

Auteur Ir. H.A. (Henry) Lootens

Slim laden is helemaal niet slim

De definitie van slim laden (of smart charging) is volgens Elaad, het kennis- en innovatiecentrum van de netbeheerders dat zich bezighoudt met het slim en duurzaam opladen van elektrische voertuigen: het sturen van het tijdstip en de snelheid van het laden van elektrische voertuigen met inzet van techniek. Hiermee kun je nadat je de auto parkeert hem gewoon inpluggen. Het opladen kun je afstemmen op bijvoorbeeld de beschikbaarheid van duurzame stroom, lagere prijzen en het optimaal benutten van het stroomnet in de wijk. Je auto wordt bijvoorbeeld sneller opgeladen als er veel stroom beschikbaar is van de zonnepanelen op je dak, of het opladen start later als de piek op het stroomnet voorbij is en stroomprijzen lager zijn. Maar dit slimme laden, oftewel het intelligente beheer van het laadproces van EV's, kan een significante invloed hebben op de kwaliteit van de elektriciteit. In dit artikel bepleit ik dat Power Quality de sluipmoordenaar is van de energietransitie.

Eerst even over de definitie, daar mankeert mijns inziens nogal wat aan. Pieken op het stroomnet (in de volksmond congestie) en lage energieprijzen hebben niets met elkaar te maken.

- Congestie is een situatie waarin de vraag naar elektriciteit of de productie ervan, de capaciteit van het elektriciteitsnetwerk overschrijdt. Dit kan gebeuren op verschillende netvlakken. Congestie in elektriciteitsnetwerken kan leiden tot problemen, zoals spanningsinstabiliteit, verminderde betrouwbaarheid van de stroomvoorziening en zelfs stroomuitval.
- Transportcapaciteit heeft betrekking op de maximale hoeveelheid elektriciteit die door de infrastructuur van het elektriciteitsnetwerk kan worden getransporteerd van de opwekfaciliteiten naar de eindgebruikers. Dit omvat de transmissielijnen, transformatorstations en andere componenten van het elektriciteitsnetwerk die elektrische energie transporteren.

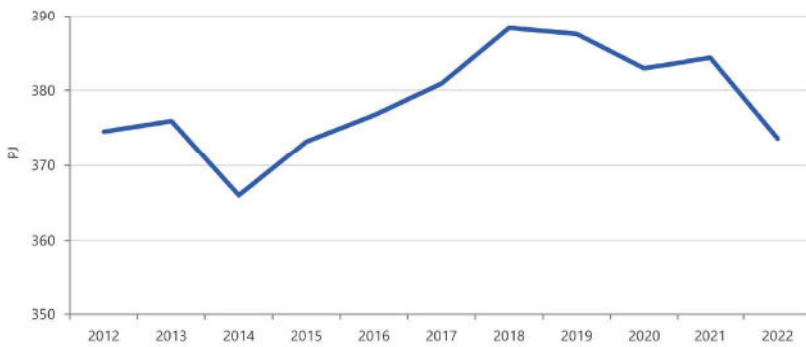
Net zoals bij wegen en transportinfrastructuur, kan een gebrek aan transportcapaciteit in elektriciteitsnetwerken leiden tot congestie. Wanneer de vraag naar elektriciteit de capaciteit van de transmissielijnen of andere delen van het netwerk overschrijdt, kan dit congestie veroorzaken, wat gevolgen kan hebben voor de betrouwbaarheid van de stroomvoorziening. Pieken in het stroomnet zijn dus altijd locatiegebonden. Pieken komen voor in een fysieke kabel die tussen A en B ligt. Energieprijzen zijn een indicatie voor de balans tussen energievraag en -aanbod en worden landelijk bepaald. Deze hebben dus geen fysieke locatie.

Zo, nu hebben we dit ook mooi uit elkaar getrokken. Dan dienen we alleen nog elektrificatie en gelijktijdigheid te beschrijven, voor we door kunnen met slim laden.

