

Internet des objets : vers une gestion plus intelligente de l'énergie

Contrôler avec précision les piles au lithium utilisées dans les objets connectés permet de mieux comprendre l'évolution système et l'impact sur l'autonomie. Au lieu de faire appel à une pile surdimensionnée pour affronter les pires cas possibles, les informations collectées permettent d'ajuster le fonctionnement et ainsi maximiser le potentiel d'une pile à moindre capacité. Texas Instruments illustre ce concept de gestion intelligente de l'énergie pour l'IoT dans le cadre d'un compteur communicant.

Parfois qualifié de « nouvelle révolution industrielle », l'Internet des objets (IoT) transforme en profondeur la façon dont les entreprises interagissent avec le reste du monde. Les capteurs sont au cœur de l'IoT, et la majorité d'entre eux sont alimentés par une pile du fait que la plupart des applications, telles que les systèmes de stationnement intelligents ou les compteurs communicants, doivent nécessairement être scellées. Ces produits sont censés continuer de fonctionner sans aucune intervention matérielle tout au long de leur vie. Tout dysfonctionnement logiciel ou matériel raccourcit toutefois leur autonomie sur le terrain : il faut alors rapidement régler le problème avant que la pile ne soit complètement déchargée. Les fonctionnalités du nouvel ads7142 de TI permettent notamment de résoudre ce type de problèmes. Par ailleurs, il est difficile de contrôler avec précision les piles lithium-chlorure de thionyle (Li-SOCl₂) et lithium-dioxyde de manganèse (Li-MnO₂). Le bq35100 simplifie nettement ce travail et permet au concepteur de se consacrer aux autres fonctionnalités de son application. Cet article a pour objectif d'illustrer les possibilités d'implémentation de fonctions de contrôle d'une pile pour les applications IoT avec le bq35100 en prenant l'exemple d'un compteur d'eau communicant.

Introduction

Le bq35100 est un frontal analogique qui permet de contrôler avec précision les piles Li-SOCl₂ et Li-MnO₂. En mesurant la tension,

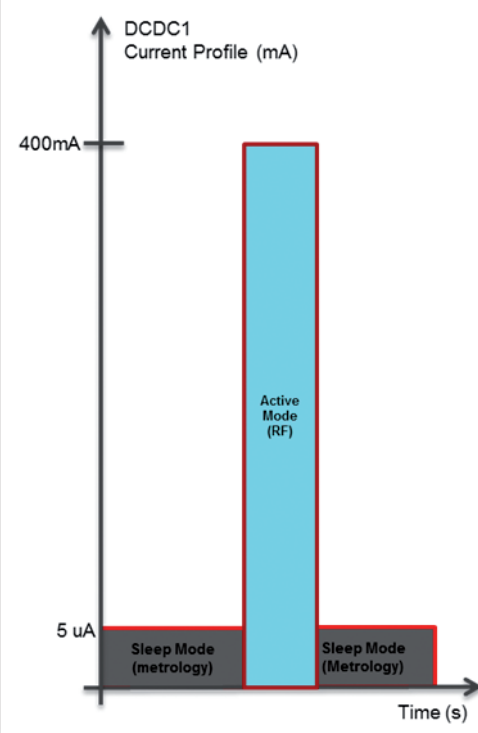
AUTEUR



Eric Djakam,
Senior Analog
Field
Applications
Engineer, Texas
Instruments.

1 PROFIL DE CHARGE TYPIQUE D'UN COMPTEUR D'EAU

Un compteur communicant doit disposer d'une charge dynamique élevée, adaptée aux différents modes de fonctionnement.



une température basse/élevée, une intensité basse/élevée du courant électrique ou un état de charge bas. Une alerte est également déclenchée en cas d'enlèvement de la pile. Ces alertes permettent au réseau d'anticiper les problèmes pouvant survenir au niveau de la pile.

