

Duurzame impact en standaardisatie van een DC micro-net

Het elektriciteitsgebruik neemt sterk toe. Wereldwijd zet de elektrificatie van transport, woningen, kantoren, etc. zich door. Duurzame bronnen hebben een ding gemeen: gelijkspanning (Direct Current). Om succesvol in te kunnen spelen op het groeiende gebruik van gelijkstroom (DC) systemen is het belangrijk om een evolutie te bewerkstelligen in de levering van een DC-infrastructuur. Op dit moment zijn er twijfels over de veiligheid, efficiëntie, betrouwbaarheid en economische aspecten van DC-netten. Zelfs bij het opzetten van een DC-net is er nog steeds verwarring over parameters, zoals gebruikte spanningen, omzeters, stekkers en stopcontacten en veiligheden. In dit artikel worden de optimale parameters gedefinieerd voor het ontwerp van een DC micro-net.

S. (Simon) Willems^{1,2}, W. (Wouter) Aerts^{1,2}, S. (Stijn) de Jonge^{1,2}, D. (Dries) Haeseldonckx², P. (Pepijn) van Willigenburg³, J. (Johan) Woudstra³, H. (Harry) Stokman⁴

1. Core cvba-so, België; 2. KU Leuven, België; 3. Haagse Hogeschool, Den Haag;

4. Direct Current bv, Aalsmeer

Het ontwerp richt zich met name op een DC micro-net in een omgeving voor studenten en woningen. Maar ook kantooromgevingen, industriële en agrarische omgevingen kunnen deze basisparameters gebruiken. De parameters worden beoordeeld op hun voordelen en duurzame impact. In dit artikel wordt een 350 VDC micro-net voorgesteld, op basis van de energie-efficiëntie, besparing van grondstoffen en een verbeterde betrouwbaarheid. Het aansluiten van elektronica die minder dan 100 W gebruiken kan door de ontwikkeling van een slim stopcontact dat dicht bij de consument aanwezig is. Dit stopcontact, gebaseerd op USB Power Delivery, is in staat om een variabele spanning (bepaald door de aangesloten apparatuur) toe te passen en kan communiceren met andere aangesloten apparatuur en

fungeren als een slimme veiligheid voor de belasting.

De voorgestelde parameters zijn een leidraad voor toekomstig gebruik, onderzoek en standaardisatie van concepten voor DC-netten. De richtlijnen kunnen gebruikt worden om de veiligheid en efficiëntie te garanderen bij toekomstige DC-initiatieven.

■ INTRODUCTIE

De continu groeiende vraag naar elektriciteit veroorzaakt meer en meer problemen in het oude transport- en distributienet van België, Nederland en andere dichtbevolkte gebieden. Gezien de trend om huishoudens volledig elektrisch te laten functioneren, met warmtepompen en elektrische voertuigen als belangrijkste gebruikers, zullen we adequaat

moeten handelen ten aanzien van dit probleem. Tegelijkertijd is er de trend van steeds betere DC-belastingen en -bronnen. Op dit punt zal de implementatie van DC-systemen in het bestaande net veel onnodige conversies tussen AC en DC betekenen. Momenteel wordt DC voornamelijk gebruikt om energie te transporteren over grote afstanden tussen verschillende gebieden, zoals de 500 km lange kabel tussen Nederland en Noorwegen. Maar er is veel meer potentie. Het hele net in beschouwing genomen, maakt duidelijk dat DC-spanning al aanwezig is als hoogspanningsgelijkstroom (HVDC) in het transportnet. Bovendien zal een laag voltage gelijkstroom (LVDC) steeds belangrijker worden in de toekomst [1],[2]. In student- of gezinswoningen is ook de evolutie naar een

toenemend DC-gebruik waarneembaar (bijvoorbeeld voor computers of verlichting). Maar ook hernieuwbare energiebronnen zoals zonnepanelen produceren DC-spanningen. In de huidige situaties hebben deze infrastructuur-inefficiënte AC/DC-omzetters nodig. Lokale overheden streven naar het creëren van meer energie-efficiënte en duurzame gebieden. Dit vereist inspanningen om de elektriciteit zo efficiënt mogelijk te gebruiken. Het energiegebruik van studentenwoningen is bijvoorbeeld verantwoordelijk voor 29% van de CO_{2,e}-equivalent (CO_{2,e}) emissie van de Universiteit van Leuven in België [3]. Elektriciteit is verantwoordelijk voor 7.160 ton CO_{2,e} van de, in totaal, 55.755 ton CO_{2,e} (12% van het energiedeel of 4% van het totaal). Verwacht wordt dat het elektriciteitsgebruik in de toekomst steeds meer toeneemt, en dat de behoefte aan warmte geproduceerd door fossiele brandstoffen zal afnemen als gevolg van een betere infrastructuur of overgang naar elektrische verwarming. Rapporten gaan uit van een groei van het elektriciteitsgebruik van 0,1 tot 2,2% per jaar [4]. Voor alle scenario's wordt verwacht dat de residentiële groei het meest zal toenemen als gevolg van een groei van de huishoudens en de elektrificatie van ons dagelijks leven. Hierdoor ontstaat de noodzaak van het ontwikkelen van een efficiënt elektriciteitsnet met een duurzamere impact. Om te beginnen, zal dit artikel de vereisten beschrijven die nodig zijn voor een succesvol residentieel DC-net. Vervolgens worden alle argumenten voor het gebruik van een DC micro-net en een geschikt gelijkspanningsniveau verder toegelicht. Deze argumenten worden opgesplitst in duurzame aspecten, en argumenten gebaseerd op regelgeving. In het laatste gedeelte van het artikel wordt een oplossing gegeven voor het aansluiten van het brede scala aan huishoudelijke apparaten op de voorgestelde gestandaardiseerde spanning.