Elektrificatie

We zijn aan het elektrificeren: gasketels worden warmtepompen, benzineauto's worden elektrisch, en al die stroom moet door ons 'campingnetje'. Toch gebeurt er ook iets gekks: sinds 2017 is ons elektrisch energieverbruik namelijk aan het zakken, aldus het CBS. Datzelfde CBS geeft aan dat het verbruik gecorrigeerd is voor zelfconsumptie van zonneenergie. Oorzaken? We maken flinke slagen met energie-efficiënte en helaas is er wat industrie uit Nederland vertrokken. Maar toch, er is niet meer elektriciteitsverbruik, en toch hebben we volle netten. (en nee, de netbeheerder haalt niet stiekem stukjes stroomnet weg).

Maar hoe komt dit dan wel? Samengevat: toen we begonnen met elektriciteit, plaatsten we centrales centraal op plekken waar energie gebruikt werd of makkelijk weg getransporteerd kon worden. Ook werkte de energiemarkt primair vraaggestuurd: u vraagt stroom, wij gooien kolen op het vuur. De energietransitie, en de beleidskeuzes die er gemaakt worden voor de plek van opwek, zorgen ervoor dat opwekkers worden verplaatst naar plekken waar niemand woont, en onvoldoende transportcapaciteit beschikbaar is om de stroom weg te voeren. Tel daarbovenop dat de markt steeds meer aanbodgestuurd is: het waait, maak het maar op. Dit zorgt voor grote volatiliteit in energieprijzen, die gebruikt wordt om vraag en aanbod bij elkaar te brengen, en zorgt voor verhoogde druk op het net. De energietransitie is ook



Figuur 1: Totaal totaal elektriciteitsverbruik (Y-as begint niet op 0), CBS.

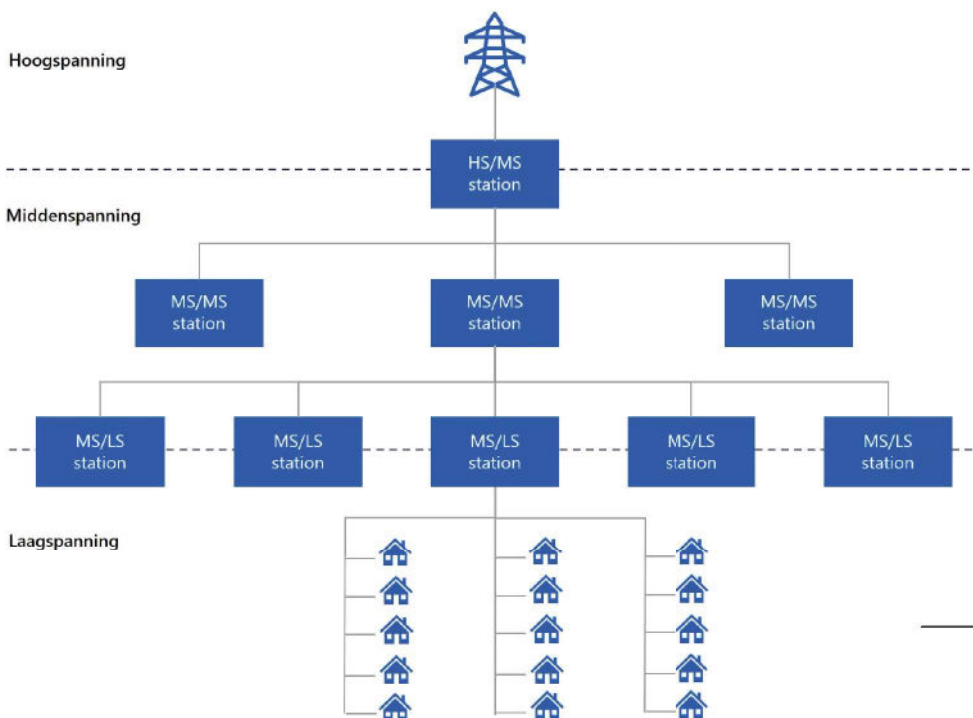
helemaal geen energieprobleem, maar een vermogensprobleem, vermogen fysiek op een plek en in de tijd.

