

Le bon tuyau de la boucle 4-20 mA

L'adaptateur FieldKey d'ABB trace la voie du sans-fil WirelessHART basse consommation

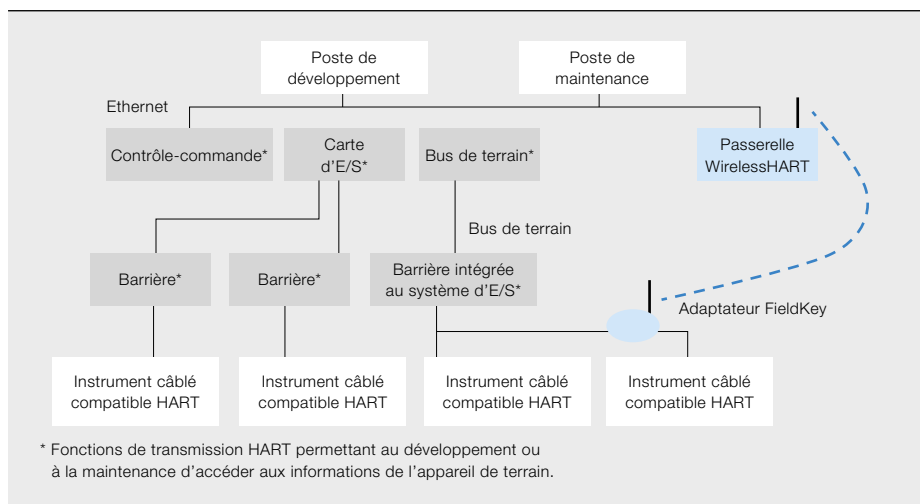
YANNICK MARET, STEFAN U. SVENSSON, TILO MERLIN – Nombreux sont les instruments de terrain utilisant la transmission analogique 4-20 mA, en automatisation industrielle, à être dotés de capacités de communication HART (*Highway Addressable Remote Transducer*). Or ces fonctions ne servent bien souvent qu'au stade de la mise en service et les données de configuration, diagnostics ou autres mesures du *process*, pourtant utiles à l'exploitation, restent consignés dans l'instrumentation. Pour les renvoyer à un poste de développement et de maintenance sans perturber les instruments de la boucle de courant (BC) 4-20 mA, ABB a développé l'adaptateur « FieldKey » : celui-ci ajoute des fonctions de transmission sans fil aux appareils HART du réseau par l'entremise d'une passerelle sans fil, ce qui lui vaut d'être le premier adaptateur WirelessHART à être reconnu par la fondation HART. Bien qu'il tire son énergie directement de la boucle de courant, il arrive que cette « auto-alimentation » soit limitée. ABB a donc mis au point des techniques pour limiter la consommation de l'adaptateur et son impact sur la BC 4-20 mA existante.

Photo ci-contre

Les techniques d'ABB pour diminuer la consommation de son adaptateur FieldKey bénéficieront à bien d'autres secteurs industriels.







Les principaux constituants d'une boucle de courant analogique sont habituellement un générateur de tension et un circuit de traitement du signal (émetteur) qui fait varier le courant de 4 à 20 mA proportionnellement à la grandeur physique mesurée ou à la donnée de contrôle-commande. Tout appareil raccordé en série à la boucle peut alors lire ce signal analogique et en transmettre la valeur. De nos jours, de nombreux instruments 4-20 mA dialoguent sous protocole HART [1].

Ce protocole met en œuvre une modulation par déplacement de fréquence qui superpose l'information numérique au 4-20 mA. Or une transmission HART complète, capable de remonter les données de terrain au système de contrôle-commande, coûte trop cher à implanter dans les zones dangereuses d'un procédé industriel → 1. C'est pourquoi elle n'entre en jeu qu'en phases de configuration et de mise en service, piégeant des données cruciales (mesures ou diagnostics) dans l'appareil de terrain. En

Si des installations HART récentes possèdent un canal de retour vers les applications de suivi d'état, force est de constater que 80 % des instruments de terrain en sont encore privés. Il est vrai qu'exploiter cette information à des fins de maintenance prédictive ou de gestion des actifs industriels obligerait à remplacer ou à recâbler la majorité des blocs d'entrées/sorties ! Pour s'épargner ces travaux d'Hercule, ABB a développé l'adaptateur sans fil FieldKey qui offre un canal de retour économique et sûr vers les applications hôtes distantes sans perturber le fonctionnement de la BC 4-20mA [2], faisant office de tête de pont bidirectionnelle entre la technologie HART câblée et le sans-fil WirelessHART.

