



Ligne de crête

Des algorithmes pour lisser la puissance crête
appelée par les procédés électrothermiques

HOLGER KRÖHLER, ANDREAS SCHADER, REINHARD BAUER, SILKE KLOSE, SUBANATARAJAN SUBBIAH – De nombreuses applications industrielles sont très gourmandes en énergie électrothermique qui coûte cher, plus encore si les appels de puissance crête sont très fréquents. Le nouveau régulateur à thyristors DCT880 d'ABB pour procédés de chauffage intègre des algorithmes d'optimisation qui réduisent les coûts énergétiques en lissant la puissance crête appelée. Totalement automatique, l'optimisation

ne modifie en rien le procédé ni le plan de production. Le composant principal est un logiciel embarqué qui ne nécessite aucun autre équipement de conduite (automate programmable, par exemple). Les algorithmes divisent les appels de puissance en micropériodes qu'ils décalent dans le temps ; le décalage est tellement infime qu'il n'a aucune incidence sur le procédé. En sélectionnant judicieusement les périodes de décalage, la puissance crête appelée peut, dans bien des cas, être considérablement réduite.



Tous les procédés de chauffage sont énergivores. En électrothermie, la facture énergétique globale est souvent alourdie par le surcoût des appels de puissance crête. Les gros consommateurs doivent très fréquemment payer des pénalités qui contribuent au maintien de la stabilité des réseaux électriques et des centrales de production. Cette stratégie tend à se généraliser dans un contexte d'intégration croissante des sources d'énergie renouvelable.

Pour atténuer les appels de puissance crête, une solution consiste à répartir les tâches électro-intensives tout au long de la journée. Pour autant, cela ne supprime pas ceux survenant sur une période plus courte. Le régulateur à thyristors DCT880 fonctionne différemment : il répartit la charge pour abaisser au maximum la puissance crête → 1. Il optimise ainsi le coût de la régulation des chauffages par résistance, par induction et par rayonne-

ment infrarouge dans les applications de recuit, de séchage et de fusion, et dans des secteurs industriels comme le verre, le plastique et la métallurgie.

Configuration générale

Beaucoup d'applications électrothermiques industrielles regroupent, sur un même site, un grand nombre d'appareils de chauffage dont la consommation énergétique varie. Certains fonctionnent en circuits couplés et tous peuvent être supervisés par une commande centrale ou séparément par des régulateurs PID locaux.

Quelle que soit la configuration, une alimentation électrique de qualité s'impose. Pour cela, la commande des appareils électrothermiques peut se faire en alimentation double alternance, soit en laissant passer les ondes sinusoïdales pleines, soit en les bloquant complètement pour allumer ou éteindre totalement les appareils → 2. Pour optimiser la puissance appelée, le régulateur DCT880 fonctionne en mode double alternance. D'autres modes sont également possibles : demi-onde, démarrage et arrêt progressifs ou encore contrôle de l'angle de phase → 3.

Une application d'électrothermie se subdivise souvent en cycles de 2 à 20 s, chaque cycle étant commandé séparément. Juste avant le début d'un cycle, des mesures sont effectuées et la quantité d'énergie à fournir par chaque appareil tout au long du cycle est calculée. En connaissant la puissance utile de l'appareil, on peut aisément calculer la durée du cycle suivant. Le procédé électro-

La difficulté était d'exécuter des routines d'optimisation discrète de qualité sur un régulateur DCT880 relativement limité en puissance de calcul.

thermique dans son ensemble étant assez lent, l'instant précis où l'énergie est fournie au cours du cycle (allumage de l'appareil) importe peu.

Selon la nature de la charge, un régulateur DCT880 peut commander jusqu'à trois charges indépendantes. Plusieurs connexions sont possibles : monophasée multiple, triangle, étoile, prise multiple, triangle ouvert, etc. Pour un nombre de charges supérieur, un DCT880 standard assume le rôle de maître et réalise les calculs d'optimisation de puissance.