Gelijktijdigheid

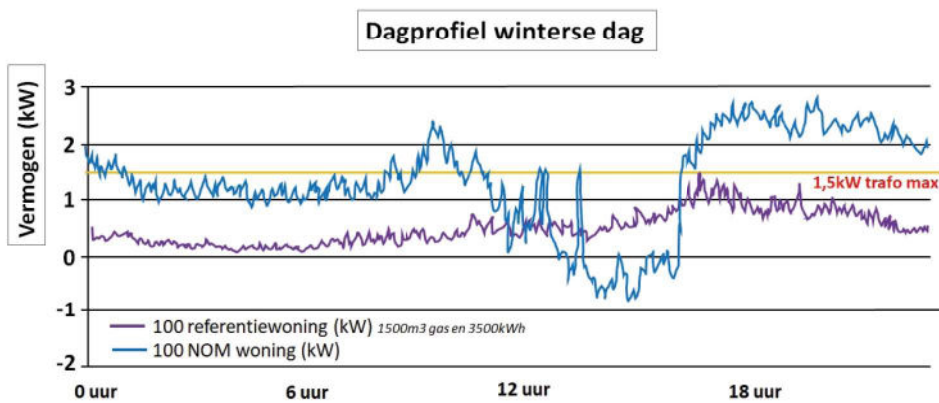
De opbouw van het net is van origine topdown. We beginnen bovenin bij het hoogspanningsnet, eigendom van TenneT, de TSO (transmission system operator) van Nederland, daar staan de meeste energiecentrales. Vervolgens gaan we via middenspanning via de regionale netbeheerders (DNO, distribution network operators) naar het laagspanningsnet en uiteindelijk in de gebouwen. Deze netten zijn niet allemaal uitgelegd op het contractuele vermogen of aansluitvermogen van elke individuele gebruiker. De netbeheerder gaat er van uit dat als u thuis de wasmachine aanzet, u niet eerst de buren belt om af te spreken om dat gezamenlijk te doen.

Om naar het punt slim laden toe te werken wil ik graag wat toelichting geven over netten in een woonwijk. Historisch zijn woonwijken uitgelegd op een vermogen van 1,5 kW per woning. Dat betekent dat 100 woningen samen op een trafo zitten van 150 kW, en de infra naar de woningen toe ook niet voldoende is voor het volle vermogen van de aansluiting, of je nou 1x25A (5,7kW), dan wel 3x25 (17,2kW) hebt. Dit was nooit zo'n probleem, want wat deden we nou in de woning, een uurtje of 2 wassen, dat was het wel. Door toenemende elektrificatie blijkt dit uitgangspunt, wat zijn oorsprong vindt in efficiënt omgaan met geld en middelen, onvoldoende te zijn.

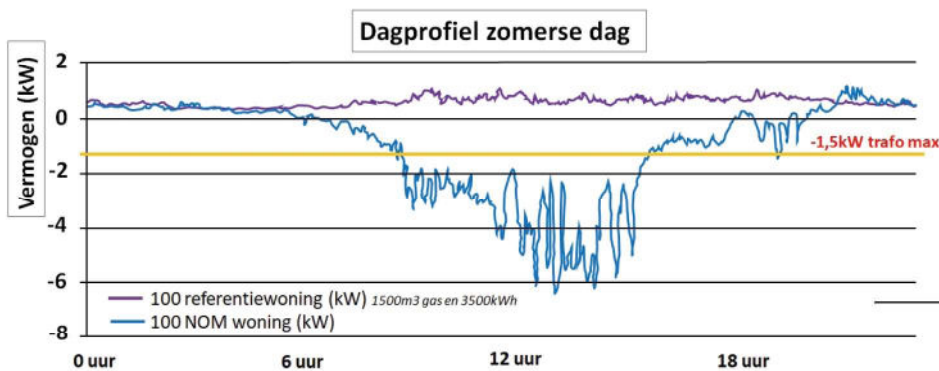
In de figuur op pagina 16 zien we de referentiewoning (de paarse lijn) die gewoon nog gas gebruikt. Deze blijft netjes onder de 1,5 kW. Zodra de woning geëlektrificeerd wordt naar Nul Op Meter (NOM) - of zoals ik zelf graag zeg: Netbeheerder Overspannen Maken - zien we dat de infra onvoldoende is. In de winter valt het probleem 'enigszins' mee, de infra in de straat en de trafo hoeven slechts verdubbeld te worden.



