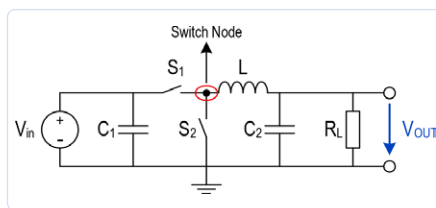


EMC-storingen door opslagspoelen minimaliseren

Ranjith Bramanpalli, Würth Elektronik

Schakelende voedingen kunnen niet zonder opslagspoelen. Maar als je hun invloed op het EMC-gedrag wil verbeteren, is er een aantal uitgangspunten zoals afschermingsgraad, start van de eerste wikkeling en de schakelovergangen.

DC/DC-omzetters spelen een belangrijke rol in het energiebeheer, bijvoorbeeld bij het realiseren van efficiënte schakelende voedingen. Daarbij behoren opslagspoelen tot de belangrijkste componenten van zulke schakelende voedingen, waarbij tijdens het ontwikkelingsproces vaak alleen naar de puur elektrische eigenschappen, zoals R_{DC} , R_{AC} of kernverliezen, wordt gekeken. De eigenschappen van elektromagnetische straling daarentegen worden vaak genegeerd. In **figuur 1** is een typische DC/DC-omzetter met de schakelaars S_1 en S_2 te zien.



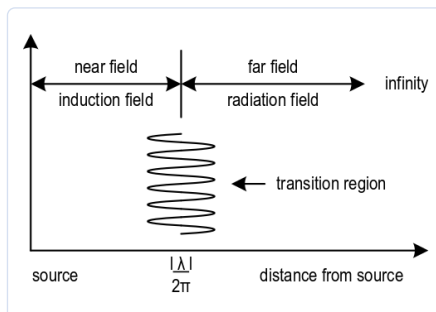
Figuur 1. Typische DC/DC-omzetter met de schakelaars S_1 en S_2 .

Opslagspoelen in schakelende voedingen

Opslagspoelen in schakelende voedingen kunnen uit verschillende kernmaterialen bestaan en met verschillende soorten wikkelingen uitgevoerd zijn. Bovendien kunnen opslagspoelen worden onderverdeeld in drie soorten: niet-afgeschermde, semi-afgeschermde en afgeschermde. Elk type afscherming heeft specifieke voor- en nadelen, die de toepassingsgebieden bepalen.

Door de schakelprocessen in een schakelende voeding wordt er een wisselspanning in de spoel opgewekt. Aangezien een spoel - puur praktisch gezien - als een loopantenne kan werken, is de elektromagnetische straling afhankelijk van een hele reeks factoren. Hiertoe behoren bijvoorbeeld eigenschappen zoals kern- en afschermingsmateriaal en ook de start van de eerste wikkeling.

De door de schakelfrequentie en haar harmonische veroorzaakte elektromagnetische straling van een opslagspoel is in het onderste frequentiebereik van 150 kHz tot 30 MHz niet alleen afhankelijk van het feit



Figuur 2. Uitbreidingspectrum in het nabije en verre veld, waarvan de overgang bij $\lambda/2\pi$ ligt.

of de spoel is afgeschermd, maar ook van de wikkelingseigenschappen. Daarentegen is de elektromagnetische straling in het bovenste frequentiebereik (30 MHz tot 1 GHz), waarin de emissie van ringing en hun harmonischen wordt veroorzaakt, meer afhankelijk van de afschermingseigenschappen van het kernmateriaal, van de schakelfrequentie en van het basisontwerp.

Elektromagnetische veldeffecten

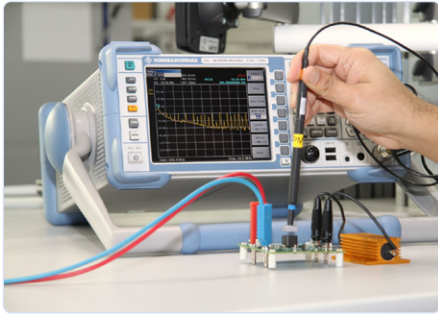
Het gebruik van opslagspoelen in DC/DC-omzetters brengt ongewenste nevenef-

fecten met zich mee, die vergelijkbaar zijn met die van een loopantenne. Wisselspanning en wisselstroom in de spoel wekken een elektrisch veld (E-veld) en een magnetisch veld (H-veld) op. Deze twee velden breiden zich uitgaande van de bron in een rechte hoek ten opzichte van elkaar uit.