- **Durée de vie :** le circuit collecte les données de la pile durant le fonctionnement de l'application, et notamment les tensions de cellule minimales/maximales, le courant de décharge minimal/maximal ainsi que la température minimale/maximale. Ces informations sont notamment utiles dans le cadre de la maintenance de l'application quand le produit est en fin de vie. Par exemple, en utilisant ces données, il est possible de mieux paramétrer

l'intensité et la température, ce composant peut calculer différentes caractéristiques de la pile :

- **Etat de charge :** le circuit détermine la capacité restante de la pile et la corrèle à la consommation électrique du système pour prévoir avec précision la date de remplacement de la pile.
- **Santé de la pile :** plusieurs alertes peuvent être déclenchées, pouvant signaler différentes situations anormales : un niveau de tension bas,

le programme du microcontrôleur en corrélant les modes de fonctionnement de l'application à la tension, l'intensité et la température de la pile.

- **Capacité cumulée :** cette donnée correspond à la consommation globale du système. Cette information permet notamment de contrôler la bonne santé de l'application. Par exemple, une consommation élevée peut être symptomatique de différents problèmes techniques devant

faire l'objet d'une opération de maintenance imprévue tels qu'un court-circuit (occasionné par un endommagement de l'inductance de puissance) ou un dysfonctionnement d'un semi-conducteur ou du programme de l'application.

Critères de conception d'un compteur communicant

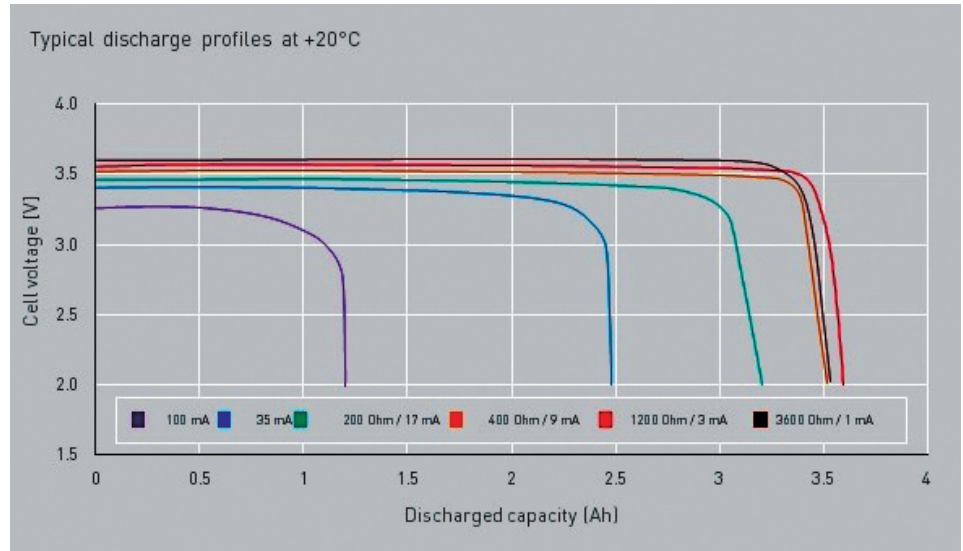
Depuis quelques années, les compteurs mécaniques sont en passe d'être remplacés par des compteurs entièrement électroniques. De nombreuses fonctionnalités ont fait leur apparition sur les compteurs électroniques: métrologie à ultrasons, détection des fuites par analyse acoustique, communication faible consommation avec radio longue portée ou encore détection anti-altération avec technologie de capteur inductif Ildc0851. Ces technologies permettent aux compteurs d'offrir de nouvelles possibilités telles que la maintenance préventive en fonction de l'état du matériel et le relevé à distance, permettant ainsi de gérer efficacement le réseau et d'améliorer le service proposé aux clients. Toutefois, de telles applications requièrent une conception plus complexe en matière de gestion de la consommation et des piles. De plus, les compteurs communicants doivent:

- **Afficher une grande autonomie.** En règle générale, un compteur communicant a une durée de vie d'environ 20 ans avec sa configuration matérielle d'origine.

