

Power Quality Monitoring
Power Conversion
Power Applications

TRENDS ROND VERMOGENSELEKTRONICA

Vermogenselektronica Event 2012

Energieopslag en Grid-Connectie voor Zonne- en Windenergie

Dit jaar zal het Vermogenselektronica Event plaatsvinden op dinsdag 12 juni 2012 in de gebouwen van de TU Eindhoven. Het doel van dit seminar is de diversiteit van toepassingen, innovaties en kennis te tonen. Het thema van dit jaar 'Trends rond Vermogenselektronica' geeft aan welke nieuwste ontwikkelingen er spelen en wat de "trends" naar de toekomst zijn. Met name op het gebied van energie (opwekking en het energienet) en transport speelt Vermogenselektronica een cruciale rol in de prestatie en acceptatie van nieuwe ontwikkelingen. Eén van de sprekers die dag is Peter van Duijsen. Speciaal voor Energie&Engineering, maakte hij een samenvatting van zijn verhaal.

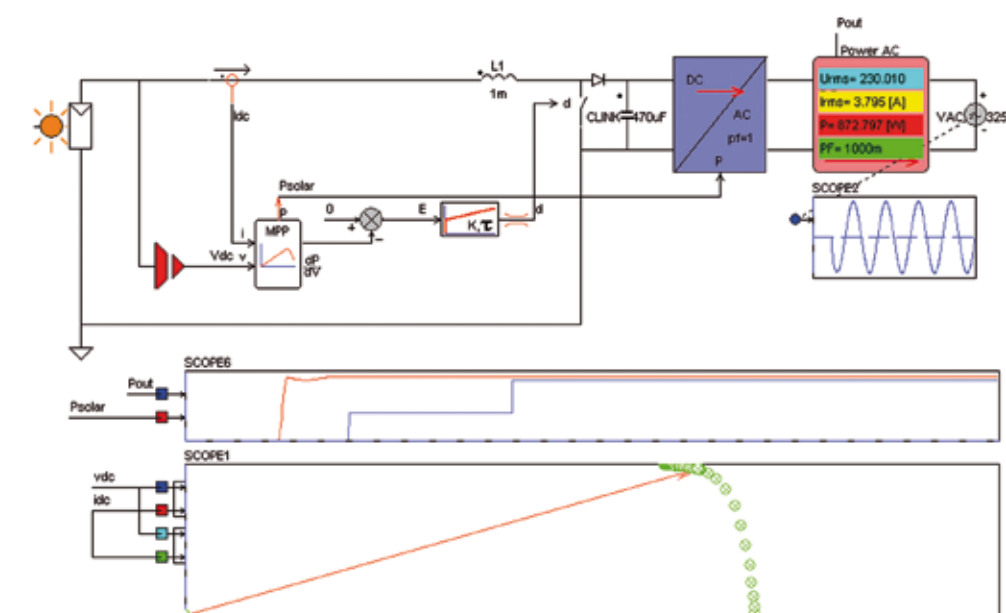
Auteur: Peter van Duijsen, Simulation Research Caspoc



Energie van zonnepanelen en windturbines wordt of via grid-connected vermogenselektronica in het elektriciteitsnet gepompt of kan lokaal in een accu's opgeslagen worden. Maar hoe werkt nu zo'n grid-connected omvormer, hoe werkt synchronisatie, waarom ontstaan er harmonischen en waarom loopt er ondanks alle isolatie toch een lekstroom uit het zonnepaneel? En die batterij? Hoe groot is het verlies tijdens een laad- en ontlaadcyclus? In dit artikel wordt ingegaan op de werking van de 1-fase en 3-fasen grid-connected omvormers en het gedrag van Li-Ion-batterijen.

