



Internet des objets : de nouvelles solutions pour optimiser la gestion de l'énergie

Par Diarmuid Carey, ingénieur d'applications, Analog Devices

Synthèse

Dans cet article, nous allons explorer les technologies de batteries utilisées pour alimenter les objets connectés à Internet (Internet des objets — IoT) en décrivant certains des problèmes d'alimentation électrique que les concepteurs peuvent résoudre en utilisant les composants d'Analog Devices. Ces solutions à haut rendement contribuent de façon significative à endiguer d'autres problèmes qui caractérisent les appareils connectés, que ce soit en matière de dimensions, de poids ou de température.

Face à la prolifération des appareils connectés dans les secteurs des équipements industriels, de la domotique et du médical, les concepteurs subissent une pression croissante pour optimiser la gestion de l'alimentation, que ce soit en réduisant le format, en améliorant l'efficacité énergétique, en réduisant la consommation de courant ou en raccourcissant le temps de charge (appareils portables). Tous ces critères doivent être réunis dans un format compact, sans compromettre les performances thermiques ni la qualité des communications sans fil sur lesquelles repose le fonctionnement de ces produits.

Qu'est-ce que l'Internet des objets ?

Le domaine d'application de l'Internet des objets qui nous intéresse se présente sous différentes formes et concerne généralement les appareils électroniques intelligents, connectés à un réseau et généralement alimentés par batterie qui envoient des données prétraitées à une infrastructure déployée sur le cloud. Différents systèmes intégrés (processeurs, circuits intégrés de communications et autres capteurs) sont utilisés pour collecter, réagir et renvoyer des données à un point central ou à un autre nœud du réseau. C'est le cas des capteurs qui transmettent la température d'une pièce à une régie centrale, ou des systèmes de surveillance qui suivent l'état de santé à long terme d'un onéreux équipement industriel.

En fait, ces appareils ont pour mission de résoudre un problème particulier, qu'il s'agisse d'automatiser des tâches qui requièrent habituellement une intervention humaine — c'est le cas de l'immotique et de la domotique —, d'améliorer l'utilisabilité et la longévité des équipements exploités dans un environnement industriel connecté, ou d'élever le niveau de sécurité des applications de surveillance conditionnelle (CbM — *Condition-based Monitoring*) mises en œuvre dans des ouvrages d'art telles que des ponts.

Exemples d'applications

Le rayon d'action de l'Internet des objets est virtuellement illimité, comme en témoigne l'apparition quotidienne de nouveaux appareils et de nouvelles utilisations. Les applications architecturées autour d'un émetteur intelligent recueillent des données relatives à l'environnement dans lequel elles évoluent afin de prendre des décisions concernant la gestion de la chaleur, le déclenchement d'une alarme ou l'automatisation d'une tâche particulière. De plus, des instruments portables comme les compteurs de gaz ou les systèmes de mesure de la qualité de l'air envoient des relevés précis à un centre de contrôle *via* le cloud. Autres applications, les systèmes de suivi par GPS chargés de suivre des conteneurs au fil de leur parcours, mais également la surveillance des troupeaux grâce aux étiquettes connectées placées sur l'oreille des vaches. Ce ne sont là que quelques-uns des appareils connectés au cloud. Parmi les autres domaines, figurent bien sûr la santé et la détection des infrastructures.

Les applications industrielles connectées, qui s'inscrivent dans le cadre de la quatrième révolution industrielle (Industrie 4.0) où les usines intelligentes jouent un rôle central, sont en forte croissance. Un large éventail d'applications IoT sont utilisées pour maximiser l'automatisation des usines, que ce soit en utilisant des véhicules à guidage automatique (AGV — *Automated Guided Vehicles*), des capteurs intelligents (étiquettes RF ou manomètres) et autres capteurs environnementaux positionnés aux quatre coins des sites industriels.