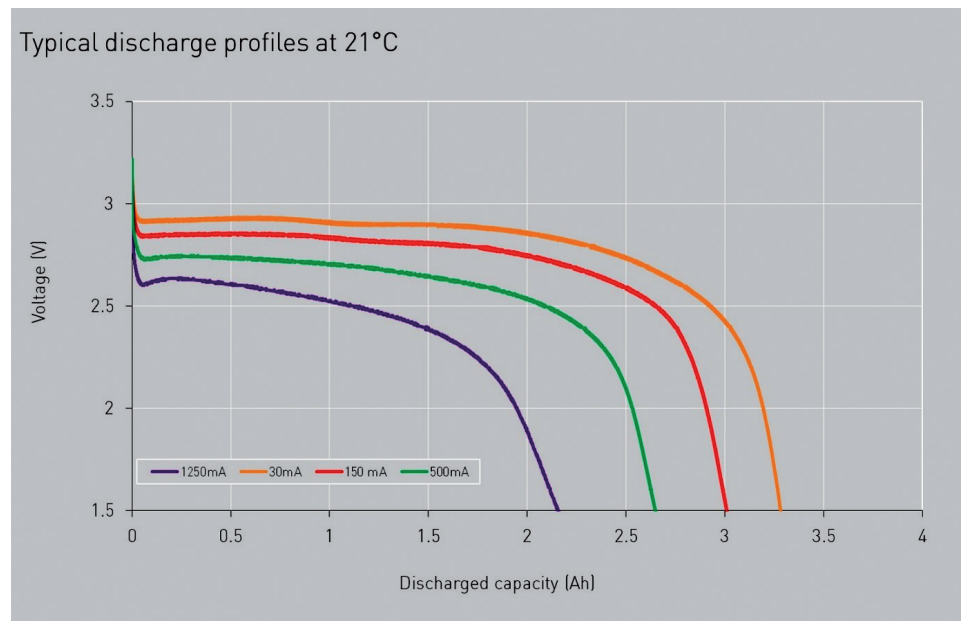
- **Disposer d'une charge dynamique élevée.** Par exemple, un amplificateur de puissance RF haute performance utilisé avec le protocole Wireless M-Bus à 169 MHz peut théoriquement délivrer 27 dBm (~500mW), ce qui représente environ 180mA avec une alimentation de 2,8V (sans tenir compte de l'efficacité de l'alimentation). En mode veille, la même application consomme environ 5 μ A (les opérations frontales de métrologie étant toujours actives). Le frontal de gestion de la consommation doit donc gérer une dynamique de 36000 entre ces différents profils de charge (figure 1).

- **Consommer peu d'énergie en mode standby.** La consommation en mode standby d'un compteur standard est d'environ 5 μ A. Une consommation aussi basse permet

2A PROFIL DE DÉCHARGE STANDARD D'UNE PILE LS 17500 (LI-SOCL2) A +20°C



2B PROFIL DE DÉCHARGE STANDARD D'UNE PILE LM 17500 (LI-MNO2) A +21°C



Les piles Li-SOCL2 sont caractérisées par un profil de décharge extrêmement faible, à tel point qu'il est quasiment impossible de prévoir leur fin de vie avec la seule mesure de la tension. Les cellules Li-MnO2 fournissent une réponse en tension plus stable sous l'effet de la réponse en impulsion, au détriment d'une plage de tension de service plus restreinte. (source Saft)

d'assurer la longue autonomie du système.

- **S'adapter à de grands écarts de température.** Les compteurs communicants sont parfois placés en dehors des bâtiments et doivent alors supporter des écarts de température importants, surtout dans certains pays. Comme nous le verrons par la suite, les écarts de température affectent la performance de la pile.

- **Fonctionner avec un rapport cyclique élevé (courant).** Le courant de crête d'un compteur communicant est généralement causé par les opérations frontales de communication.

Cette fonctionnalité est activée une ou deux fois par jour pour fournir à l'opérateur de réseau distant les données de l'utilisateur final.

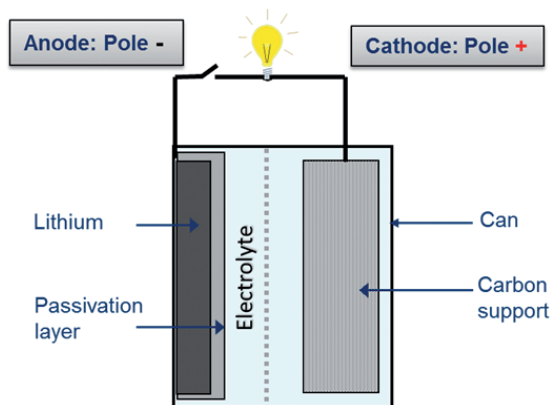
Description d'un compteur communicant standard

Un compteur communicant est généralement composé des éléments suivants:

- La métrologie frontale, permettant de mesurer l'énergie consommée par l'utilisateur final. Cette fonctionnalité peut se traduire par l'utilisation de technologies inductives, ultrasonores ou magnétiques.