Ruim honderd jaar geleden was er een meningsverschil tussen Thomas Alva Edison, de uitvinder van de gloeilamp en Nikola Tesla, de uitvinder van de asynchrone machine, over de voor- en nadelen van gelijk- en wisselstroom. Edison had de voorkeur voor gelijkspanning en verkocht kleine centrales die lokaal gelijkspanning opwekken alsmede diverse elektrische apparaten werkend op gelijkstroom, waaronder natuurlijk gloeilampen. Tesla, die in eerste instantie bij Edison werkte, stapte over naar Westinghouse, waar hij alle ruimte kreeg om wisselstroomgeneratoren en transformatoren te maken. Tesla beschuldigde Edison van het overnemen van zijn patenten en daarna zou het nooit meer goedkomen tussen die twee. Edison kon gelijkspanning opwekken, opslaan in batterijen of lampen laten branden, maar omdat hij met spanningsverlies over lange kabels te maken had, kon hij alleen kleine lokale centrales maken. Tesla begreep het voordeel van wisselspanning en de transformator en koos voor een veel hogere wisselspanning. Het resultaat was dat voor eenzelfde vermogensoverdracht bij hogere spanning, een veel kleinere stroom nodig was en waren er dus veel minder verliezen. Westinghouse begon grote centrales te bouwen en de slag om de elektrificatie was al snel in het voordeel van wisselspanning beslecht.

Meer dan een eeuw later, kunnen we dankzij de vermogenselektronica beide gebruiken. En dat is nodig ook, want zowel gelijkspanning als wisselspanning hebben voor- en nadelen en zijn tevens gebonden aan toepassingen. Neem bijvoorbeeld opslag. Een batterij is toch synoniem voor gelijkspanning? Of een zonnecel. Die



Figuur 1. MPP regelaar met DC-DC omvormer en enkel-fase net koppeling.

levert een gelijkstroom. Een windturbine waar een generator in zit, levert in principe een wisselspanning, maar om het vermogen van een windturbine te regelen, wordt toch weer gebruikgemaakt van gelijkspanning. En hoe zit dat nu met transport van electriciteit? Dat is toch wisselspanning? Dat klopt, maar voor het transport van grotere vermogens over langere afstand, met name over zee, wordt tegenwoordig toch weer een hoge gelijkspanning toegepast. De reden hiervoor is nog lagere verliezen, omdat je nu geen last hebt van de wisselstroomweerstand van de kabels. De hoge gelijkspanning kan nu gemaakt worden m.b.v. vermogenselektronica.

Om beter te begrijpen waar wisselspanning en gelijkspanning gebruikt worden, moeten we naar de afzonderlijke componenten kijken. Als eerste de bronnen, zon en wind, daarna de opslag en tenslotte de verbinding met het net.

Bronnen

Een zonnecel is een halfgeleider en lijkt daarom qua gedrag op een diode. Er is echter een groot verschil. Zodra er licht op valt, gaat er een stroom lopen. Zolang de spanning over de zonnecel laag blijft, komt zijn eigen diode niet in geleiding en dus kan de zonnecel vermogen leveren. Dat vermogen kan je direct gebruiken, maar meestal wordt het in een accu opgeslagen. De spanning van de zonnecel is meestal niet gelijk aan die van de batterij en tevens moet de spanning over de zonnecel laag gehouden worden, anders levert deze geen vermo-

gen. Hier is dan een DC-DC-omvormer met een Maximum Power Point (MPP) regelaar nodig. In Figuur 1 is een Caspoc-simulatie te zien waar de MPP de DC-DC-omvormer dusdanig stuurt, dat het zonnepaneel het maximale vermogen kan leveren. Met de MPP-regeling stuur je de overzetverhouding van de DC-DC-omvormer. De uitgangsspanning van de omvormer staat vast vanwege de AC-aansluiting via de inverter. Door variatie van de duty-cycle regel je dus de ingangsspanning van de DC-DC-omvormer en daarmee de spanning over de zonnecellen. Op die manier regel je de zonnecel naar zijn maximale vermogensafgifte. De hoeveelheid vermogen die de zonnecel op dat moment kan leveren voer je af met de AC-inverter, waar je het vermogen naar het net kan regelen door de grootte van de netstroom te sturen. De energie in de accu is natuurlijk direct te gebruiken, maar het is handiger als je er 230 V van kan maken. Je kan het dan gebruiken als stroomvoorziening in huis, maar tevens kan je nu ook vermogen leveren aan het net. Hoe dat precies werkt, zien we straks onder het kopje Grid-connectie.

