

Eindrapport Sensus Energy

INTElligent ELECTronics voor PV Solar systemen in de gebouwde omgeving.

Datum:	5 augustus 2019
Opdrachtgever:	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO)
Projectnaam:	INTELECT
Projectnr.:	TEZG114006
Uitvoerend SE-BV:	C.F.A. Peters (tot 31 maart 2019) M. Peters (tot 31 maart 2019) T. Bijker (tot 31 maart 2019) R.H. Huiberts (tot 30 juni 2015) G. Dalessi (tot 28 februari 2015)
Uitvoerend Axiom IC / Teledyne Dalsa:	S. Gierkink T. Schaink M. Vasterink
Uitvoerend Vasterink EDS:	M. Vasterink
Auteur :	C.F.A. Peters

Inleiding

Deliverables ECN / TNO

D1. Desktop study

D3.1 Lab-schaal testen van INTELECT-PV opstelling

D3.2 LCOE berekening INTELECT-PV ten opzichte van referentie

D4. Certificeringsplan v00r BIPV producten

Deliverables Sensus Energy

D2.1 PCB van de Penduleschakeling

- *Schakeling geschikt maken voor 4 cellen in serie (2VDC)*
- *PCB met kopersporen met grootste doorsnede en kortste lengte voor $R < 1\text{m}\Omega$*
- *Optimalisatie van alle componenten*

D2.2 PCB van multiplier en dubbelaar

- *Multiplier componenten optimaliseren*
- *Dubbelaar componenten optimaliseren*

D2.3 WiPoT opstelling

- *De potkern transformatoren door ontwikkelen naar planaire split transformator.*
- *Mechanische behuizing voor primaire deel in module en secundair deel extern.*

D2.4 Directe inductieve AC koppeling met planaire trafo

D5 Rapport marktacceptatie

D6 Tussen en eindrapportage

Appendix

Schema's INTELECT-PV systeem

TNO-rapport INTELECT, project nr. 060.33634

Inleiding

INTELECT staat voor **INTE**lligent **ELECT**ronics voor PV Solar systemen in de gebouwde omgeving.

Dit rapport is openbaar, daar waar in de tekst figuren **niet worden getoond** zijn deze **vertrouwelijk**. Voor de vertrouwelijke onderdelen kunt u contact opnemen met Sensus Energy voor nadere informatie hierover.

Het doel van INTELECT is de ontwikkeling van een PV solarsysteem dat ongevoelig is voor partiele beschadwing, vervuiling en mismatch, waardoor brede toepasbaarheid in de bebouwde omgeving mogelijk wordt.

Doordat de mogelijke technologie, in ontwikkeling bij Sensus Energy BV (hierna SE-BV) perspectieven biedt voor het oogsten van energie uit kleine clusters van (3 á 4) zonnecellen, wordt in dit project de technologie verder ontwikkelt.

Het uiteindelijke doel, dat buiten dit project valt, is het realiseren van klein formaat bouwmaterialen zoals dakpannen en gevelelementen, waarmee een veel grotere dekkinggraad van bestaande gebouwen mogelijk wordt.

Hiervoor wordt een fullsize module van 60 cellen opgedeeld in 15 clusters van 4 cellen

Dit project is uitgevoerd binnen TKlenergo in programmalijn 1 (Ontwikkeling van systeemcomponenten en -diensten om de output van zonne-energie systemen te optimaliseren) onder RVO projectnummer TEZG114006.

SE-BV is de projectcoördinator dat de INTELECT technologie heeft ontwikkeld en zal de technologie in dit project door ontwikkelen in samenwerking met de partner Axiom IC, later Teledyne Dalsa en uiteindelijk Vasterink EDS. ECN zal de technologie valideren.

Het project "INTELECT" is gestart op 9 januari 2014 met als beoogde einddatum 28 februari 2016. Door interne problemen bij SE-BV zijn de werkzaamheden voor ECN in 2015 door SE-BV gestopt. Het grootste probleem was de noodzakelijke financiering van het gehele project dat door ECN en SE-BV uiteindelijk niet werd gerealiseerd. Tot dan waren er resultaten behaald, waarbij ECN tot 93% efficiëntie heeft vastgesteld in de eerste 'proof of concept'. Hierna heeft het project nog 4x een wijziging gehad met als laatste einddatum 31 maart 2019. In deze periode heeft SE-BV de werkzaamheden voor ECN niet herstart en is SE-BV niet in staat geweest om de omvormers te maken die door ECN getest zouden worden.

Nadat de interne problemen medio 2016 waren opgelost is gestart met het realiseren van de werkpakketten.

De bestelde speciale zonnepanelen á 15 x 4 cellen bleken tot 2 x defect te raken (transport en brandweer oefening) voordat we konden starten met de finale metingen in maart 2018.

Doordat de financiering niet gerealiseerd is heeft SE-BV verder oponthoud gehad bij het realiseren van de resultaten.

Uiteindelijk is ECN gedurende de afsluitende fase van het project overgegaan in TNO.

D1. Desktop study (ECN)

ECN heeft in dit rapport gereflecteerd op reeds bestaande oplossingen en ontwikkelingen in de markt rondom (micro)omvormers, optimizers en aanverwante producten c.q. concepten, en daar in relatie voorlopige conclusies getrokken op de resultaten tot noch toe, van Sensus Energy dit tot d.d. 1 maart 2016. Het ECN-rapport is een vertrouwelijke bijlage. Op pagina 13 en 14 van het rapport wordt de positionering van het INTELECT concept vergeleken met de dan reeds in de markt zijnde systemen tot eind 2015.

ECN noemt 8 (in haar rapport ongenummerde) kenmerken/conclusies ten aanzien van de met INTELECT behaalde voorlopige resultaten (tot maart 2016).

#	Lijst met ECN opmerkingen & kenmerken ten aanzien van INTELECT
1	Voor de INTELECT technologie kan geen standaard zonnepaneel worden gebruikt, zonnepaneel fabrikanten moeten bereid worden gevonden om onder andere het ontwerp van het zonnepaneel sterk aan te passen, productielijnen te veranderen en de elektronica te integreren in het zonnepaneel. Door de lage marges en de hoge eisen aan betrouwbaarheid en levensduur van zonnepanelen zijn fabrikanten van zonnepanelen conservatief en is de inpassing van de INTELECT technologie een grote stap.
2	De huidige lage prijzen van zonnepanelen zijn onder andere mogelijk door de massaproductie van de marktleiders. Afwijkende producten, zoals zonnepanelen met andere maten en geïntegreerde elektronica hebben dit voordeel niet en zullen daarom duurder zijn.
3	Elektronica van power optimizers en inverters hebben in de praktijk een kortere levensduur dan zonnepanelen en moeten veelal na 10-15 jaar worden vervangen. Dit is mogelijk omdat deze elektronica fysiek gescheiden is van het zonnepaneel. De elektronica van INTELECT is geïntegreerd in het zonnepaneel. Als de elektronica stuk gaat, is het zonnepaneel niet meer bruikbaar en zal deze in zijn geheel moeten worden vervangen.
4	De stroom aan de ingang van de INTELECT converter is gelijk aan die van een normaal zonnepaneel. Iedere converter bevat daarom elektronica voor de omzetting van hoge stromen. Deze componenten zijn relatief kostbaar. Een INTELECT zonnepaneel heeft 15 converters. Mede door het grote aantal converters per paneel zal de elektronica van een zonnepaneel met INTELECT technologie duurder zijn dan een standaard zonnepaneel met slechts 1 converter.
5	De ingangsspanning van de INTELECT converter is slechts 2V, waardoor het rendement van de INTELECT converter lager zal zijn dan van een standaard optimizer met een ingangsspanning van 30V (> 99%).
6	Een standaard optimizer zal de stroom van een zonnepaneel zonder schaduw zonder conversie doorlaten en heeft hierbij een vrijwel verwaarloosbaar rendementsverlies. Een INTELECT converter moet de spanning van ieder groep van 4 zonnecellen, zowel met als zonder

	schaduw, converteren van circa 2V naar 400V met een negatief effect op het systeem rendement tot gevolg.
7	Iedere converter of optimizer heeft een eigen eigenverbruik om de schakeling te laten werken. Dit vermogen wordt onttrokken uit de cellen van het zonnepaneel. Bij de INTELECT converter wordt dit vermogen geleverd door 4 cellen ten opzichte van 60 cellen bij een standaard zonnepanelen optimizer. Voor een vergelijkbaar effect van de eigenverbruik op het rendement van het zonnepaneel mag het eigenverbruik van de INTELECT technologie niet hoger zijn dan 1/15 van de eigenverbruik van de zonnepaneel optimizer, terwijl deze paneel optimizers al geoptimaliseerd zijn op een lage eigenverbruik (circa 10-20 mA).
8	De spanning van een zonnecel waarbij het maximum vermogen wordt geleverd wordt onder andere bepaald door de instraling en temperatuur van de cel. Deze spanning heeft een relatief sterke temperatuurafhankelijkheid. Doordat de INTELECT technologie een vaste spanningsvermenigvuldiging heeft zonder MPPT en de converters parallel geschakeld staan, staan alle clusters van 4 cellen op dezelfde spanning. Zonnepanelen in met name BIPV toepassingen hebben verschillende temperaturen. Deze temperatuurverschillen zullen ervoor zorgen dat de zonnecellen in deze panelen niet hun optimale spanning hebben waardoor de zonnepanelen niet het maximale vermogen leveren.

1. Een in 15 (4 cells) clusters opgedeelde (niet standaard) paneel is, voor INTELECT, door Soltech, (Tienen België) geleverd voor €700. Deze fabrikant is geïnteresseerd in onze oplossing voor hun producten die met name veel cellen nodig hebben voor de hogere spanning en niet voor de stroom. Zij knippen de cellen op in kleine stukken voor de lagere stroom en verbinden die in serie voor de hogere spanning.

Door de huidige zeer competitieve panelen productie, is het realiseren van nieuwe technologieën alleen mogelijk door een schaalvergroting van bedrijven als Soltech.

Het toepassen van BIPV waarbij bouw materiaal wordt voorzien van cel technologie met elektronica voor draadloze overdracht wordt een totaal nieuwe industrie mogelijk die in staat is om veiliger producten te maken.

2. Zie 1.
3. De praktische levensduur van optimizers en inverters zijn niet vergelijkbaar met die van het INTELECT concept.