FieldKey peut se raccorder en n'importe quel point de la BC 4-20 mA. De plus, pour minimiser les frais d'installation et de maintenance, il est « auto-alimenté », c'est-à-dire qu'il s'adapte automatiquement à l'énergie disponible ; relié en série à la BC 4-20 mA installée → 2, il doit

être capable de puiser assez d'énergie pour s'alimenter en créant une chute de tension sur la boucle. Pour autant, cette chute représentant une perte de tension supplémentaire pour la boucle, elle

a travaillé sur deux fronts : limiter l'impact de FieldKey sur la BC 4-20 mA et réduire sa consommation.

Pour le premier objectif, ABB a développé une méthode novatrice de « régulation adaptative de la chute de tension » qui utilise un nouveau circuit de blocage et permet l'insertion d'une résistance série « virtuelle ». Pour le second, il a pu optimiser la conception de l'adaptateur en termes de consommation énergétique, notamment en diminuant le courant de fuite de l'imposante batterie de condensateurs utilisée pour lisser les pointes de puissance.

Limiter l'impact sur la boucle 4-20 mA

Perte de tension optimisée

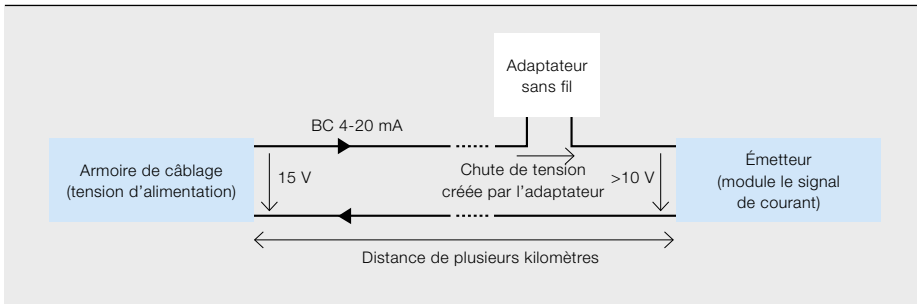
L'idée centrale de notre régulation adaptative de chute de tension est d'adapter la perte de tension occasionnée par FieldKey, en fonction du courant qui circule dans la boucle. Sachant que ce courant est déterminé par l'émetteur et que l'adaptateur a besoin d'une puissance constante d'environ 5 mW pour fonctionner, il faut en fait une tension moins élevée à de forts courants de signal qu'à des courants faibles. De plus, la perte de tension résistive induite par le câblage est maximale à des niveaux de courant plus élevés. Par conséquent, la tension disponible aux bornes de l'appareil de terrain est à son plus bas niveau à 20 mA, et à son plus haut niveau à 4 mA. Dans la pratique, le câblage étant souvent d'une longueur proche de la maximale autorisée, la tension de l'appareil s'approche du seuil minimal accepté par ce dernier. Conclusion : la chute de tension créée par

ABB a mis au point des techniques pour réduire la consommation de l'adaptateur FieldKey et limiter son impact sur la boucle 4-20 mA existante.

fait, de nombreux composants, tels que des barrières, ne sont conçus que pour véhiculer le 4-20 mA vers le contrôle-commande, en phase d'exploitation.

doit être assez faible pour ne pas pénaliser les autres appareils. À l'inverse, la minimiser revient à restreindre la puissance disponible. Pour y remédier, ABB

2 Insertion de l'adaptateur FieldKey dans une boucle de courant 4-20 mA existante



l'adaptateur FieldKey est plus importante à des courants faibles qu'à des courants élevés → 3.