3 COMPOSITION D'UNE PILE AU LITHIUM A CATHODE LIQUIDE

Quand l'intensité est inférieure à $5\mu\text{A}$, une fine couche passive se forme entre l'anode en lithium et l'électrolyte, et plus la pile est sollicitée dans ces conditions, plus la couche passive s'épaissit. Quand un courant plus élevé est appliqué à la pile, la couche passive limite considérablement la tension fournie.



- La communication frontale, permettant de transmettre les données au réseau. La communication radio est la plus répandue, étant notamment prise en charge par différents protocoles tels que Wireless M-Bus (France, Italie) et ZigBee (Royaume-Uni), par des réseaux propriétaires, mais aussi par quelques nouveaux protocoles tels que le LTE-M ou le NB-IoT, Sigfox ou LoRa. Dans certains cas, des liens de communication locaux comme les technologies NFC (Near Field Communications, communication en champ proche) équipent également les compteurs à paiement proportionnel, permettant ainsi des communications sécurisées à courte portée.

- Le microcontrôleur de l'application.

- Le bloc de gestion de la consommation, qui délivre l'énergie nécessaire au bon fonctionnement des diverses fonctions de l'application. Pour les compteurs d'eau et de gaz, les sources d'énergie sont généralement des piles au lithium non rechargeables.

- La protection frontale, pour prévenir toute altération du compteur, qu'il s'agisse d'une altération magnétique ou d'une altération après ouverture du compteur.

En outre, les compteurs d'eau et de gaz doivent généralement loger dans des boîtiers de taille réduite et comprennent des technologies RF. Ainsi, le système doit être spécifiquement pensé pour prévenir toute pollution

entre les différents domaines (alimentation, métrologie, communication). Il est donc important de prendre en compte l'interaction entre ces différentes technologies à un stade précoce de la conception.

Caractéristiques de la pile au lithium

Les piles au lithium non rechargeables sont idéales pour les compteurs communicants du fait de leur courant d'autodécharge très bas, de leur puissance volumique élevée, de leur durée de vie considérable. Ces piles offrent également une large gamme dynamique de courant et sont proposées en différentes tensions compatibles avec les compteurs. Les piles Li-SOCl₂ et Li-MnO₂ sont les solutions électrochimiques les plus utilisées pour ce type d'applications. Les cellules Li-SOCl₂ ont une densité énergétique et une tension de service supérieures à celles des cellules Li-MnO₂. Elles sont toutefois incapables de supporter des charges dynamiques élevées, entraînant ainsi une chute de la tension de la pile sous l'effet de la réponse en impulsion. Pour y remédier, il est possible d'associer à la pile Li-SOCl₂ un supercondensateur ou un condensateur hybride pour délivrer le courant de crête. Cependant, cette solution n'est pas applicable dans tous les cas, car certaines réglementations (du type ATEX, ATMospheres EXplosibles) limitent le dimensionnement des condensateurs d'un système donné. Les piles Li-SOCl₂ sont également

caractérisées par un profil de décharge extrêmement faible, à tel point qu'il est quasiment impossible de prévoir leur fin de vie avec la seule mesure de la tension (figure 2A). Les cellules Li-MnO₂ fournissent une réponse en tension plus stable sous l'effet de la réponse en impulsion, au détriment d'une plage de tension de service plus restreinte (entre 3V et 2V) (figure 2B).