In het primaire gedeelte van de schakeling bevinden zich slechts 2x 2,5 component per cluster op één 30W_{max} PCB (€2) hierbij zijn geen condensatoren gebruikt die immers het snelst defect gaan bij de verwachte omgevingstemperatuur van 80 á 90°C, relatieve vochtigheid tot 99% en corrosieve invloeden (zout, ammoniak). De gekozen componenten kunnen tot 30 keer de stroom schakelen en zelfs het volledig vermogen van een cluster dissiperen.

In het secundaire gedeelte is door galvanische/mechanische scheiding de temperatuur lager. Het is zelfs mogelijk om ook hier de componenten zo te kiezen dat er geen condensator nodig is.

Door in het algemeen Automotive-spec. of MIL-spec. componenten te kiezen die op een veelvoud van met name de systeem DC stromen functioneert, zal het gehele concept een grotere stand tijd kunnen garanderen.

4. Zie 3

5. De standaard (power)optimizer voegt elektronica kosten (€40) toe aan het paneel. Er wordt alleen gesproken over onbeschaduwd. Bij schaduw zal per paneel hetzelfde verlies voor dat paneel ontstaan bij een paneel zonder (power) optimizers. Hier wordt 30VDC omgezet in 400VDC dit is $1/13,33$. De optimizers worden in serie geschakeld en aangesloten op een speciale voor de optimizer geschikte omvormer.

Met name is bij de Sensus oplossing gekeken naar de gelijkstroomverliezen, immers de stroom laat het vermogensverlies kwadratisch toenemen bij lineaire toename van de stroom, $P=I^2 \cdot R$. Door de stroom direct achter de cell met $1/14$ te verlagen neemt het vermogensverlies af met bijna een factor ~ 200 ($14^2 = 196$) bij gelijk blijvende serie weerstand

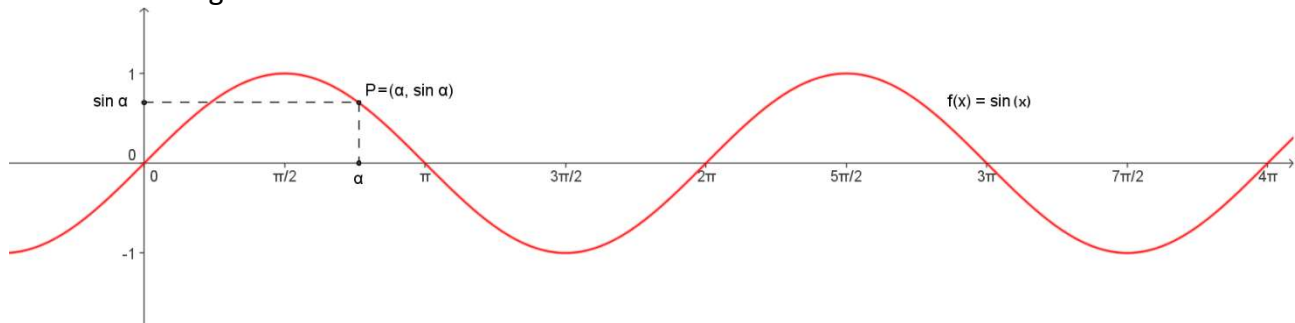
Als de elektronica van Sensus het mogelijk maakt om bij 2VDC input met 99% efficiëntie per stap te bereiken en daarbij in $2 \times 1/14$ stappen naar 400V te gaan is het rendement nog steeds 98%.

6. Zie 5

7. Er wordt verondersteld dat het eigenverbruik van het INTELECT concept niet geoptimaliseerd kan worden naar $1/15$ van een (power)optimizer, dus nooit 99% zullen halen.
8. De metingen tot dusver hebben aangetoond dat de spanningen en stromen per cluster gekoppeld aan het INTELECT concept bij parallel schakelen elkaar versterken, uitmiddelen en geen MPPT nodig hebben.

D2.1 PCB van de Penduleschakeling

De destijds zogenaamde pendule schakeling werd zo genoemd omdat de golfvorm die de schakeling opwekt lijkt op de beweging die een slinger van een staartklok of penduleklok maakt. De slinger heeft als ze op het laagste punt $y=0$ van de beweging komt, de hoogste snelheid en gaat daarna afremmen omdat de slinger omhoog beweegt om geheel tot stilstand te komen als de slinger op zijn hoogste punt $y=1$ is. De beweging gaat nu de andere kant op en versneld weer tot het laagste punt $y=0$ wordt bereikt, waarna de beweging doorzet en vertraagd tot punt $y=-1$ enzovoort. De golfvorm is daarmee sinusoïde van vorm.



Schakeling geschikt maken voor 4 cellen in serie (2VDC)

Gestart werd met de status zoals die is bereikt door Teledyne. Er is gekozen voor een vrij-oscillerend concept bestaand uit een dubbele klasse E versterker, back-to-back aangesloten. Met dergelijke oplossingen kunnen hoge efficiënties worden gehaald. Het opgewekte 100kHz signaal wordt in spanning omhoog getransformeerd (1:12) en aan de secundaire kant met een vergelijkbare dubbele klasse-E constructie weer gelijkgericht. Figuur 1 bevat het circuit zoals dit bij aanvang van de werkzaamheden bestond.

Figuur 1: Schema harvester beginsituatie.

Van het circuit in Figuur 1 zijn enkele opgebouwde printen beschikbaar. Tijdens metingen was reeds gebleken dat de mosfets aan secundaire zijde gemakkelijk stuk gaan.

Dit komt omdat V_{gsmax} (20V) van deze transistoren ruimschoots wordt overschreden.

De spanning op de drain/gate aan secundaire zijde kan als gevolg van opslinging oplopen tot 60V.

Direct inschakelen van de voeding en parallel schakelen van meerdere harvesters is hierdoor niet mogelijk.

Dit probleem is als eerste opgelost. Verder was het verbeteren van de efficiency van de schakeling, en het identificeren van de componenten die het meeste vermogen opnamen nog van belang.

Optimalisatie

Gate clamping

Het probleem van de te lage V_{gs} van de uitgangstransistoren is opgelost door de gate spanning op deze transistoren te begrenzen. Hiervoor zijn enkele concepten bedacht [2] waarvan er twee worden toegepast. Deze worden achtereenvolgens kort besproken.

Sense wikkeling

In dit concept wordt een door Callie Peters voorgestelde derde (sense) wikkeling op de transformator gelegd om de gates van de secundaire transistoren aan te sturen.

Wikkilverhoudingen: $\text{prim:sec}=1:12$, $\text{prim:sense}=1:4$. Omdat de gegenereerde gatespanning ten opzichte van ground nodig is, maar primair ten opzichte van V_{dda} wordt aangeboden is een offset op de gegenereerde spanning nodig om het nul niveau en daarmee de schakelmomenten goed te leggen. Schema en enkele relevante signalen uit een transientsimulatie in Ltspice zijn te zien in figuur 7.

Toepassing van een planaire transformator is een aantrekkelijke oplossing omdat de extra winding zonder meerkosten op de pcb aangebracht kan worden.

Mosfet clamp

Hier worden twee extra mosfets in gearde gate configuratie gebruikt om de gatespanning van de reeds aanwezige mosfets te limiteren. Zie figuur 8 voor het schema en enkele signalen uit de Ltspice simulatie. De zener referentie is uiteindelijk vervangen door een eenvoudige weerstandsdeler. Deze oplossing is eenvoudig en robuust, en verdient waarschijnlijk de voorkeur wanneer er gebruik wordt gemaakt van een conventionele gewikkelde transformator.

Jfet clamp

Een N-kanaal Jfet met negatieve pinch-off spanning kan direct gebruikt worden als gate clamp. Dit is de meest eenvoudige oplossing. Echter, Jfet's met een geschikt pinch-off niveau en een voldoende hoge $V_{ds\ max}$ zijn door ons tot op heden niet gevonden. Daarom is deze oplossing voornamelijk aan de kant geschoven als praktisch niet uitvoerbaar. In Figuur 9 staan het schema en enkele simulatieresultaten. Merk op dat in dit schema alleen de gate van de rechter mosfet wordt beschermd door een Jfet.

Ongewenste resonantie modi

De opgebouwde harvesters hadden de eigenschap bij toenemende belasting soms over te schakelen naar een toestand waarbij ze resoneerden op een frequentie van 2MHz in plaats van de gewenste 100kHz. Er was dan geen sprake meer van vermogensoverdracht. Dit is opgelost door weerstanden van 10Ω in serie met de gate van de primaire mosfets op te nemen. Deze vormen een 1e orde laagdoorlaat filter met C_{gs} van de mosfets en blokkeren op deze manier ongewenste oscillatiemodi op (veel) hogere frequenties dan de gewenste 100kHz.

Efficiency

Optimalisatie van het circuit is een kwestie geweest van zowel simuleren als meten aan de bestaande pcb's. Modificaties zijn uitgevoerd door de bestaande pcb's te wijzigen. Enkele belangrijke wijzigingen m.b.t. efficiency optimalisatie:

Eliminatie primaire capaciteiten

Het circuit bestaat uit een dubbele resonante versterker zowel primair als secundair. Vanwege de wikkilverhouding van de transformator (1:12) dienen de primaire capaciteiten ongeveer een

factor 122 groter te zijn dan de secundaire capaciteiten. Uit simulaties en metingen is gebleken dat de relatief lage reactantie van deze capaciteiten en de als gevolg hiervan hoge (blind) stromen de dominante factor zijn in het vermogensverlies van het circuit. Omdat het niet nodig is zowel primair als secundair een resonerend circuit te hebben is besloten de primaire capaciteiten weg te laten. De primaire zijde volgt dan het resonantie gedrag van de secundaire zijde.

Optimalisatie ingangscapaciteit

Het resonerende karakter van de schakeling veroorzaakt een flinke wisselstroom component op de ingangsstroom. Een buffer (afvlak) condensator aan de ingang is daarom noodzakelijk. Naast de primaire capaciteiten veroorzaakt deze component de meeste verliezen. Na wat zoekwerk en testen van verschillende typen condensatoren is uiteindelijk is gekozen voor twee lage-ESR tantaalcondensatoren van 33 μ F.

Optimalisatie secundaire capaciteiten

Secundaire capaciteiten zijn opgebouwd uit twee parallelle capaciteiten met als doel de ESR te halveren. Dit heeft een verdere efficiency verbetering tot gevolg.

