

Moisson énergétique

ou l'art de glaner l'énergie ambiante pour bâtir une usine totalement autonome

Philip Neninger, Marco Ulrich de ABB Corporate Research.

Pour répondre aux besoins croissants de fiabilité et de réduction des temps improductifs, les industriels doivent en savoir plus sur l'état de santé de leurs actifs et donc placer toujours plus de capteurs sur leurs installations. Alternative aux fils d'alimentations trop nombreux ou aux batteries à la durée de vie limitée, la récupération de l'énergie dissipée dans la nature par les mouvements, le vent et la lumière, et son stockage pour alimenter des produits électroniques à faible consommation semble séduisante. Cette énergie étant disponible en abondance dans l'industrie des procédés, c'est là que notre « moisson énergétique » doit tracer son sillon.

peuvent représenter près de 90 % du coût total du dispositif, on mesure l'intérêt financier et technologique de l'instrumentation sans fil.

TECHNOLOGIE SANS FIL

Le sans-fil a beaucoup contribué au progrès technologique de ces 15 dernières années et s'est peu à peu imposé dans le process, notamment pour surveiller les actifs de production.

Les usines de transformation ayant en général une durée d'exploitation d'une vingtaine d'années, il faut impérativement maximiser leur retour

sur investissement durant cette période et les exploiter à leur optimum. Dans la mesure où un site n'est opérationnel que si tous ses équipements fonctionnent correctement, la fiabilité est primordiale. On y parvient en surveillant ces actifs afin d'anticiper leurs éventuels dysfonctionnements et d'en éliminer les causes. Mais pour cela, il faut obtenir davantage d'informations des

capteurs. Ces données peuvent provenir soit des capteurs en place, capables de fournir les mesures requises, soit de capteurs supplémentaires montés en d'autres points du process.

Dans ce dernier cas, il faut minimiser le coût d'installation de ces équipements pour maximiser les bénéfices tirés de leur emploi. Quand on sait que le câblage et l'installation

Les solutions sans fil se sont invitées dans l'industrie des procédés dès les années 1960. Pourtant, elles se sont cantonnées à des applications spécifiques avec des produits « métier ». À l'instar des bus de terrain, le déploiement des protocoles sans fil passe par un référentiel mondial ralliant tous les constructeurs. C'est le cas de Wireless-HART, premier standard international de communication sans fil industrielle au niveau des instruments de terrain.

La fiabilité des transmissions est l'une des priorités de l'automatisation des procédés. Le réseau maillé répond à cette exigence : il assure un premier niveau de redondance des connexions entre deux nœuds de capteurs, en faisant passer l'information par d'autres chemins pour arriver à destination. Ce maillage augmente la tolérance aux erreurs de transmission et permet à un réseau bien conçu de pallier les défaillances d'une liaison et d'un

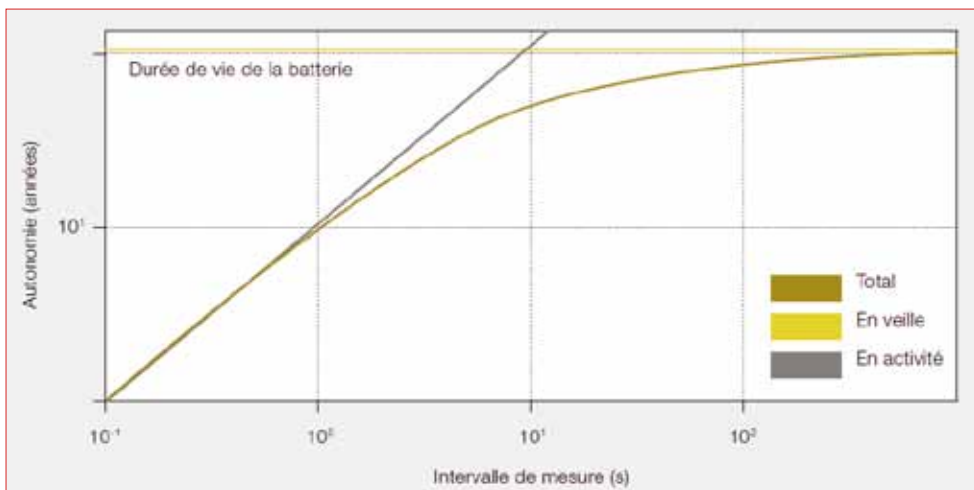


Figure 1 – Rapport entre l'autonomie et l'intervalle de mesure d'un capteur de température idéal.

dispositif de routage. De plus, la redondance spatiale fiabilise la communication, même dans la bande de fréquences ISM (industrielle, scientifique et médicale), souvent encombrée. Ration de l'architecture maillée, le réacheminement des messages de même que la contrainte de sécurité en continu gonflent le budget énergétique qu'il faut alors optimiser en réduisant la consommation des capteurs.