Figuur 2: Versimpeld schematisch overzicht van elektriciteitsinfrastructuur, RaboResearch 2023.



Figuur 3: Data van 100 woningen op een winterse dag, gemiddeld per woning, data van Liander, NOM is zonder elektrische auto.



Figuur 4: Data van 100 woningen op een zomerse dag.

In de zomer ontstaan er, dankzij het NOM-gedachtengoed waarin een woning per jaar net zoveel opwekt als verbruikt, grote problemen op het net. Waar de gelijktijdigheid van een wasmachine redelijk laag is, heeft wel iedereen in de woonwijk tegelijk zonn; kijk maar eens goed uit het raam van je buurman als de zon schijnt.

Slim laden

De mogelijkheid om mee te doen met energiemarkt balanceringsdiensten, het gevoel van onafhankelijkheid door zoveel mogelijk te laden op eigen zonnestroom en beperkingen van de infrastructuur in de wijk, zowel voor levering als teruglevering, zorgen ervoor dat het steeds populairder wordt om een slimme laadpaal aan te schaffen en te installeren.

Veel voorkomende functies zijn:

Loadbalancing

De meeste laadpalen zijn voorzien van loadbalancing. Dit wil zeggen dat de laadpaal met de (slimme)meter van de huisaansluiting communiceert. De meeste auto's laden met een maximaal vermogen van 11 kW, dat is 16A over 3 fasen. Deze laadpalen zitten doorgaans op een 3x25A aansluiting. Zodra op 1 van de 3 fasen meer dan 9A wordt gevraagd (het restant van 25 van de woning minus 16 van de lader), zal de lader zijn laadvermogen beperken om te voorkomen dat de hoofdaansluiting overbelast.

Laden op de zon

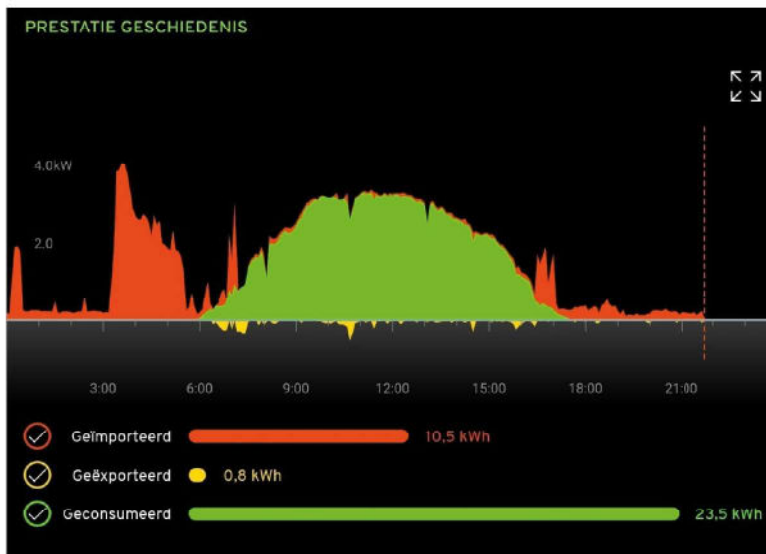
Wat is er nou mooier dan elke kWh die van het dak komt direct in de auto te stoppen? Er komen steeds meer laadpalen op de markt die de (slimme)meter in de gaten houden en zodra er energie wordt teruggeleverd de laadpaal aanzetten. Hierdoor optimaliseer je de zelfconsumptie van je zon-opwek en belast je het net minimaal. Deze laadpalen hebben uiteraard ook load balancing, dit werkt prima samen.

