COMMUTATION DE TENSION PROCHE DE ZÉRO DANS LES CENTRE DE DONNÉES

SCHLEIFENBAUER - LIVING FOR THE POWER TO DELIVER

SCHLEIFENBAUER PRODUCTS BV • www.schleifenbauer.eu • info@schleifenbauer.eu

INTRODUCTION

La quantité de données et d'électronique ne cesse d'augmenter, au même titre par conséquent que les besoins énergétiques et la nécessité d'une distribution professionnelle de l'énergie. Pour cette dernière, les PDU (*Power Distribution Unit*) peuvent s'avérer très utiles. La distribution de l'énergie, par exemple dans un centre de données, peut être pourvue d'une fonctionnalité supplémentaire en appliquant des sorties commutables dans les PDU. Cela permet notamment de déterminer à distance l'ordre de lancement des appareils connectés, d'intervenir en cas de pic de charge ou de réinitialiser les équipements informatiques.

Le présent livre blanc décrit les effets négatifs de la commutation des utilisateurs et les façons de lutter contre ces effets négatifs grâce aux techniques de *Commutation de tension proche de zéro*.

LES EFFETS NÉGATIFS DE LA COMMUTATION PAR LES UTILISATEURS

COMPORTEMENT EN MATIÈRE DE COMMUTATION

Pour la commutation des utilisateurs, les PDU utilisent en général des relais électromécaniques bistables. L'avantage du relais électromécanique est que la résistance de contact est inférieure à la résistance de conduction (ou absorption de charge) d'un relais qui commute sur la base d'un semiconducteur. Les pertes de commutation sont ainsi moins importantes. Le relais électromécanique bistable présente l'avantage de n'utiliser d'énergie que durant la commutation, tandis qu'un relais traditionnel consomme de l'énergie en permanence. Un relais électromécanique bistable est ainsi le choix le plus économique en matière de consommation d'énergie.

Pratiquement tous les appareils connectés sont pourvus d'une alimentation à commutation électronique. Ces alimentations à commutation contiennent de grands condensateurs tampons et filtres, entre autres composés de bobines et de condensateurs. Les filtres doivent garantir la *compatibilité électromagnétique* (CEM) entre les appareils. La CEM signifie que les appareils doivent se supporter entre eux : un appareil peut provoquer une légère perturbation mais doit être lui-même insensible à un certain degré de perturbation venu de l'extérieur. Lors de la commutation d'un appareil, les condensateurs tampons et filtres peuvent être la cause d'un comportement indésirable en matière de commutation.

SPÉCIFICATION DU COURANT D'APPEL

Les condensateurs peuvent veiller à un courant d'appel important. Ces condensateurs sont chargés au moment de la connexion d'appareils. Ce chargement est de courte durée mais du courant circule durant le chargement. Les fabricants d'alimentations et d'adaptateurs indiquent en général le niveau du courant d'appel. Cela est spécifié en tant que *Maximum Inrush Current* (courant d'appel maximal) Pour l'adaptateur dans l'exemple plus loin, la spécification est de 70 A à 264 V. Cela est valable pour un démarrage dit à froid. Comme nous l'avons dit, ce sont les condensateurs qui provoquent un courant d'appel élevé. Certains tentent parfois de limiter ce courant d'appel à l'aide d'une résistance avec un coefficient de température négatif ou CTN (ou encore thermistance). Si cette thermistance est froide, elle a une résistance relativement élevée (en général de l'ordre de 5 Ω) et limite ainsi le courant d'appel. Du courant circulant dans la thermistance durant le fonctionnement, celle-ci chauffe et la résistance diminue. Si l'on connecte donc une alimentation chaude pourvue d'une telle thermistance, le courant d'appel sera plus élevé qu'avec une alimentation froide. La spécification du fabricant se rapporte au courant qui va circuler pour le chargement du condensateur tampon. Ce chargement a lieu durant la première moitié du cycle de distribution d'électricité. Cette spécification est importante pour déterminer le nombre d'utilisateurs pouvant être placés sur un même groupe. Cela est important pour la spécification de la valeur et des caractéristiques du fusible à mettre en place. On oublie souvent qu'un filtre CEM supplémentaire est placé avant la thermistance, filtre dans lequel se trouvent également des condensateurs.