Wind laat een molentje draaien, dat weet ieder kind en een goed ontworpen windmolen kan met gemak honderden kilowatts uit een briesje halen en megawatts uit een stevige wind. Dat is niet alleen het werk van de generator, maar ook van de omvormer – een apparaat vol met vermogenselektronica. De omvormer kan de generator zo aansturen, dat deze het maximale vermogen uit de wind haalt. Die omvormer moet wel met >>

wisselspanning en gelijkspanning kunnen werken. Wisselspanning, meestal drie-fase, aan de kant van de generator en gelijkspanning in de omvormer. Van deze gelijkspanning in de omvormer maakt een tweede omvormer weer een wisselspanning die met het net verbonden is.

Opslag

De meest voor de hand liggende opslag van elektrische energie is in een accu. Op dit moment zijn twee technologieën in gebruik, Lithium-Ionen en Nickel Metaal Hydride (NiMH). Accu's gebaseerd op Lithium-Ionen zitten in de meeste mobiele toepassingen en de nieuwere elektrische en hybride auto's, terwijl NiMH in huishoudelijke apparatuur en de eerste generaties hybride auto's zit.

Elektrische energie opslaan, lijkt eenvoudig, maar er zitten haken en ogen aan. Ten eerste de prijs. Een kleine oplaad-

bare batterij voor speelgoed is redelijk betaalbaar, maar hier gaat het om opslag van een veel grotere hoeveelheid energie. Ten tweede het dynamische gedrag en de verliezen van de accu en als derde de veroudering van de cellen.

Een goede indicatie van de prijs van een oplaadbare batterij is de prijs van een elektrische auto. Meer dan de helft van de prijs (zo'n 10 tot 20 duizend Euro) is voor de cellen en dat is niet omdat zij zo moeilijk te maken zijn of omdat er 'nog' zo weinig van gemaakt worden, maar simpelweg omdat de grondstof, voornamelijk Lithium, schaars is.

Het dynamische gedrag is goed te begrijpen met een basiskennis van elektrotechniek. Eigenlijk is een accu een hele grote condensator met een serieweerstand. Het verschil met de condensator is dat de spanning vrij constant blijft, onafhankelijk van de lading. Bij een condensator is de spanning bijna lineair afhankelijk van de lading. Figuur 2 laat deze spanning zien als functie van de lading in de cel. Hierin is de State of Charge (SoC) weergegeven - de procentuele hoeveelheid lading in de cel, die varieert tussen 0 en 100%. Als de cel geheel is opgeladen, is de SoC gelijk aan 100% en heeft de cel zijn maximale spanning bereikt. Voor een doorsnee Lithium-Ion cel is dat ongeveer tussen de 3,6 en 3,8 volt. De gemiddelde spanning is ongeveer 3,3 volt. Naarmate de ontladingsstroom groter wordt, zakt ook de celspanning in.

Temperatuur heeft invloed op de serieweerstanden. Naarmate de temperatuur hoger wordt, neemt de serieweerstand af, dus precies omgekeerd zoals dat het geval is bij metaal. Parallel aan de serieweerstanden zijn capaciteiten getekend. Hiermee wordt de traagheid van de accu weergegeven. Op het moment dat de cel stroom gaat leveren, gaan de capaciteiten zich opladen. De twee verschillende responstijden worden door de twee verschillende RC-netwerken voorgesteld. Tijdens het opladen ontstaan er verliezen in de serieweerstanden en tijdens het ontladen ontstaan er opnieuw verliezen. Hoe kleiner de weerstanden zijn, des te kleiner de laad- en ontladverliezen zullen zijn. De derde belangrijke factor is de veroudering. Naarmate de cel vaker geladen en ontladen wordt, treedt veroudering op. Met name geheel ontladen en vervolgens weer helemaal volladen vergroot bij een Lithium-Ion accu de veroudering. Tests hebben uitgewezen dat veroudering minder wordt naarmate de accu tussen de 40 en 80 procent van de maximum lading blijft. Figuur 3 laat zien dat de veroudering ook toeneemt naarmate de accu voller geladen is. De State of Health (SoH) is een indicatie voor de 'gezondheidstoestand' van de accu.

Grid-connectie

Levering van vermogen aan het elektriciteitsnet gebeurt via een grid-connected omvormer. Deze omvormer pompt als het ware stroom in het net en doet dat met dezelfde frequentie en fase als de netspanning en daar zit precies de moeilijkheid. Om de arbeidsfactor zo veel mogelijk gelijk aan 1 te krijgen, moet de fase van het wisselspanningsnet goed gemeten worden. En dan is er nog verschil tussen enkel-fase en drie-fase omvormers.