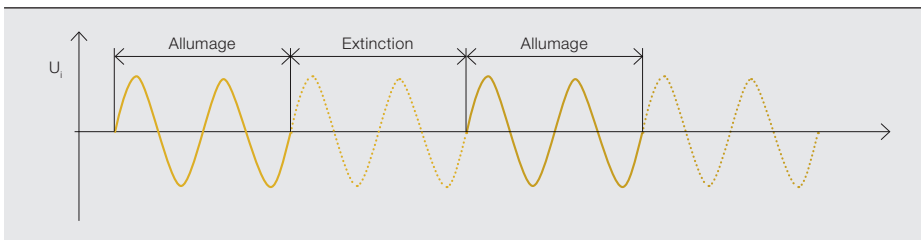
Photo p. 42

Si vaincre les sommets enneigés pose toujours un défi aux alpinistes, les crêtes de puissance des applications électrothermiques sont désormais lissées par le régulateur DCT880 d'ABB et ses algorithmes.

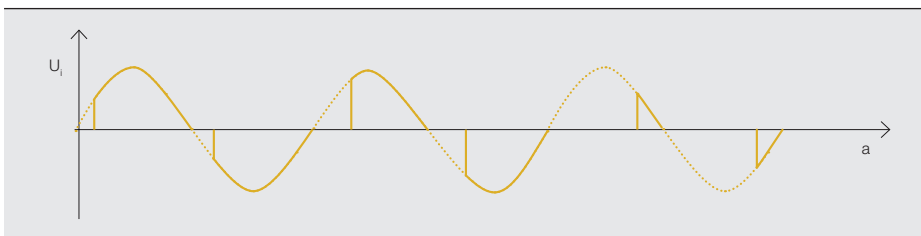
Photo : Michelle Kiener

En électrothermie, la facture énergétique globale est souvent alourdie par le surcoût des appels de puissance crête.

2 Alimentation double alternance



3 Contrôle de l'angle de phase



Tout DCT880 peut devenir maître par commutateur logiciel. Par contre, il ne peut y avoir qu'un seul maître par système → 4.

Dès qu'un DCT880 esclave reçoit le signal d'appel de puissance de sa charge pour le cycle suivant, il transmet l'information au maître.

Quand le maître a reçu cette information de tous ses esclaves, il calcule le moment opportun d'allumage et d'extinction de chaque appareil de chauffage de façon à ne pas perturber le procédé électrothermique. Les résultats sont transmis aux DCT880 esclaves pour que chacun commande son appareil au cours du cycle suivant.

Processus d'optimisation

Le diagramme → 5 montre le résultat spectaculaire de l'optimisation de puissance: la courbe très fluctuante laisse place à une courbe aplanie qui ne dépasse jamais 50 % de la puissance installée. Comment y parvient-on ?

La figure → 6 en décrit le principe: huit appareils de chauffage d'une puissance utile de 100 et 200 kW fonctionnent entre 30 et 70 % du temps de cycle d'une seconde → 6a; la puissance totale appelée varie, une crête survenant après 300 ms → 6b.

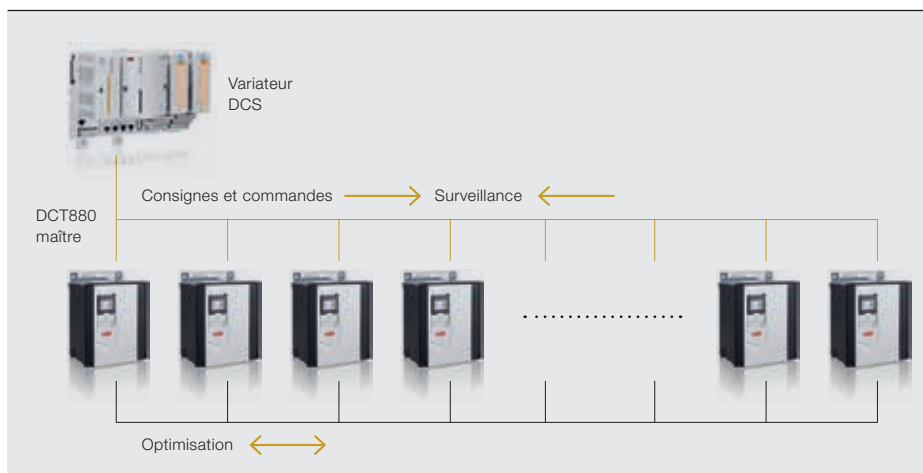
→ 7 reprend la même installation, mais cette fois avec optimisation de puissance. Les instants d'allumage des appareils sont parfaitement répartis tout

au long du cycle → 7a. Il n'y a aucun appel de puissance crête → 7b.

