



# NEAR-ZERO-VOLTAGE SWITCHING IN DATACENTERS

*SCHLEIFENBAUER - LIVING FOR THE POWER TO DELIVER*



SCHLEIFENBAUER PRODUCTS BV • [www.schleifenbauer.eu](http://www.schleifenbauer.eu) • [info@schleifenbauer.eu](mailto:info@schleifenbauer.eu)

## INTRODUCTIE

De hoeveelheid data en elektronica neemt steeds verder toe, waardoor de energiebehoefte en de behoefte aan een professionele energiedistributie steeds groter wordt. Laatstgenoemde kan worden gerealiseerd door gebruik te maken van PDU's (*Power Distribution Units*).

De energiedistributie, bijvoorbeeld in een datacenter, kan van een extra functionaliteit voorzien worden door in de PDU's schakelbare uitgangen toe te passen. Hierdoor wordt het onder andere mogelijk om op afstand de opstartvolgorde van aangesloten apparatuur te bepalen, in te grijpen in het geval van een piekbelasting of om een *reboot* van IT-apparatuur mogelijk te maken. In dit *Whitepaper* worden de nadelige effecten van het schakelen van de verbruikers beschreven en geven we een toelichting hoe deze effecten kunnen worden bestreden, door gebruik te maken van *Near-Zero-Voltage Switching* technieken.

## INSCHAKELGEDRAG

### NADELIGE EFFECTEN VAN HET SCHAKELLEN VAN VERBRUIKERS.

Voor het schakelen van de verbruikers door PDU's worden doorgaans elektromechanische bi-stabiele relais gebruikt. Het voordeel van een elektromechanisch relais is dat de contactweerstand lager is dan de geleidingsweerstand van een relais dat schakelt op basis van een halfgeleider. Hierdoor zijn de schakelverliezen kleiner. Het voordeel van een bi-stabiel relais is dat dit alleen energie verbruikt tijdens het omschakelen terwijl een traditioneel relais continu energie verbruikt. Hiermee is een elektromechanisch bi-stabiel relais de meest energiezuinige keuze.

Vrijwel alle apparatuur die wordt geschakeld is voorzien van een elektronische schakelende voeding. In deze schakelende voedingen zitten grote buffercondensatoren en filters, die o.a. bestaan uit spoelen en condensatoren. De filters moeten *Elektro Magnetische Compatibiliteit* (EMC) tussen apparaten onderling waarborgen. EMC houdt in dat apparaten elkaar moeten kunnen verdragen: een apparaat mag een beperkte mate van storing veroorzaken maar moet zelf op zijn beurt ook weer immuun zijn voor een bepaalde hoeveelheid storing van buiten af. Bij het inschakelen van een apparaat kunnen de buffercondensatoren en filters oorzaak zijn van een ongewenst inschakelgedrag.

### SPECIFICATIE VAN DE INSCHAKELSTROOM

Condensatoren kunnen zorgen voor grote inschakelstromen. Bij het inschakelen van apparatuur worden deze condensatoren opgeladen. Dit opladen is van korte duur, maar tijdens het opladen gaat er een stroom lopen. Fabrikanten van voedingen en adapters geven doorgaans aan hoe hoog de inschakelstroom is. Dit is gespecificeerd als de *Maximum Inrush Current*. Bij de adapter in ons voorbeeld verderop is deze gespecificeerd als 70 A bij 264 V. Dit geldt bij een zogenaamde koude start. Zoals gezegd ontstaat de hoge inschakelstroom door condensatoren. Soms probeert men deze inschakelstroom te beperken met behulp van een weerstand met een negatieve temperatuurcoëfficiënt, een zogenaamde NTC. Als deze NTC koud is heeft deze een relatief hoge weerstand (meestal in de orde grootte van 5  $\Omega$ ) en op deze manier wordt de inschakelstroom begrensd.

Omdat er tijdens bedrijf stroom door de NTC loopt wordt deze warm en wordt de weerstand lager. Schakelt men dus een warme voeding in die voorzien is van zo'n NTC dan zal de inschakelstroom hoger zijn dan wanneer de voeding koud is. De specificatie van de fabrikant heeft betrekking op de stroom die gaat lopen voor het opladen van de buffercondensator. Dit opladen gebeurt in de eerste helft van de netspanningscyclus.