Pour sa part, Analog Devices concentre son activité sur cinq grands domaines de l'Internet des objets :

- ▶ la santé intelligente, avec les applications de surveillance des signes vitaux au niveau clinique ou à l'attention du grand public ;
- ▶ les usines connectées, avec la mise en place de l'Industrie 4.0 pour rendre les usines plus réactives, flexibles et optimisées (principe « lean ») ;
- ▶ les bâtiments intelligents et les villes intelligentes, avec l'utilisation de capteurs intelligents pour assurer la sécurité des bâtiments, détecter le niveau d'occupation des places de stationnement ou contrôler les applications thermiques et électriques.
- ▶ l'agriculture intelligente, avec l'utilisation de la technologie disponible pour automatiser les activités agricoles et améliorer l'efficacité de l'exploitation des ressources ;
- ▶ et enfin, les infrastructures intelligentes, avec l'utilisation de notre technologie de surveillance conditionnelle (CbM) pour surveiller les déplacements et l'état des structures.

Pour de plus amples informations sur ces domaines d'intérêt et les technologies disponibles, visitez le site www.analog.com/IoT (en anglais).

IoT : quels défis pour les concepteurs ?

Quels sont les principaux défis que doit relever un concepteur dans le secteur en évolution permanente des applications connectées ? Ces appareils, également appelés « nœuds », sont en majorité installés *a posteriori* ou dans des zones difficiles d'accès, ce qui complique souvent leur alimentation en électricité. Autrement dit, l'alimentation de nombre de ces appareils déportés dépend en totalité de l'utilisation de batteries et/ou de la récupération d'énergie (*energy harvesting*).

La mise à disposition de l'énergie électrique dans des installations de grandes dimensions s'avère souvent assez coûteuse. Prenons l'exemple de l'alimentation d'un nœud IoT distant dans une usine. Poser de nouveaux câbles pour l'alimenter coûte cher et prend du temps, de sorte que l'alimentation par batterie ou la récupération d'énergie constituent les deux seules solutions viables.

La dépendance vis-à-vis des batteries impose de respecter un budget énergétique rigoureux dans le but de maximiser la durée de vie de la batterie, ce qui a bien sûr un impact sur le coût total de possession de l'appareil. Autre inconvénient, les batteries qui ont atteint leur fin de vie doivent être remplacées. Outre la batterie proprement dite, ce coût inclut celui, élevé, de la main-d'œuvre chargée de remplacer, voire d'éliminer les batteries usagées.

Il importe également de tenir compte de critères tels que le coût et la taille de la batterie ; il est très facile de surdimensionner la batterie pour la doter de la capacité suffisante pour atteindre la durée de vie attendue, très souvent supérieure à 10 ans. Toutefois, une conception trop ambitieuse entraîne des surcoûts et des dimensions excessives. C'est pourquoi il est extrêmement important, non seulement d'optimiser le budget énergétique, mais aussi de minimiser l'utilisation de l'énergie afin d'installer la batterie la plus compacte possible tout en respectant les exigences de conception.

Alimentation électrique et Internet des objets

Dans cet article, les sources d'alimentation des applications connectées sont considérées selon trois scénarios :

- ▶ les appareils alimentés par une batterie non rechargeable (batterie primaire) ;
- ▶ les appareils nécessitant l'utilisation de batteries rechargeables ;
- ▶ les appareils utilisant un processus de récupération d'énergie.

Ces sources d'énergie peuvent être utilisées séparément, mais également combinées en fonction de l'application.

Applications alimentées par une batterie primaire

Tout le monde connaît les différentes applications des batteries primaires, également appelées batteries non rechargeables, destinées aux applications qui nécessitent une alimentation occasionnelle, l'appareil alimenté étant mis sous tension avant de repasser en veille profonde avec une consommation d'énergie minimale. Cette source d'alimentation présente les avantages suivants : une densité d'énergie élevée, une conception relativement simple dans la mesure où il n'est pas nécessaire d'intégrer un circuit de charge et de gestion de la

batterie, et un coût modeste, compte tenu du faible prix des batteries et du nombre réduit de composants électroniques nécessaires. Ces batteries conviennent particulièrement aux applications peu onéreuses et basse consommation. Toutefois, en raison de leur durée de vie limitée, ces batteries ne conviennent pas aux applications où la consommation d'énergie est un peu plus élevée. En outre, la nécessité de les remplacer et l'intervention d'un technicien à cet effet augmentent les coûts.