Simulaties

De simulatie omgeving in Ltspice is verbeterd. Enkele punten:

- Passieve componenten juist gemodelleerd, met name de ESR van de verschillende capaciteiten speelt een grote rol.
- In de Ltspice simulaties wordt per component het opgenomen vermogen (Watt) berekend. Dit is per topologie goed gemaakt. Ook de berekeningen zijn hier en daar gecorrigeerd. Resultaten onder andere in [4]
- Transformator is gemodelleerd [3]. Sander heeft hiervoor metingen gedaan met een netwerkanalyzer bij de UT. Gemodelleerd zijn de (mutuele) zelfinducties en koppelfactoren tussen de drie wikkelingen.

Huidige circuit

Figuur 2: Huidige circuit met optimalisaties, variant met derde sense wikkeling

Figuur 3: Huidige circuit met optimalisaties, variant met mosfet clamp

Karakterisaties

Voorafgaand aan metingen met de harvesters en zonnecellen is gesimuleerd aan het gedrag van zonnecel + harvester combinaties en parallelschakeling van deze combinaties.

Harvester + zonnecel combinaties

Beschreven in [2] pagina 27. Het meest interessante gegeven is het feit dat er impedantietransformatie plaats vindt van de ingang naar de uitgang van de harvester. Dit is gunstig gezien het feit dat we meerdere harvesters parallel willen schakelen. Simulatieresultaten, karakterisatie, grafieken zijn te vinden in [5].

Meerdere harvesters parallel

Gedrag van meerder harvesters parallel is gesimuleerd, zowel bij gelijke belichting als bij onderling verschillende belichting. Beschrijving in [2] pagina 27 t/m 33. Resultaten en grafieken in [5].

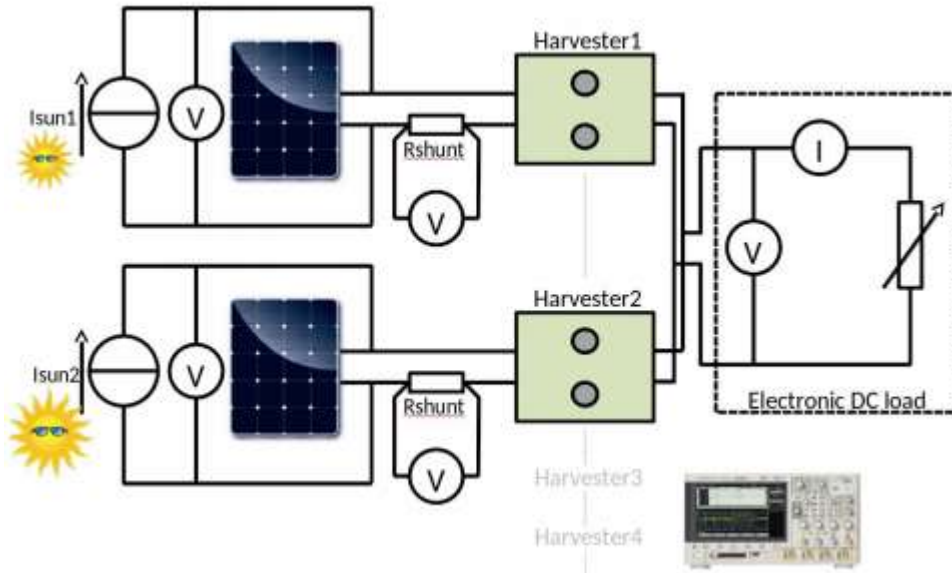
Het blijkt dat de harvester ook goed achterstevoren werkt waardoor vermogen dat niet door de load wordt opgenomen terug geleverd wordt naar de zonnecel die het minste vermogen levert. Dit gebeurt niet netjes in dc, maar de harvesters gaan onderling oscilleren. Bedachte oplossingen:

- Inductor in serie met de uitgang van iedere harvester voor het vermijden van oscillaties.
- Schotkydiode in serie met de uitgang van iedere harvester voor het vermijden van het terug leveren van energie naar de zonnecel.

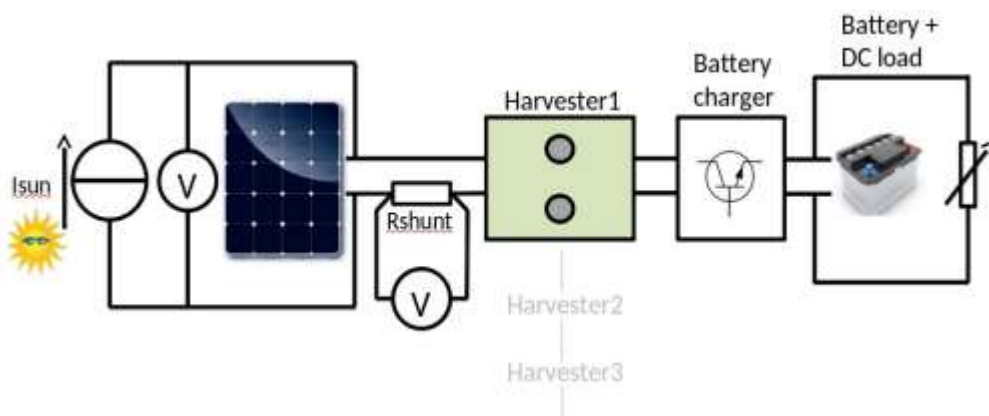
Meerdere harvesters parallel zijn gezamenlijk in een maximum power point te krijgen, waarbij dit gezamenlijk punt suboptimaal is. De harvesters die het meeste vermogen leveren zijn dominant en staan als gevolg daarvan het dichtst tegen hun MPP aan. Harvesters die minder vermogen leveren wijken meer af van hun optimum. Niettemin lijkt het goed mogelijk zonder extra MPP functionaliteit een reeks solarcel + harvester combinaties optimaal te laten functioneren op basis van een MPP regeling van een reguliere ballast.

Evaluatie, metingen in 2015

De eerste weken van 2015 zijn besteed aan metingen. Er is gemeten aan meerdere harvesters parallel, ieder gevoed door zijn eigen zonnepaneel. Ook is getest met een PB137 acculader als belasting. Meetschema's zijn globaal weergegeven in Figuur 4 en 5 en samen met nog enkele andere gebruikte meetschema's te vinden in [6].



Figuur 4: Meerdere harvesters parallel

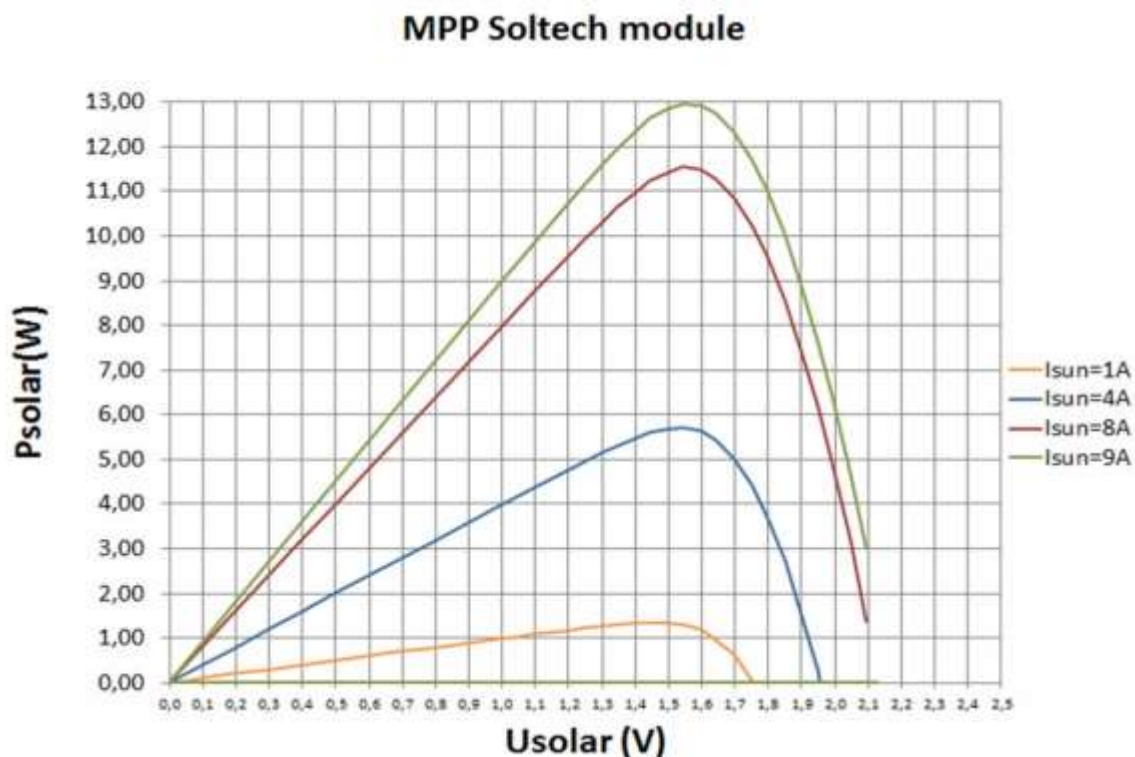


Figuur 5: Meerdere harvesters met batterijlader

Documentatie van de metingen is aanwezig en ook in technisch opzicht beschreven in [7]. In dit zelfde document worden aanbevelingen gedaan en er is een lijst gemaakt van zaken die nog moeten worden gedaan en uitgezocht. Resultaat en doel van de meetsessie is een PowerPoint presentatie [8]. In deze presentatie zijn ook getallen en grafieken met betrekking tot efficiency te vinden.

Enkele belangrijke conclusies uit de metingen, en zaken die verdere aandacht behoeven:

1. Laagfrequente oscillaties (± 1 Hz) bij lage ingangsspanningen. Het is nog niet duidelijk waardoor dit wordt veroorzaakt.
2. i.v.m. Verliezen en hoge temperatuur: betere ingangscondensator vinden of meerdere parallel.
3. Gezien het ingangsspanningsbereik is de huidige versie van de harvester geschikt voor gebruik met 4 i.p.v. 3 zonnecellen in serie. Hiermee moet gemeten worden.
4. De gebruikte Soltech modules hebben het MPP bij een goede constantie spanning van ongeveer 1.55V (figuur 6). Dit maakt een MPP regeling eenvoudig.
5. Crosscheck tussen gemeten solarpaneel grafieken en solarpaneel + harvester grafieken. Kijk in welk deel van de solarpaneel grafiek we nu meten, en of we het MPP halen in de metingen.
6. Metingen in het MPP van het zonnepaneel en er voorbij (linker kant van de grafiek in figuur 6).
7. Check gemeenschappelijk MPP van parallelle harvesters. Interessant hierbij is in hoeverre de weinig-licht solarpanelen nog in het MPP ingesteld staan en het verlies aan efficiency hierbij.
8. PB137 of een andere laadschakeling op basis van een lineaire regelaar: check gedrag in combinatie met harvester. Overnamepunten ontladen vs. voeden/opladen vanuit de harvester in kaart brengen. Achterstevoren werken van de harvester in kaart brengen.