Deze specificatie is van belang voor het bepalen van het aantal verbruikers dat op één groep kan worden geplaatst. Dit is van belang voor het specificeren van de waarde en de karakteristiek van de te plaatsen zekering. Waar men echter vaak aan voorbij gaat is dat er vóór de NTC een extra EMC filter is geplaatst en daarin zitten ook condensatoren. Deze condensatoren komen rechtstreeks op het net, zonder stroom beperkend element.



Weliswaar zijn deze condensatoren qua capaciteit relatief klein in vergelijking met de buffer condensatoren maar toch zijn juist deze condensatoren de oorzaak van de hoge piekstromen zoals die in het voorbeeld verderop is gemeten. En al ligt de tijd van de stroompuls dan slechts in de orde grootte van 0,5 – 1 ms, toch is precies deze stroompuls verantwoordelijk voor vonkvorming in het relais en voor de netvervuiling zoals verder in dit document is te zien. Omdat de pulsduur erg kort is hoeft men hier met het bepalen van de zekeringen en bedrading geen rekening mee te houden.

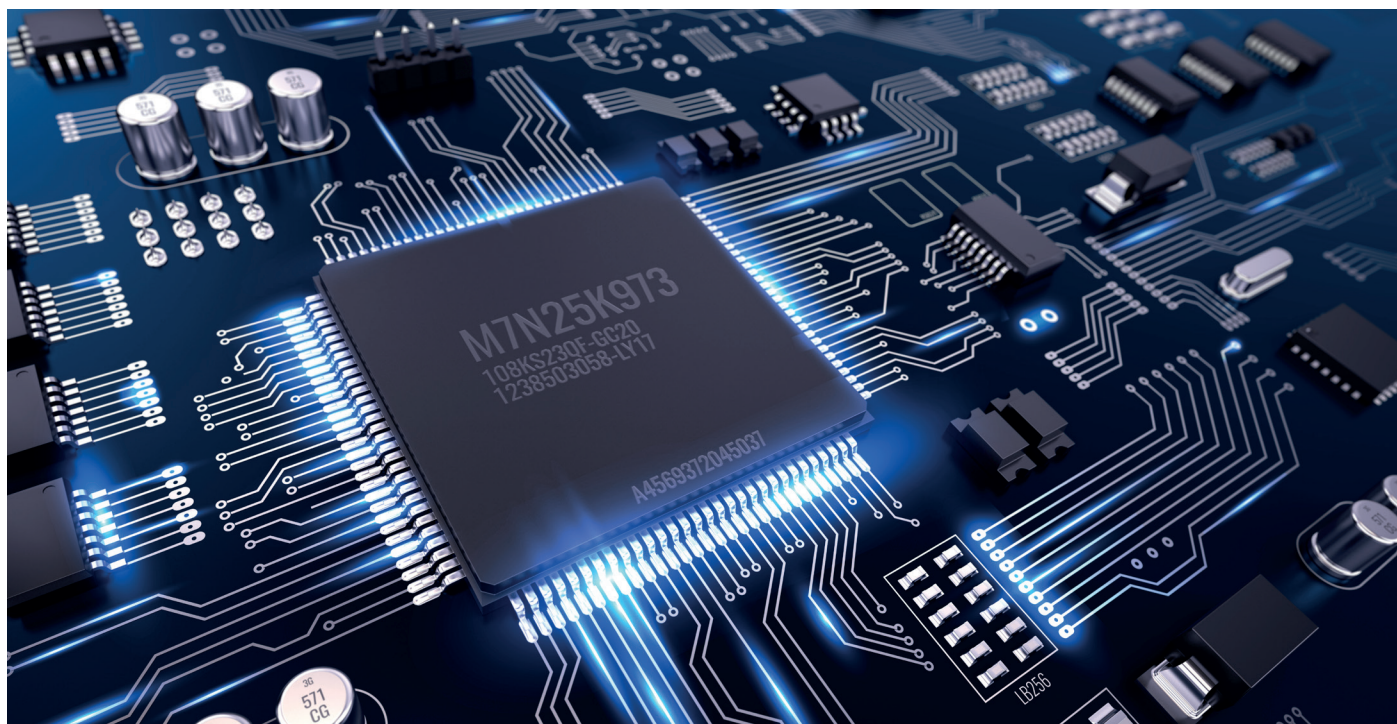
De oplaadstroom die er gaat lopen is hoger naarmate de spanning bij inschakelen hoger is. Zoals bekend mag worden verondersteld is de netspanning een sinusvormige wisselspanning. Wanneer de netspanning op de top van de sinus wordt ingeschakeld is de spanning op zijn hoogst en zal de stroom dus ook hoog zijn. De tijdsduur van de stroompuls wordt dan wel korter. De grote inschakelstromen kunnen op den duur desastreus zijn voor het schakelrelais in de PDU maar ze veroorzaken ook een vervuiling op het net. Dit beïnvloedt de *Power Quality* nadelig en andere apparaten kunnen erdoor worden gestoord. Met *Power Quality* wordt in zijn algemeenheid bedoeld de totale kwaliteit van de netspanning. Dit houdt rechtstreeks verband met het EMC gedrag. Een verbeterd inschakelgedrag leidt dus tot een betere *Power Quality* en tot een verbeterd EMC gedrag.