La résistance série, qui réalise la conversion du 4-20 mA en tension et inversement, contribue grandement à la perte de tension continue (CC) dans la boucle, qui peut atteindre 2,5 V. L'adaptateur FieldKey lui substitue une équivalente « virtuelle » qui fait office de résistance de $240\ \Omega$ dans la plage de fréquences HART et de $0\ \Omega$ en courant continu.

La régulation adaptative de chute de tension et la résistance virtuelle sont toutes deux obtenues par le traitement du signal analogique en vue de minimiser la consommation d'énergie. Le schéma de principe de l'électronique mise en œuvre figure en → 4.

Le frontal câblé est avant tout composé d'un modulateur HART et d'un régulateur de tension continue. Le modulateur ne fait pas que moduler le signal HART ; il régule aussi la chute de tension créée par l'adaptateur. De son côté, le régulateur crée une tension continue stable qui peut alimenter le convertisseur élévateur CC/CC.

Réduire la consommation

Optimisation du courant de fuite

L'adaptateur FieldKey → 5 n'est rien d'autre qu'un récupérateur d'énergie. Cependant, il lui faut puiser son alimentation d'un dispositif (en l'occurrence, la BC 4-20 mA) qui n'est tout bonnement pas conçu pour ! La puce WirelessHART nécessite une puissance de crête supérieure à ce qui peut être prélevé de la

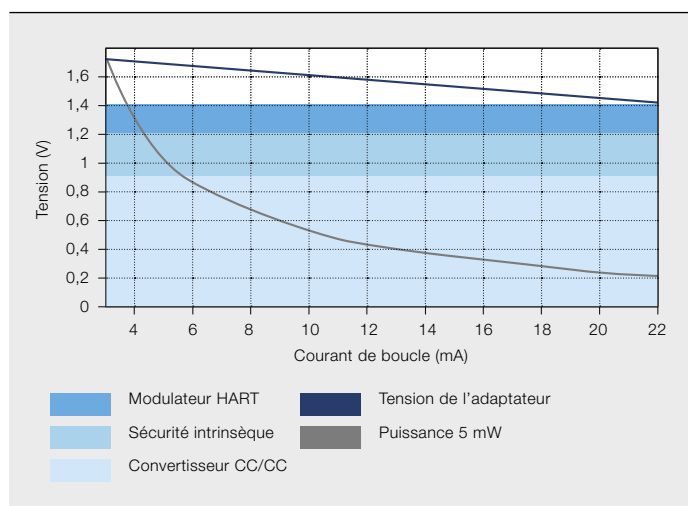
boucle (concrètement, jusqu'à 100 mW pour une opération d'écriture de mémoire flash d'une durée de 30 ms ou 75 mW pour un échange de données sur la liaison sans fil pendant 5 ms). La puissance réellement disponible est égale au produit du courant minimal de boucle (4 mA) et de la perte de tension engendrée par l'adaptateur : à une perte de 1,5 V correspond ainsi une puissance de 6 mW. Il en ressort que l'obligation de minimiser la chute de tension limite la puissance disponible.

Un gros tampon capacitif de 6 mF est nécessaire pour obtenir une puissance de crête moyenne mais il induit un courant de fuite à des températures élevées et, donc, des pertes en ligne. Seuls les condensateurs électrolytiques permettent d'atteindre 6 mF dans un volume raisonnable. Si certains condensateurs en aluminium affichent un très faible courant de fuite, ils sont écartés en raison des exigences de sécurité intrinsèque → 6 qui interdisent les modèles à électrolyte liquide [3]. On leur préfère leurs cousins à électrolyte solide, surtout les condensateurs tantale et niobium. Néanmoins, à la différence de paramètres comme la résistance série équivalente ou la capacité, le courant de fuite direct n'est pas la priorité du marché des condensateurs électrolytiques solides en matière d'optimisation. Le plus faible courant de fuite pour le condensateur tantale est obtenu en utilisant le composant à environ 30 à 40 % de sa tension nominale [4] ; en-dessous, le courant de fuite est principalement dû à l'absorption diélectrique ; au-dessus, il est dominé par le courant de défaut. Conséquence :