Figuur 6: Soltech solarmodule vermogenskarakteristieken

Figuren

Figuur 7: Harvester met sensewikkeling en chargepump secundair

Figuur 8: Harvester met geaarde gate mosfets als gateclamp.

Figuur 9: Harvester met Jfets als gateclamps

Behaalde resultaten met PCB002 en 003.

Nadat alle optimalisaties zijn geïmplementeerd is de efficiëntie gestegen tot 92% en zijn de PCB's afgeleverd bij ECN/TNO ter karakterisatie. Zie **D3.1**

D2.2 PCB van multiplier en dubbelaar

- *Multiplier componenten optimaliseren*
- *Dubbelaar componenten optimaliseren*

Dit gedeelte van INTELECT is niet uitgevoerd anders dan wat er in 2012/13 is gerealiseerd.

De inzichten ontstaan door naar de economische haalbaarheid te kijken heeft er toe geleid dat deze koers niet tot een goede businesscase zou leiden.

D2.3 WiPoT opstelling

Van potkern naar planaire split transformator

In 2.1 is veel noodzakelijk onderzoek gedaan met betrekking tot de optimalisatie van de componenten met name de condensatoren die een prominente rol samen met de spoelen van de transformatoren innemen. Veel meer componenten zitten ook niet in het ontwerp om aan te sleutelen. Er is bijna oneindig keuze in de technologie, materiaal keuze en functie van bijvoorbeeld de gebruikte condensatoren. Diepgaande kennis van de werking van de diverse componenten is daarmee essentieel. Dit geldt ook voor de transformator spoelen. Verder is nooit onderzoek gedaan naar de opbouw van de PCB- Layout.

In de metingen tot 2015 blijken we een rendement te behalen tot 93% (ECN meting met 2 parallel geschakelde circuits). Wat de reden is van dit resultaat is nooit onderzocht en ook absoluut niet het verwachte rendement van 97 ... 98%. Er is input van buiten SE-BV gebruikt om het rendement te behalen. Echter deze externe kennis is nooit binnen SE-BV tot eigen voorgrond kennis geworden.

Om er achter te komen wat de werkelijke invloed is van de component optimalisatie starten we opnieuw met de initiële schakeling met de zogenaamde “sense wikkeling” die ongeveer 86% rendeert.

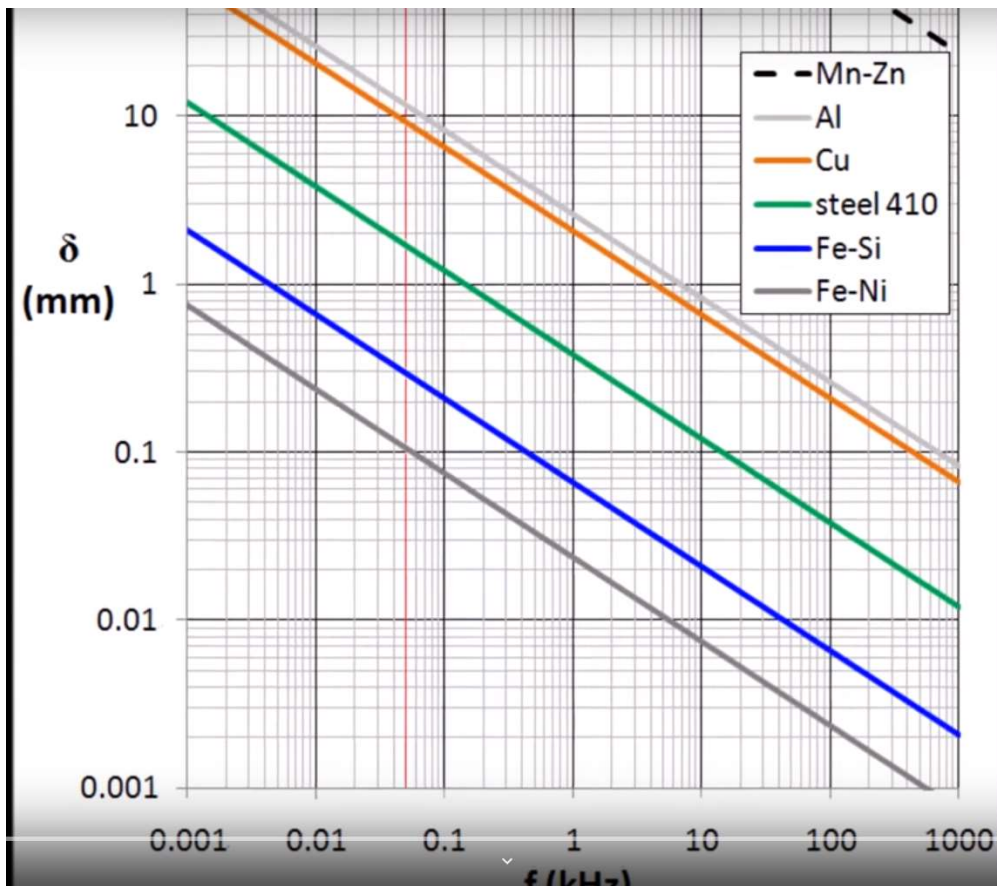
Spoelen

Er is gekozen om de frequentie te stellen op 100kHz om de volgende redenen:

1. Flora en fauna hebben minder moeite met deze frequentie van 100kHz, denk aan hond, kat en andere huisdieren maar ook zeker aan vleermuizen die echolocatie gebruiken tot 120kHz.
2. Het volume van het transformator kernmateriaal wordt kleiner als de frequentie hoger wordt.

Er is echter een natuurkundig fenomeen dat wisselstroom bij 100kHz slechts 0,2mm (zie figuur 10) in het koper indringt. De transformatorspoelen waren tot dan gemaakt van Litze dat bestond uit meer dan 400 geïsoleerde koperdraadjes van elk $\varnothing 0,14$ mm. Echter doordat het geheel ook nog eens was omgesponnen met zijde was “een en ander” slecht te vertinnen en daarmee de gelijkstroomweerstand onvoorspelbaar en daarmee onbruikbaar. Door koperdikte $< 0,2$ mm te kiezen gaat er dus vrijwel niets verloren.

Bij de gebruikte potkernen, (zie figuur 11) met spoellichaam (zie figuur 12) zijn de primaire spoelen gemaakt uit 5 stroken van 6mm breed en 0,1mm dik koperfolie en om het spoellichaam gewikkeld. Dit heeft de weerstand van de primaire spoelen significant verlaagd van 1,0mOhm naar $\approx 0,4$ mOhm. Dit geeft bij een primaire stroom van 10A een verbetering van het rendement, van 6% bij 1W ingangsvermogen (en 0,3% bij 20W). Daarbij zijn ter verhoging van het rendement de spoelen zo dicht mogelijk bij de Mosfets geplaatst.



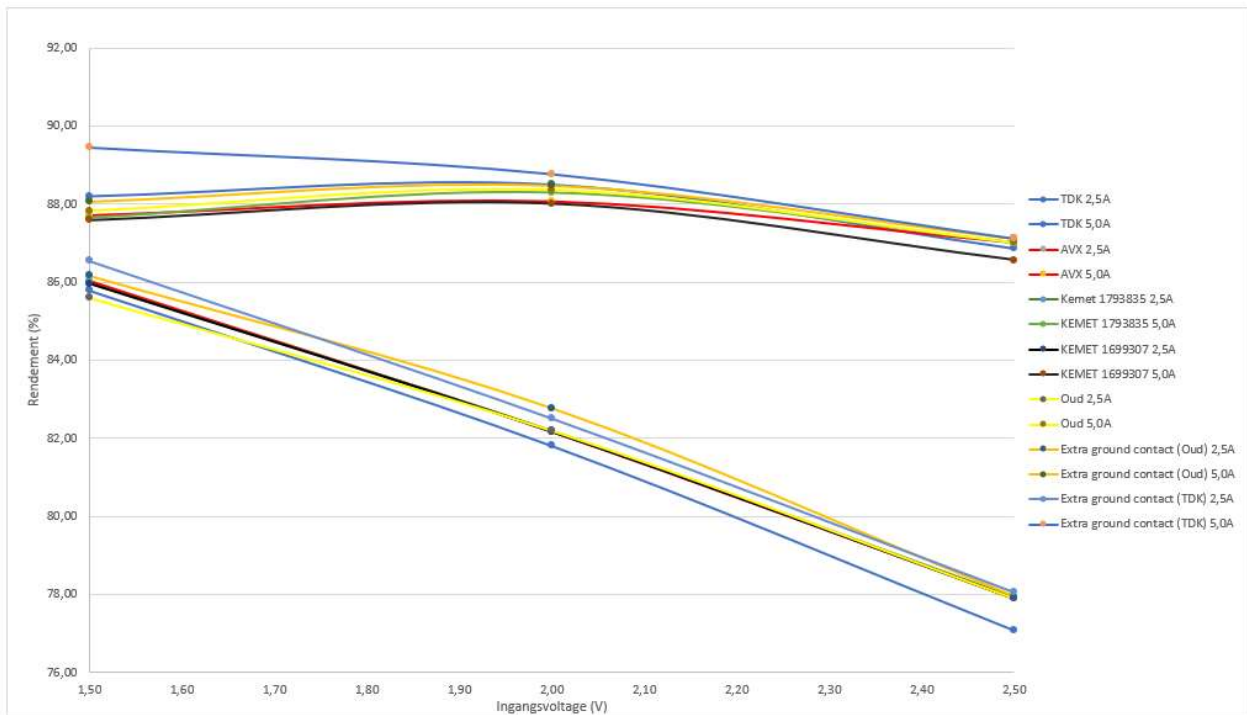
Figuur 10: De indringdiepte van wisselstroom bij verschillende materialen en frequenties.