In de nabijheid van deze loopantenne (bron) worden de eigenschappen van het E-veld en H-veld door het gedrag van de broneigenschappen (schakelfrequentie, overgangen enz.) bepaald. Verder van de bron vandaan worden de veldeigenschappen echter door het overgangsmiddeel bepaald. Deze afzonderlijke en toch samenhangende fenomenen kunnen dus in twee gebieden worden ingedeeld: het nabije veld en het verre veld (**figuur 2**). Het gebied binnen $\lambda/2\pi$ van de bron wordt daarbij als nabije veld gedefinieerd, terwijl de emissie buiten dit gebied ver veld wordt genoemd.

In het nabije veld moeten het E-veld en H-veld los van elkaar worden gezien, omdat de verhouding tussen deze twee velden, gedefinieerd als golfimpedantie E/H , niet constant is. In het verre veld daarentegen vormen deze velden samen een vlakke golf. Om deze reden worden het elektrische veld E en het magnetische veld H alleen in de context van het nabije veld beschreven. Als de bron met een sterke stroom en een lage spanning wordt gebruikt, is er sprake van een dominant magnetisch veld. Bij een zwakke stroom en een hoge spanning is het elektrische veld dominant.

Bij een loopantenne is het magnetische veld in de buurt van de bron sterk, hetgeen daar tot een lage golfimpedantie leidt. Als de afstand tot de bron toeneemt, zwakt dit magnetische veld af en wekt het tegelijker-

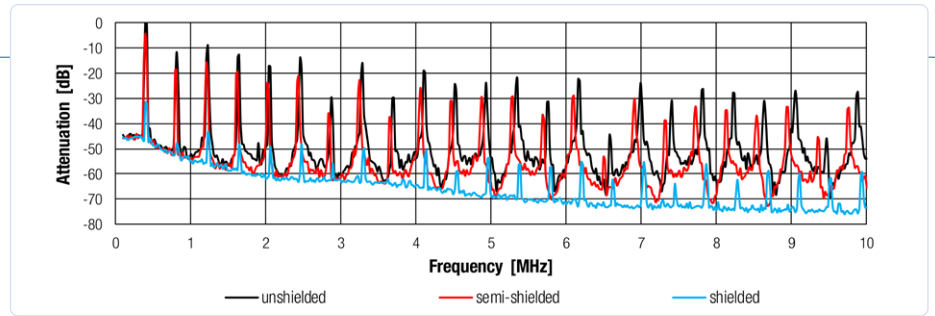


Figuur 3. Testopstelling voor het meten van het elektrische veld bij een DC/DC-omzetter (DUT).

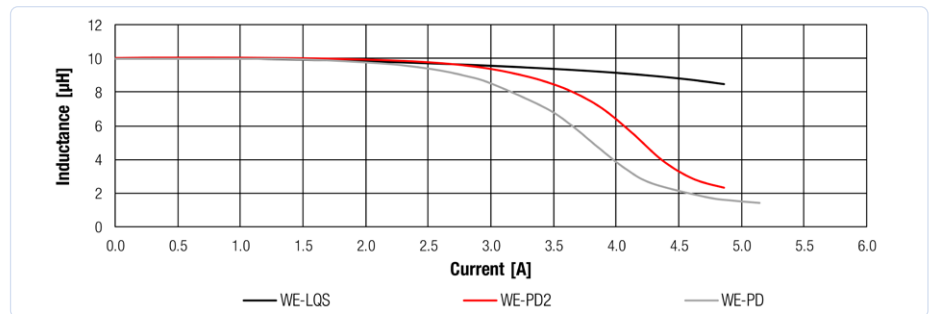
tijd een elektrisch veld op, dat loodrecht op de uitbreidingsrichting van veld H staat. Als men zich van de bron af beweegt, wordt het magnetische veld met de factor $1/r^3$ zwakker. Het elektrische veld wordt met de factor $1/r^2$ afgezwakt bij het toenemen van de afstand (waarbij r (radius) de afstand is). Bij een rechte draadantenne is de golfimpedantie hoog, omdat het elektrische veld in de buurt van de bron dominant is. De afzwakkingseigenschappen zijn precies het tegenovergestelde van die van de loopantenne.