Prenons l'exemple d'une installation connectée de grandes dimensions comportant de nombreux nœuds. Si un technicien est disponible sur site pour remplacer la batterie d'un appareil, il n'est pas rare qu'il remplace toutes les batteries en même temps afin de réduire le coût en main-d'œuvre. Bien sûr, c'est une forme de gaspillage qui ne fait qu'aggraver le problème global des déchets. Qui plus est, les piles non rechargeables fournissent environ 2 % seulement de l'énergie utilisée pour les fabriquer, de sorte que les 98 % d'énergie gaspillée en font une source d'énergie fort peu rentable.

Les batteries primaires conviennent naturellement aux applications connectées à l'IoT. En effet, leur coût initial relativement peu élevé en fait une solution idéale pour les applications basse consommation. Par ailleurs, elles sont disponibles dans une multitude de types et de tailles, et dans la mesure où l'électronique de charge ou de gestion est minime, ce type de batterie représente une solution intéressante.

S'agissant de la conception, le principal défi consiste à tirer le meilleur parti de l'énergie fournie par ces sources basse puissance. Dans cette optique, il est important de consacrer un certain temps à l'élaboration d'un plan de bilan énergétique afin de maximiser la durée de vie de la batterie, habituellement de l'ordre d'une dizaine d'années.

Dans le cas des applications alimentées par des batteries primaires, deux composants de la famille de composants de nanopuissance d'ADI méritent d'être pris en compte : le compteur de coulombs [LTC3337](#) et le régulateur-abaisseur nanopuissance [LTC3336](#) (figure 1).

Le LTC3336 est un convertisseur continu-continu basse consommation qui fonctionne sous une tension d'entrée pouvant atteindre 15 V avec un niveau de courant de crête programmable en sortie. La tension d'entrée peut descendre jusqu'à 2,5 V, ce qui en fait un composant parfait pour les applications alimentées par batterie.

Le courant de repos est exceptionnellement bas, de l'ordre de 65 nA en régulation sans charge. Ce convertisseur continu-continu est relativement facile à configurer et à utiliser dans une nouvelle conception. La tension de sortie est programmée en fonction de la façon dont les broches OUT0 à OUT3 sont connectées.

Compagnon du LTC3336, le circuit LTC3337 conjugue les fonctions de contrôleur de l'état de santé des éléments de batterie primaires et de compteur de coulombs. Ce composant peut lui aussi être utilisé sans difficulté dans un nouveau projet : il suffit de relier les broches IPK par rapport au courant de crête requis (entre 5 et 100 mA). Effectuez quelques calculs en fonction de la batterie choisie avant de placer le condensateur de sortie recommandé conformément au courant de crête sélectionné (se reporter à la fiche technique).

Ensemble, ces deux composants conviennent parfaitement aux applications IoT dont le budget énergétique est limité. Ces composants peuvent à la fois surveiller avec précision la consommation d'énergie de la batterie primaire et convertir avec efficacité la tension de sortie en une tension utilisable par le système.

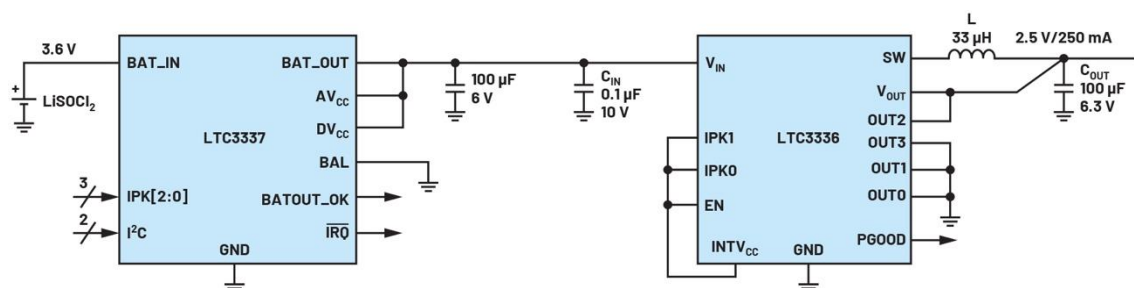


Figure 1. Circuit d'application des composants LTC3337 et LTC3336.