Enkel-fase omvormers worden voornamelijk bij zonne-energie-installaties toegepast, waar het vermogen laag is. Met name in huisinstallaties komen deze omvormers voor. De gemeten spanning wordt gefilterd en geschaald. De schaling is afhankelijk van de hoeveelheid stroom die aan het net geleverd moet worden, omdat deze geschaalde spanning de

referentiestroom voor de omvormer is. De schaling wordt bepaald door de hoeveelheid vermogen die het zonnepaneel op dat moment levert. Met eventuele faseverschuivingen vanwege het filteren dient dan ook in de regeling rekening gehouden te worden. De referentiestroom stuurt de pulsbreedtemodulatie van de inverter. Deze pulsbreedtemodulatie heeft een frequentie boven de 20 kHz en regelt dat de door het net opgenomen stroom gelijk is aan de referentiestroom. Wat in deze configuratie belangrijker is, is de lekstroom door het zonnepaneel. Door kleine afwijkingen in de in- en uit-schakeltijden van de Mosfets ontstaat een verschilstroom tussen de stromen in de aansluitingen L1 en L2. Deze verschilstroom zal via een capacitieve koppeling van het zonnepaneel door het metalen frame lopen. De 'Heric' omvormer uit figuur 4 heeft een extra Mosfet in serie met het zonnepaneel. Deze Mosfet schakelt synchroon met de modulatie van de Mosfets in de inverter en zorgt ervoor dat de lekstroom een factor 10 lager is dan in een conventionele enkel-fase omvormer zonder deze extra Mosfet. De stroom die in de Caspoc-simulatie in de onderste scope staat afgebeeld, is nu beduidend kleiner dan in een omvormer zonder de extra Mosfet. Een drie-fase omvormer is eigenlijk wat eenvoudiger te maken dan de enkel-fase omvormer. Dat komt omdat de fase van de spanningen gemakkelijker te meten is. In principe worden

de drie spanningen gemeten en na een mathematische transformatie en rotatie wordt met behulp van een Phase Lock Loop (PLL) de fase bepaald.

Een net-gekoppelde drie-fase-omvormer werkt meestal met behulp van een vectorregeling. Deze werkt op precies dezelfde wijze als bij een drie-fasen motorsturing, maar in plaats van de rotorpositie is nu de fase van het drie-fasen-net een regelgrootte. Met behulp van deze regeling zijn het actieve en passieve vermogen onafhankelijk van elkaar te regelen. In figuur 5 is de Caspoc simulatie van deze regeling te zien. De omvormer is aan de rechterkant met het net gekoppeld en aan de linkerkant is de DC-bus waar m.b.v. extra omvormers de zonnepanelen of wind turbines ook op aangesloten zitten, evenals een eventuele accu. De spanning op deze DC-bus wordt ook door de vectorregeling op een constant niveau van 700 V gehouden. Als een zonnepaneel nu vermogen aan deze DC-bus zou toevoeren, dan zou de DC-busspanning gaan stijgen. De vectorregeling zorgt er nu voor dat vermogen van de DC-bus aan het net geleverd wordt, zodat de spanning weer 700 V wordt. En of er nu veel of weinig of geen vermogen aan de DC-bus geleverd wordt, maakt voor de regeling niets uit, de DC-busspanning blijft gelijk.

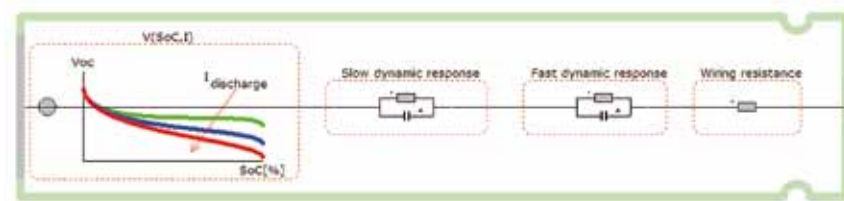
Net zoals bij de enkel-fase omvormer is de schakelfrequentie van de omvormer boven de 20 kHz. Het modulatieprincipe bepaalt de volgorde van schakelen in de omvormer. De harmonischen in de spanningen die hierdoor ontstaan, moeten onder de norm blijven. Een filter tussen de omvormer en het net zorgt hiervoor, maar introduceert ook een faseverschuiving. Om die reden moet de spanning van het drie-fasennet dan ook aan de kant van het net gemeten worden.