Afstralingsgedrag van spoelen

Zoals hierboven vermeld, is de straling van elektromagnetische velden van opslagspoelen in DC/DC-omzetters geen te verwaarlozen factor. Dit geldt met name als er rekening wordt gehouden met het type en de afstand van de omringende componenten en hun gevoeligheid voor magnetische koppelingen. Aangezien het bewustzijn voor deze potentiële EMC-problematiek onder ingenieurs is toegenomen, hebben de fabrikanten van componenten gereageerd en bieden ze nu een breder assortiment aan, dat naast gangbare niet-afgeschermden spoelen ook afgeschermden en semi-afgeschermden spoelen omvat. Afgeschermden spoelen worden zodanig geproduceerd dat de wikkeling volledig is ingekapseld in een vormdeel van materiaal voor magnetische afscherming. Bij niet-afgeschermden spoelen liggen de wikkelingen normaal gesproken bloot en is er ook geen magnetische afscherming. Door de ongehinderde uitbreiding van elektromagnetische velden zijn dit normaliter de sterkste EMC-stoorbronnen. Bij semi-af-



Figuur 4. Meetresultaat van het H-veld van niet-afgeschermden, semi-afgeschermden en afgeschermden spoelen



Figuur 5. Vergelijking van het verzadigingsgedrag van een afgeschermden (grijs), semi-afgeschermden (zwart) en niet-afgeschermden (rood) spoel.

geschermden spoelen worden magnetische materialen meestal met epoxyhars op de blootliggende wikkelingen aangebracht. In **figuur 3** is de testopstelling voor het meten van het elektromagnetische veld bij een DC/DC-omzetter (DUT) te zien.

Zoals reeds vermeld, biedt elk spoeltype zowel voor- als nadelen. Het belangrijkste voordeel van de afgeschermden spoel is de relatief zwakke elektromagnetische emissie in vergelijking met semi-afgeschermden en niet-afgeschermden spoelen. Het fundamentele emissiegedrag van deze drie basistypes is goed te zien in **figuur 4**.

Maar zoals veel elektrotechnici weten, is het ontwerpen van een nieuwe schakeling altijd een balanceeract. Bij de versterking van een gewenste eigenschap kan er vaak ook een versterking van ongewenste eigenschappen optreden, waarvan de maximale waarden uiteindelijk door de eisen van het gehele project beperkt zijn. Een van deze beperkingen zijn onmiskenbaar de afmetingen (van de applicatie). Afgeschermden spoelen hebben vergeleken met een vergelijkbare niet-afgeschermden spoel een lagere DC-weerstand en een lagere verzadigingsstroom. Door de lage DC-weerstand kan de continue stroom hoger zijn. Sommige engineers denken nog steeds dat niet-afgeschermden spoelen voordeliger zijn. Echter, de prijs van een spoel is

van vele zaken afhankelijk. In werkelijkheid zijn afgeschermden spoelen vaak zowel technisch als commercieel de beste keuze. De keuze voor een niet-afgeschermden spoel leidt uiteindelijk echter tot een groot aantal EMC-problemen, die na de ontwerpfase nog maar moeilijk kunnen worden opgelost. Würth Elektronik is een van de weinige fabrikanten van semi-afgeschermden spoelen, waarmee de spagaat tussen benodigde ruimte, elektrische kenmerken en EMC kan worden gemaakt. Deze spoelen zijn vooral geschikt voor toepassingen waarbij componenten in de onmiddellijke nabijheid van de spoelen niet bijzonder stralingsgevoelig zijn.

De uitstekende verzadigingseigenschappen van de semi-afgeschermden opslagspoel WE-LQS van grootte 8040 (744 040 841 00) in vergelijking met een afgeschermden spoel uit de WE-PD-serie, grootte 7345 (744 777 10) en een niet-afgeschermden spoel uit de WE-PD2-serie, grootte 7850 (744 775 10) zijn in **figuur 5** weergegeven.

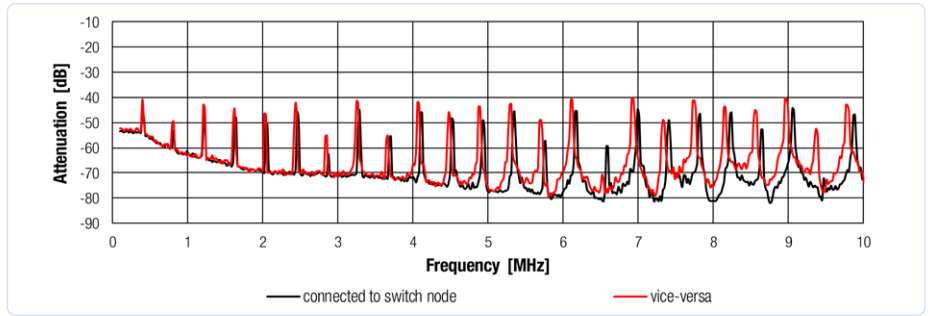
Effect van de oriëntatie van de eerste wikkeling