CONSOMMER MOINS POUR MESURER PLUS

Au chapitre de la consommation électrique, il existe de grandes différences entre équipements filaires et sans fil. Prenons l'exemple d'un transmetteur de température industriel « câblé ». Alimenté par la boucle de courant 4–20 mA, il mesure notamment la résistance d'une sonde Pt100 4 fils (et donc la température à l'extrémité du capteur) à de très courts intervalles (toutes les 100 ms, par exemple, selon le type et la configuration de l'instrument). Comme la BC 4–20 mA fournit en permanence jusqu'à 40 mW, l'appareil est limité par cette puissance, alors que sa consommation est insignifiante.

De son côté, un capteur sans fil n'a pas besoin de mesurer la température plusieurs fois par seconde car la plupart des réseaux de capteurs de process ne gèrent pas de boucles de régulation rapides avec de si courts intervalles de rafraîchissement.

Entre les mesures, le transmetteur se contente de relayer les messages jusqu'aux autres nœuds. Le reste du temps, l'électronique peut basculer en mode faible consommation ; dispensée de tout calcul ou

mesure, elle n'utilise qu'une partie de la puissance débitée.

Dans ce mode, on peut estimer la consommation de l'appareil en tenant compte de la puissance utilisée en modes actif et faible consommation, et du cycle de fonctionnement de l'appareil. Pour le capteur de température de notre exemple, ce cycle est à peu près corrélé à la fréquence de scrutation. Abstraction faite de l'autodécharge de la batterie, on obtient une estimation grossière de l'autonomie d'un appareil (idéal) (figure 1) alimenté par batterie.

OPPORTUNISME ÉNERGÉTIQUE

Remplacer les batteries à intervalles réguliers n'est donc pas la panacée ; selon la configuration du site, cela risque même de réduire à néant les économies du sans-fil. La récupération de l'énergie dissipée dans notre environnement peut remédier à cet inconvénient pour créer des équipements complètement autonomes.

Le principe ? Transformer en électricité l'énergie engendrée par l'activité et le milieu environnant pour alimenter des appareils sans fil. Cette énergie est puisée d'une multitude de sources comme les variations de température (procédés chauds et froids), le rayonnement solaire, les vibrations, la circulation des fluides ou les pièces en mouvement (énergie cinétique). Trois modes de conversion sont privilégiés : photovoltaïque, thermoélectrique et cinétique.

Photo voltaïque

Si le photovoltaïque a fait aujourd'hui la preuve de sa robustesse, son utilisation en intérieur est plutôt limitée.

L'ensoleillement en extérieur approche certes 1 000 W/m² mais retombe en intérieur aux alentours de 1 W/m² : une bien maigre « récolte » d'énergie !

Thermoélectricité

Les générateurs thermoélectriques utilisent des matériaux qui, soumis à un gradient ther-

mique (différence de température entre procédés chauds ou froids et milieu ambiant), produisent une force électromotrice : c'est l'effet Seebeck.

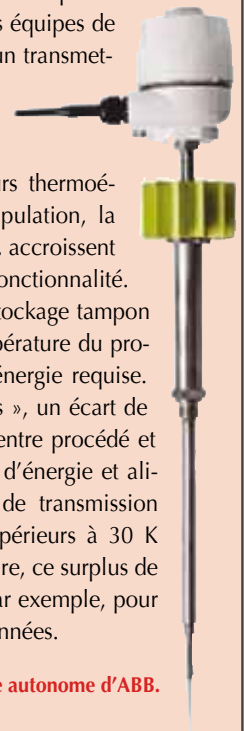
Malgré de faibles rendements de conversion (le plus souvent inférieurs à 1 %), la technique a l'avantage d'être robuste et

UN TRANSMETTEUR DE TEMPÉRATURE AUTONOME

Pour ABB, l'autonomie énergétique des composants est une piste à suivre. Pour preuve, ses équipes de recherche ont développé récemment un transmetteur de température totalement autonome sur le principe d'une récupération d'énergie entièrement intégrée.

Le dispositif embarque des générateurs thermoélectriques qui, sans modifier la manipulation, la stabilité et l'encombrement du capteur, accroissent considérablement sa longévité et sa fonctionnalité. Il intègre également une solution de stockage tampon « intelligent », dans les cas où la température du procédé est insuffisante pour produire l'énergie requise. Grâce à l'usage de « microgénérateurs », un écart de température minimal d'environ 30 K entre procédé et air ambiant suffit pour produire assez d'énergie et alimenter l'électronique de mesure et de transmission sans fil. Des gradients thermiques supérieurs à 30 K fournissent plus d'énergie que nécessaire, ce surplus de puissance pouvant être mis à profit, par exemple, pour augmenter le rythme de lecture des données.