## INSCHAKELEFFECTEN

Zoals gezegd zijn condensatoren vaak de oorzaak van hoge inschakelstromen. Als wordt ingeschakeld op de top van de sinus is de spanning en daarmee ook de inschakelstroom het hoogst. Als er wordt geschakeld in de nul-doorgang van de sinus is de inschakelstroom het laagst. In schakelende voedingen zijn in het algemeen condensatoren primair de oorzaak van hoge inschakelstromen.

## UITSCHAKELEFFECTEN

Ook bij het uitschakelen van een verbruiker kunnen er ongewenste effecten ontstaan. Uitschakelen van een verbruiker kan resulteren in spanningspieken op het net. Dit wordt veroorzaakt door de in de filters aanwezige spoelen. Als er door een spoel een stroom loopt wordt energie opgeslagen in die spoel. Als de stroom plotseling wordt onderbroken zal die energie uit de spoel moeten worden afgevoerd. De spanning over de spoel gaat daarbij net zo hoog oplopen totdat er ergens een stroom kan gaan lopen. Dit gebeurt door het vormen van vonken, net zo lang tot alle energie uit de spoel is verdwenen. De hierdoor ontstane spanningspieken kunnen zeer hoog zijn. Omdat het uitschakeleffect in de genoemde voorbeelden veel minder dominant is dan het inschakeleffect zullen we ons tot bovenstaande uitleg beperken.



# METINGEN VAN INSCHAKELSTROMEN

## METINGEN INSCHAKELSTROOM LAPTOP ADAPTER

Om een idee te verkrijgen van de inschakelstromen in relatie tot de normale verbruiksstroom van een apparaat zijn er metingen verricht aan een laptop adapter van 65 W en aan een waterkoker van 2.200 W. Dat de normale verbruiksstroom bij de waterkoker vele malen hoger zal zijn dan die van de adapter zal duidelijk zijn. Het vermogen van de waterkoker is immers veel hoger. De gebruiksstroom die er gaat lopen volgt uit de formule:  $I = \frac{P}{U}$  Hierin is  $I$  de stroom in *Ampère*,  $P$  het vermogen in *Watt* en  $U$  de spanning in *Volt*. De stroom die uit de formule volgt is de *RMS* stroom. Dit is de effectieve stroom. Ter verduidelijking: bij een sinusvormige stroom van 1 A RMS is de topwaarde  $I_{top} = I_{rms} \times \sqrt{2}$

Bij een 1 A RMS stroom is de topwaarde dan 1,41 A. Het rendement van de adapter ligt op ca. 85 %. Dat betekent dat er meer vermogen moet worden toegevoerd om de 65 W er uit te kunnen halen. Bij een rendement van 85 % is het ingangsvermogen ongeveer 77 W.