Le régulateur DCT880 possède une fonction spéciale pour les applications à 50 % de charge. En → 8a, tous les appa-

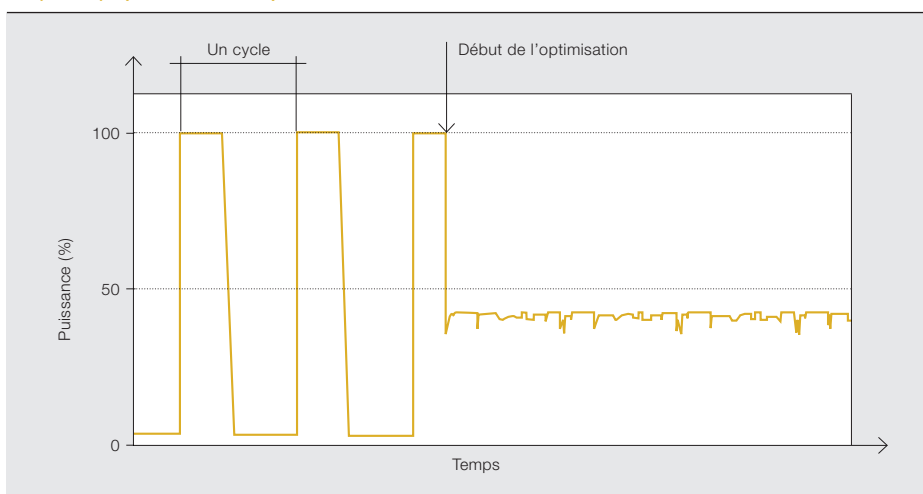
Pour alléger la facture du client, la solution doit tourner sur le DCT880 seul, sans aucun autre équipement, et être suffisamment réactive pour gérer des temps de cycle courts et différents types d'entrée.

reils fonctionnent pendant 60 % du temps de cycle; par conséquent, indépendamment de la stratégie de commutation choisie, une puissance crête apparaît forcément à un moment donné → 8b. Le problème peut être résolu par une double séquence d'allumage-extinction d'un consommateur au cours d'un cycle → 9a, seule stratégie donnant une puissance parfaitement lissée → 9b.



Le régulateur DCT880 répartit la charge pour réduire la puissance crête appelée.

5 Consommation énergétique totale de 14 appareils de chauffage sans (gauche) et avec (droite) optimisation de puissance



Ingénierie des algorithmes

D'un point de vue mathématique, il s'agit d'un problème d'optimisation discrète. Ce domaine de recherche, à haut degré de maturité, offre déjà une riche boîte à outils pour accompagner le développement d'algorithmes, activité où ABB possède une réelle expertise.

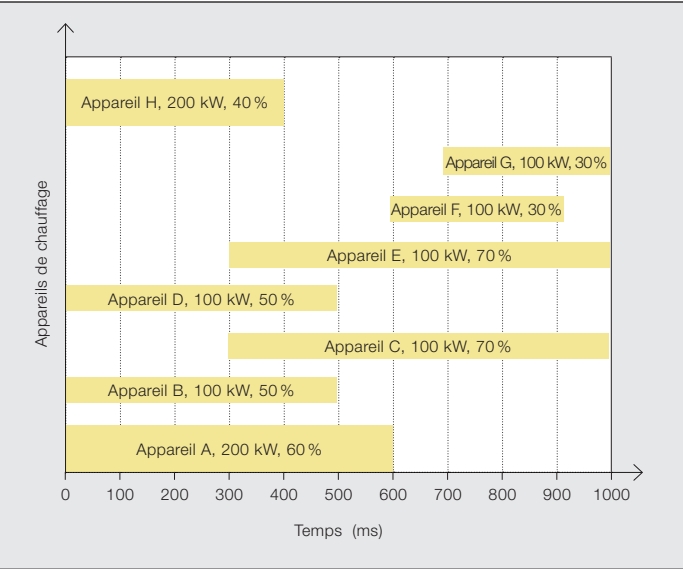
L'optimisation mathématique se fait souvent sur de puissants ordinateurs dédiés. Dans le cas du DCT880, le défi était d'exécuter des routines d'optimisation discrète de qualité sur un appareil relativement limité en puissance de calcul. On décida d'appliquer la méthodologie de l'ingénierie des algorithmes : suivant un cycle conception-analyse-implémentation-expérimentation, des algorithmes spéciaux, efficaces et parfaitement adaptés aux capacités disponibles furent développés. Chacun fut testé sur des données provenant d'une installation réelle.