■ DC MICRO-NET

Een DC micro-net is een elektrisch gelijkspanningsnet in een woning met een stroomverbruik van minder dan 5.000 kWh per jaar. Deze waarde geeft een gemiddeld verbruik weer van een huishouden in de Benelux gedurende een jaar. Dit verbruik zal, naar verwachting, aanzienlijk stijgen in de toekomst door de introductie van warmtepompen en/of elektrische voertuigen (EV). De netten die in dit artikel bediscussieerd worden zijn allemaal DC micro-netten.

Er dient opgemerkt te worden dat een DC micro-net voor huishoudens zijn maximale capaciteit kan benutten wanneer het is aangesloten op een DC midi-net. Dit midi-net kan beschouwd worden als een elektrisch

distributienetwerk voor een woonwijk met 50 tot 100 huishoudens.

Duurzame indicatoren

Voorafgaand aan de implementatie van DC micro-netten in woningen is een grondige evaluatie van de veiligheid, efficiëntie, betrouwbaarheid en zuinigheid nodig. Op al deze vereisten dienen de DC micro-netten even goed of beter te presteren in vergelijking met de prestaties van traditionele AC-netten. Deze vereisten moeten resulteren in een duurzaam elektrisch netwerk, dat kan voldoen aan de hoge energievraag.

Veiligheid en regelgeving

Een grote zorg voor DC-netwerken is de veiligheid bij hoge spanning. Ze kunnen in potentie vlambogen maken en het onderbreken van een DC-circuit vraagt extra aandacht. Deze verschijnselen treden op als gevolg van de afwezigheid van natuurlijke nul-doorgangen van de stroom. Echter, die problemen ontstaan alleen wanneer een DC-net is beveiligd op een zelfde manier als een AC-net, dat wil zeggen met behulp van mechanische zekeringen om kortsluitingen te onderbreken. Momenteel bestaat er geen regelgeving die de veiligheidscriteria voor DC-netten voorschrijft; de voorgestelde oplossingen moeten op zijn minst van een vergelijkbaar niveau zijn, of liever nog de beschikbare regels voor AC-netwerken overtreffen. De zekering die speciaal is ontwikkeld voor DC-circuits moet oneigenlijk of abnormaal schakelgedrag in het circuit opsporen. De zekering moet ook het circuit aanzienlijk sneller kunnen uitschakelen zonder het hele netwerk te onderbreken [5] - [7]. Dit zorgt voor een veilige onderbreking van de stroomkring en vermindert aanzienlijk het risico van het creëren van een vlamboog.

Efficiëntie

In de afgelopen jaren zagen we een verschuiving van het gebruik van fossiele brandstoffen voor de grote energiegebruikers naar een meer geëlektrificeerd energiegebruik. Als reactie op deze trend is het belangrijk om na te denken over efficiëntere manieren voor het gebruik en transport van deze elektriciteit. Een andere manier om na te denken over efficiëntie en duurzaamheid is het verminderen van het gebruik van ruwe grondstoffen die schaarser worden en meer energie kosten om te delven.

Betrouwbaarheid

De toenemende vraag naar energie en de verschillende decentrale (hernieuwbare) energiebronnen veroorzaken verschillende problemen. Deze problemen kunnen leiden tot instabiliteit in het transmissie- en distributie-

net [8]. Met het gebruik van DC-netten wordt het veel gemakkelijker om verschillende netten met elkaar te verbinden, zowel op gebieds- als landelijk niveau. Het totale netwerk moet vereenvoudigd worden door het weglaten van onbetrouwbare elektronische componenten. Dit bevordert de betrouwbaarheid door een verminderde down tijd en/of een verlengde levensduur. In de meeste gevallen zal dit ook de efficiëntie van het net verbeteren.