Ces condensateurs sont directement connectés au réseau, sans élément de limitation de courant. Il est vrai que la capacité de ces condensateurs est relativement petite par rapport à celle des condensateurs tampons mais ce sont tout de même eux qui causent les courants de crête élevés tels que celui mesuré dans l'exemple plus loin. Et même si la durée de la pulsion électrique n'est que de l'ordre de 0,5 à 1 ms, c'est précisément cette pulsion électrique qui est responsable de l'étincelle dans le relais et de la pollution du réseau comme on le voir plus loin dans ce document. La durée de la pulsion étant très courte, il est inutile d'en tenir compte pour la détermination du fusible et du câblage.

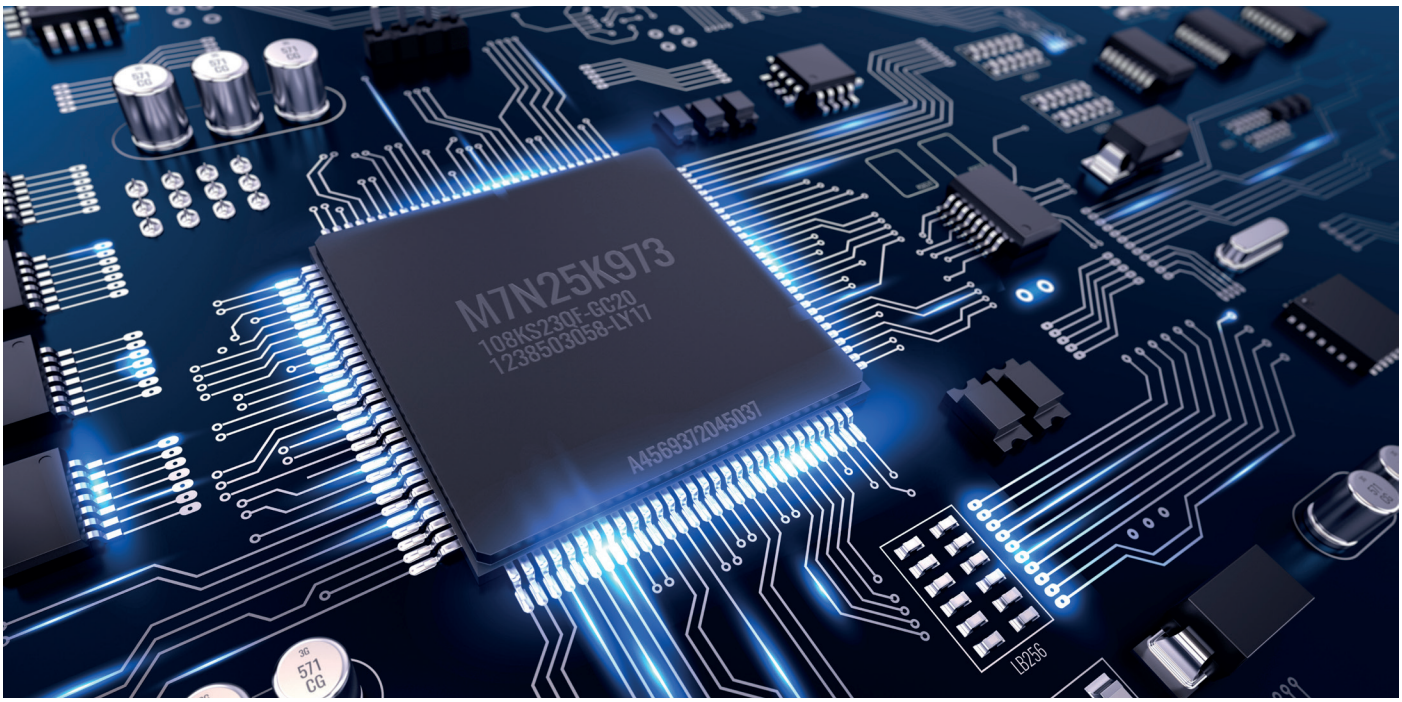
Le courant de chargement qui va circuler est plus élevé si la tension au moment de la connexion est plus élevée. Il est permis de supposer que la tension électrique est un courant alternatif sinusoïdal. Lorsque le courant est connecté au sommet du sinus, la tension est à son point le plus haut et le courant sera donc également élevé. La durée de la pulsion électrique est alors plus courte. Les courants d'appel élevés peuvent avoir à la longue des conséquences désastreuses pour le relais dans la PDU mais causent également une pollution du réseau électrique. Cela influence de façon négative la qualité de l'énergie (Power Quality) et d'autres appareils peuvent de ce fait également être perturbés. On entend de façon générale par Power Quality la qualité totale du secteur. Cela est directement lié au comportement en matière de CEM. Un comportement amélioré à la connexion débouche donc sur une meilleure qualité de l'énergie et un meilleur comportement CEM.