L'ingénierie des algorithmes est une démarche itérative. Tout nouvel algorithme étudié peut servir de point de départ à des développements supplémentaires, être abandonné ou réexaminé selon la mesure de la qualité de la démarche. On obtient ainsi une succession d'algorithmes de qualité croissante.

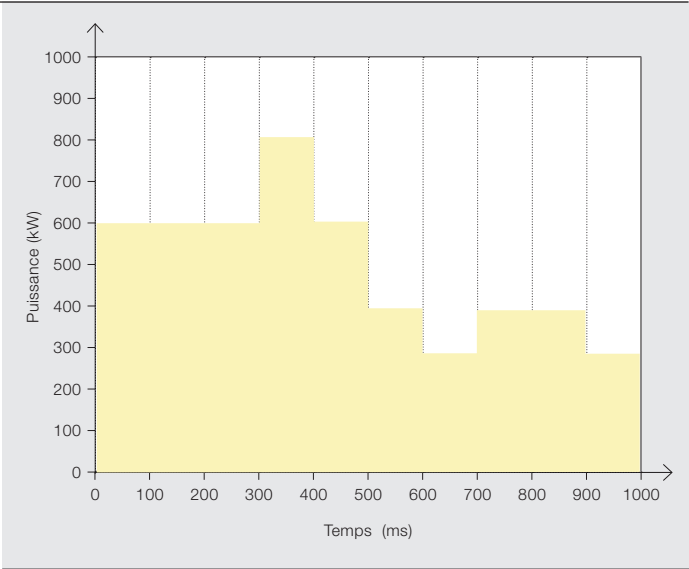
Une fois le niveau de qualité satisfaisant atteint, on n'a fait que la moitié du chemin ! Il faut maintenant simplifier les algorithmes et faciliter leur utilisation. Ici encore, l'amélioration des algorithmes existants se fait par itération.

La simplification des algorithmes et de leur maintenance ne doit pas se faire au détriment de la qualité. Il faut concilier les deux objectifs souvent contradictoires de qualité et de maintenabilité.