Economie

Het ligt niet voor de hand om een economisch haalbaar model op te stellen, terwijl de technologie nog steeds een snelle ontwikkeling doormaakt. Een DC micro-net moet kunnen concurreren met een AC-net zonder enige financiële steun. De integratie van verschillende functionaliteiten in een DC micro-net – zoals zendvermogen, communicatie- en veiligheidscontrole – moet een economisch levensvatbaar product creëren.

Standaardisatie van voedingsspanning

De huidige belangstelling voor DC-netten van verschillende groepen leidt tot een gefaseerde aanpak. Dit resulteert in een breed scala van verschillende spanningen en prestatienormen [9]. Dit artikel stelt als doel een gelijkspanning en prestatienormen die toepasbaar zijn op een zeer breed gebied. Verschillende studies stellen netwerken voor die gebaseerd zijn op een voedingsspanning variërend tussen 12 en 380 VDC [10] - [16]. Standaardisatie is noodzakelijk om een doorbraak te realiseren in de ontwikkeling van DC-netten. Een gestandaardiseerde voedingsspanning bij een DC micro-net moet compatibel zijn met de eisen die geformuleerd zijn in paragraaf 2.1. De benodigde spanning moet ook uit te breiden zijn naar grotere netschalen, zoals lokale gebiedsnetwerken of industriële gebieden. Dit is belangrijk voor de acceptatie en ontwikkeling van de standaard.

■ ARGUMENTEN

Deze paragraaf geeft de mogelijkheden weer van het werken met een DC micro-net en de daaruit voortvloeiende verbeteringen op het gebied van duurzaamheid. De argumenten zijn gebaseerd op afleidingen van fysische eigenschappen en experimenten uit de literatuur. Alle berekeningen zijn gemaakt voor verschillende gelijkspanningen en vergeleken met de standaard wisselspanning. In de nabije toekomst zullen gecombineerde experimenten en simulaties verricht worden. Voor alle berekeningen zijn de volgende aannames gedaan:

- een stroomdichtheid van 6 A/mm², gebaseerd op de toegestane isolatiewaarde van een elektriciteitsdraad volgens de in IEC 60364 beschreven voorschriften;

- alleen de Ohmse weerstanden worden beschouwd voor AC- en DC-netten. Dit betekent dat voor alle AC-cases de werkelijke waarde slechter is dan hier weergegeven wordt.

Neteigenschappen

De volgende argumenten geven de duurzame significantie van een DC micro-net weer:

Circuitonderbreking DC micro-net

Het onderbreken van een stroom is moeilijker in een gelijkspanningsnet (DC) dan in een wisselspanningsnet (AC). Bij het inschakelen van een DC-stroom kan een vlamboog verschijnen, wat schade kan veroorzaken aan de interne onderdelen van de schakelaar. Daarom moet er speciale aandacht besteed worden aan de schakelaars binnen een gelijkspanningsnet. Een goed ontworpen beveiligingssysteem is noodzakelijk om een betrouwbaar werkend laag voltage DC micro-net te waarborgen. De beveiliging dient te bestaan uit apparaten die de stroom onderbreken, relais, meetapparatuur en aarding [17].

Door gebruik te maken van elektronische vermogensschakelaars, zoals thyristoren, neemt de werksnelheid af en kan de capaciteit van de inductieve spanningsonderbreking worden verhoogd. Echter, het bijbehorende energieverlies van een elektronische oplossing is veel hoger in vergelijking met een mechanische schakelaar. Daarom wordt een combinatie van een mechanische schakelaar en een elektronische schakelaar aanbevolen [18].

Er zijn experimenten verricht om de AC- en DC-kortsluitingscircuits te vergelijken [19]. De test omvatte een standaard 16A 'C-klasse' onderbreker, een snelwerkende 6A 1kVDC zekering en een 16A elektronische beveiliging. De elektronische zekering is ontwikkeld door Direct Current bv. Voor deze drie onderbrekers werd de kortsluiting afwisselend aangebracht op het begin en het einde van een 100 meter lange kabel. Deze kabel was aangesloten op een 400 VAC of 700 VDC stroombron op een belasting (een lamp) van 1.000W. De resultaten van de experimenten zijn weergegeven in tabel 1.

De laatste kolom geeft de tijd weer dat de (smelt)zekering de stroomkring onderbreekt of de slimme elektronische veiligheid deze stroomkring onderbreekt. Zoals uit tabel 1 afgelezen kan worden, liggen de veilige uitschakeltijden voor het 700 VDC circuit ver onder de norm van 100 ms. Bij het gebruik van de 16 A elektronische beveiliging kon er zelfs geen lichtboog opgemerkt worden.