Laden op dynamische tarieven

De hoeveelheid consumenten met een energiecontract dat elk uur van prijs wisselt, een dynamisch contract, groeit gestaag. Het optimaliseren van het laden op deze prijs kan flink wat geld schelen. Doorgaans laden voertuigen in de goedkope uren met maximaal vermogen en zijn deze laadpalen voorzien van loadbalancing. Je voertuig zal altijd laden maar zal de goedkoopste momenten van de dag opzoeken.

Laden op de onbalansmarkten

Energieleveranciers als Tibber geven je de mogelijkheid om je auto te laden op de onbalansmarkt. Binnen deze markt wacht je laadpaal én auto op een extern signaal om vermogen van het net af te halen, omdat er onbalans optreedt. Dit noemen we ook wel SMC, Supplier Managed Charging. Een externe partij bepaalt wanneer het voertuig wordt geladen.



Figuur 5: Zonne-energie opwekking direct in auto geladen, bron: www.duurzamekwaliteitshop.nl.

Alle hiervoor beschreven vormen van slim laden vallen in de categorie UMC, User Managed Charging. De lader zal altijd het maximaal beschikbare vermogen (dus inclusief loadbalancing) gebruiken voor het laden van het voertuig. Omdat je voor een volle auto afhankelijk bent van de onbalansmarkt is het mogelijk bij de lader een vertrektijd in te stellen. Vervolgens zorgt de supplier er voor dat de auto voor die tijd geladen is tot de gewenste State of Charge (SoC), waar wel zoveel mogelijk van de onbalansverdiens ten mee worden gepakt.

Power Quality en EV's

Maar dan nu de vraag: is dit slimme laden allemaal wel zo slim? Wat is het punt van al deze toelichting? Het antwoord is eigenlijk vrij simpel: power quality. Slim laden, oftewel het intelligente beheer van het laadproces van EV's, kan een significante invloed hebben op de kwaliteit van de elektriciteit. Dit komt door de variabiliteit in laadvermogen en de timing van het laden. Slechte power quality kan problemen veroorzaken, zoals spanningsdips, harmonische vervorming, onbalans in de netbelasting en verkorte levensduur van componenten in het net.

Spanningsdips en -pieken:

Wanneer meerdere EV's tegelijk opladen, kan dit leiden tot spanningsdips in het elektriciteitsnet, vooral in gebieden met beperkte netcapaciteit. Dit fenomeen ontstaat vooral als te veel mensen laden op dynamische prijzen en onbalans. Immers, iedereen krijgt gelijktijdig dezelfde prikkel. Slim laden kan deze impact verminderen door het laadproces te spreiden over periodes van lagere vraag, waardoor spanningsdips worden geminimaliseerd. Echter heeft dat zo weer zijn eigen problemen.

Harmonische Vervorming:

Elektrische voertuigen gebruiken schakelende voedingen die harmonische vervorming kunnen introduceren. Slim laden kan de totale harmonische vervorming beperken door de laadstroom te reguleren en te optimaliseren. Hierover later meer.

Onbalans:

Een voertuig heeft tenminste 6 ampère (per fase) nodig om te laden. Als er geladen wordt op de zon schakelt een lader 1 van de 3 fasen in als de opwek boven de 1,4 kW (230x6) uitkomt. Ook als de zonnepanelen omvormer 3 driefase-achtige is. Als EV's asymmetrisch laden (bijvoorbeeld wanneer slechts één fase van een drie fase-achtige systeem wordt gebruikt), kan dit onbalans in het net veroorzaken. Slim laden kan helpen door de belasting gelijkmatig over de fasen te verdelen.

Nog even over dat stukje harmonische vervorming: vermogenselektronica en omvormers, zowel AC/DC als DC/AC, hebben bepaalde karakteristieken en eigenschappen. Het overgrote deel van dergelijke elektronica is gebaat bij een constante belasting voor optimale efficiëntie en minimale negatieve impact op power quality. De eisen ten aanzien van power quality,



Figuur 6: Voertuig laden op onbalans prijssignalen, bron: Jeroen van Diesen

met name de power factor, is vastgelegd in normen.