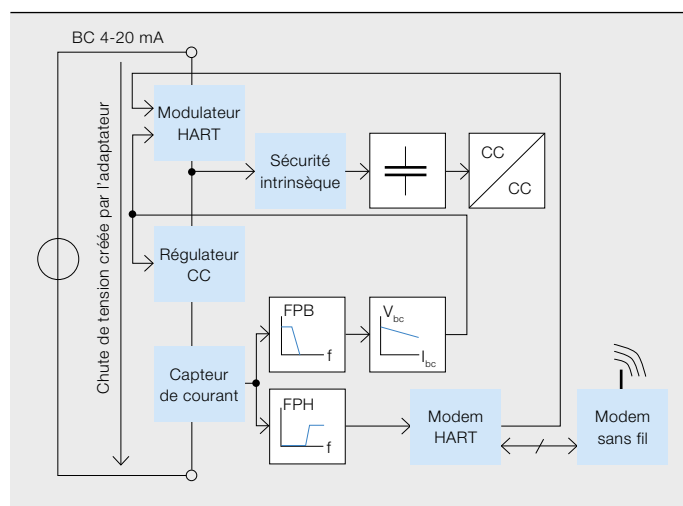
L'adaptateur FieldKey doit prélever son énergie d'un procédé qui n'est pas fait pour cela !

Un appareil conforme aux règles de la sécurité intrinsèque peut fonctionner en atmosphère explosible gazeuse sans nécessiter une coûteuse enveloppe hermétique.

3 Chute de tension créée par l'adaptateur FieldKey



4 Schéma de principe du frontal câblé



pour une tension interne de 3 V, le condensateur doit être calibré à 10 V.

La solution ? Une batterie de 12 condensateurs Kemet¹ 470 μ F/10 V, dont le courant de fuite est du reste bien inférieur à ce qu'indique la documentation constructeur. Deux exemples : sous une tension de fonctionnement de 10 V, le courant de fuite est annoncé à 14 μ A par condensateur

à 25 °C et 5 fois plus à 85 °C ; sous 3,6 V, les courbes de déclassement indiquent un courant de fuite maxi de 8,5 μ A par condensateur à 25 °C, là encore multiplié par 5 à 85 °C. Pour autant, des mesures réalisées par Kemet sur plusieurs échantillons révèlent des valeurs ne dépassant pas 5,1 μ A par condensateur à 85 °C sous 3,6 V, et 55 μ A sous 10 V → 7. Ces valeurs traduisent une baisse du courant de fuite d'environ 90 % à une tension de fonctionnement de 3,6 V et de seule-

ment 20 % sous 10 V : des résultats que corroborent les valeurs données par un autre fabricant [4].

Blocage du courant inverse basse tension

Pour être conformes à la normalisation sur la sécurité intrinsèque [3], les condensateurs de forte capacité doivent être protégés par un boîtier et reliés à l'électronique externe par une barrière de blo-

Le plus faible courant de fuite pour le condensateur au tantale est obtenu en utilisant le composant à environ 30 à 40 % de sa tension nominale.

cage de courant inverse : le but est de limiter, en cas de défaillance, les transferts d'énergie thermique et électrique des condensateurs aux parties situées à l'extérieur de l'enveloppe. Selon la

Note

1 Référencés B45197A2477K509.



Un matériel à sécurité intrinsèque a le grand avantage d'être utilisable en atmosphère explosible gazeuse, sans avoir besoin d'une coûteuse protection hermétique. Pour autant, la réglementation en vigueur limite l'énergie dissipée accidentellement par l'électronique avec pour conséquence, notamment, de n'autoriser que les condensateurs relativement petits. Si la tension sur ces composants est limitée à 5 V, par exemple, la somme des condensateurs ne doit pas dépasser 100 μF pour les équipements autorisés à fonctionner en ambiance gazeuse extrêmement volatile. Il y a deux façons de limiter cette énergie : ajouter une résistance en série ou empêcher l'énergie de repartir dans la zone dangereuse à l'aide de diodes Schottky. Hélas, ces deux techniques ont leur travers : de grosses pertes résistives pour la première, une importante chute de tension pour la seconde.