Besparingen op koperconductoren

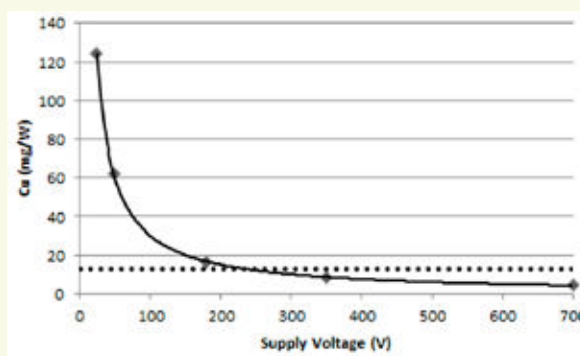
In vergelijking met wisselspanning, kunnen

Voltage	Fuse type	Location of short	Reaction time fuse
400 VAC	16 A 'C class'	begin	< 100 ms
		end	< 100 ms
700 VDC	fast acting 6A 1kVDC fuse	begin	25 µs
		end	3 ms
700 VDC	16 A electronic fuse	begin	200 ns
		end	800 ns

-Tabel 1- Vergelijking van de reactietijd aan het begin en aan het einde van een 100 m lange kabel tijdens een korte test van een 16A 'C-klasse' onderbreker, een snelwerkende 6A 1kVDC zekering en een 16A elektronische beveiliging. De onderbrekers werden aangesloten op een 400 VAC of 700 VDC stroombron.

Supply voltage (V)	Power (W/mm ²)	Cu (mg/W)	Cable length (m)
24 VDC	144	124.4	1.2
48 VDC	288	62.2	2.4
180 VDC	1080	16.6	9.0
350 VDC	2100	8.6	17.5
700 VDC	4200	4.3	35.0
230 VAC	1380	13	11.5

-Tabel 2- Vergelijking van de gedistribueerde energie, Cu-efficiëntie en kabellengte als functie van de verschillende voedingsspanningen. Het veiligheids criterium waarmee rekening gehouden is, is 1% spanningsverlies [19].



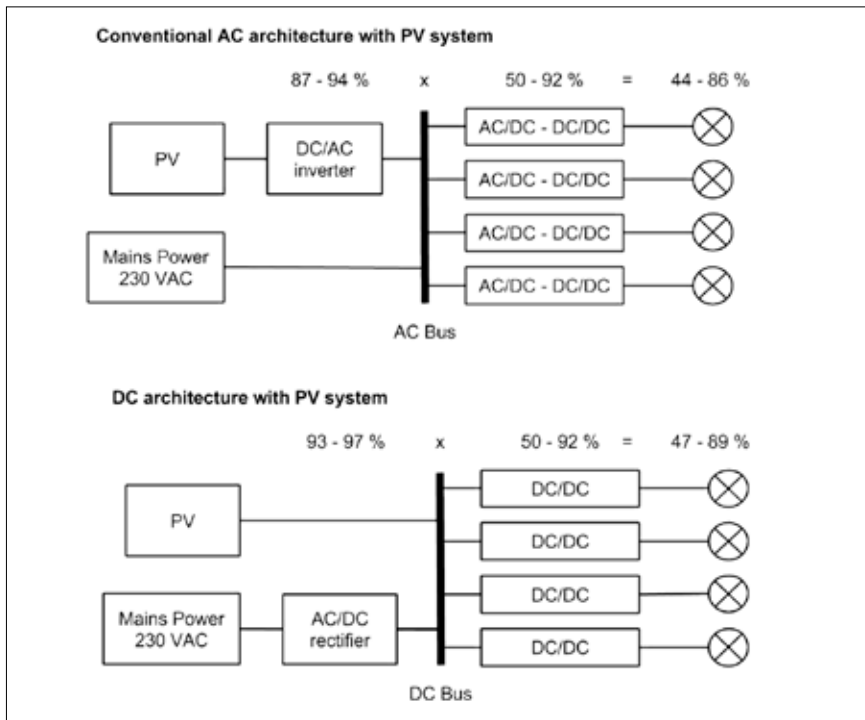
-Figuur 1- Plot van de voeding ten opzichte van het Cu-materiaal dat nodig is per Watt. De stippellijn geeft de Cu in mg weer die benodigd is per Watt voor een 230 VAC-systeem.

draden met eenzelfde doorsnede in een gelijkspanningsnet grotere vermogens aan. Hier zijn verschillende redenen voor. Ten eerste zijn wisselspanningsdraden gedimensioneerd voor een piekspanning die een wortel 2 hoger is dan het RMS-voltage.