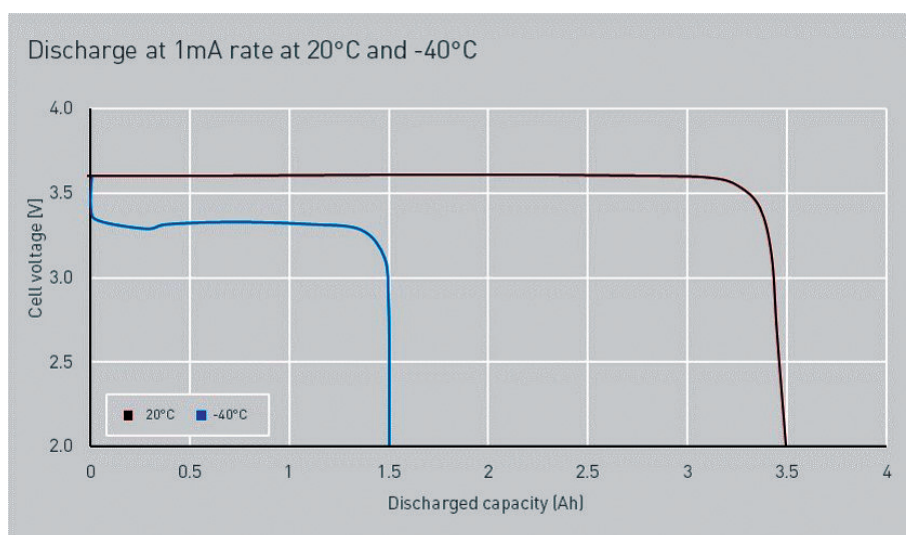
Facteurs de performance de la pile

La performance de la pile dépend de plusieurs facteurs tels que :

- **L'intensité système en modes actif et veille.** Cette variable a une influence considérable sur la quantité d'énergie disponible. Comme vu précédemment, un compteur d'eau standard présente un facteur de 36000 entre l'intensité du courant du système actif et celle du système en veille. Ce facteur affecte également la performance de la pile. Prenons l'exemple de la pile Li-SOCl₂. Quand l'intensité est inférieure à $5\mu\text{A}$, une fine couche passive se forme entre l'anode en lithium et l'électrolyte, et plus la pile est sollicitée dans ces conditions, plus la couche passive s'épaissit (figure 3). Quand un courant plus élevé est appliqué à la pile, la couche passive limite considérablement la tension fournie. Pour rétablir la tension à son niveau de service, il faut alors rompre la couche passive. La couche passive se forme encore plus rapidement sur les applications qui, à l'instar des compteurs communicants, présentent

4 CAPACITÉ DE LA PILE LS14500 EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

La performance de la pile dépend de la température. Plus la température est basse, plus la tension sera limitée à courant égal. *(source Saft)*



un rapport cyclique bas et un courant de veille peu élevé.

- **La température.** Plus la température est basse, plus la tension sera limitée à courant égal (figure 4).

- **La tension de coupure du système.** Il s'agit de la tension de service minimale du système. Pour déterminer cette valeur, il faut d'abord trouver l'équilibre entre le déchargement de la pile et le fonctionnement normal du système.

- **Le courant d'autodécharge.** Il s'agit du courant consommé par la pile elle-même. Il varie selon les conditions de charge et de température.

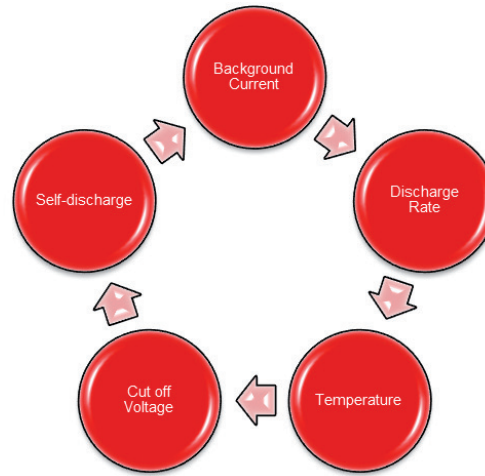
- **L'intensité du courant de décharge.** La performance de la pile repose donc sur de nombreuses variables distinctes (figure 5). Il est alors difficile de prédire avec précision la capacité restante de la pile. Dans les cas les plus extrêmes, les variations de température (étés chauds, hivers froids), les variations de charge dynamique auront un impact considérable sur l'énergie disponible. Plusieurs approches peuvent être adoptées pour résoudre ce problème (surdimensionnement de l'alimentation, mise en place d'une deuxième pile, combinaison de ces deux solutions). Pour résoudre le problème, nous suggérons de mettre en œuvre une gestion plus intelligente de l'énergie grâce à quelques règles de conception basiques.

