de vie des batteries réalisée en utilisant le mode veille classique indique une longévité des batteries inférieure de 3 ans.

Par opposition, étudions une application utilisant un microcontrôleur qui passerait la plupart du temps en mode actif, telle qu'un compteur électrique. Les compteurs électriques modernes passent le plus clair de leur temps dans un ou deux états. Le mode de fonctionnement normal intervient quand le compteur délivre du courant. Pendant ce mode « normal », le microcontrôleur est actif et mesure en permanence la tension et le courant, pour calculer l'énergie délivrée par le compteur. Le compteur peut aussi surveiller les éventuels trafics de compteur, le pilotage d'un afficheur LCD et les communications éventuelles que reçoit le système de lecture du compteur.

Quand le compteur électrique fonctionne, on peut avoir l'impression d'une forte puissance. En fait, l'électricité est fournie par le réseau électrique, qui n'est autre que le client final du fabricant du compteur. Le fournisseur d'électricité fournissant des millions de clients en électricité, la moindre baisse de débit s'avère très coûteuse pour la compagnie. De fait, la plupart des compteurs doivent fonctionner avec un bilan de puissance inférieur à 10 VA, tel que fixé par la CEI. Une fois prises en compte les possibles variations de ligne, les tolérances aux composants et les marges de conception des systèmes, on parvient à un bilan de puissance électrique d'environ 10 mA pour le microcontrôleur du système, quand l'alimentation capacitive est utilisée.

Certains modèles récents de compteurs électriques utilisent des microcontrôleurs 8 bits consommant typiquement plus de 10 mA lorsqu'ils fonctionnent à pleine vitesse en mode actif. Afin de rester dans la limite du bilan de puissance du système, les développeurs doivent souvent faire fonctionner les microcontrôleurs à une fréquence moindre. Nombre des microcontrôleurs 16 bits d'aujourd'hui, profitant des procédés de fabrication et des techniques de conception avancés, affichent des courants de fonctionnement typiques de quelques 150 µA/MHz et peuvent fonctionner à pleine vitesse à 16 MIPS, tout en ne consommant qu'un maximum de 6,9 mA. Le courant de fonctionnement réduit permet aux développeurs de choisir librement entre réduire la vitesse de fonctionnement du microcontrôleur de manière à diminuer la consommation du système, ou bien ajouter des fonctions supplémentaires tout en maintenant la consommation du système dans les limites du bilan de puissance alloué.

Les compteurs électriques étant la plupart du temps à l'état actif, c'est aussi un exemple d'application qui peut bénéficier de l'un des modes d'alimentation les plus faibles, à savoir le mode V_{bat}. La fonctionnalité V_{bat} propose une broche dédiée alimentée par une unité d'alimentation de secours, du type batterie LTC ou supercondensateur. Quand l'alimentation primaire du système tombe en panne, comme cela peut se produire lors d'une panne de courant, l'alimentation du module RTCC bascule automatiquement sur la broche V_{bat} de secours. La facturation « à la consommation » étant de plus en plus privilégiée, le RTCC est important dans un compteur électrique en cas de coupure de courant. Une fois raccordé à V_{bat}, le RTCC permet à la batterie LTC de durer des dizaines d'années, l'alimentation de secours pouvant fonctionner presque indéfiniment. La fonctionnalité V_{bat} avec RTCC ne se limite pas seulement aux compteurs électriques. De nombreuses applications, y compris les thermostats mentionnés plus haut, peuvent utiliser le RTCC pour conserver la date et l'heure en cas de panne d'électricité ou de changement de la batterie. V_{bat}, utilisé avec un condensateur ou une batterie, peut permettre d'éliminer le problème du clignotement des lumières qui se produit en cas de panne d'électricité.

Dans un monde qui tente de plus en plus de réduire sa consommation, l'évolution des microcontrôleurs faible consommation a permis aux microcontrôleurs à usage général de devenir extrêmement flexibles. Grâce à des procédés de fabrication et techniques de conception avancés, les microcontrôleurs 16 bits affichent des courants actifs de quelques 150 µA/MHz. La chaîne de gestion de l'alimentation a gagné en flexibilité grâce à de nouveaux modes faible consommation, tels que les modes veille basse tension et V_{bat}, permettant aux microcontrôleurs à usage général de fonctionner sur une plus vaste palette d'applications. Conséquence : Les développeurs ont accès à des microcontrôleurs puissants et flexibles qui permettent des applications finales plus intuitives pour le client et affichant une meilleure efficacité énergétique.