Nog enkele gegevens

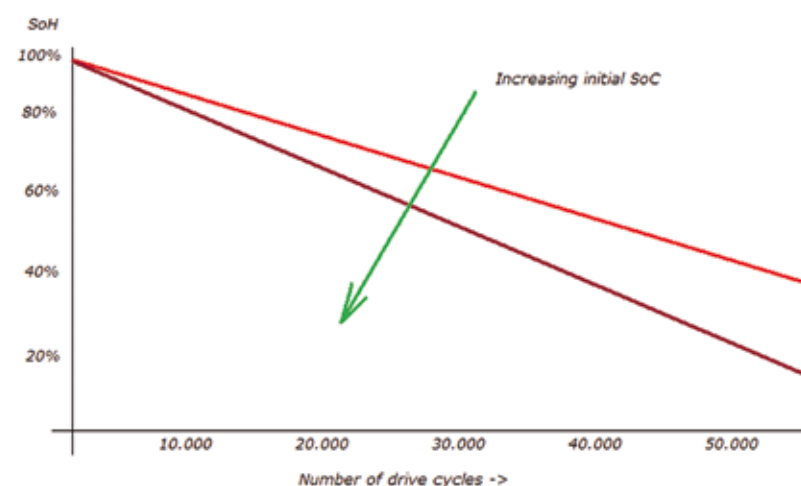
Tijdens het Vermogenslektronica Event 2012 zal Peter van Duijsen uitgebreid het voorgaande verhaal nader toelichten. Ook kunt u hem dan persoonlijk om nadere uitleg vragen.

De lezing van Peter en het congresprogramma met 21 andere lezingen, de kennismarkt en de rondleidingen maken het Vermogenslektronica event tot een dag waar u zeker bij moet zijn. De diversiteit wordt getoond door vier keynote speakers en drie parallelle sessies met specifieke, technologische presentaties. In de parallelle presentaties wordt u meegenomen in de drie hoofdonderwerpen Power Quality Monitoring, Power Conversion en Power Applications. Er worden zowel op het gebied van componenten en ontwikkeling als test- & meetapparatuur presentaties verzorgd. De kennismarkt is de hele dag toegankelijk. Het vermogenslektronica Event zal gehouden worden op 12 juni aan de Technische Universiteit Eindhoven, Den Dolech 2, 5612 AZ Eindhoven. De eerste lezing zal beginnen om 9.30 uur en uiteindelijk zal de dag om 16.15 uur afgesloten worden met een netwerkborrel en rondleidingen. Alle nadere informatie waaronder het totale programma over deze dag is te vinden op de speciale site van het evenement. Hier kunt u zich ook gratis als deelnemer inschrijven.

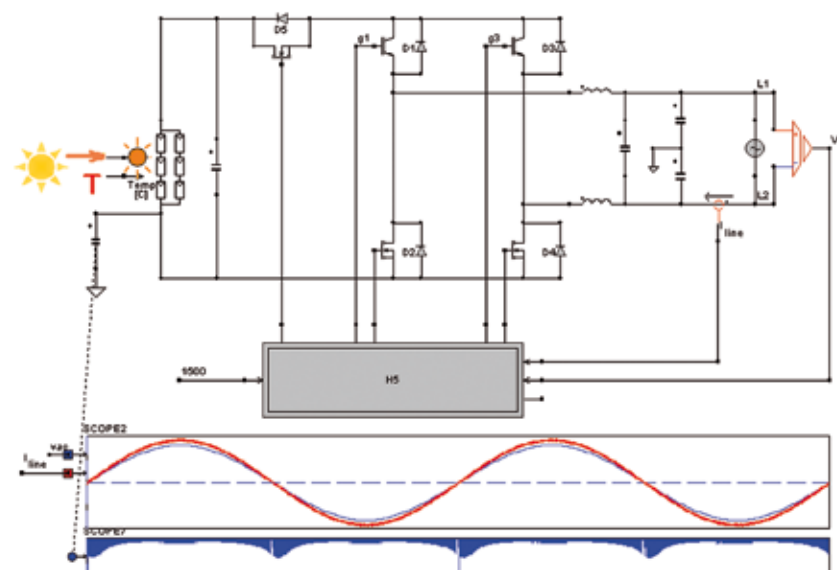
De speciale site van het evenement is te vinden op www2.fhi.nl/vermogenslektronica <<