Figuur 11: Potkern

Figuur 12: Spoellichaam

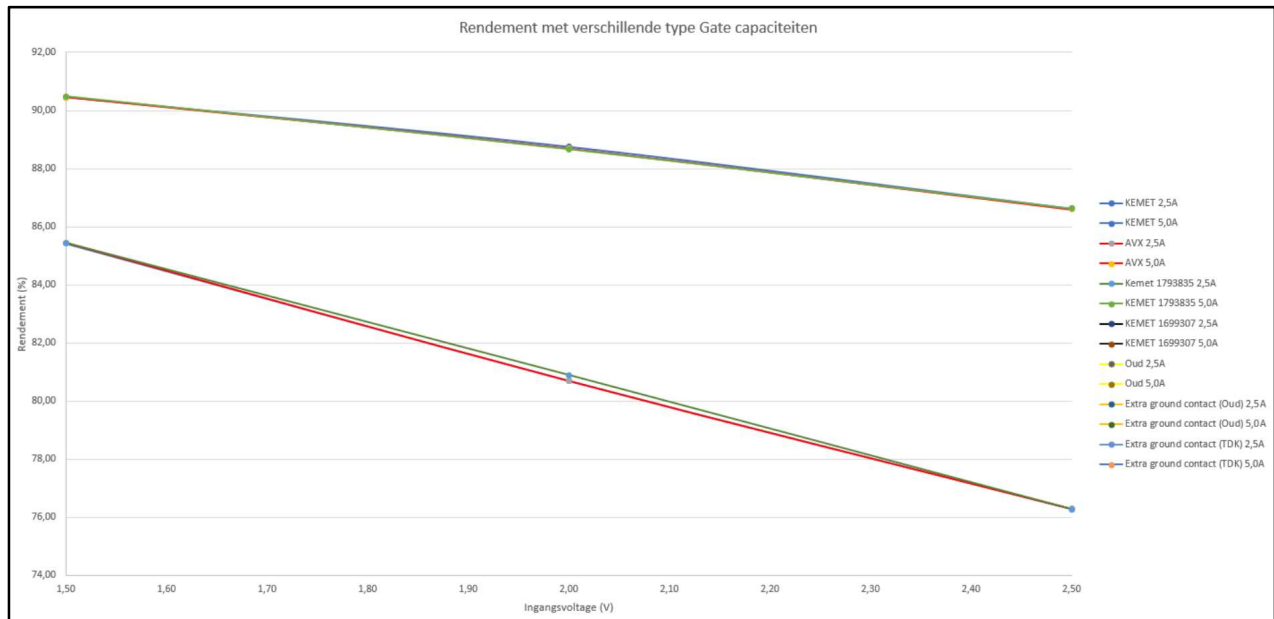
Condensatoren

Ander type frequentie bepalende condensatoren geprobeerd. Dit gaf $\approx 2\%$ verbetering. Filmcapaciteiten geven veruit het beste resultaat, maar ook hier zit een enorm verschil tussen de verschillende condensatoren. Weerstand (ESR) van de capaciteit is niet de enige / grootste invloed. Een verkeerd type frequentie bepalende capaciteit kan tot 10% verlies veroorzaken (niet in testresultaten opgenomen). In onderstaande grafiek (Figuur 13) een aantal type condensatoren die getest zijn:



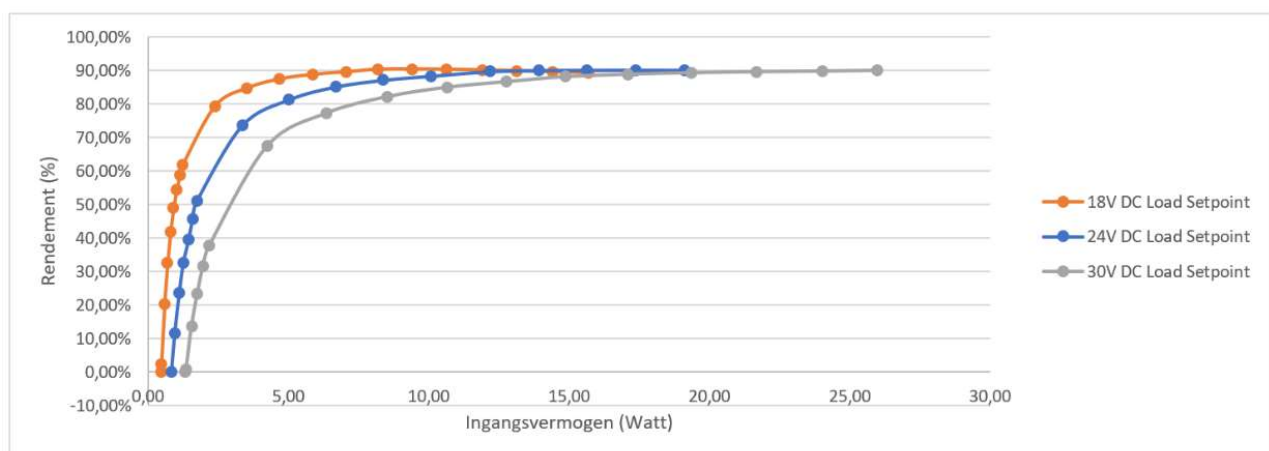
Figuur 13: Frequentie bepalende condensatoren en hun invloed op rendement.

De invloed van de in serie staande Gate capaciteit is niet significant. Metingen hiervan in onderstaande grafiek:



Figuur 14: Gate condensatoren en hun invloed op rendement.

Op 11 maart 2019 werd met de genoemde condensatoren het rendement vastgesteld op 90%. Zie figuur 15.



Figuur 15: Rendementen tot 90%

Tussenstap voor directe AC koppeling

Om componenten te besparen en daarmee de nadelige invloeden van met name condensatoren weg te nemen is een door RVO goedgekeurde wijziging in het projectplan opgenomen. Verder zie D2.4

Van BIPV solar module naar slimme panlat

Om het oogsten van de energie te kunnen onderbreken is het kunnen starten en stoppen van de oscillator wenselijk. Hiervoor willen we alle frequentie bepalende condensatoren verwijderen waarmee verwacht wordt het rendement te verbeteren.

Met een AWG functiegenerator is een sinus extern aangeboden, de eigen frequentie bleek niet tot nauwelijks te beïnvloeden. De harvester bleef op een eigen frequentie van ongeveer 950kHz oscilleren. Zelfs bij het loskoppelen van de Gates van de secundaire Mosfet's bleef de schakeling op 950kHz oscilleren.

De condensatoren zijn weer aangebracht zodanig dat de eigen frequentie omlaag gebracht door aan de secundaire kant condensatoren over de Drain-Source van de Mosfet's aan te brengen. Als de eigen frequentie in de buurt komt van de externe frequentie neemt de Harvester de externe frequentie over. De harvester zonder belasting, verbruikt veel vermogen door overlap in het schakelen van de Mosfet's (quiescent current). De externe aansturing lijkt voorsnog een keuze die meer aandacht vereist en wellicht later, na INTELECT, kan worden onderzocht.

Het weghalen van de diverse componenten hebben er voor gezorgd dat de secundaire Mosfet het sneller begeeft door statische elektriciteit. Het aanbrengen van beveiliging met een weerstand van 10kΩ lost dit op. Dit kost wel wat energie. Bij 20V is dit een stroom van 2mA. Dit is een verlies van 20mW per Mosfet met een duty cycle van ≈50%. Per Harvester is dit een verlies van ≈40mW. Op een totaal van 1W is dit 4% verlies, op een ingangsvermogen van 20W is dit nog 0,2% verlies.

Hierna zijn we terug gegaan naar de oplossing met de sense-wikkeling.

Kopersporen en spoelwikkelingen

De schakeling is vervolgens zo opgebouwd dat de kopersporen en verbindingen zo kort mogelijk worden gemaakt en daarmee alle koperverliezen worden gereduceerd, dit leverde een winst van ≈1% op.

Vervolgens zijn beide primaire spoelen doorlopend van de eerste naar de tweede trafo 1 stuk gemaakt van 15 lagen koper van 6mm breed en 0,035mm dik. De weerstand van de totale spoel is nu ≈0,1mΩ. Dit leverde een efficiëntieverbetering van ≈2% op.

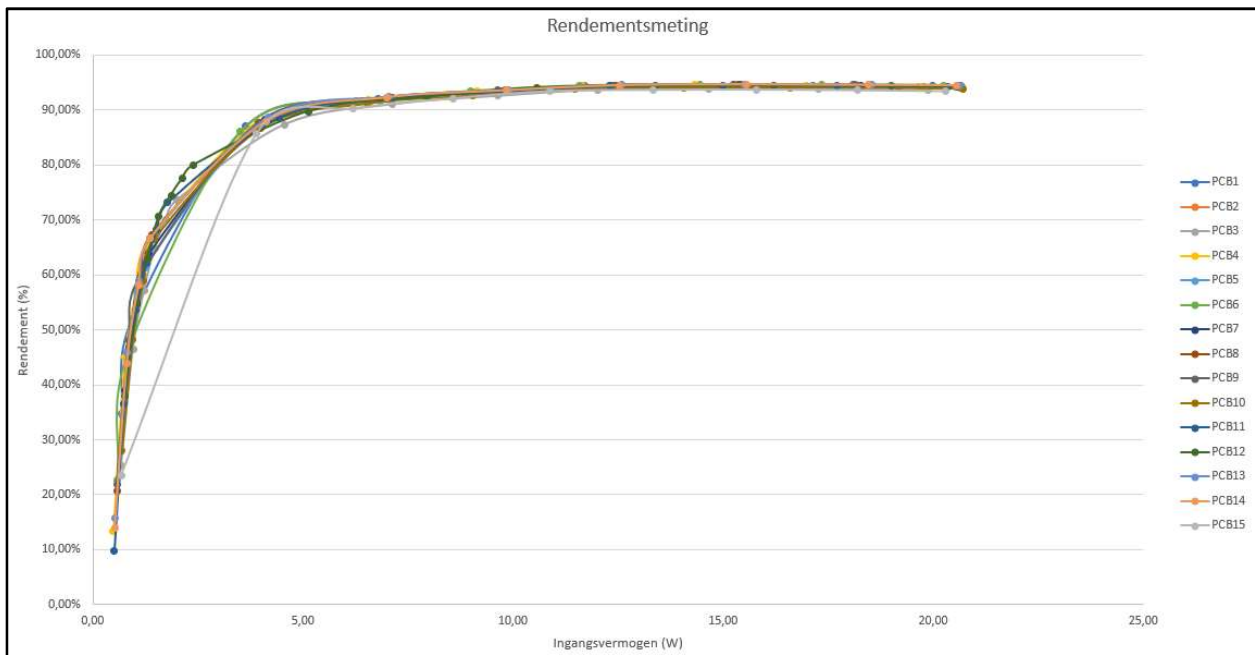
De harvester startte nog niet zelfstandig op zonder dat de DC-load aangesloten is. Door op de uitgang een afvlakcapaciteit te plaatsen van 1μF start de schakeling uit zichzelf op bij een spanning van 1,4V.