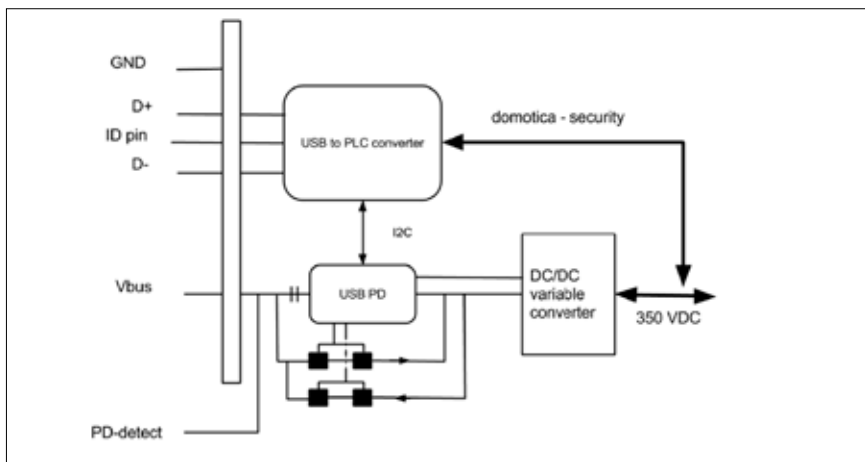
Tabel 2 geeft de hoeveelheid energie weer die gedistribueerd wordt per mm² dwarsdoorsnede, in vergelijking met de voedingsspanning, uitgaande van een gelijke stroomdichtheid. Te zien is dat hoe hoger de spanning, hoe meer energie per mm² overgebracht wordt. Dit resulteert in een efficiënter gebruik van de installatie. Dit effect wordt sterker bij het uitdrukken van de kopermassa per Watt, bij 6 A in een kabel met een lengte

van 1 meter en een doorsnede van 1 mm². Het totale volume van deze kabel is 1 cm³. Bij een koperdichtheid van 8.960 mg/cm³, een vermogen van 350 VDC en een stroomdichtheid van 6 A/mm², kan berekend worden dat 4,3 mg Cu gebruikt wordt per Watt. Voor draden wordt dit 8,6 Cu/W.

In tabel 2 is de berekening uitgevoerd voor verschillende gelijkspanningen en vergeleken met een equivalent 230 VAC. Figuur 1 geeft de verschillende voedingsspanningen weer in relatie tot de kopermassa die gebruikt is per W/m. De stippellijn geeft de waarde weer voor een equivalent 230 VAC-netwerk. Een installatie die werkt op 350 VDC maakt 33% efficiënter gebruik van de kopermassa in ver-



-Figuur 2- AC- versus DC-gebouwdistributie met decentrale opwekking



-Figuur 3- Schema van de hardware voor een slimme DC-plug

gelijking met een 230 VAC-systeem. Een direct gevolg van een koperbesparing is niet alleen een besparing van grondstoffen; het is ook kosteneffectief. Men dient ook rekening te houden met het feit dat een AC-kabel ontworpen is om een piekspanning aan te kunnen en niet om de RMS-waarde aan te kunnen. De daadwerkelijke Cu-besparing kan worden vermenigvuldigd met een wortel 2.

Levensduurverlenging

Zowel in de DC-wereld als de AC-wereld is er nog steeds behoefte aan een vooruitgang in conversie, echter de elektronica voor gelijkspanning is veel eenvoudiger dan de benodigde elektronica voor AC. Het is mogelijk om deze elektronica te maken zonder elektrolytische condensatoren (elco's), die een korte levensduur hebben [20],[21]. Dit zorgt ervoor dat de belastingslevensduur veel langer is geworden. Levenslange experimenten zijn echter tot

duisver niet uitgevoerd, door het ontbreken van DC-netten.

Conversieverliezen

DC-circuits resulteren in een grotere energie-efficiëntie en betrouwbaarheid bij het eindgebruik, in combinatie met energieopslag of distributiegeneratie (DG) systemen, zoals zonnepanelen. Het omvormstadium kan hierbij worden geëlimineerd. De omvormertrap is relatief meer energie inefficiënt in vergelijking met andere componenten; dit is weergegeven in figuur 2 [22]. Het elimineren van de omvormer van het pv-systeem kan ook tot 25% vermindering van de kapitaalkosten leiden. Onderzoek toont verder aan dat een verbetering van de energie-efficiëntie van 3% mogelijk is wanneer de DC-distributie geïntegreerd wordt met een DG-bron, zoals brandstofcellen; anders leidt de DC-distributie tot een 2% energie-efficiëntievermindering [14].

Opgemerkt wordt dat er momenteel een grote evolutie plaatsvindt in de efficiëntie van converters en gelijkrichters. Deze verbeteringen zijn merkbaar in high-end industriële toepassingen, en zijn minder expliciet van toepassing op consumentenniveau, zoals computerveedingen. De getallen die gebruikt worden in het voorbeeld van figuur 2 zijn geen vaste waarden, maar indicaties. Zoals afgebeeld in figuur 2, is het ook een goede optie om een DC micro-net aan te sluiten op een mini- of midi-net. In dat geval kan er een extra efficiëntiewinst van 3% of 6% gerealiseerd worden ten opzichte van respectievelijk de DC-architectuur of AC-architectuur.