Applications des batteries rechargeables

Penchons-nous à présent sur les batteries rechargeables qui constituent un choix judicieux pour les applications connectées de forte puissance ou à consommation élevée, où le remplacement des éléments de batterie primaires n'est pas envisageable. La mise en œuvre d'une application alimentée par une batterie rechargeable

est plus onéreuse en raison du coût initial des batteries et du circuit de charge ; toutefois, dans les applications gourmandes en énergie où les batteries se déchargent et se rechargent fréquemment, le coût est justifié et rapidement rentabilisé.

Selon la chimie utilisée, une application alimentée par une batterie rechargeable affichera une consommation initiale inférieure à celle d'une batterie primaire, mais sur le long terme, cette option est la plus efficace et, dans l'ensemble, générera moins de déchets. En fonction des besoins en énergie, il est également possible d'opter pour le stockage par condensateur ou supercondensateur, même si ces deux solutions sont davantage destinées au stockage de secours à court terme.

Le processus de charge des batteries se décline en différents modes et profils spécialisés en fonction de la chimie utilisée. Par exemple, le profil de charge d'une batterie lithium-ion (Li-ion) est illustré à la figure 2. La tension de batterie est indiquée en abscisse et le courant de charge en ordonnée.

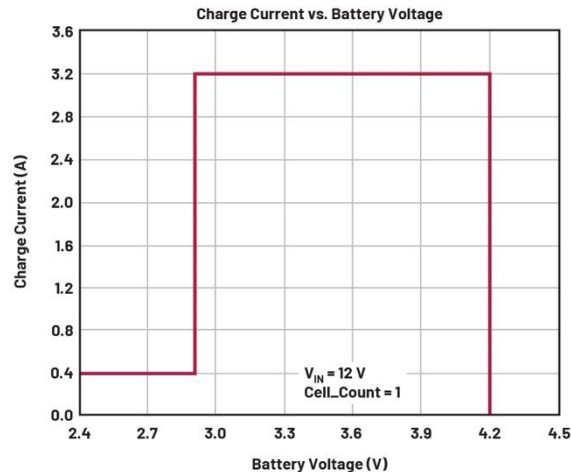


Figure 2. Courant de charge en fonction de la tension de la batterie.

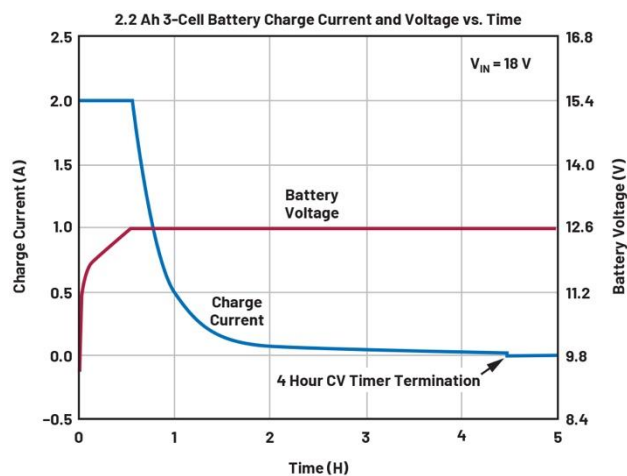


Figure 3. Tension/courant de charge en fonction du temps.

Lorsque la batterie est fortement déchargée (à gauche sur la figure 2), le chargeur doit être suffisamment « intelligent » pour la mettre en mode de précharge dans le but de porter lentement la tension de la batterie jusqu'à un niveau sûr, avant de passer en mode de courant constant.