Door de juiste type en waarden in- en uitgangscapaciteiten te kiezen kon nog een aantal procentpunten gewonnen worden.

Secundaire spoel van dikker materiaal gemaakt om verliezen te beperken, dit scheelde ≈0,5%.

In onderstaande grafiek de rendementen bij de verschillende ingangsvermogens van de 15 PCB's die benodigd zijn voor 1 solar module:

De rendementen zijn verbeterd tot 94,5%



Figuur 16: Rendementen tot 94,5%

D2.4 Directe planaire inductieve AC koppeling

Resultaten D2.3 omzetten naar planaire split transformator

Er is in 2017 een eerste proef gedaan met ter beschikking gestelde planaire spoelen van Würth Elektronik. Eerste resultaten zagen er veelbelovend uit. Bij een luchtspleet van 6mm bleek er bij een transformatie van 1:1, 88% haalbaar.

Dit hebben we geprobeerd voort te zetten in 2018. Er zijn 3D geprinte stukken panlat met holle geleiders gemaakt zowel uit koper als aluminium buis. Een koper geleider was uiteindelijk niet haalbaar toen duidelijk was wat de kosten (€ 5) alleen voor de koperen geleiders per aangesloten pan zouden zijn. Een aluminium geleider is een factor 10 voordeliger. Uit metingen met goede resultaten voor AC (100kHz), en uitstekende DC resultaten, bleek al snel dat de weg voor AC (100kHz) nog al wat onderzoek zou gaan kosten. Besloten is begin 2019 dit weer op te gaan pakken maar nu eerst de opbrengsten voor de bestaande oplossing met vaste transformator te optimaliseren. Zie verder D2.3 voor verdere ontwikkeling op basis van DC koppeling.

D3.1 Lab-schaal testen van INTELECT-PV opstelling

PCB0002/3 door Sensus aangeleverd zijn uitgevoerd met de P18/11 potkernen geschikt tot 12W. Zie figuur 11 op pagina 19 voor een soortgelijk echter geschikt tot 30W. Deze worden verderop in het project waarvan alle resultaten niet door ECN/TNO zijn gevalideerd om bekende redenen.

Doordat de door Sensus doorgevoerde aanpassingen nog niet waren doorgevoerd in PCB0002/3 zijn de uitkomsten anders.

D3.2 LCoE berekening INTELECT-PV

Het projectplan is samen met ECN/TNO opgesteld in 2014 met de kennis van toen. In 5 jaar is er veel veranderd met name de prijs en technologie voor fullsize panelen.

De uitkomst van de LCoE berekeningen is daarmee met de kennis van nu, een flink stuk ongunstiger weergegeven, dan de uitkomsten van onze eigen desk en lab studie reeds heeft uitgewezen.

Verder wordt gesteld dat de verliezen in het paneel verder zou oplopen door de langere interne bedrading. Op basis van de gebruikte panelen is dat zo door een andere aanpak te kiezen voor de opbouw van het paneel kunnen de verliezen beperkt worden.

Er zijn door Sensus voorstellen gedaan voor zowel INTELECT als SmarHiper om de nieuwe MWT cellen hiervoor te gebruiken. De interne bedrading wordt hierbij vervangen door een PCB met ultra lage DC weerstand. Dit is nooit gebeurt doordat fondsen ontbraken of zelfs werden onthouden.

Sensus denkt dat INTELECT-PV wel degelijk een toekomst heeft, met een totaal andere markt benadering dan in 2014 – 2016 voorzien. Zie **D5 Rapport marktacceptatie**

D5 Rapport marktacceptatie

Aanleiding: Sensus Energy is na de doorstart van het Intellect project, medio 2016 opzoek gegaan naar alternatieve marktkanalen voor het vermarkten van haar oplossing(en), hiervoor is zij in samenwerking met haar toekomstige rechtsopvolger(s) zijnde: Weijland Technologies & SunChip Projects B.V. een verbintenis aangegaan om de ontwikkelde kennis en kunde te gaan vermarkten via enerzijds productie en anderzijds licentie overeenkomsten – daarnaast werkt ze samen met Fluxology en stichting GO (Grunnegs Ontzet) om de marktacceptatie kracht bij te zetten.

Er is een wettelijke grens geformuleerd dat vóór 2028 alle asbestdaken in Nederland moeten zijn verwijderd. Niet vervangen van de asbesthoudende daken is geen optie. Als het niet vervangen wordt zal de premie voor opstal- en milieuschadeverzekering substantieel stijgen en/of wordt de dekking stapsgewijs afgebouwd. Banken zullen vastgoed met asbesthoudende beplating niet meer accepteren als onderpand waardoor aanvullende kosten niet meer draagbaar zijn. Dus: sanering en vervanging van deze daken moet! Tegelijkertijd is er in de provincie Groningen een situatie ontstaan die vrij uniek te noemen is. Daarbij komt dan nog dat Nederland achterloopt op Europese afspraken rondom CO2 uitstoot, energiebesparing en hernieuwbare energie. Daarom het voornemen om te starten waar de nood het hoogst is, de circa 1700 agrarische gebouwen, 45 chemiebedrijven (en nog 200 aanverwante bedrijven) in het aardbevingsgebied in Groningen waar het herstel van aardbevingsschade en de vergoeding daarvan mogelijk benut kunnen worden om van een probleem een reddingsmiddel te maken.

Achtergrond: Vóór 2028 zullen alle asbestdaken in Nederland verwijderd moeten zijn. Om van deze nood een deugd te maken stellen we voor om deze te vervangen door een nieuw type dakplaat met geïntegreerd zonnefolie en zonnecollectoren. Er ligt er in ons land nog steeds zo'n 150 miljoen vierkante meter aan asbestdaken, waarvan rond de 120 miljoen bij boerenbedrijven. Regio Groningen geniet de voorkeur boven andere regio's voor een industrialisatieslag van vervanging plus de opschaling van de commerciële activiteiten. Enerzijds is er de noodzaak tot herbouw vanwege de herstellende/versterkende werkzaamheden wegens aardbevingsschade. Dit biedt op korte termijn de kans om een volwaardige industrietak te ontwikkelen omtrent de dienstverlening voor "gebouw geïntegreerde fotovoltatische systemen", installatiewerk op hoogte en demontage en materiaalverwerking, zoals de (prefab)bouw, schoonmaak, sloop- en demontage en afvalhandling. Bij voldoende schaalgrootte, reikwijdte en snelheid kan hier in korte tijd een volwaardige industrietak ontwikkelen, met zo'n 600 nieuwe werkplekken voor Noord-Nederland. De marktwaarde van sanering en vervanging is berekend op zo'n € 3 miljard voor de komende 6 jaar, alleen al bij agrarische bedrijven. Ook speelt Groningen een centrale rol in de Energy Valley/New Energy Coalition wat naadloos aansluit bij de voorziene ontplooiing op middellange en lange termijn omtrent zonne-energie installaties, microgrids en andere duurzame energietechnologieën, wat een vrij natuurlijk speelveld vormt voor de ontwikkeling van een "Region of Smart Farms".

Zowel eigenaren, verzekeraars, banken en de maatschappij hebben er belang bij dat asbesthoudende beplating van deze opstallen wordt gesaneerd en hun huidige functie wordt behouden of herbestemd. Provincies hebben een belang om verloedering van het platteland te voorkomen of op te lossen, die zou ontstaan door leegstand en verkrotting van de oude opstallen – wat zou gebeuren bij het niet saneren (gebruik van die opstallen is dan immers niet meer

mogelijk). De opgave voor de sanering van asbesthoudende beplating op agrarisch vastgoed is verstrengeld met de te verwachten leegstand t.g.v. bedrijfsbeëindiging. Als bij bedrijfsbeëindiging de loods geen andere bestemming kunnen krijgen, is sloop de enige optie. Saneren van asbesthoudende beplating verhoogt de sloopkosten en deze kosten kunnen niet terugverdiend worden. Gemeentes hebben ook een belang omdat zij opdraaien voor de opruim- en saneringskosten in geval van een calamiteit met een loods met asbesthoudende beplating en de eigenaar niet in staat is de kosten van het opruimen te betalen, terwijl de maatschappij als geheel er belang bij heeft de blootstelling aan verhoogde asbestconcentraties in de lucht en/of immateriële schade door de asbestproblematiek zoveel mogelijk te voorkomen. Een behoorlijke schadepost, ook al gaat het om leegstaande stallen, die naar gelang de ligging en omgevingsfactoren in de miljoenen kan lopen. Beter voorkomen dan genezen dus.

Doelstelling: Voorbereidingen treffen voor het opzetten, exploiteren en uitbouwen van een proeftuin omgeving bestaande uit agrarische bedrijven in Noord-Nederland, welke hun asbest dak laten vervangen door een nieuw type dakplaat met geïntegreerd zonnefolie, en zo de basis legt voor combinaties met andere duurzame energietechnologieën. Deze proeftuin sluit daarmee aan op de resultaten van de *Technology Base Twente – Proefomgeving*, waar deze en andere mogelijkheden worden ontwikkeld en gedemonstreerd onder realistische omstandigheden. Deze zal volgens plan eind 2019 een werkende asbest-verwijder/dakplaat-leg robot opleveren. In de proeftuin worden de opgebouwde mogelijkheden geïndustrialiseerd en verder uitgebouwd waar de schaalvergroting ertoe kan leiden dat de proeftuin uitgroeit tot een nieuw type power plant: een **smart grid** van agrarische bedrijven die duurzame energie opwekken met de best mogelijke techniek qua kosten, opbrengst en emissiereductie. Dit zorgt dan weer tot een nog grotere dimensie van de proeftuin omdat er op de zonne-energie installatie basis kan worden voortborduurd met een microgrid waarbij weer andere technieken kunnen worden uitgetoetst en geëxploiteerd.