6 Consommation de puissance non optimisée

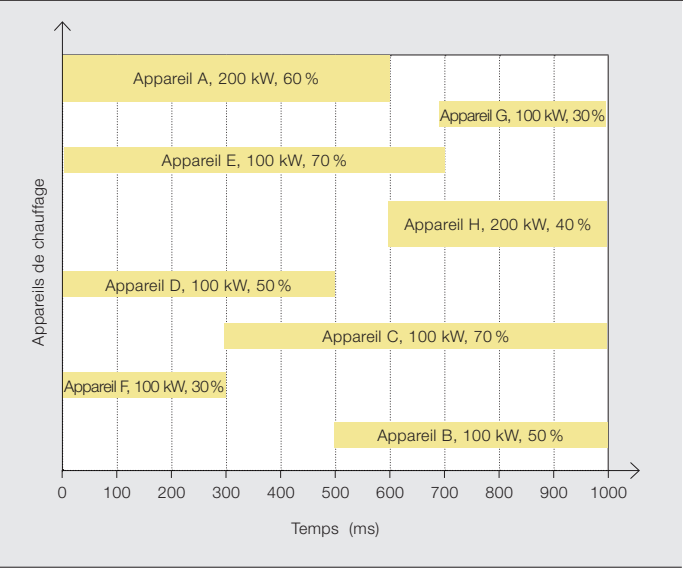


6a Huit consommateurs répartis sur un cycle de 1 s

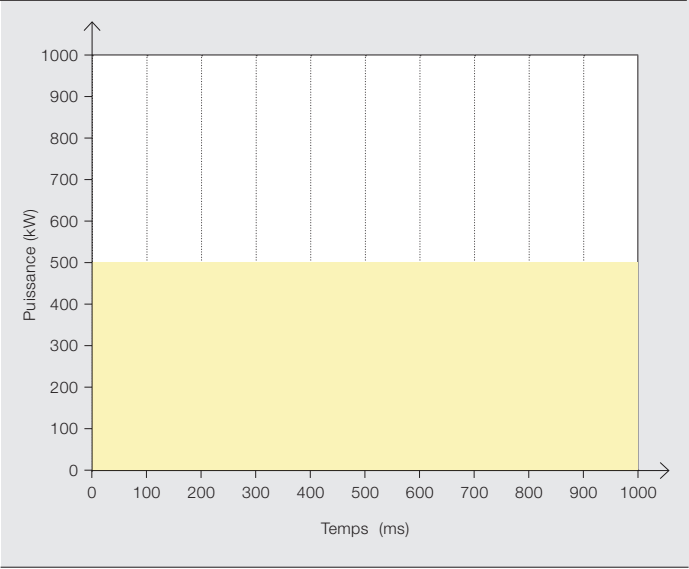


6b Puissance crête appelée après 300 ms

7 Solution optimisée

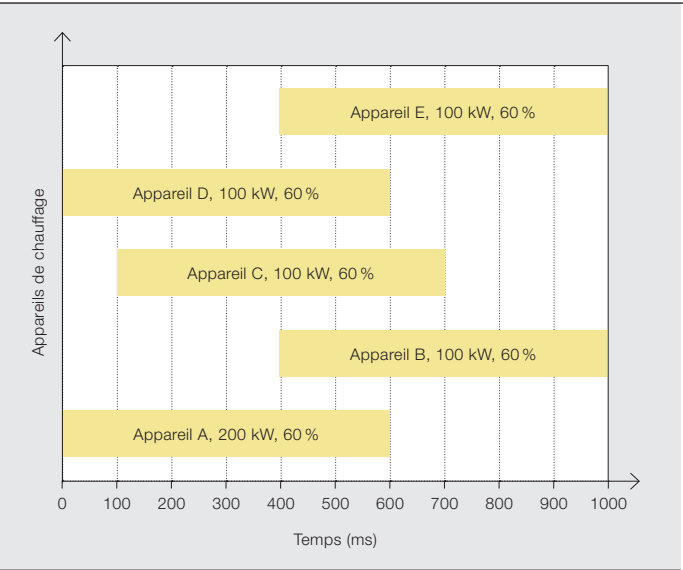


7a Répartition des consommateurs tout au long du cycle

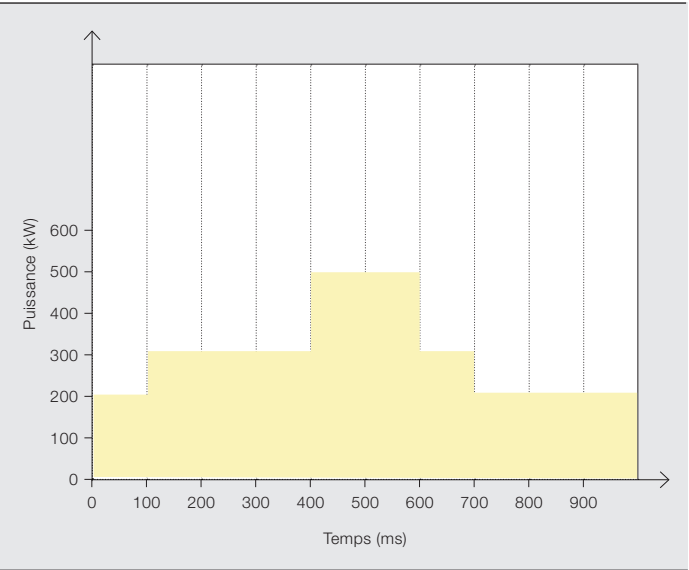


7b Suppression des appels de puissance crête

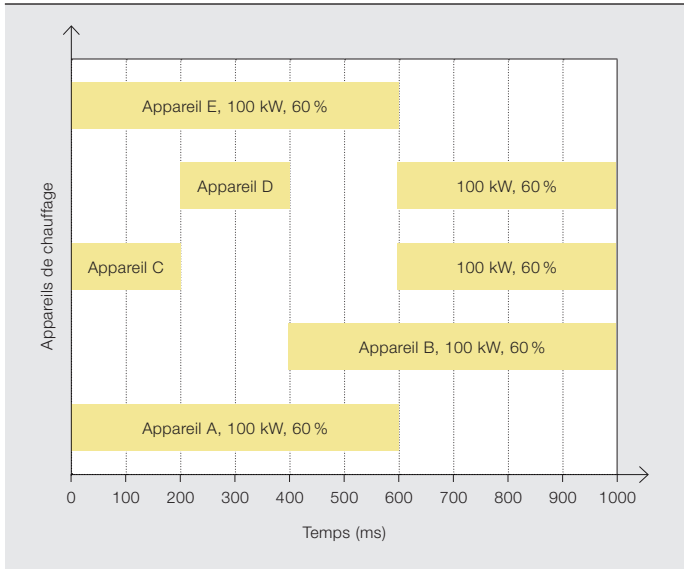
8 Application à 50 % de charge



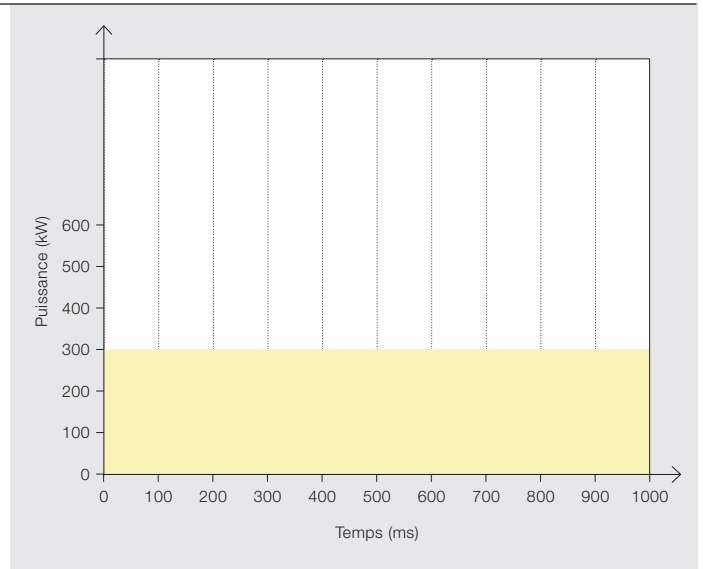
8a Appareils en charge une bonne partie du cycle



8b Appel de puissance crête inévitable à un moment donné



9a Au cours du cycle, certains consommateurs sont allumés et éteints deux fois.



9b Seule la double séquence permet d'obtenir un lissage parfait.

Suivant un cycle conception-analyse-implémentation-expérimentation, des algorithmes spéciaux, efficaces et parfaitement adaptés furent développés.

De la théorie à la pratique

Développer une solution exploitable en situation réelle oblige à prendre en compte de nombreuses contraintes, notamment techniques : temps de fonctionnement minimal d'un appareil de chauffage, limitation du nombre d'allumages-extinctions au cours d'un cycle. De même, des règles de raccordement au réseau électrique peuvent imposer un délestage de charge. Si la puissance appelée par l'ensemble des appareils de chauffage dépasse la puissance que le réseau peut fournir, certains appareils doivent pouvoir être arrêtés en urgence.

Enfin, pour alléger la facture du client, la solution doit tourner sur le DCT880 seul, sans aucun autre équipement, et être suffisamment réactive pour gérer des temps de cycle courts et différents types d'entrée.