De IEC 61000 reeks is hierin leidend. Maar dan wordt het interessant: de IEC 61851 reeks gaat specifiek over elektrische auto's. Deze eist ten aanzien van de power factor alleen iets voor de grond harmonische, de 50 Hz:

EV chargers and EVSEs should operate with a power factor (at fundamental frequency) of 0.985 or higher (leading or lagging)

De fundamentele frequentie verwijst naar de basisfrequentie van de wisselstroom (AC) in een elektriciteitsnetwerk, 50 Hz in Europa en 60 Hz in Noord-Amerika. Dit is de frequentie waarop de netspanning normaal gesproken oscilleert (oftewel heen en weer beweegt). De fundamentele frequentie is essentieel voor de correcte werking van elektrische apparaten en de stabiliteit van het elektriciteitsnet. Afwijkingen van deze fundamentele frequentie, zoals harmonischen (veelvouden van de fundamentele frequentie), verslechteren de power quality en kunnen apparatuur beschadigen.

Hier gaat het dus gelijk mis. Elektrische auto's hoeven zich buiten hun fundamentele frequentie 'niet te gedragen'.

Tijdens mijn eigen studie bij prof. Sjef Cobben - toch wel de Power Quality-koning van Nederland, misschien wel van Europa - heb ik al mogen ervaren wat voor rotzooi er uit omvormers kan komen. Ik heb mijn voorliefde voor DC om die reden ook aan hem te danken, maar daarover later meer. In december 2023 verscheen er vanuit de Technical University of Denmark een aantal onderzoeken naar de impact van slim laden, in de context van knijpen van vermogen, op de power quality van het laadproces en dus de levensduur van de lader, de infrastructuur en de componenten in de infrastructuur.

De abstract van het belangrijkste onderzoek (tot nu toe) is als volgt:

"Elektrische voertuigen (EV's) staan centraal in de koppeling van de energie- en transportsector. Slim laden is echter nodig om de integriteit van het elektriciteitsnet niet in gevaar te brengen. In dit werk stellen, testen en valideren we een methode voor het onderzoeken van EV-onboard-laders via de

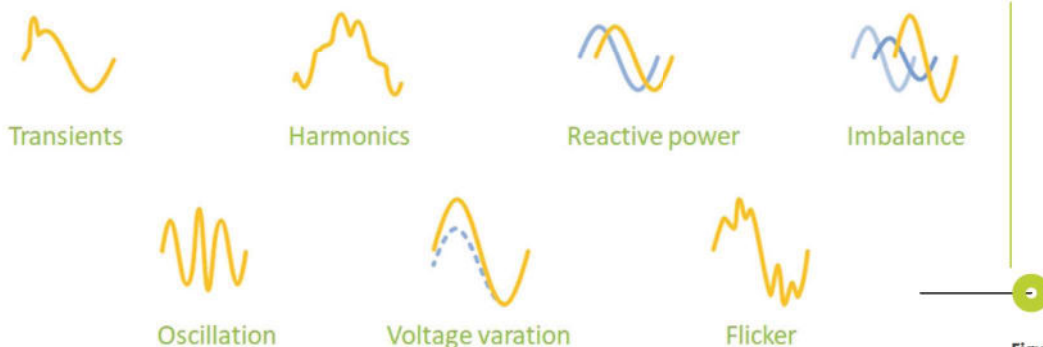
OBDII-poort. We presenteren de laadefficiëntie en reactieve vermogenskarakteristieken van 38 verschillende EV-modellen van de afgelopen 11 jaar. Uit gegevens blijkt dat slim opladen door middel van stroommodulatie - als gevolg van extra verliezen - de mondiale vraag naar laadenergie kan verhogen van 1% tot 10%. Bovendien verbruiken elektrische voertuigen relatief veel reactief (of: blind) vermogen bij lagere stromen, en sommige modellen schenden de arbeidsfactorlimieten voor het laagspanningsnet. Onze projecties laten een efficiëntie zien van 88%-95% in 2030 en een verzadiging tussen 90%-96% in 2035. Daarom helpen de nieuw gepresenteerde AC-naar-DC-conversie-efficiëntiewaarden om betere resultaten te bereiken bij het berekenen van de levenscyclusanalyse, netintegratie en energiesimulatie, waarbij rekening wordt gehouden met elektrische voertuigen. Ingeperkt slim opladen kan de laadbehoeften verder integreren door fasebalanceren en afstemming met lokale opwekking achter de meter te implementeren. Ten slotte dringen onze resultaten er bij toezichthouders en autofabrikanten op aan om de laadtechnologie en wetgeving verder te verbeteren op basis van andere technologische ervaringen, b.v. omvormers voor zonne-energie."