Door middel van robotisering kunnen asbestplaten in hoog tempo verwijderd worden en in dezelfde handeling vervangen worden met een zonne-dakplaat (waar de integratie van een dakplaat en zonnepaneel alleen al een vermindering van de installatiekosten oplevert). ***Doel is om – via de bewezen resultaten van deze proeftuin - alle asbestdaken in Nederland te vervangen door een nieuw type dakplaat met geïntegreerd zonnefolie en zonnecollectoren, in combinaties met andere duurzame energietechnologieën.***

Deze complexe asbestopgave biedt tegelijkertijd ook een enorme kans. De deadline van 2028 kan alleen maar gehaald worden door een industrialisatieslag van het vervangen van de asbestdaken. Dat heeft 2 primaire redenen. Ten eerste is het vervangen voor veel agrariërs een te hoge kostenpost, waardoor men afwachtend is voor vervanging. De huidige zonne-energieoplossingen op een dak zijn nog duur en niet zo efficiënt. Ten tweede zijn er simpelweg niet genoeg asbestverwijderingsbedrijven om binnen het tijdsbestek de verwijdering uit te voeren. De robotisering van het verwijderingsproces van asbestplaten is dus eigenlijk noodzakelijk, al is het maar om de beperkte arbeidskrachten van de asbestverwijderingsbedrijven zo goed mogelijk in te zetten en om de kosten van verwijdering zo laag mogelijk te maken. Verder is gedurende de afgelopen jaren veel geïnvesteerd in fotonvoltaïsche technologie, en zeker op het vlak van “gebouw geïntegreerde fotonvoltaïsche systemen” (BIPV), waardoor het mogelijk is om twee belangrijke functies met elkaar te combineren; een dak element dat zowel de functie van waterdichting als die van energieopwekking heeft. Als je toch het dak moet aanpakken, doe dan alle handelingen op het dak tegelijk. Dergelijke panelen bestaan reeds, maar worden nog niet op grote schaal toegepast.

Voor toepassing op grote schaal moeten deze fotonvoltaïsche panelen worden ontwikkeld op een wijze dat deze met een robot industrieel gelegd kunnen worden. Omdat in de Twentse proefomgeving de basis gelegd wordt voor een robot die zowel asbestplaten kan verwijderen en fotonvoltaïsche dakplaten kan leggen, wordt het mogelijk om de asbestopgave en voor 2028 op te lossen, en te vervangen met zonne-energie. In deze proeftuin zal verder uitgewerkt worden wat het potentieel is voor grootschalige toepassing, om vanuit daar internationaal uit te waaiëren, omdat het asbestprobleem Europa breed is.

Risk Assessment Table

Project Risk	Probability	Impact level	Impact area	Priority	Problem (what problems could occur due to this risk?)	Mitigation Strategy/Action (how will risk be minimized?)
<i>External Dependency (risk associated with anything out of scope)</i>						
	H	H	CS	VH	Cross-sectorale coöperatie	Proactief accountmanagement met regelmatige statusrapportage. Zorg voor naleving van technische en bestuurlijke normen
	H	H	CPS	H	Trans-regionale coördinatie	Strategisch plan met kritieke pad analyse. Communiceer duidelijk over planning, controles en taken met tussentijdse rapportering
<i>Organizational (risk associated with executive sponsorship, required skills or availability of resources)</i>						
	H	M	PS	H	Meerdere beslissers	Gebruik pilot om gefaseerde implementatie met duidelijke rollen, verantwoordelijkheden en besluitvormingsprocessen te regelen
	H	M	CPS	H	Vernieuwende werkwijze (mogelijk onrealistische verwachtingen)	Duidelijk communiceren. Zorg voor voldoende voorlichting, voorbereiding en betrokkenheid. Benut pilot en prototypes voor training.
<i>Business Case (risk associated with business objectives or predicted business value)</i>						
	H	H	CM	H	Kostenbeheersing	Zet een duidelijke scope met juiste toleranties, verhoog betrokkenheid partners en gebruikers. Gebruik iteratieve ontwikkeling
	H	H	CSM	M	Terugverdientijd	Definieer tastbare voordelen en beperk initiële reikwijdte tot de winstgevendste segmenten. Evalueer voordelen en groeistrategie tezamen.
<i>Plan (risk associated with scope, schedule and budget such as complex task dependencies or cost overruns)</i>						
	H	H	CPS	H	Complexe onderlinge	Zorg voor duidelijk taakprioritering, motivering, belang, coördinatie en juiste planningsniveaus

					taakafhankelijkheden	
	M	H	PS	H	Weinig reservetijd i.v.m. kritieke pad met deadlines	Garandeer steun van ervaren projectmanager. Zorg voor iteratieve incrementele ontwikkeling. Zorgvuldige naleving planning met controles (oa via training, testen en tussentijdse oplevering)
<i>Technical (Environment) (risk related to people, processes and tools such as unfamiliar technology)</i>						
	H	M	PSM	H	Onbekende technologie	Training, doorlopende kwaliteitsborging d.m.v. tussentijdse controles en beoordelingen. Zorg voor ervaren medewerkers, specialistische ondersteuning en leveranciersondersteuning.
	H	M	S	M	Formaliseren werkstromen	Voorkom dubbel werk of onbedoelde nalatigheid door standaardaanpak voor ontwikkelingswerk. Zorg dat medewerkers hiermee bekend zijn.
<i>Technical (Project) (risk related to this specific project)</i>						
	H	H	PSM	H	Functionele afhankelijkheden	Zorg voor duidelijk logisch ontwerp en technische standaarden. Engageer experts. Doe technische haalbaarheidsstudie vooraf en anticipeer daarop.
	M	M	CSM	M	Beschikbare alternatieven	Evalueer regelmatig de “build or buy” optie. Onderhoud contact met meerdere leveranciers.
<i>Technical (Operational) (risk relation to operation of the solution, such as support, maintenance and repairs)</i>						
	H	M	PM	H	Voorwaartse compatibiliteit	Probeer geen doelpunt te scoren bij een schaakpartij. Neem voldoende tijd voor ontwerp en constructie fases en vermijd “quick and dirty”. Betrek technische experts.

Bijdrage aan de doelstellingen van het programma

SunChip, Fluxology en Stichting GO ondernemen deze stappen in voorbereiding op een nauwere samenwerking omtrent van gerobotiseerde asbestsanering en aanleg van fotonvoltaïsche dakplaten, waarmee begin 2020 gestart zal worden in de regio Noord-Nederland. Zij werken daar samen met het oog op het opzetten, exploiteren en uitbouwen van een proeftuin omgeving bestaande uit agrarische bedrijven in Noord-Nederland, waar de opgebouwde mogelijkheden geïndustrialiseerd worden en verder uitgebouwd. Door de schaalvergroting te benutten voor een tweeledig doel kan de proeftuin uitgroeien tot een nieuw type power plant: een smart grid van agrarische bedrijven die duurzame energie opwekken met de best mogelijke techniek qua kosten, opbrengst en emissiereductie. Dit zorgt dan weer tot een nog grotere dimensie van de proeftuin omdat er op de zonne-energie installatie basis kan worden voortborduurd met een microgrid waarbij weer andere duurzame energietechnologieën kunnen worden uitgeprobeerd en geëxploiteerd. Tevens kan er voldoende draagkracht en expertise opgebouwd worden, door robotisering kunnen asbestplaten in hoog tempo verwijderd worden en in dezelfde handeling

vervangen worden met een zonne-dakplaat, om uiteindelijk alle asbestdaken in Nederland te vervangen door een nieuw type dakplaat met geïntegreerd zonnefolie en zonnecollectoren, en een “plug and play” nanogrid. Hierop volgt zowel een fase met technologische diversificatie en maar ook internationale expansie, aangezien de asbest problematiek Europa-wijd is.

Er zijn binnen deze grotere context meerdere programmalijnen waar deze proeftuin omgeving en gerelateerde initiatieven bij passen. Vanwege de integrale aanpak vallen *programmalijn 2.2* aangaande “*Systeemintegratie – elektrificatie en flexibilisering*” en *programmalijn 2.3* “*Circulariteit*” eigenlijk samen. De primaire doelstelling van de proeftuin om een smart grid van agrobedrijven (Region of Smart Farms) te creëren, ook geschikt voor combinaties met andere duurzame energietechnologieën, met in het verlengde daarvan een kunstmatig intelligent regelsysteem op het nanogrid en microgrid niveau helpt energieverbruik te optimaliseren, wat niet alleen helpt met de *digitalisering voor energiezuinige processen* maar ook in samenwerking met bedrijven in de Eemdelta een *industriële symbiose met een nabije industriecluster* nastreeft. Dan is er *programmalijn 4.5 “Energieregelsysteem en -diensten”* alwaar de verregaande integratie van SunChip’s voltage optimizer en Fluxology’s “solar botnet” software een kunstmatig intelligent regelsysteem realiseren, in vooreerst voor zonne-energie installaties, later meer. Vervolgens zijn er de *programmalijnen 4.3* voor “*Integratie in de bouw*” en *4.1* voor “*Zonnestroomsysteemcomponenten*” waar de gerobotiseerde asbestsanering en aanleg van fotonvoltaïsche dakplaten en SunChip’s nieuw type dakplaat met geïntegreerde zonnefolie passen.

Beschrijving vervolgproject en verdere implementatie

Aanpak en aansluiting bij de topsector: Vertaald in EU’s “Strategies for Smart Specialisation” (S3) sectoren wordt er een bijdrage geleverd aan de High-Tech Systemen en Materialen (HTSM) en Energie & Milieu Technologie (EMT) sectoren waarmee de noordelijke regio versterkt wordt met een proeftuin waarbinnen er geïnnoveerd wordt op het gebied van robotisering en koolstofarme economie. De innovaties in de proeftuin dragen namelijk ook bij aan de volgende cross-over ontwikkelingen:

1. **Robotisering:** het robotiseren van intensieve arbeid in een gevaarlijke omgeving d.m.v. een asbest verwijder robot.
2. **Energieopwekking:** opwekken van energie d.m.v. de daken geïntegreerde fotonvoltaïsche technologie.
3. **Gecombineerde energieopwekking:** het opwekken van energie uit andere bronnen wordt zo ook interessant, zoals andere processen rondom het agrarisch bedrijf (mestvergisting, warmtepompen, zonneboilers, blauwe energie)
4. **Energieopslag:** als er voldoende (asbest)dak vervangen is door fotonvoltaïsche daken en de salderingsregeling wordt afgeschaft, wordt het nog aantrekkelijker om te innoveren op het gebied van energieopslag.