EFFETS DE LA CONNEXION

Comme nous l'avons dit, les condensateurs sont souvent la cause de courants d'appel élevés. Lorsque le courant est connecté au sommet du sinus, la tension et de ce fait le courant d'appel sont également au plus haut. Lorsque le courant est connecté au point zéro du sinus, le courant d'appel est à son point le plus bas. Dans les alimentations à commutation, les condensateurs sont souvent la première cause de courants d'appel élevés.

EFFETS DE LA DÉCONNEXION

Des effets négatifs peuvent également se produire au moment de la déconnexion d'un utilisateur. La déconnexion d'un utilisateur peut se traduire par des piques de tension sur le réseau électrique. Cela est causé par les bobines présentes dans les filtres. Si du courant circule dans une bobine, cette bobine stocke de l'énergie. Si le courant est soudainement coupé, cette énergie de la bobine devra être évacuée. La tension sur la bobine montera alors jusqu'à ce que du courant puisse circuler quelque part. Cela a lieu par la formation d'étincelles jusqu'à ce que toute l'énergie de la bobine ait disparu. Les piques de tension qui surviennent de ce fait peuvent être très élevées. L'effet de la déconnexion dans les exemples mentionnés étant beaucoup moins dominant que l'effet de la connexion, nous nous limiterons à l'explication qui précède.



MESURES DU COURANT D'APPEL

Pour avoir une idée du courant d'appel en relation avec le courant de consommation normal d'un appareil, des mesures ont été faites sur un adaptateur d'ordinateur portable de 65 W et une bouilloire électrique de 2 200 W. Il est clair que le courant de consommation de la bouilloire est beaucoup plus important que celui de l'adaptateur. La puissance de la bouilloire électrique est en effet beaucoup plus élevée. Le courant de consommation qui va circuler découle de la formule suivante : $I = \frac{P}{U}$. Où *I* est le courant en *Ampère*, *P* la puissance en *Watt* et *U* la tension en *Volt*. Le courant de consommation qui découle de la formule est appelé RMS current. Il s'agit de l'intensité efficace. Pour être plus clair : dans un courant sinusoïdal de 1 A RMS, la valeur maximale est $Itop=Irms * \sqrt{2}$.

Pour un courant 1 A RMS, la valeur maximale est alors 1,41 A. Le rendement de l'adaptateur tourne autour des 85 %. Cela signifie qu'il faut ajouter plus de puissance pour pouvoir en tirer 65 W. Pour un rendement de 85 %, la puissance à l'entrée est d'environ 77 W. La formule donne le courant de consommation pour l'adaptateur de $I = \frac{P}{U} = \frac{77}{230} = 0{,}334\ A$

Le courant de crête est alors $Itop=Irms \times \sqrt{2} = 0{,}334 \times \sqrt{2} = 0{,}472\ A$
Pour la bouilloire électrique, le courant est : $I = \frac{P}{U} = \frac{2200}{230} = 9{,}56\ A$
Le courant de crête est alors $Itop=Irms \times \sqrt{2} = 9{,}56 \times \sqrt{2} = 13{,}52\ A$