Naar gestandaardiseerde DC-spanning

De volgende argumenten worden gebruikt voor het selecteren van een voedingsspanning voor een DC micro-net. Deze spanning wordt als de standaard voorgesteld.

Spanningsverlies in koperdraden

Door de weerstand van koper, is de vermogensdichtheid versus de kabellengte een belangrijke parameter om te onderzoeken. Tijdens een constante belasting van de energievraag leidt een spanningsdaling tot een toename van de stroom. In een elektrische installatie is een spanningsdaling van 1% over de lengte van een kabel aanvaardbaar. Een daling hoger dan 1% kan leiden tot stroomwaarden die de maximale isolatiewaarde van het isolatiemateriaal van de draad overschrijden. Dit kan leiden tot potentiële veiligheidsrisico's, zoals oververhitting van de draad.

In caravans en boten worden lage spanningen (24-48V DC) gebruikt vanwege de beperkte metingen en de lage energievraag. In woningen is een kabellengte van 15 m/mm² en een energievraag van 2.000 W gebruikelijk. Het spanningsverlies voor een 350 VDC 2-draadssysteem kan als volgt worden berekend: De weerstand van koper is $1,687 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$. Met een stroom van 6 A/mm² geeft dit een spanningsverlies van 0,1V/m of in een tweedraadssysteem een verlies van 0,2 V/m. Een spanningsverlies van 1% is gelijk aan 3,5 V voor een 350 VDC-systeem met een spanningsverlies van 0,2V/m. Dit komt overeen met een aanvaardbare distributieafstand van 17,5 m/mm².

Tabel 2 geeft de aanvaardbare kabellengtes per mm² voor verschillende voedingsspanningen; er wordt ook een vergelijking gemaakt met een klassiek AC-systeem. Voor het berekenen van de totale lengte, dienen de gegeven waarden te worden vermenigvuldigd met de doorsnede van de gebruikte draad. Het is duidelijk dat een hoger voltage een groter elektrisch netwerk toestaat.

Voorschriften

De door de IEC uiteengezette voorschriften zijn van invloed op de beslissing voor een optimale DC-spanning in woonwijken. Het belangrijkste criterium is de scheidingslijn tussen een laag en hoog spanning, die is vastgesteld op 1.500 VDC (IEC 60038). Dit betekent dat het een goede keuze is om een spanning te kiezen die schaalbaar is tot 1.500 VDC. Het wordt aanbevolen om rekening te houden met een veiligheidsmarge. Een spanning van 350 VDC is in vier stappen schaalbaar naar 1.500 VDC met een marge van 100 VDC, terwijl een 380 VDC-net deze waarde overschrijdt na 4 stappen. Momenteel wordt een 380 VDC spanningsniveau voorgesteld door andere consortia [6]. Daarnaast bedraagt de maximaal toegestane busspanning in een frequentieregelaar 700 VDC.

± 350 VDC standaardvoltage

Met deze beperkingen in het achterhoofd is het duidelijk dat de maximaal gebruikte spanning alleen 700 VDC kan zijn. Dit is waarschijnlijk een goede keuze in industriële netten, maar niet geschikt voor woningen. Daarom is een 3-draads systeem van 700 VDC, als aanvulling op een 2-draads systeem van 350 VDC, een logische optie. Dit 3-draads systeem zal bestaan uit een +350 VDC, een -350 VDC en een 0V draad [23].

De keuze van ± 350 VDC in een micro-net geeft de volgende voordelen:

- een geschikte vermogensdichtheid en een optimaal kopergebruik;
- veilige en efficiënte spanning voor huishoudelijke apparaten die gebruik maken van de 350 VDC draad;
- aansluitingen met een groot vermogen zijn mogelijk met behulp van een ± 350 VDC draad, wat ideaal is voor speciale doeleinden zoals bijvoorbeeld het opladen van elektrische auto's;
- eenvoudig schaalbaar, met betrekking tot de regeling voor laagspanningscircuits, met een efficiënt DC mini- of midi-net op ± 700 VDC.

■ AANSLUITEN OP ± 350 VDC

Dit gedeelte van het artikel gaat in op de mogelijkheden voor de aansluiting van huishoudelijke apparatuur op een DC micro-net. In dit artikel zijn de huishoudelijke apparaten onderverdeeld in twee categorieën. De eerste categorie bevat huishoudelijke apparatuur dat meer dan 100 W verbruikt, zoals een koelkast, vaatwasser of warmtepomp. De tweede groep bevat kleine elektronische apparaten die een beperkt vermogen hebben en die al op gelijkspanning functioneren, zoals een laptop, mobiele telefoon of router. De limiet is ingesteld op 100 W, wat wordt toegelicht in de volgende paragraaf.