Malgré toutes ces contraintes, elle doit rester simple d'utilisation et de maintenance. La solution développée par ABB ne compte pas beaucoup de paramètres de réglage ni d'options compréhensibles exclusivement par des experts.

De multiples avantages

Nombreux sont les avantages du DCT880 : réduction des coûts énergétiques, stabilité du réseau et qualité de l'alimentation électrique, simplicité d'utilisation sans paramétrages compliqués, mise en service et maintenance par des non-spécialistes.

Son architecture est également avantageuse car l'optimisation se déroule en totale indépendance du reste du procédé. En effet, tous les appareils rapatrient leurs valeurs au maître et reçoivent en retour ses commandes optimisées. L'optimisation s'intègre donc à n'importe quel environnement, que la conduite soit centralisée (automate) ou locale (régulateurs).

Enfin, totalement transparente au procédé, elle n'oblige pas à modifier le plan de production.

Mise sur le marché

Les travaux de développement du DCT880 furent lancés début 2013. Basé sur la technologie éprouvée et fiabilisée des variateurs à courant continu de la gamme DCS, le régulateur met en œuvre

les nouvelles plates-formes de commande ACS880 et ACS580 d'ABB. Ce produit avec ses algorithmes d'optimisation de puissance est commercialisé depuis fin 2014.

Holger Kröhler

Andreas Schader

ABB Discrete Automation and Motion

Ladenbourg (Allemagne)

holger.kroehler@de.abb.com

andreas.schader@de.abb.com

Reinhard Bauer

Silke Klose

Subanatarajan Subbiah

ABB Corporate Research

Ladenbourg (Allemagne)

reinhard.bauer@de.abb.com

silke.klose@de.abb.com

subanatarajan.subbiah@de.abb.com