Pour plus de facilité, ces valeurs ont été résumées dans le tableau suivant

	Adaptateur d'ordinateur portable	Bouilloire électrique
Puissance (W)	77*	2200
Tension électrique (V)	230	230
Courant de consommation (A)	0,33	9,56
Courant de crête calculé (A)	0,47	13,52

** Vois les explications sur le rendement.*

La puissance de la bouilloire électrique est environ 28 fois supérieure à celle de l'adaptateur d'ordinateur portable. Le même facteur se retrouve dans la relation avec les courants de crête. La bouilloire électrique se compose d'une gros élément de chauffage et ne contient ni bobines ni condensateurs. Lors de la mesure du courant d'appel, les effets au niveau de l'élément de chauffage ne nous posent donc aucun problème. Les mesures qui suivent clarifient l'effet des composants tels que les bobines et les condensateurs.

MESURE DU COURANT D'APPEL DE L'ADAPTATEUR D'ORDINATEUR PORTABLE

Le niveau que les courants d'appel peuvent atteindre est montré dans les illustrations qui suivent. Les illustrations ont été réalisées avec un oscilloscope. Il est ainsi possible de mesurer la tension au moment de la connexion d'un utilisateur. Il est également possible de mesurer le courant qui va circuler à ce moment-là. L'arbre vertical des illustrations montre les tensions et les courants. L'arbre horizontal indique le temps en millisecondes par portion d'échelle (ms/div) ou en microsecondes par portion d'échelle (µs/div). Div signifie *division*, c'est-à-dire dans ce cas portion d'échelle. Une portion d'échelle est à son tour divisée en 10 petites portions. L'ensemble du signal indique la tension. L'échelle est ici 500 V/div. Le signal bleu indique le courant. L'échelle est dans ce cas 50 A/div. Les illustrations suivantes sont mesurées sur l'adaptateur d'ordinateur portable de 19 V, 65 W qui est activé au sommet du sinus à une tension de 230 V. Voir l'Illustration 1. Toute la ligne est au moment de la connexion sur environ 3/5 d'une portion d'échelle. Une portion d'échelle est 500 V dont il découle que la tension est alors d'environ 300 V. Pour un réseau 230 V, la valeur maximale est en théorie 325 V. Le moment de la connexion approche donc assez bien le sommet du sinus. Au moment où la tension est connectée, nous voyons une pique apparaître sur la ligne bleue. Cette pique est de 3 portions d'échelle, ce qui signifie que le courant de crête dans cette mesure est de 150 A.

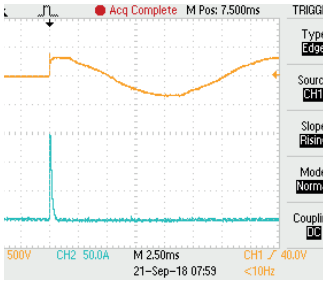


Illustration 1

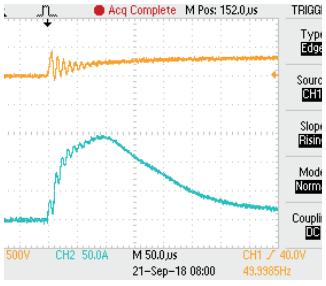


Illustration 2

Dans *l'illustration 1* le temps de base est de 2,5 ms/div. *L'illustration 2* est agrandie, le temps de base est ici de 50 ms/div. On voit clairement que l'augmentation du courant et de la tension n'a pas lieu en mouvement continu mais balbutie énormément. Nous nommons ce phénomène une *oscillation*. En anglais *ringing*. Cette oscillation peut causer une pollution du réseau électrique sous la forme de perturbations indésirables sur le réseau.