Uit de formule volgt de verbruiksstroom voor de adapter van  $I = \frac{P}{U} = \frac{77}{230} = 0,334 \text{ A}$

De piekstroom is dan  $I_{top} = I_{rms} \times \sqrt{2} = 0,334 \times \sqrt{2} = 0,472 \text{ A}$

Voor de waterkoker geldt een stroom van:  $I = \frac{P}{U} = \frac{2200}{230} = 9,56 \text{ A}$

De piekstroom is dan  $I_{top} = I_{rms} \times \sqrt{2} = 9,56 \times \sqrt{2} = 13,52 \text{ A}$

Voor het gemak zijn deze waarden samengevat in de volgende tabel:

	Laptop adapter	Waterkoker
Vermogen (W)	77*	2200
Netspanning (V)	230	230
Verbruiksstroom (A)	0,33	9,56
Berekende piekstroom (A)	0,47	13,52

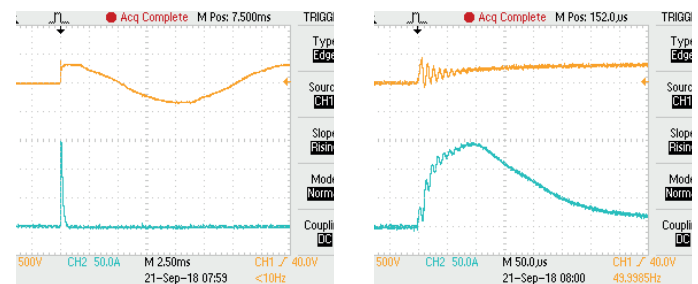
\*Zie uitleg over het rendement.

Het vermogen van de waterkoker is ongeveer 28 x hoger dan dat van de laptop adapter. Dezelfde factor zien we terug in de relatie van de piekstromen. De waterkoker bestaat uit een groot verwarmingselement en bevat geen spoelen en condensatoren. Bij het meten van de inschakelstromen hebben we bij het verwarmingselement dus geen last van de effecten daarvan. De onderstaande metingen maken het effect van de componenten als spoelen en condensatoren duidelijk.

Hoe groot de inschakelstromen kunnen zijn tonen de onderstaande afbeeldingen aan. De afbeeldingen zijn gemaakt met een oscilloscoop. Hiermee is het mogelijk om de spanning te meten op het moment van het inschakelen van een gebruiker. Tevens kan hiermee de stroom die op dat moment gaat vloeien worden gemeten. Op de verticale as van de afbeeldingen zijn spanningen en stromen aangegeven. De horizontale as geeft de tijd weer, in milliseconde per schaaldeel (ms/div) of microseconde per schaaldeel (µs/div). Div staat voor *division* wat in dit geval schaaldeel betekent. Een schaaldeel is weer verdeeld in 10 kleine delen. Het gele signaal geeft de spanning weer. Hier is de schaal 500 V/div. Het blauwe signaal geeft de stroom weer. In dit geval is de schaal 50 A/div.

De onderstaande afbeeldingen zijn gemeten aan de laptop adapter genomen van 19 V, 65 W die wordt ingeschakeld op de top van de sinus bij 230 V netspanning. Zie *Afbeelding 1*. De gele lijn ligt op moment van inschakelen op ongeveer 3/5 van één schaaldeel. Een schaaldeel is 500 V waaruit volgt dat de spanning op dat moment ongeveer 300 V is. Bij een 230 V net is de topwaarde in theorie 325 V. Het moment van inschakelen benadert dus vrij goed de top van de sinus.

Op moment dat de spanning wordt ingeschakeld zien we op de blauwe lijn een piek verschijnen. Deze piek is 3 schaaldelen groot wat inhoudt dat de stroompiek in deze meting 150 A hoog is.



Afbeelding 1

Afbeelding 2

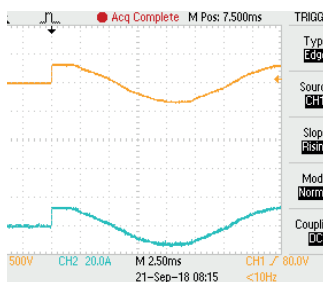
Op *afbeelding 1* is de tijdbasis 2,5 ms/div. *Afbeelding 2* is uitvergroet, hier is tijdbasis is 50 µs/div. Duidelijk is hier te zien dat de toename van de stroom en spanning niet in een vloeiende beweging gebeurt maar dat dit erg hakkend gaat. Dit verschijnsel noemen we oscillatie. In het Engels is dit ringing. Deze oscillatie kan netvervuiling in de vorm van ongewenste storingen op het net veroorzaken.