± 350 VDC aansluiting

De eerste categorie zal vast worden aangesloten op de ±350 VDC, beveiligd met een elektronische actieve veiligheidsonderbreking. Dit betekent dat aan- en loskoppelen alleen mogelijk is wanneer de installatie spanningsvrij is gemaakt. Abnormaal schakelgedrag wordt gedetecteerd, en als het nodig is wordt het circuit onderbroken zonder enige vlamboven. Op dit moment is het toepassen van een 3-draads netaansluiting de gunstigste configuratie voor het toepassen in een 'standaard' huis. De grote verbruikers, zoals warmtepompen en elektrische auto's, kunnen dan worden aangesloten 700 VDC. Hierdoor kunnen elektrische auto's snel worden opgeladen met gelijkspanning. Het lokale huishoudelijke net zal bestaan uit twee ringstructuren, een met 0 en 350 VDC en een met 0 en -350 VDC.

USB vermogenslevering

De tweede apparatuurgroep geeft twee problemen wanneer geprobeerd wordt deze aan te sluiten op een DC micro-net:

- het is niet mogelijk om deze aan te sluiten met een spanningsniveau van 350 VDC;
- er is al een aanzienlijke range van lage voltages.

Een slim stopcontact, dat kan overschakelen van de 350 VDC naar een lage en variabele spanning, is ontworpen als oplossing voor deze problemen (figuur 3). De nieuwe USB-standaard, USB Power Delivery (USB PD), is in staat om tot een maximum van 20 VDC en 5 A te leveren, wat overeenkomt met een vermogen van 100 W [24]. De belangrijkste eigenschap van deze USB PD koppeling is de het bereik van mogelijke spanningen en stromen. De spanning kan variëren van de standaard 5 VDC tot 20 VDC, de stroom is beperkt tot 5 A. Het USB PD protocol voorziet in een afstemming in spanning tussen het stopcontact en de belasting. Hierdoor kan een diversiteit aan kleine elektronische apparaten aangesloten worden met slechts één type stekker. Bovendien kunnen andere functies, zoals ingebouwde beveiliging en datacommunicatie, geïntegreerd worden in deze connector. Dit artikel stelt een beveiligingscommunicatielijn voor via de 350 VDC draad met een spanningslijncommunicatieprotocol voor domotica en beveiliging. Overdracht van grote datablokken zal plaatsvinden via plastic optische vezelkabels (POF).

Dit apparaat kan op een 350 VDC wandconnector gemonteerd worden. Dit garandeert de flexibiliteit van het micro-net, doordat de gebruiker de locatie van de verschillende stekkers en stopcontacten kan kiezen. Maar ook het spanningsniveau blijft op zijn optimale

waarde in het gehele netwerk, omdat alleen aan de kant van de belasting de omzetting plaatsvindt.

■ CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

Het gebruik van DC-netten wordt voorgesteld als duurzaam alternatief voor AC-netten. Verschillende argumenten als duurzaamheid en standaardisatie (± 350 VDC) zijn besproken. En er zijn conceptuele oplossingen ontwikkeld. Een belangrijk argument voor deze spanningen is de veilige uitschakeltijd bij gebruik van elektronische beveiliging. Daarnaast is bij een gelijkspanning van 350 V een vermindering van koper van ten minste 30% mogelijk door efficiënter gebruik van het materiaal. De vervanging of verwijdering van omvormers of gelijkrichters leidt tot een stijging van de efficiëntie. Ook de mogelijke lengte van de geleiders in het net is berekend. Naast deze technische argumenten, is rekening gehouden met de beperkingen zoals deze gedefinieerd zijn door de IEC. Daarnaast worden in het artikel verschillende manieren voorgesteld om apparatuur aan te sluiten op dit net. In het artikel wordt een slimme connector beschreven om apparatuur met een laag vermogen, tot 100W, aan te sluiten op het net. Deze connector is gebaseerd op het PD USB protocol en heeft een spanningsbereik van 5 tot 20 VDC. Toekomstige onderzoek is nodig in de vorm van het demonstreren van de functionaliteiten en de veronderstelde voordelen van DC-netten en DC-connectors, zoals de slimme USB-PD-connector. Daarnaast geeft dit artikel argumenten gebaseerd op literatuur. In een volgend stadium zal onderzoek uitgevoerd worden naar verschillen tussen AC- en DC-studentenhuizen. Dit op basis van simulaties en experimentele data. Dit werk maakt deel uit van het project 'Gelijkspanning breng (t) je verder' gefinancierd door de Stichting Innovatie Alliantie.