Enkele hoogtepunten uit het onderzoek:

- Laders zijn efficiënt op vol vermogen en worden steeds efficiënter
- Zodra vermogen wordt geknepen, gaat de efficiëntie onderuit
- Zodra vermogen wordt geknepen, gaat de power factor achteruit
- Er wordt bij een laadplein tot 23% THD gemeten.

Total Harmonic Distortion (THD) heeft een aanzienlijke impact op de levensduur van nettechnologie zoals transformatoren en kabels. Denk aan verhoogde verlies en opwarming:

- **Transformatoren:** Harmonische stromen veroorzaken extra verliezen in de vorm van hysteres- en wervelstroomverliezen. Dit leidt tot overmatige opwarming, wat de isolatie kan beschadigen en de levensduur van de transformator kan verkorten.
- **Kabels:** Harmonische stromen verhogen de effectieve RMS-stroom, wat leidt tot extra ohmse verliezen (I^2R -verliezen). Dit kan kabels oververhitten en de isolatie beschadigen, waardoor de



Figuur 7: De zekerheden van power quality.

levensduur wordt verkort.

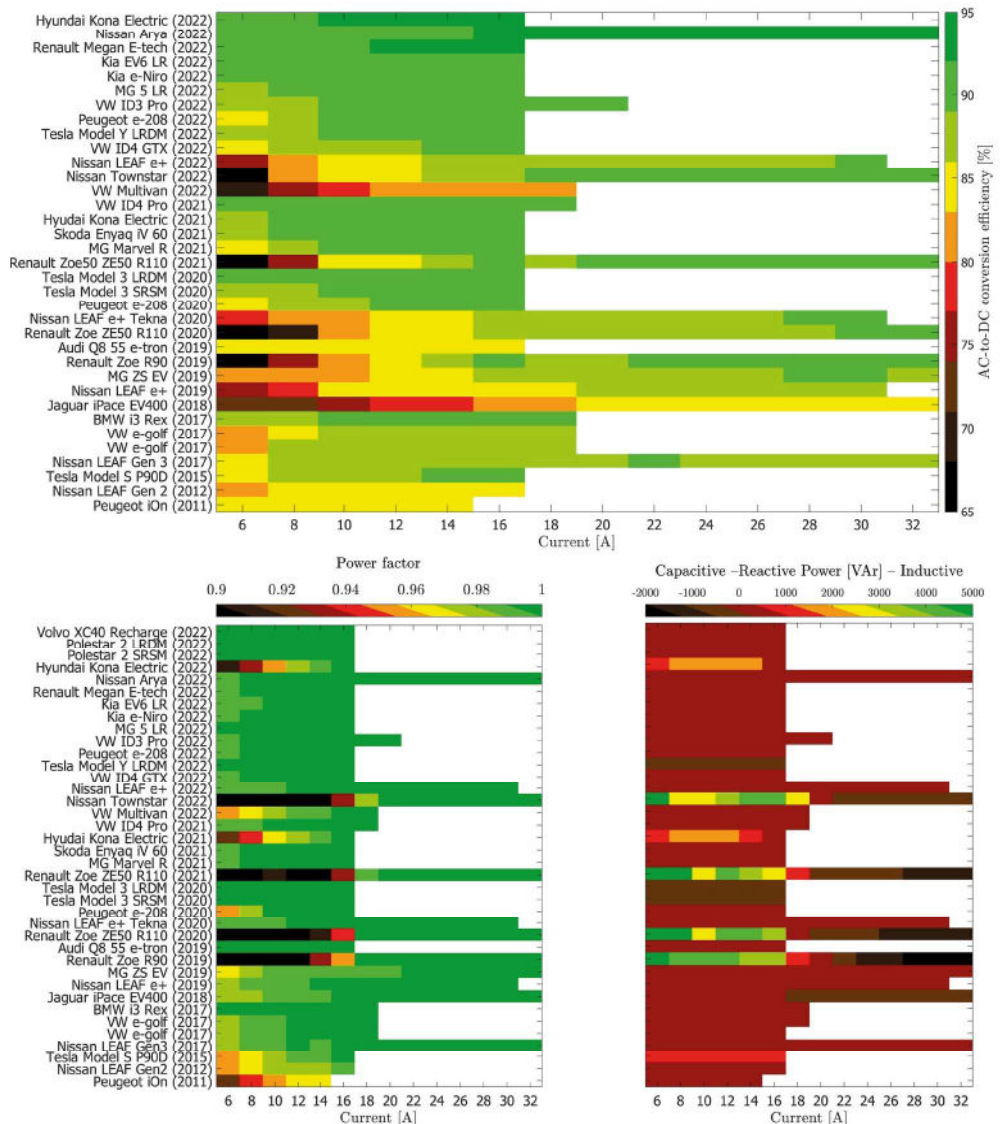
Isolatiegradatie:

Harmonischen dragen bij aan een hogere spanningsstress op de isolatiematerialen van transformatoren en kabels. Dit versnelt de degradatie van de isolatie, wat leidt tot kortsluiting en falen van het apparaat. Door de aanwezigheid van harmonischen moeten transformatoren en kabels vaak overgedimensioneerd worden om de extra verliezen en opwarming op te vangen. Dit leidt tot hogere investerings- en operationele kosten, ook is ruimte nogal gedoe in ons kleine kikkerlandje. Verder veroorzaken harmonischen mechanische trillingen in transformatoren, wat leidt tot verhoogde geluidsemissies en mechanische stress op de structurele componenten. Dit kan de levensduur van de transformator verkorten door vermoeidheid van materialen.

Zowel transformatoren als kabels worden minder efficiënt in de aanwezigheid van hoge THD, wat leidt tot hogere operationele kosten en energieverliezen. En last but not least kunnen harmonischen interferentie veroorzaken met andere apparatuur en communicatie-infrastructuren, wat leidt tot verminderde prestaties en potentiële storingen. Kortom, een te hoge THD sloopt onze infrastructuur.

Wat is je punt?

De energietransitie, wat eigenlijk een vermogensverdeelprobleem is, vraagt het uiterste van onze infrastructuur. En op deze infrastructuur moeten we zuinig zijn. We moeten rekening blijven houden met de wet van behoud van ellende: als we voor onszelf ergens een probleem oplossen, kan er een ander probleem om de hoek komen. De toenemende groei van vermogenselektronica in ons net, met een vermogen wat afhankelijk is van de toepassing, dwingt ons om te werken aan veilige en goed doordachte oplossingen.



Figuur 8: Efficiëntie en PQ van diverse voertuigen: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213138823005052>

De oplossing? De on board-lader in de elektrische auto krijgen we niet meer onder controle. Het wordt tijd om daarvan afscheid te nemen en ons te richten op het maken van goede laders buiten de auto, op DC. Wellicht gevoed door DC, daar waar we ruimte hebben om power quality onder controle te houden. Power Quality is de sluipmoordenaar van de energietransitie. Het wordt tijd om dit serieus te nemen. Nu Vehicle2Grid - daar waar we de auto gebruiken om stroom terug te leveren aan het net - ook nog eens om de hoek staat te wachten, is het een mooi moment om afscheid te nemen van de on boardlader. V2G op wisselspanning werkt alleen in PowerPoint. En gelukkig maar, want als met een gevarieerd vermogen laden al killing is voor ons net, wat voor impact zal ontladen dan wel niet hebben?