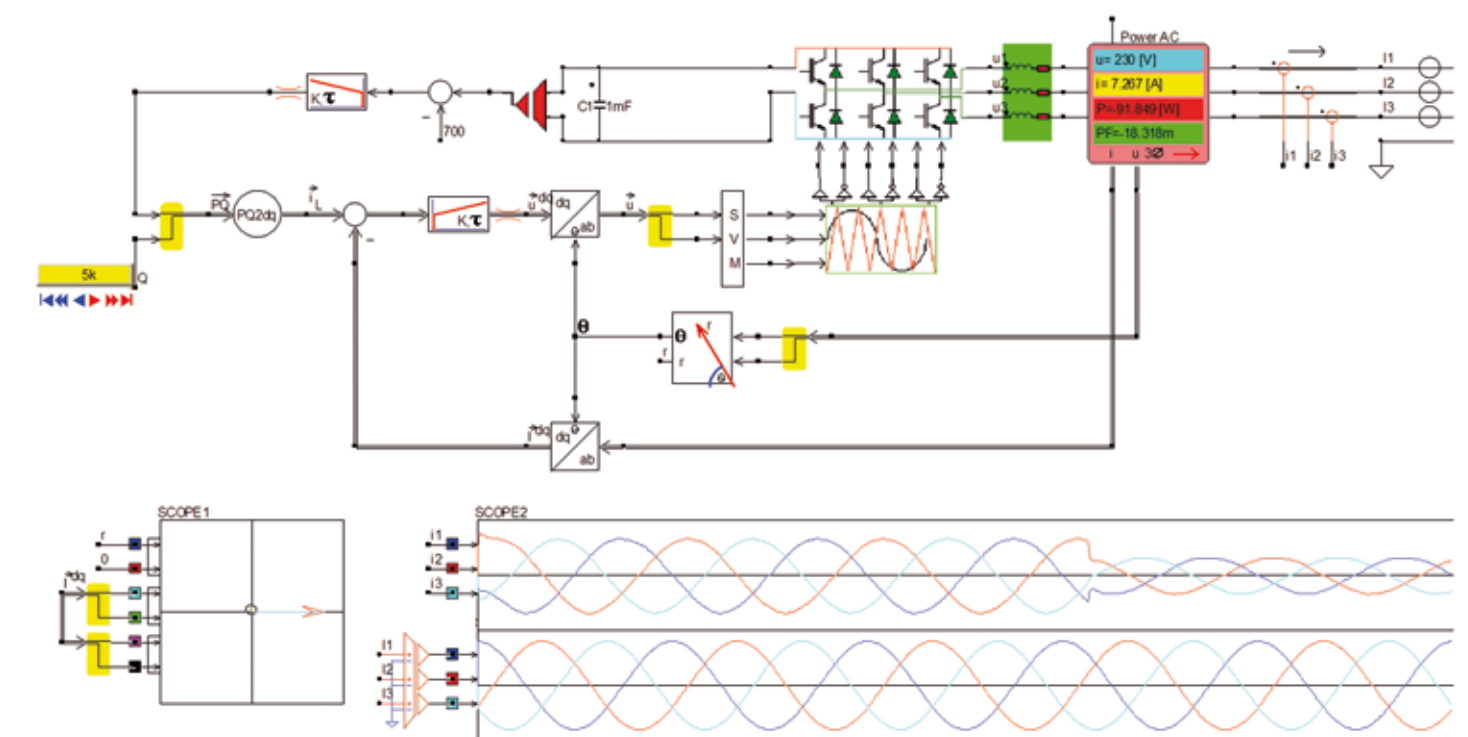
Figuur 2. Het dynamische batterijmodel.



Figuur 3. State of Health neemt af naarmate de accu gebruikt wordt, maar neemt sterker af naarmate de beginlading hoger was.



Figuur 4. Enkel-fase 'Heric' omvormer met extra Mosfet ter vermindering van de lekstroom.



Figuur 5. Net gekoppelde drie-fasen omvormer met vectorregeling.