Transmetteur de température autonome d'ABB.



Malgré sa petite taille (8 mm² seulement), ce microgénérateur thermoélectrique peut fournir des tensions de sortie élevées. Source : Micropelt GmbH



Différentes sources d'énergie récupérées de l'activité industrielle ou de l'environnement pour produire de l'électricité.

stable. De plus, l'industrie est souvent une grande dissipatrice de chaleur, notamment dans le process. L'énergie fournie par des thermogénérateurs du commerce suffit donc à maintenir en activité un grand nombre de nœuds de capteurs sans fil, dans différents contextes.

Conversion cinétique

La conversion directe d'énergie mécanique (vibratoire, par exemple) en électricité obéit à différents principes :

- Les convertisseurs électromagnétiques utilisent une bobine souple qui se déplace dans le champ magnétique statique d'un petit aimant permanent, générant une tension (loi de Faraday).

- La piézoélectricité fait appel aux propriétés des matériaux piézoélectriques : le déplacement d'une masse étalon en suspension exerce une contrainte mécanique sur le matériau piézoélectrique et crée un signal électrique.

- Les transducteurs électrostatiques s'appuient sur un condensateur polarisé variable : l'application de forces mécaniques empêche l'attrac-

tion des plaques de charges opposées du condensateur, induisant une variation de capacité et un courant électrique dans le circuit fermé.

En résumé, tous les principes de conversion cinétique sont basés sur un résonateur mécanique qui fait que ces systèmes ne peuvent débiter une puissance raisonnable que si la fréquence de résonance du dispositif de récupération d'énergie correspond à la fréquence d'excitation externe. L'utilisation de variateurs de fréquence dans le procédé limite la mise en œuvre de systèmes récupérateurs d'énergie vibratoire.

CONSTITUTION ET ARCHITECTURE

La récupération d'énergie peut être un processus discontinu : dans le cas des applications photovoltaïques extérieures, par exemple, l'intermittence jour-nuit considérable rend cette ressource énergétique instable ; dans l'usine, les arrêts de production peuvent entraîner des écarts de température du process jouant sur

la quantité d'énergie fournie par les générateurs thermoélectriques ; enfin, nous l'avons vu, les variateurs de fréquence restreignent l'intérêt de la récupération d'énergie vibratoire. En contrepartie, il peut y avoir des moments où ces systèmes délivrent plus d'énergie que nécessaire.

Le profil de consommation électrique des nœuds de capteurs sans fil est lui aussi fluctuant : le cycle de fonctionnement et la vitesse de rafraîchissement variables du capteur peuvent occasionner des pointes de charge qui doivent être mises en tampon pour pallier l'incapacité de ces systèmes à supporter de forts courants de courte durée. Chaque dispositif récupérateur d'énergie a besoin d'un stockage intermédiaire permettant de suppléer les intermittences de la fourniture électrique au nœud de capteur, à savoir :

- des supercondensateurs ou des condensateurs à couches hybrides spéciaux, qui tolèrent de forts courants de crête ;
- des cellules secondaires rechargeables ;

- des cellules primaires traditionnelles qui, à défaut de stocker le surplus d'énergie du système récupérateur, peuvent prendre ponctuellement le relais de l'alimentation des capteurs ;

- des cellules primaires industrielles classiques dont la grande longévité et la faible autodécharge font une solution de substitution très fiable.

Les cellules secondaires classiques au lithium-ion souffrent d'un nombre limité de cycles de décharge/charge. La récupération d'énergie doit s'accompagner d'une gestion de l'énergie idoine pour garantir une alimentation 100 % autonome. Deux objectifs sont visés :

- Adapter les caractéristiques de tension et de courant de sortie du système récupérateur aux exigences d'entrée du consommateur électrique ;
- Basculer en douceur du stockage tampon aux différentes sources récupératrices d'énergie.

PERSPECTIVES D'AVENIR

Les composants alimentés par récupération de l'énergie ambiante lèvent le handicap majeur des nœuds de capteurs sans fil, à savoir le remplacement régulier des cellules primaires, et permettent d'en réduire le coût global de possession. Si la récupération d'énergie ne convient pas à tous les capteurs ni à toutes les applications, c'est néanmoins une source d'énergie viable pour un large éventail d'appareils. En fonctionnant ainsi de manière totalement autonome, ces derniers nous permettront de mieux comprendre et piloter les procédés industriels pour en accroître la rentabilité. ■