En mode de courant constant, le chargeur envoie le courant programmé dans la batterie jusqu'à ce que la tension de la batterie atteigne la tension d'entretien programmée.

Le courant et la tension programmés sont définis par le type de batterie utilisé : le courant de charge est limité par le régime de charge/décharge (« C-rate ») et le temps de charge requis, tandis que la tension d'entretien est basée sur des valeurs considérées comme sûres pour la batterie. Les concepteurs peuvent réduire légèrement la tension d'entretien pour optimiser la durée de vie de la batterie si le système l'exige — dans le domaine de l'énergie, tout est généralement une question de compromis et d'équilibre.

Lorsque la tension d'entretien est atteinte, le courant de charge tombe à zéro et cette tension est maintenue pendant un certain temps en fonction de l'algorithme de terminaison.

La figure 3 illustre le comportement d'une batterie à 3 éléments au fil du temps. La tension de batterie est indiquée en rouge, et le courant de charge en bleu. Le courant de charge démarre en mode constant, plafonnant à 2 A jusqu'à ce que la tension de batterie atteigne le seuil de 12,6 V de tension constante. Le chargeur maintient cette tension pendant la durée définie par l'horloge de terminaison — dans ce cas, une fenêtre de 4 heures. Cette durée est programmable pour plusieurs composants du chargeur.

Pour de plus amples informations sur les techniques de charge de la batterie, ainsi que sur différents produits intéressants, nous recommandons la lecture de l'article paru dans Analog Dialogue sous le titre [Simple Battery Charger ICs for Any Chemistry](#) (en anglais).

La figure 4 représente un chargeur de batterie polyvalent commercialisé sous la référence [LTC4162](#), qui délivre un courant de charge pouvant atteindre 3,2 A et convient à une large gamme d'applications, telles que les instruments portables et les applications qui requièrent des batteries de plus grandes dimensions ou comptant plusieurs éléments. Le chargeur LTC4162 peut également être utilisé avec des sources solaires.

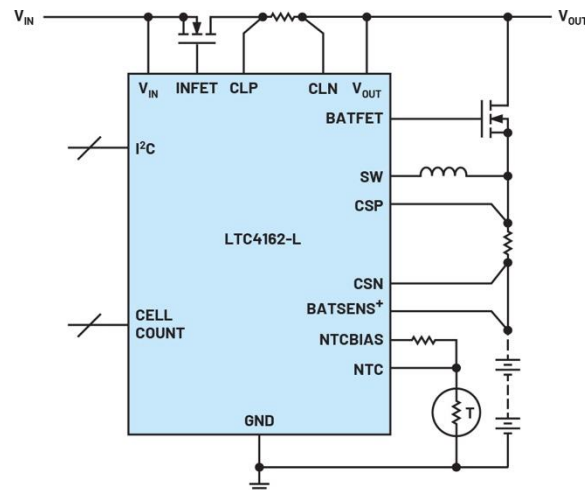


Figure 4. Le LTC4162 est un chargeur de batterie abaisseur (buck) de 3,2 A.

Récupération d'énergie

Les concepteurs qui travaillent sur des applications connectées et leurs sources d'alimentation doivent s'intéresser à une troisième option : la récupération d'énergie (*energy harvesting*). Bien sûr, plusieurs aspects doivent être envisagés, mais l'intérêt que représente une énergie gratuite ne peut être négligé, notamment dans le cas des applications dont les exigences énergétiques ne sont pas critiques ou des installations qui doivent tourner de façon autonome — par exemple parce qu'elles sont physiquement inaccessibles aux techniciens.

Il existe de nombreuses sources d'énergie de récupération, et elles ne sont pas toujours d'origine extérieure. Outre l'énergie solaire, il est en effet possible de capter l'énergie piézoélectrique ou vibratoire, l'énergie thermoélectrique, et même l'énergie RF (quoique sa puissance soit très basse).

La figure 5 représente les niveaux d'énergie pouvant être exploités à l'aide de différentes méthodes de récupération.