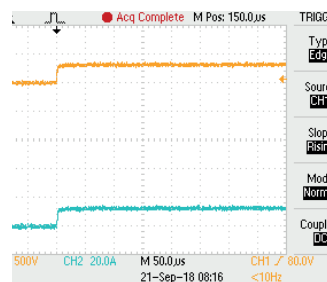
## GEVOLGEN VAN HOGE SCHAKELSTROMEN

### METINGEN INSCHAKELSTROOM WATERKOKER

Dat de inschakelstroom van de hierboven geteste adapter van slechts 65 W zo hoog is zou men niet meteen verwachten. De effectieve stroom van de adapter is = 0,33 A. Als de stroom sinusvormig zou zijn is de piek stroom in normale bedrijfstoestand 0,47 A (zie de tabel op de vorige pagina). Men verwacht dan geen inschakelstroom van 150 A. Meer dan 450 x hoger dan de effectieve continu stroom. Om dit enigszins in perspectief te kunnen plaatsen zijn er ook metingen uitgevoerd aan een waterkoker. Nou zal men in een datacenter niet gauw een waterkoker aantreffen maar het gaat om het idee. De waterkoker die is getest heeft een vermogen van 2.200 W. Bijna 29 keer meer dan het (opgenomen) vermogen van de adapter. Uit het onderstaande zal blijken dat de inschakelstromen bij zo'n relatief zwaar apparaat toch vele malen lager zijn dan die bij de adapter. Bij de waterkoker van meer dan 2 kW zijn dezelfde metingen uitgevoerd als bij de adapter.



Afbeelding 3



Afbeelding 4

Afbeelding 3 en Afbeelding 4 geven de stromen weer van de waterkoker. Op Afbeelding 3 in blauw weer de stroom: deze is slechts 13 A. Afbeelding 4 geeft hetzelfde weer, maar dan uitvergroet. Hier is totaal geen oscillatie en netvervuiling te zien, waar dat bij de adapter wel het geval is. In beide gevallen is hier ingeschakeld op de top van de sinus. Hieruit blijkt duidelijk dat de inschakelstroom bij de veel zwaardere waterkoker factoren lager ligt dan bij de laagvermogen adapter van slechts 65 W.

Eerder is al aangehaald dat hoge schakelpieken nadelig kunnen zijn. Uit de metingen van de laptop adapter blijkt dat er netvervuiling kan ontstaan door oscillaties. Maar ook kunnen de grote stroompieken spanningsdippen veroorzaken op het net.

Immers door de kortstondige maar hoge stroompieken kan de netspanning ook kortstondig inzakken omdat het net ook een bepaalde impedantie heeft. Een spanningsdip kan op zijn beurt ook weer andere effecten zoals oscillaties veroorzaken. Netvervuiling kan dus een niet te onderschatten gevolg zijn. Een ander punt is de overbelasting van componenten. In een verbruiker zitten allerlei componenten waar de totale ingangsstroom door heen gaat. Denk hierbij aan bekabeling, connectoren, printplaten, inlets, zekeringen, netfilters, spoelen en soms ook gelijkrichtdiodes. Voor al deze componenten geldt dat er een extra stress situatie ontstaat op moment dat ze grote inschakelstromen moeten voeren. Hierdoor kan een versnelde veroudering optreden wat de levensduur niet ten goede komt.

Als derde niet te onderschatten punt is de invloed op de contacten van de relais die worden gebruikt om de verbruiker te schakelen. Hoe kort de schakelpuls ook is, praktijkproeven hebben aangetoond dat de hoge schakelstromen erg nadelig kunnen zijn voor de relais. Contacten kunnen inbranden en worden daardoor als het ware aan elkaar gelast. Uit proeven is gebleken dat in enkele gevallen na slechts 10 x schakelen van een 65 W adapter de relais contacten aan elkaar waren vastgeplakt.

De mogelijke gevolgen van hoge schakelstromen zijn onderstaand samengevat.