MESURES DU COURANT D'APPEL D'UNE BOUILLOIRE ÉLECTRIQUE

On ne s'attend pas directement à ce que le courant d'appel de l'adaptateur testé susmentionné de seulement 65 W soit aussi élevé. L'intensité efficace du courant de l'adaptateur est = 0,33 A. Si le courant était sinusoïdal, le courant de crête serait en condition normale de 0,47 A (voir le tableau à la page précédente). On ne s'attend alors pas à un courant d'appel de 150 A. Plus de 450 supérieur au courant continu efficace. Pour pouvoir placer cela en perspective, des mesures ont également été faites sur une bouilloire électrique. Vous ne trouverez pas tous les jours une bouilloire électrique dans un centre de données, mais il ne s'agit que d'un exemple. La bouilloire électrique testée a une puissance de 2 200 W. Presque 29 fois supérieure à la puissance (mesurée) de l'adaptateur. Ce qui suit montre que les courants d'appel pour cet appareil relativement puissant sont très inférieurs à ceux de l'adaptateur. Sur la bouilloire de plus de 2 kW, les mêmes mesures ont été effectuées que sur l'adaptateur.

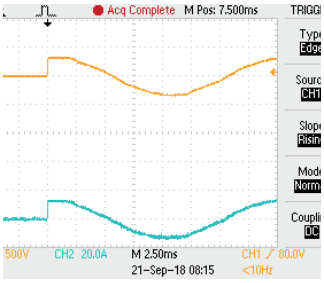


Illustration 3

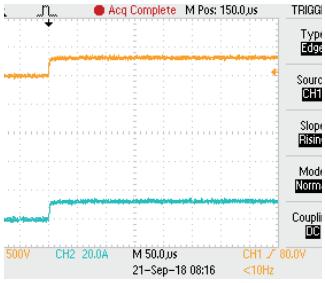


Illustration 4

Les *illustrations 3 et 4* indiquent les courants de la bouilloire électrique. Sur *l'Illustration 3* en bleu à nouveau le courant : il n'est que de 13 A. *L'Illustration 4* indique la même chose, mais en plus grand. On ne constate ici aucune oscillation ni pollution du réseau, ce qui est le cas pour l'adaptateur. Dans les deux cas, la connexion a lieu au sommet du sinus. Il en ressort clairement que le courant d'appel de la bouilloire, beaucoup plus puissante, est beaucoup plus faible que celui de l'adaptateur faible puissance (de seulement 65 W).

LES CONSÉQUENCES D'UN COURANT D'APPEL ÉLEVÉ

Nous avons indiqué plus haut que de fortes piques de tensions pouvaient avoir des conséquences négatives. Les mesures effectuées sur l'adaptateur de l'ordinateur portable montrent qu'une pollution du réseau peut avoir lieu en raison des oscillations. Mais cela peut également provoquer de grosses piques et chutes de tension sur le réseau. Les piques de tension de courte durée mais élevées peuvent en effet causer également des chutes brèves de tension car le réseau a lui aussi une certaine impédance. Une chute de tension peut à son tour avoir d'autres effets tels que des oscillations. La pollution du réseau peut donc avoir des conséquences qu'il convient de ne pas sous-estimer.
La surcharge des composants est un autre point important. Dans un appareil d'utilisateur se trouvent toutes sortes de composants dans lesquels circule l'ensemble du courant d'entrée. Pensez au câblage, connecteurs, circuits imprimés, prises, fusibles, filtres d'alimentation, bobines et parfois aussi diodes redresseuses. Pour tous ces composants, une situation de tension supplémentaire est créée au moment où ils doivent transporter des courants d'appel importants. Cela peut provoquer leur vieillissement accéléré, ce qui ne bénéficie pas à leur durée de vie.

Un troisième point ne doit pas non plus être sous-estimé : l'influence sur les contacts des relais utilisés pour connecter l'utilisateur. Aussi courte que soit la pulsion électrique, les tests dans la pratique ont montré que qu'un courant d'appel élevé peut être néfaste pour le relais. Les contacts peuvent brûler et, en quelque sorte, se souder entre eux. Des tests ont montré que dans quelques cas, les contacts des relais d'un adaptateur de 65 W se soudaient entre eux au terme de seulement 10 connexions. Les possibles conséquences de courants d'appel élevés sont résumées ci-dessous.