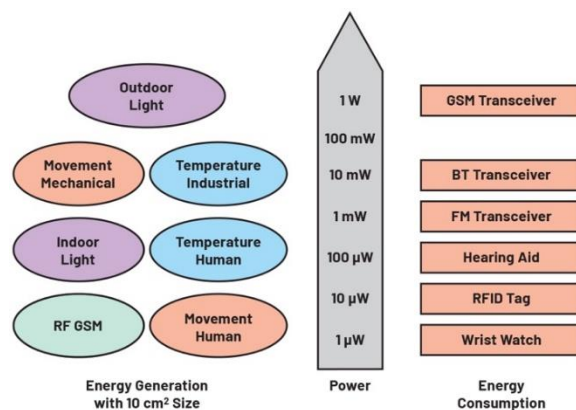


Figure 5. Sources d'énergie et niveaux approximatifs disponibles pour diverses applications.

Bien sûr, cette solution présente elle aussi certains inconvénients : à titre d'exemple, son coût initial est supérieur à celui des sources d'énergie évoquées précédemment. En effet, un élément de récupération est nécessaire (panneau solaire, récepteur piézoélectrique ou élément Peltier), de même qu'un circuit intégré de conversion d'énergie et les composants associés.

Autre désavantage, la taille globale de la solution est considérable, notamment par rapport à une pile bouton. Il est en effet impossible d'obtenir une solution aussi compacte avec un collecteur d'énergie et un circuit intégré de conversion.

En termes d'efficacité, la gestion des faibles niveaux d'énergie peut s'avérer délicate. En effet, la plupart des sources d'énergie sont en courant alternatif et doivent par conséquent être redressées. Des diodes seront utilisées à cet effet. Le concepteur doit gérer les pertes d'énergie inhérentes à leurs propriétés. L'impact de ces pertes diminue à mesure que la tension d'entrée augmente, mais ce n'est pas toujours possible.

Certains composants sont souvent évoqués dans les discussions relatives à la collecte d'énergie : il s'agit par exemple des références de la famille [ADP509x](#) ou du convertisseur élévateur [LTC3108](#) qui peuvent prendre en charge une large gamme de sources de récupération d'énergie avec de multiples chemins d'alimentation et options de gestion de charge programmables assurant une souplesse de conception maximale. Différentes sources d'énergie peuvent être utilisées pour alimenter les composants de la famille ADP509x, mais également pour en extraire de l'énergie dans le but de charger une batterie ou d'alimenter une charge système. De nombreux organes permettent d'alimenter un nœud IoT, des générateurs solaires (à l'intérieur et à l'extérieur) aux générateurs thermoélectriques conçus pour extraire l'énergie thermique de la chaleur corporelle des applications « wearables » ou produite par un moteur. Une autre option consiste à récupérer de l'énergie à partir d'une source piézoélectrique, ce qui ajoute une couche de flexibilité supplémentaire — c'est une solution intéressante pour extraire de l'énergie d'un moteur opérationnel.

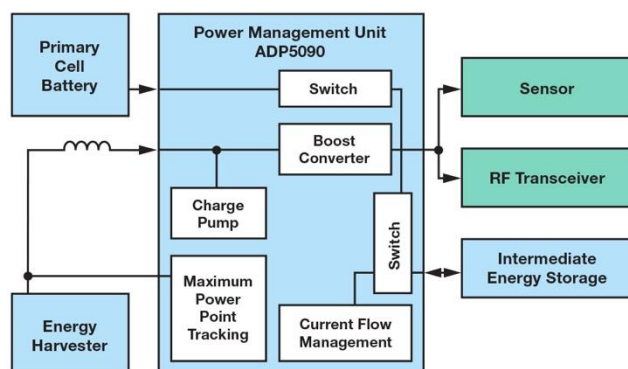


Figure 6. Synoptique du régulateur [ADP5090](#) dans une application de récupération d'énergie.