*Mogelijke gevolgen van hoge schakelstromen:*

- *Verslechterd EMC gedrag*
- *Overbelasting van componenten en daardoor versnelde veroudering van de verbruikers*
- *Risico op inbranden van de schakelrelais*

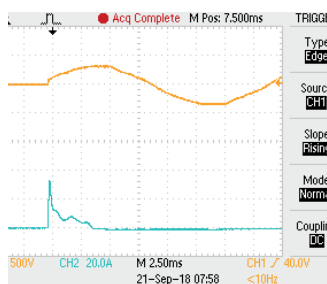


## NEAR-ZERO-VOLTAGE SWITCHING (n-ZVS)

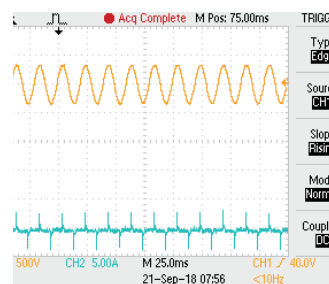
**HET ZAL DUIDELIJK ZIJN** dat het een groot voordeel is indien hoge schakelstromen kunnen worden voorkomen. Het voorkomen van hoge schakelstromen leidt tot verminderde netvervuiling en daardoor verbeterd EMC gedrag en een betere Power Quality, heeft minder kans op versnelde veroudering van de verbruiker en last but not least zal dit leiden tot minder slijtage van de schakelrelais met uiteindelijk een betrouwbaardere PDU tot gevolg.

Zoals eerder al uitgelegd is bij dit soort elektronische voedingen zoals de adapter de inschakelstroom op zijn hoogst als de spanning het hoogste is. Een voor de hand liggende gedachte is om juist in te schakelen op het moment dat de spanning minimaal is. Dit is het geval in de nul-doorgang van de wisselspanning. Door voortdurend de netspanning te meten kan de nul-doorgang worden gedetecteerd. Door gebruik te maken van slimme hardware en intelligente software waarbij o.a. de inschakelvertraging van het elektromechanische relais wordt geëlimineerd is het mogelijk om reproduceerbaar en met een nauwkeurigheid van 1 ms in de nul-doorgang te schakelen. Deze techniek heet: **Near-Zero-Voltage Switching** (n-ZVS) Deze benaming is afgeleid van een soortgelijke techniek zoals die wordt toegepast in schakelende voedingen.

Het effect van het schakelen rond de nul-doorgang door *Near-Zero-Voltage Switching* wordt hieronder weergegeven. De meting is uitgevoerd aan de zelfde 65 W laptop adapter. Echter, nu wordt de adapter ingeschakeld rond de nul-doorgang. Hieronder staan de afbeeldingen. *Afbeelding 5* geeft het inschakel-effect weer als wordt ingeschakeld in de nul-doorgang.



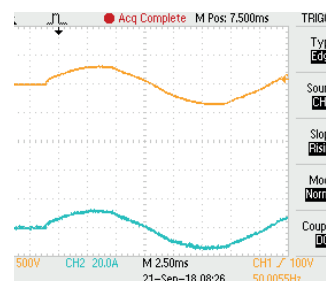
Afbeelding 5



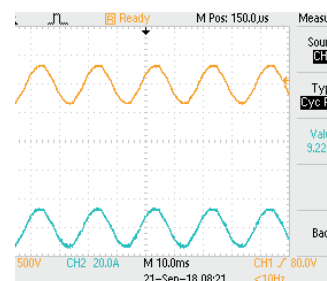
Afbeelding 6

Op *Afbeelding 5* zien we dat er een fractie later dan het moment van de de nul-doorgang wordt ingeschakeld. De stroom is nu ongeveer 35 A. Een groot verschil met de eerdere meting van 150 A. Merk op dat de schaalverdelingen hier zijn aangepast ten opzichte van de vorige metingen: links 20 A/div en rechts 5 A/div. Op *Afbeelding 6* zijn de stroom en spanning te zien bij continu bedrijf van de adapter, bij de volledige belasting van 65 W. De piekstromen bij normaal, volledig belast bedrijf, zijn ongeveer 3 A. De RMS waarde van de stroom in *Afbeelding 8* komt overeen met de berekende waarde van 0,33 A uit de tabel op pagina 4. Het voordeel van Near-Zero-Voltage-Switching blijkt duidelijk uit deze metingen. De eerder gemeten inschakelstroom van 150 A is nu gereduceerd tot 35 A.