Une interface BC 4-20 mA basse consommation à sécurité intrinsèque a l'inconvénient d'accroître la probabilité théorique d'interférer avec le courant de boucle en cas de défaillance d'un composant. Malgré les capacités de diagnostic étendu que confère l'adaptateur FieldKey, la baisse de fiabilité du système est inacceptable. Une analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) permet de calculer la moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF) des différentes solutions.

norme, l'énergie stockée dans le tampon capacitif requis de 6 mF est trop importante et nécessite donc une barrière de sécurité.

Or les solutions traditionnelles, à diodes par exemple, induisent une forte perte de tension tandis que les composants plus complexes (circuits intégrés, par exemple) sont interdits par les organismes de certification, au double motif que les défauts sont difficiles à analyser et que le système de protection doit fonctionner, en cas d'anomalie, sans alimentation. Ces raisons ont amené ABB à proposer une nouvelle barrière de puissance quasi nulle, plus performante que la solution à diodes.

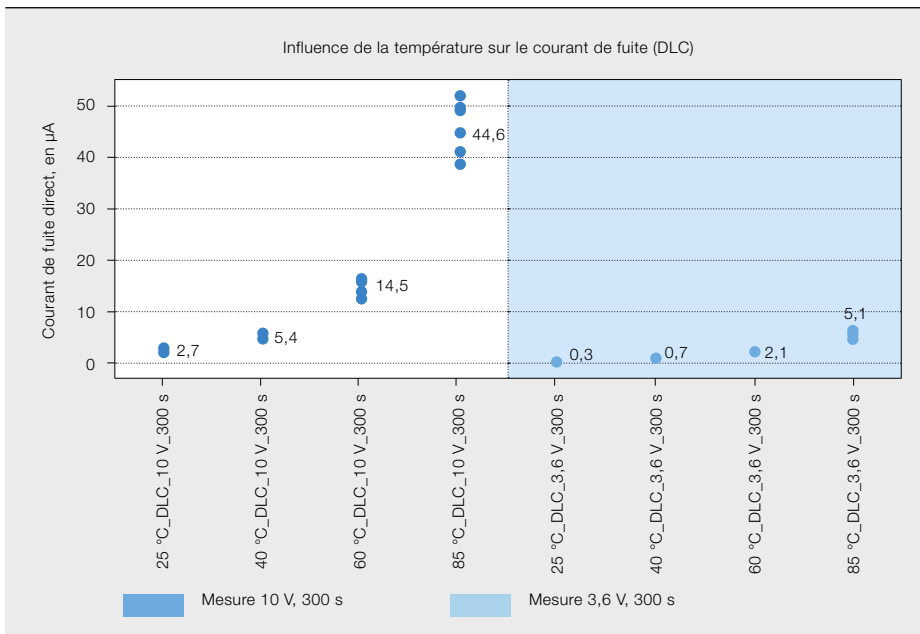
Une barrière classique se compose de plusieurs diodes au silicium en série [5]. Dans certaines régions du monde, deux suffisent ; dans d'autres, il en faut obligatoirement trois. Pour minimiser les pertes de tension, on utilise des diodes Schottky. La chute de tension totale provoquée par les trois diodes en série, à température ambiante, avoisine 0,5 V. Néanmoins, lorsque la température baisse,

les porteurs de charge sont moins nombreux et la chute de tension augmente pour une valeur de courant donnée ; dans pareil cas, elle peut atteindre 1 V à -40°C .