Er zijn meerdere cross overs: tussen Agro en Bouw (Energie en Duurzame Energie), en tussen Agro en HTSM. Daarnaast kan het aspect internationalisering en nieuwe combinaties ook hier worden toegevoegd. Door de crossovers ontstaat n.l. in dit geval iets wat anders nooit had kunnen ontstaan: *een smart grid powerplant die industrieel ontstaat is van verontreiniging en industrieel is afgebouwd met fotonvoltaïsche technologie in combinatie met een opschaalbaarheid die geen grenzen heeft, en een open innovatieomgeving kan bieden voor andere en toekomstige*

energietechnieken. Hiervoor zal o.a. een roadmap opgezet moeten worden v.w.b. de verschuiving van de zwaartepunten in het smart grid ontwerp, welke uiteindelijk geschikt dient te zijn om elk soort cyber-physical infrastructuur van een intelligent regelsysteem te voorzien en deze vervolgens ook weer te combineren. Toekomstscenario is dan ook om het platform op oa de “natte infrastructuur” toe te passen, voor “slimme dijken”, waterbeheer, gemalen, zuivering en riolering, al dan niet in combinatie met zonneboilers, geothermie, ontziltling en elektriciteitsopwekking via osmotische druk, bioreactors en energieopslag.

Innovatie/technologie: Internationaal zijn er geen vergelijkbare initiatieven op dit vlak. In de combinatie met asbestverwijdering al helemaal niet. In het buitenland zijn minder sterke drivers aanwezig m.b.t. de asbestproblematiek. Het wettelijke kader is anders, de ruimtelijke ordeningsproblematiek is niet vergelijkbaar (Nederland dichtbevolkt) en is de kennis van Weijland en UTwente gecombineerd op fotonvoltaïsche techniek zeer uniek te noemen.

- Wereldwijd nieuw: Robot voor verwijderen.
- Wereldwijd nieuw: Fotovoltaïsche dakpaneel met effectief rendement van 93%.
- Wereldwijd nieuw: Integratie techniek voor fotonvoltaïsche dakpanelen.
- Wereldwijd nieuw: Legrobot voor plaatsen fotonvoltaïsche dakpanelen na asbestverwijdering.

Een Smart Grid beoogt de transitie van een wirwar van snoertjes naar een “internet of energy”. Om van een stroomstekker en stopcontact naar de mogelijkheden van een minicomputer op te schalen komt overeen met de overgang van een gloeilamp naar een beeldbuis. Behalve onmiddellijke voordelen zoals makkelijk configureerbare installaties, doeltreffender energie verbruik en vereenvoudigd beheer heeft een smart grid als infrastructurele utiliteit een faciliterend werking voor vele andere mogelijkheden die nu nog vergezocht lijken, zoals ‘groene’ datacenters waarvan de restwarmte benut wordt voor tuinbouwkassen.

Ons trio zoekt actief aansluiting en samenwerking met kennisinstellingen, onderzoeksorganisaties en netbeheerders. De toepassing van complexiteitstheorie en kunstmatige intelligentie in zogeheten “cyber-physical systems” is dermate nieuw dat in dit stadium er nog weinig concurrentie is, terwijl vrijwel alle bestaande initiatieven “interoperabiliteit” problemen hebben voor zowel technologie als modelering. De meeste systemen simplificeren de situatie op het verkeerde detailniveau, in het economische model van “de markt” dat ze voor ogen hebben, in de modelering van het elektriciteitsnetwerk, veronachtzaming van de zonne-energie installaties opstelling of het bouwwerkinformatiemodel, of ze werken met gehele zonnepanelen zonder iets te weten van de afzonderlijke zonnecellen, voornamelijk vanwege de apparatuurskosten. Fluxology’s “solar botnet” software zal in staat zijn om verschillende topologieën op verschillende schaalgroottes (en de verschillende manier waarop deze onderling samenvlechten) in kaart te brengen en dat als een gelaagd multi-agent regelsysteem beter beheersbaar maken. Internationaal gezien wordt een multi-agent aanpak, mesh netwerken of swarming regelmatig toegepast bij meer vooruitstrevende onderzoeksgroepen, echter daar blijft het meestal bij, zo is het Sandia National Laboratory in de VS in eenzelfde richting bezig geweest, met een praktische toepassing van “Complex Adaptive System of Systems” voor elektriciteitsnetten, echter alleen voor modelering en simulaties.

4. Kennisoverdracht en intellectueel eigendom

Het dient vermeld te worden dat deze aspecten verder uitgewerkt zullen worden tijdens en na volbrengen van onderzoeksvragen van het markt acceptatie onderzoek. Zoals vermeld is een reële mogelijkheid om aan de daaropvolgende proeftuin invulling te geven door het opzetten van een innovatiecluster, welke als open innovatie-omgeving over langere tijd aan meerdere partijen ruimte te bieden voor het testen van technologische innovatie of marktinnovatie van nieuwe of vernieuwde producten of diensten in een realistische omgeving. De uitdaging om innovaties van lab naar markt te krijgen is niet enkel technologisch, maar ook juridisch en organisatorisch. Een innovatiecluster is een uitstekende modaliteit om innovatieve activiteiten en samenwerking tussen de organisaties binnen het cluster te stimuleren door het delen van faciliteiten en de uitwisseling van kennis en deskundigheid te bevorderen, en hier daadwerkelijk aan bij te dragen.

SunChip (partner van Weijland Technologies) gebruikt enkele door Weijland gepatenteerde processen en technieken voor het parallel schakelen van dunne film PV-Modules geïntegreerd in (golf)plaatmateriaal, om de beschikbare elektrische energie bij lage spanningen en hoge stroomsterktes te converteren naar hoge spanningen en lage stroomsterktes, met behulp van haar draadloze overdracht systematiek (voltage optimizer). Om zo een modulaire eenvoudig met robot te installeren asbest vervangende dak- en/of gevelplaat te realiseren tegen een aantrekkelijke ROI. Weijland is gespecialiseerd in ontwikkeling van innovatieve, complexe, PV- en elektronische systemen. Ze hebben ervaring met het draadloos overbrengen van stroom specifiek voor deze situatie (PV op dak), vermogenselektronica en geavanceerde meet- en regeltechniek. Weijland werkt middels een agentennetwerk en met directe afspraken met OEM fabrikanten om in licentie producten te laten vervaardigen en te verkopen via de OEM-kanalen. Daarnaast heeft Weijland een goede relatie met de UTwente. Op regelmatige basis worden PDEng studenten ingezet vanuit Twente bij Weijland. Kortom, ontwikkeling en verdere vermarkten zijn qua kennis in huis.

De huidige insteek voor Fluxology's "solar botnet" is momenteel om de resulteerde softwarepakketten door middel van een open source instapmodel beschikbaar te stellen, met een commercieel aanbod voor de geavanceerde bouwstenen die als een "white label" oplossing doorverkocht worden door leveranciers en installateurs. De netwerkcomponenten zullen in beperkte mate beschikbaar worden gesteld via downloads na registratie en verificatie. Indien nodig zal de hulp van externe experts worden ingeroepen, echter de huidige scope is voldoende omkaderd om externe afhankelijkheden tot een minimum, of tot de bestaande informele interactie, te beperken. Naar aanleiding van de haalbaarheidsanalyse en tussentijdse evaluaties zullen zo nodig hulpvaardige startups en scaleups, voor de verdere ontwikkelingswerkzaamheden betrokken. Het betrekken van studenten van nabije hogescholen en universiteit worden voor een volgend stadium verwacht.

Business Model Canvas (Power to the Bauer + The art of orchestration)

Sample business case 2500 SqM agricultural roof modeled with the SunChip solution

Data overview

Input

Cashflows

Income and expenses – Waterfalldiagram

Project costspecification – Ringchart

Break-Even-Point (Zoom)

Break-Even-Point (Plotted)

Total expenses, Total income, Cashflows and Cumulative cashflows

Cumulative electricity production

Tussentijdse en eindrapportage

Op 15 oktober is de eerste tussentijdse rapportage [9] de auteur gepitcht voor drs. T.W.L. van (Wido) Heemstra, wido.vanheemstra@rvo.nl in de Taets van Amerongen zaal van Kasteel Groeneveld, Groeneveld 2, 3744 ML Baarn.

Referenties

- [1] "Roeca Solar Cell Power Converter", Revision F1, Sander Gierkink, Design Report, Axiom IC / TeledyneDALSA, June 2013.
- [2] "Project ROE001 Voortgangsverslagen 2014", Martin Vasterink, TeledyneDALSA / Vasterink EDS, 16 december 2014.
- [3] "Roeca trafo measurements", Sander Gierkink, TeledyneDALSA, 27 oktober 2014.
- [4] "Harvester power losses.xlsx", Martin Vasterink, TeledyneDALSA / Vasterink EDS, 11 november 2014.
- [5] "Harvester load curves 2.xlsx", Martin Vasterink, TeledyneDALSA / Vasterink EDS, 15 december 2014.
- [6] "Measurement setup.pptx", Martin Vasterink, TeledyneDALSA / Vasterink EDS, 24 februari 2014.
- [7] "Project ROE001 Voortgangsverslagen 2015", Martin Vasterink, TeledyneDALSA / Vasterink EDS, 3 maart 2015.
- [8] "Final results harvester prototype.pptx", Callie Peters, Sensus Energy, 10 maart 2015.
- [9] "Progress Intellect SE-BV & ECN CP14102015", Callie Peters, Sensus Energy, Nico Dekker, ECN, 14 oktober 2015.
- [10] "PCB_dimensions.pptx" S. Gierkink, T. Schaink, Teledyne Dalsa, 27 november 2013
- [11] "2018.09.06.MPA Asbest_Cashflow_basecase NL(2.1).xlsx" Sensus Energy
- [12] "2018.09.05.Asbest.casus_Notulen.31.aug_[1.0].pptx" Sensus Energy
- [13] "Business_models_NOV1_2018_PowertotheBauer_Th...ion_Final1.0.pptx" Sensus Energy
- [14] "2019.21.01MPA Asbest_Cashflow_basecaseEN(2.3)_rev2.xlsx" Sensus Energy