Contrôle de la santé du système

Généralement, les ingénieurs dimensionnent la source d'énergie d'un système en fonction de sa consommation énergétique et de la durée de vie souhaitée sur le terrain. Toutefois, le résultat n'est pas toujours adapté, en raison des problèmes qui surviennent sur le terrain et qui empêchent le produit de fonctionner comme prévu initialement selon le principe bien connu de la loi de Murphy. Lors de la phase de conception de produits critiques, il importe donc de mettre en œuvre une approche destinée à contrôler la santé du système et à émettre une alerte quand un problème survient. Une solution possible est de contrôler avec précision la consommation énergétique réelle, permettant de la comparer à la consommation prévue et de faciliter ainsi la prise de décision avant l'épuisement total de la source d'énergie. Cette approche de type « boîte

5 PARAMÈTRES AFFECTANT LES PERFORMANCES DE LA PILE

La performance de la pile repose sur de nombreuses variables distinctes. Il est alors difficile de prédire avec précision la capacité restante de la pile.



noire » est notamment adaptée aux cas suivants :

- Applications critiques : un défaut de ces produits peut entraîner des conséquences critiques pour l'utilisateur final, et il est important de pouvoir réagir dès qu'un problème de cette nature survient.

- Compteurs communicants avec lien de communication RF bidirectionnel : certains diront qu'il n'y a pas lieu de surveiller la santé d'un compteur communicant, arguant du fait que tous les aspects du compteur peuvent être simulés avec fiabilité. La métrologie frontale opère sur une période fixe, le programme du microcontrôleur peut être optimisé pour une consommation basse et les caractéristiques du lien de communication sont connues et détaillées. Toutefois, ce dernier argument ne vaut que pour les liens de communication unidirectionnels, quand le compteur sort du mode veille, transmet les données et retourne en mode veille. Dans le cas des liens de communication bidirectionnels, le compteur doit attendre de recevoir un accusé de réception du concentrateur de données. La réception de ce signal peut prendre un temps indéterminé : il est donc plus difficile de prévoir avec précision la consommation de l'application. Par ailleurs, le temps de communication dépendra également de la qualité du réseau tant pour les liens unidirectionnels que pour les liens bidirectionnels.

- Fournisseurs de service maîtrisant l'intégralité de la chaîne (conception

du produit, réseau de communication, maintenance du produit) : ces fournisseurs peuvent utiliser les données disponibles via la « boîte noire » pour adapter la conception des produits, améliorer leur production, tester leurs solutions logicielles sur le terrain, etc. Ces informations peuvent également permettre d'en savoir plus sur les causes des défauts survenant sur certains produits.

Conception permettant une gestion intelligente de l'énergie

La conception permettant une gestion intelligente de l'énergie est un compromis entre les caractéristiques d'une alimentation par pile et les nouvelles fonctionnalités des compteurs modernes. Elle fournit aux ingénieurs des règles de conception simples, leur permettant ainsi d'optimiser la conception de leur application. Les règles de conception sont les suivantes :

- Abaisser autant que possible le courant de veille du système : la conception intelligente d'un système doit réduire autant que possible le courant de veille de l'application. Afin d'y parvenir, des commutateurs avec un courant de fuite ultrafaibles tels que le tps22860 peuvent être utilisés pour déconnecter les fonctionnalités qui ne sont pas utilisées à un moment donné. Le tps22860 affiche une consommation particulièrement basse (12 nA) et s'avère compatible avec la plupart des tensions des GPIO des microcontrôleurs.

- Réduire le nombre de rails de tension du système : toute création d'un rail de tension occasionne une certaine consommation énergétique. Afin de prévoir au mieux la gestion de l'énergie, il convient d'essayer d'employer les mêmes niveaux de tension pour différentes fonctionnalités.

- Réduire les facteurs d'incertitude de la source d'énergie : l'intégration d'un dispositif de contrôle tel que le bq35100 contribue à pallier les problèmes liés aux variations de la performance de la pile en transmettant au processeur principal des alertes associées à la santé de la pile. À l'échelle du système, ces alertes sont également utiles dans le cadre de la maintenance préventive de l'équipement.

- Contrôler la santé du système grâce à la consommation réduite, à l'intégration et aux fonctionnalités du dernier ads7142. ■