La solution ABB est illustrée en [→ 8](#) pour trois étages de protection : en mode direct ($V_1 > V_0$), seuls les transistors et résistances du bas déterminent le comportement du circuit de protection, les transistors du haut étant polarisés en sens inverse et, donc, non conducteurs. Les transistors du bas sont polarisés dans le sens passant et saturés. La chute de tension totale provoquée par les trois transistors est par conséquent très faible, quelle que soit la valeur de température. Ces transistors étant saturés, le courant de base requis est bien plus élevé qu'en sens direct normal ; du coup, une quantité non négligeable de courant émetteur passe dans la base.

En mode inverse ($V_0 > V_1$ et $V_0 > 0,6\text{ V}$), les transistors du haut sont polarisés en direct et conducteurs ; ils ont pour but de rendre les trois transistors du bas non conducteurs en les polarisant en sens

L'électronique a été conçue selon une approche itérative pour distribuer au mieux la puissance disponible, en fonction des différents modes de fonctionnement et de transmission de l'appareil.



Une équipe d'ingénieurs et de chercheurs ABB a développé un adaptateur sans fil WirelessHART affichant la plus faible chute de tension du marché.

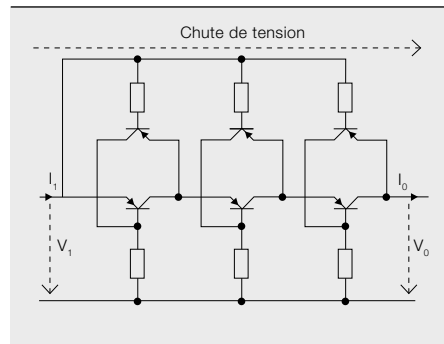
inverse, ce qu'impose la relative symétrie des transistors bipolaires. En fait, il est possible d'inverser collecteur et émetteur, le transistor continuant de fonctionner comme un transistor, en dépit de médiocres caractéristiques. Il en ressort qu'un circuit de protection composé uniquement des transistors du bas ne bloquerait pas totalement le courant.

Avec la protection classique à trois diodes Schottky série, pour une tension V_1 de 1,5 V et un courant I_1 de 4 mA, la perte de tension en mode direct à -40°C est d'environ 0,78 V, et le rendement énergétique aux alentours de 48 % ; avec la barrière à transistors ABB, dans les mêmes conditions, la perte de tension en mode direct avoisine 193 mV et celle de courant 69 μA , le rendement énergétique tournant autour de 85 %. Le détail de la solution est donné en [6].

Le circuit électronique a été conçu à l'aide d'une méthode itérative pour optimiser la répartition de la puissance disponible, suivant les différents modes de fonctionnement (secours, démodulation et modulation) et la nature de l'appareil (analogique, numérique). Grâce aux techniques exposées dans cet article, une équipe d'ingénieurs et de chercheurs ABB a développé un adaptateur sans fil WirelessHART garantissant la plus faible chute de tension du marché.

Pour en savoir plus, rendez-vous sur www.abb.com/fieldbus.

8 Solution ABB de blocage de courant inverse



Yannick Maret

ABB Corporate Research
Baden-Dättwil (Suisse)
yannick.maret@ch.abb.com

Stefan U. Svensson

ABB Corporate Research
Ludvika (Suède)
stefan.u.svensson@se.abb.com

Tilo Merlin

ABB Measurement Products
Allemagne
tilo.merlin@de.abb.com

Bibliographie

- [1] FSK Physical Layer Specification, HART Communication Foundation, août 1999.
- [2] Johnston, G., « Sans-fil industriel : débloquent l'information », *Revue ABB*, 4/2009, p. 27-32.
- [3] Norme CEI 60079-11, *Atmosphères explosives – Partie 11 : protection de l'équipement par sécurité intrinsèque « i »*, 5^e édition, 2006-2007.
- [4] Zednicek, T., et al., *Tire pressure monitoring system life time improvement by low leakage tantalum and NbO capacitors*, AVX, 2009.
- [5] Gaunt, D., « Intrinsic safety-simplicity itself », *Fourth International Conference on Electrical Safety in Hazardous Areas*, p. 103-105, novembre 1988.
- [6] Maret, Y., Schrag, D., Bloch, R., « On increasing the power available to an intrinsically safe wireless HART FieldKey », *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 2011.