Een voor de EMC belangrijk aspect dat eenvoudig over het hoofd kan worden gezien, is de oriëntatie van de start van de eerste wikkeling, die door een 'stip' op de spoel is gemarkeerd (**figuur 6**). Het

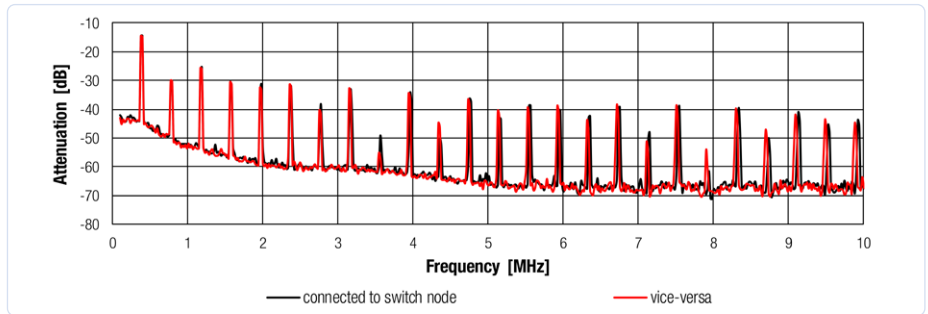


Figuur 6. De spoeltypes WE-XHMI en WE-PD2 met de 'stip', die de start van de eerste wikkeling aangeeft.

is belangrijk om de spoelzijde met deze markering zo dicht mogelijk op het schakelknooppunt aan te sluiten, omdat aan deze zijde de hoogste dV/dt -waarde optreedt en daardoor stoorinvloeden hier het meeste effect hebben. Op deze manier wordt de AC-flux van het schakelknooppunt door de buitenste wikkelingen afgeschermd. Als daarentegen het niet-gemarkeerde uiteinde met het schakelknooppunt wordt verbonden, zijn de AC-flux spanningen op de buitenste wikkeling aanwezig. Dit kan tot elektrische of capacitieve koppelingen met een onacceptabele sterkte leiden. Magnetisch afgeschermd spoelen schermen de dominante straling van het H-veld effectief af, maar kunnen de dominante E-veldstraling niet onder alle omstandigheden afschermen. De effectiviteit van de E-veldafscherming is afhankelijk van de materiaaleigenschappen en de magnetische permeabiliteit: hoe hoger de sterkte en de magnetische permeabiliteit van het kernmateriaal zijn, des te effectiever is de afscherming van het E-veld door de spoel. Als voorbeeld zijn de E-veldemissies van een afgeschermd opslagspoel van Würth Elektronik gemeten. De gekozen schakelfrequentie is hier 400 kHz. De grondfrequentie en daaropvolgende harmonische werden opgewekt. Het spectrum laat duidelijk zien dat de E-veldemissies aanzienlijk lager zijn, als het met de stip gemarkeerde uiteinde van de spoel met het schakelknooppunt is verbonden (figuur 7). Op



Figuur 7. E-veld van de met het schakelknooppunt verbonden start van de eerste wikkeling en omgekeerd.



Figuur 8. H-veld van de met het schakelknooppunt verbonden start van de eerste wikkeling en omgekeerd.

grond daarvan wordt aanbevolen om de spoel met de juiste oriëntatie te gebruiken. Daarentegen worden de H-veldemissies vrijwel niet beïnvloed door de oriëntatie van de spoel (figuur 8). Een gedetailleerde beschouwing van de elektromagnetische stoorsignalen door de invloed van de schakelovergangen alsmede voor het afschermingseffect van verschil-

lende materialen in het nabije veld en in het verre veld is in [1] te vinden. .

220295-03

Over de auteur

Ranjith Bramanpalli rondde in 2008 zijn studie aan de University of Massachusetts in Lowell met twee masters in elektrotechniek en informatica af. Sindsdien werkt hij in de vermogenslektronica, waarbij zijn focus op onderzoek, ontwikkeling en toepassing ligt. Momenteel is hij werkzaam als Product Application



WEBLINK

[1] : www.we-online.com/ANP047