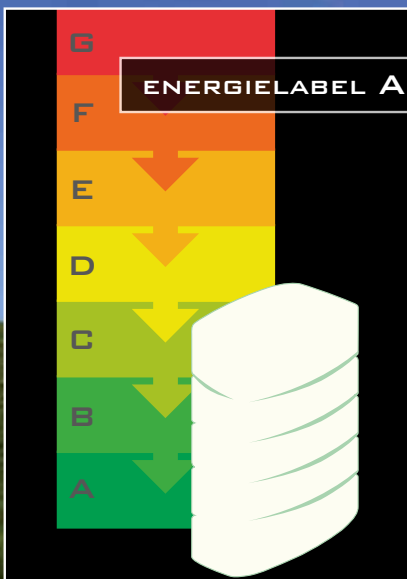
■ REFERENTIES

1. Woudstra, J.B., van Willigenburg, P., Groenewald, B.B.J., Stokman, H., De Jonge, S., Willems, S. (2013): An Introduction to Direct Current Distribution Grids, Industrial & Commercial Use of Energy, South Africa.
2. Carlsson, L., et al. (2003): Recent evolution in classic HVDC, The 4th International Conference on Power Transmission & Distribution Technology, PR China.
3. Vanderheyden, G., et al. (2013): Nulmeting CO2 emissies KU Leuven in het jaar 2010, Kessel-Lo, Belgium, 48 pp.
4. Climact, (2012): Electrical Energy Savings Scenarios for Belgium, Tech. Rep.
5. Hansen, J. F., et al. (2011): Onboard DC

- Grid for enhanced DP operation in ships, Dynamic Positioning Conference, United States
6. Boeke, U. (2013): DC Power Grids for Energy Efficient Buildings, *Vermogenslectronica*, The Netherlands
 7. Salomsson, D. (2008): Modeling, Control and Protection of Low-Voltage DC Microgrids, Doctoral Thesis, Royal Institute of Technology, School of Electrical Engineering Electric Power Systems, Sweden.
 8. Guerrero, J.M., et al. (2013): Advanced Control Architectures for Intelligent Microgrids—Part I: Decentralized and Hierarchical Control, *IEEE Transactions Industrial Electronics*, vol.60, no.4, pp.1254-1262, April 2013.
 9. Becker, D.J., Sonnenberg, B.J. (2011): DC microgrids in buildings and data centers, *IEEE 33rd International Telecommunications Energy Conference*, pp.1-7.
 10. Anand, S., et al. (2011): Optimal voltage level for DC microgrids, *IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*.
 11. Waeckerle, P. (2011): Potential of using low voltage Direct Current in local distribution network to improve the overall efficiency, Master's thesis, KTH Royal Institute of Technology, Sweden.
 12. Kakigano, H., et al. (2010): Loss evaluation of DC distribution for residential houses compared with AC system, *International Power Electronics Conference IEEE*, pp. 480-486.
 13. Garbesi, K., et al. (2011): Catalog of DC Appliances and Power Systems, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Tech. Rep.
 14. Hammerstrom, D.J., (2007): AC versus DC Distribution Systems - Did we get it right? *Power Engineering Society General Meeting*, pp. 1-5.
 15. Paajanen, P., et al (2009): DC supply of low-voltage electricity appliances in residential buildings, *20th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution*, no. 0692, pp. 8-11.
 16. Dastgeer, F., Kalam, A., (2009): Efficiency comparison of DC and AC distribution systems for distributed generation, *Power Engineering Conference*.
 17. Salomonsson, D., Söder, L., Sannino, A., (2009): Protection of Low-Voltage DC Microgrids, *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 24, no. 3.
 18. Meyer, J.M., Rufer, A., (2006): A dc hybrid circuit breaker with ultra-fast contact opening and integrated gate-commutated thyristors, *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 21, no. 2, pp. 646-651.
 19. <http://www.directcurrent.eu/nl/nieuws/youtube/119-ac-vs-dc-kortsluitingen-op-huidige-net>, (September 2013)
 20. Houdek, J., Chavez, C., Extending the Life of Power Factor Capacitors, Tech. Rep.
 21. Garcia-Rojo, R., Olalla, D. (2008): DC-Link Capacitors for Industrial Applications, *CARTS Europe 2008*, Finland.
 22. Pratt, A., et al. (2007): Evaluation of 400 V DC Distribution in Telco and Data Centers to Improve Energy Efficiency, *29th International Telecommunications Energy Conference*, pp. 32-39.
 23. Evans, M.V., et al. (2013): Why shifting to DC in low voltage distribution? *IEEE Transactions on Smart Grid*.
 24. Universal Serial Bus Power Delivery Specifications (2012) Tech. Rep.

GASENGINEERING

DE TRIPLE **AAA** ENERGIEZUINIGE GASWARMTEPOMP



TEL. 0348 413 485 | E-MAIL: INFO@GASENGINEERING.NL | WWW.GASENGINEERING.NL