Volledigheidshalve zijn hieronder in *Afbeelding 7* de spanning en stroom weergegeven als de waterkoker wordt ingeschakeld in de nul-doorgang. In *Afbeelding 7* zien we dat er geen inschakel-piek verschijnt. De stroom neemt evenredig toe met het toenemen van de spanning hetgeen ook was te verwachten. In *Afbeelding 8* is de situatie weergegeven bij continu bedrijf van de 2.200 W waterkoker.



Afbeelding 7



Afbeelding 8

In *Afbeelding 8*, bij continu bedrijf, is de gemeten RMS stroom 9,22 A. Bij 230 V resulteert dit in 2.120 W, hetgeen ongeveer overeenkomt met wat op het typeplaatje staat.



## SAMENVATTING

---

In dit whitepaper wordt nader ingegaan op de nadelige effecten van het schakelen van apparatuur in een datacenter. Aan de hand van voorbeelden wordt het begrip inschakelstroom verduidelijkt en wordt uitgelegd wat de schadelijke gevolgen van hoge inschakelstromen kunnen zijn.

Er wordt ingegaan op zowel het EMC aspect als ook op de invloed ten aanzien van de levensduur en betrouwbaarheid van zowel een PDU als van de aangesloten verbruikers. Tevens wordt uitgelegd hoe deze nadelige effecten kunnen worden bestreden. Uitgelegd wordt wat er gebeurt wanneer een elektrisch apparaat wordt ingeschakeld op de netspanning. Het effect van het in de nul of juist op de top schakelen van de sinus wordt aangetoond. Uitgelegd wordt wat er gebeurt wanneer een elektrisch apparaat wordt ingeschakeld op de nul-doorgang van de netspanning. De hiervoor gebruikte techniek *Near-Zero-Voltage Switching* wordt nader uit de doeken gedaan.

## CONCLUSIE

---

Het inschakelgedrag van elektronische voedingen brengt soms onverwachte en ongewenste effecten met zich mee. Inschakelstromen, hoewel kort, zijn vaak veel hoger dan men zou denken en ook vaak veel hoger dan de vermeldingen van een fabrikant suggereren. Door slim te schakelen kunnen deze hoge inschakelstromen aanzienlijk worden beperkt. Het gebruikmaken van schakelen in de nul-doorgang kan veel voordelen opleveren. Het verkleint het risico op het falen van de schakelende relais of aangesloten apparatuur en kan tevens leiden tot minder netvervuiling, een verbeterd EMC gedrag en een daarmee samenhangende betere Power Quality. *N-ZVS: Near Zero Voltage Switching* is de techniek bij uitstek waarmee dit mogelijk is.

*Dit whitepaper is geschreven door Wiel Drissen, in een samenwerking tussen Schleifenbauer Products en Drisco Electronics. Publicatie: Juli 2019*

## SCHLEIFENBAUER PRODUCTS

Schleifenbauer Products is een Nederlandse fabrikant van intelligente energiemeters voor datacenters. In Den Bosch worden rack-PDU's gebouwd volgens klantspecificatie. Vergelijk het configuratie- en productieproces met Lego®: met een beperkt aantal bouwstenen is het aantal eindproducten praktisch onbeperkt. Rack-PDU's van Schleifenbauer worden aangepast aan de elektra-infrastructuur van uw datacenter, in plaats van dat de elektra-infrastructuur aangepast moet worden aan een rack-PDU. Meer informatie vindt u op [www.schleifenbauer.eu](http://www.schleifenbauer.eu)



**SCHLEIFENBAUER**  
LIVING FOR THE POWER TO DELIVER

## DRISCO ELECTRONICS

Drisco Electronics uit Sevenum (Nederland) is gespecialiseerd in de ontwikkeling van analoge, digitale en power elektronica. Drisco Electronics verzorgt het totale project, van specificatie tot en met de levering van serieproductie. Ook de nazorg wordt hierbij niet vergeten. Meer informatie vindt u op [www.drisco.nl](http://www.drisco.nl)

**DRISCO ELECTRONICS**  
electronic development & engineering