L'[ADP5304](#), un composant qui fonctionne avec un courant de repos très faible (260 nA typiques sans charge), peut lui aussi être alimenté par une source piézoélectrique, ce qui en fait une solution idéale pour les applications de récupération d'énergie à faible puissance. La fiche technique présente un circuit de récupération d'énergie typique (figure 7) alimenté par une source piézoélectrique et utilisé pour alimenter un convertisseur analogique/numérique ou un circuit intégré RF.

Gestion de l'énergie

La problématique de la gestion de l'énergie doit être intégrée à toute discussion relative aux applications dont le budget énergétique est limité. Dans un premier temps, il convient de calculer le budget énergétique de l'application avant d'envisager les différentes solutions de gestion de l'énergie. Cette étape essentielle aide les concepteurs à « comprendre » les composants clés utilisés dans le système, ainsi qu'à déterminer la quantité d'énergie dont ils ont besoin. Ce calcul influence le choix de la batterie — primaire ou rechargeable —, de la solution de récupération d'énergie, ou de la combinaison de ces éléments en tant que méthodologie d'alimentation.

La fréquence à laquelle un appareil connecté recueille un signal et le renvoie au système central ou au cloud est un autre détail important qu'il convient de prendre en compte dans le domaine de la gestion de l'énergie, compte tenu de son impact sur la consommation d'énergie globale. Une technique courante consiste à utiliser l'énergie disponible de façon cyclique ou à allonger le temps entre le réveil du système et la collecte et/ou l'envoi des données.

Enfin, l'utilisation d'un mode de veille avec chacun des appareils électroniques (si disponible) contribue à optimiser la gestion de la consommation d'énergie du système.

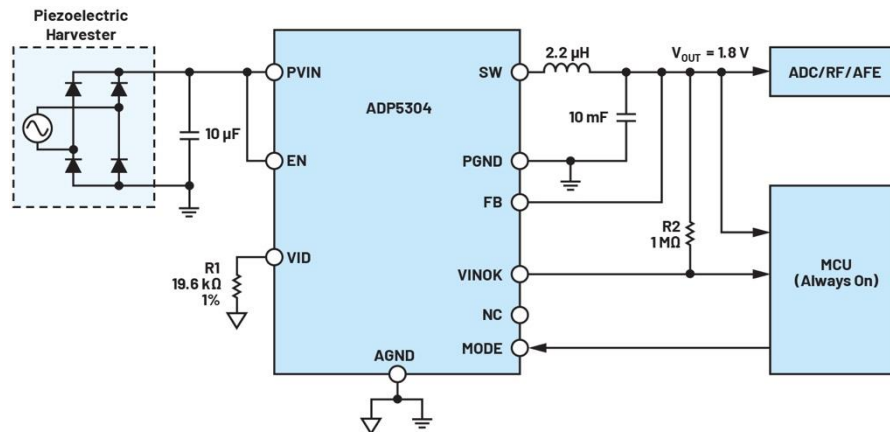


Figure 7. Synoptique de la source piézoélectrique ADP5304.

Conclusion

Comme dans de nombreuses applications électroniques, il est important de considérer au plus tôt la partie « gestion de l'énergie » du circuit, *a fortiori* dans les applications dont la consommation d'énergie est primordiale, telles que l'Internet des objets. L'élaboration d'un budget énergétique dès le début du processus peut aider les concepteurs à identifier le chemin le plus efficace et à choisir les composants qui lui permettront de relever les défis posés par ces applications, tout en atteignant une efficacité énergétique élevée dans une solution compacte.

Références

- ▶ Frederik Dostal, "[New Advances in Energy Harvesting Power Conversion](#)," Analog Dialogue, Vol. 49, No. 3, septembre 2015.
- ▶ Steve Knoth, "[Simple Battery Charger ICs for Any Chemistry](#)," Analog Dialogue, Vol. 53, No. 1, janvier 2019.
- ▶ Grainne Murphy, "[Internet of Things \(IoT\): What's Next](#)," Analog Devices, Inc., janvier 2018.
- ▶ Zachary Pantely, "[One-Size-Fits-All Battery Charger](#)," Analog Devices, Inc., septembre 2018.