Les conséquences possibles d'un courant d'appel élevé

- *Détérioration du comportement CEM*
- *Surcharge des composants et de ce fait vieillissement accéléré des appareils utilisateurs*
- *Risque de brûlure des relais de connexion*

COMMUTATION DE TENSION PROCHE DE ZÉRO (n-ZVS)

Il est clair que pouvoir éviter les courants d'appel élevés présente un grand avantage. Éviter les courants d'appel élevés conduit à une réduction de la pollution du réseau électrique et donc à une meilleur comportement en matière de CEM et une meilleure qualité d'énergie (Power Quality), réduit les risques de vieillissement accéléré des appareils utilisateurs et, ce qui est également très important, réduit l'usure des relais de connexion, ce qui débouche en fin de compte sur une PDU plus fiable. Comme expliqué plus haut, le courant d'appel est au plus haut lorsque la tension est au plus haut dans un type d'alimentation électronique comme l'adaptateur. Une pensée qui semble évidente est de justement connecter au moment où la tension est la plus basse. Et cela est le cas au point zéro du courant alternatif. En mesurant sans cesse la tension électrique, il est possible de détecter le point zéro. L'utilisation de matériel et de logiciels intelligents qui, entre autres, limitent le retard de connexion du relais électromécanique, permet une connexion dans le point zéro reproductible et d'une précision de 1 ms. Cette technique s'appelle : ***Commutation de tension proche de zéro*** (n-ZVS). Ce nom est dérivé d'une technique comparable appliquée dans les alimentations à commutation.

L'effet de la connexion autour du point zéro par la *Commutation de tension proche de zéro* est reproduit ci-dessous. La mesure est effectuée sur la même adaptateur d'ordinateur portable de 65 W. Mais l'adaptateur est maintenant connecté proche du point zéro. Ci-dessous les illustrations. *L'Illustration 5* reproduit l'effet de la connexion lorsque celle-ci à lui au point zéro.

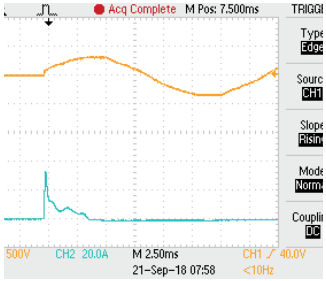


Illustration 5

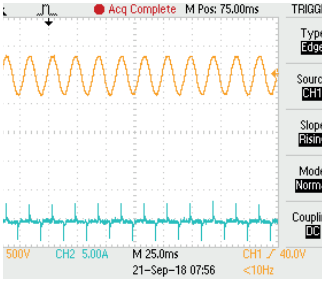


Illustration 6

Nous voyons sur *l'Illustration 5* que la connexion a lieu une fraction plus tard que le moment du point zéro. Le courant est maintenant d'environ 35 A. Une grosse différence avec les autres mesures de 150 A. ***Remarquez que les divisions d'échelle sont ici adaptées par rapport aux mesures précédentes : à gauche 20 A/div et à droite 5 A/div.*** *L'Illustration 6* montre le courant et la tension pour un fonctionnement continu de l'adaptateur, à la pleine charge de 65 W. Les courants de crête pour un fonctionnement normal à pleine charge sont d'environ 3 A. La valeur RMS du courant dans *l'Illustration 8* correspond à la valeur calculée de 0,33 A du tableau de la page 4. L'avantage de la Commutation de tension proche de zéro devient évident dans ces mesures. Le courant d'appel mesure précédemment de 150 A est maintenant réduit à 35 A.

Pour être complet, *l'Illustration 7* montre ci-dessous la tension et le courant lorsque la bouilloire est connectée au point zéro. Nous voyons dans *l'Illustration 7* qu'aucune pique de connexion ne se produit. Le courant augmente proportionnellement, ce à quoi on pouvait également s'attendre. *L'Illustrations 8* montre la situation pour un fonctionnement continu de la bouilloire électrique de 2 200 W.

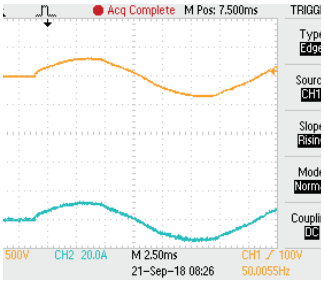


Illustration 7

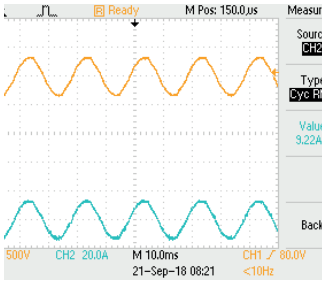


Illustration 8

Dans *l'Illustration 8*, en fonctionnement continu, le courant RMS mesuré est de 9,22 A. À 230 V, cela se traduit par 2.120 W, ce qui correspond à peu près à ce qui est inscrit sur la plaque signalétique.

RÉSUMÉ

Ce livre blanc traite des effets indésirables des équipements de commutation dans un centre de données. Il étudie un peu plus en détails les effets de la commutation d'appareils dans les centres de données. La notion de courant d'appel est clarifiée sur la base d'exemples et les conséquences négatives que peut avoir un courant d'appel élevé sont expliquées. Il aborde tans l'aspect CEM que l'influence sur la durée de vie et la fiabilité de la PDU et des appareils utilisateurs connectés. Il est également expliqué comment ces effets négatifs peuvent être combattus et ce qu'il se passe lorsqu'un appareil électrique est connecté sur le réseau électrique. La différence d'effet est montrée entre une connexion au sommet du sinus et une connexion proche du point zéro. Le livre blanc explique en fin ce qu'il se passe lorsqu'un appareil électrique est connecté au point zéro du le réseau électrique. La technique utilisée pour cela, nommée *Commutation de tension proche de zéro* est dévoilée.

CONCLUSION

Le comportement d'alimentations électroniques au moment de la commutation a parfois des effets indésirables. Le courant d'appel, bien que de courte durée, est souvent bien supérieur à ce que l'on pourrait penser et déduire des informations communiquées par le fabricant. Une commutation intelligente permet de limiter considérablement ces courants d'appels élevés. La commutation au point zéro peut présenter de nombreux avantages. Cela réduit le risque de panne du relais de commutation ou de l'appareil connecté et peut également conduire à moins de pollution du réseau, un comportement amélioré en matière de CEM et une meilleure qualité d'énergie ou Power Quality. N-ZVS : La *Commutation de tension proche de zéro* est la technique qui permet tout cela.

Ce livre blanc a été écrit par Wiel Drissen dans un collaboration entre Schleifenbauer Products et Drisco Électronique. Publication: juillet 2019

SCHLEIFENBAUER PRODUCTS

Schleifenbauer Products est un fabricant néerlandais de compteurs d'énergie intelligents pour les centres de données. Les unités PDU pour rack sont fabriquées à Den Bosch selon les spécifications du client. Les processus de configuration et de production peuvent être comparés à des Lego® : un nombre limité de blocs de construction permet de créer un nombre illimité de produits finaux. Les unités PDU pour rack de Schlei- fenbauer sont adaptées à l'infrastructure électronique de votre centre de données, et non l'infrastructure électronique à l'unité PDU pour rack. Vous trouverez de plus amples informations sur le site www.schleifenbauer.eu.

SCHLEIFENBAUER
LIVING FOR THE POWER TO DELIVER

DRISCO ELECTRONICS

Drisco Electronics, à Sevenum (Pays-Bas) est spécialisé dans le développement de produits électroniques analogiques, digitaux et de puissance. Drisco Electronics se charge de l'ensemble de votre projet, depuis la spécification jusqu'à la fourniture de la production en série. Nous assurons également le service après-vente. Vous trouverez de plus amples informations sur www.drisco.nl

DRISCO ELECTRONICS
electronic development & engineering

SCHLEIFENBAUER PRODUCTS BV • www.schleifenbauer.eu • info@schleifenbauer.eu