



Netstructuren

Inleiding

Binnen dit artikel wordt de opbouw van elektrische netten besproken. Elektriciteit is een relatief jonge tak van de wetenschap. De huidige staat van het elektriciteitsnet is dan ook een gevolg van de technische innovaties door de jaren heen. Daarom wordt binnen dit artikel gestart met een historisch overzicht van de ontwikkelingen en vervolgens de opbouw van het elektriciteitsnet.

De wet van Joule stelt dat het verlies in een weerstand recht evenredig is met het kwadraat van de stroom door deze weerstand. Als men voor een zelfde gevraagd vermogen de spanning kan optrekken, dan zal er een lagere stroom en bijgevolg een lager verlies in de lijn ontstaan. Omwille van veiligheidsredenen zal men echter, op enkele uitzonderingen na, weinig toestellen voeden op dergelijk hoge spanning. Hierdoor ontstaan twee netten, het zogenaamde hoogspanningsnet en het laagspanningsnet. Het hoogspanningsnet staat in voor het transport van elektriciteit en wordt dan ook toepasselijk het "transportnet" genoemd. Het laagspanningsnet zorgt voor de verdeling van de elektriciteit naar de eindverbruikers en wordt dan ook "distributienet" genoemd.

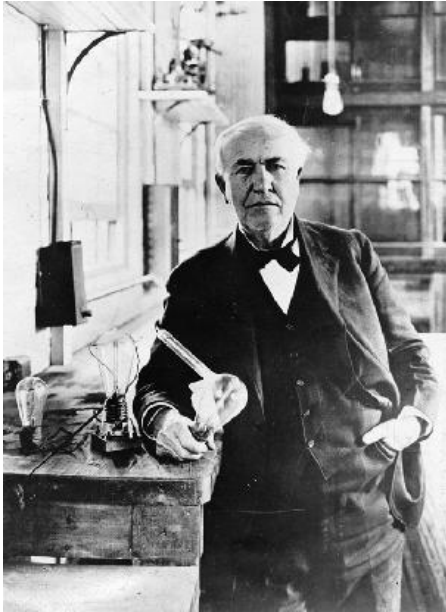
Binnen dit artikel zal dan ook een duidelijk onderscheid gemaakt worden tussen hoogspanning en laagspanning. Het net is opgebouwd vanuit een eenrichtingsconcept, namelijk van grote centrale productie-eenheden naar verdeelde gebruikers. Echter, recente ontwikkelingen zorgen ervoor dat nu ook decentraal geproduceerd wordt door bijvoorbeeld zonnepanelen of wkk-systemen. Dit vormt een uitdaging voor het net en de uitdagingen voor het net worden binnen dit artikel dan ook verder toegelicht.

Historische opbouw

Zoals reeds aangehaald, is elektriciteit een relatief jonge tak van de wetenschap. De eerste experimenten met elektriciteit werden pas uitgevoerd rond 1800 door Volta. Het is echter een Belg, Theodor Gramme, die de eerste commerciële dynamo ontwikkelde in 1870. Elektriciteit werd tot dan toe verdeeld via gelijkspanning en enkel gebruikt binnen de eigen fabrieksmuren. Het geleverd vermogen moet steeds gelijk zijn aan het gevraagd vermogen. Om hieraan tegemoet te komen stonden grote batterijeenheden in voor de buffering van energie. Om echter de batterijhoeveelheid te beperken werd uiteindelijk besloten om verschillende sites met elkaar te koppelen.

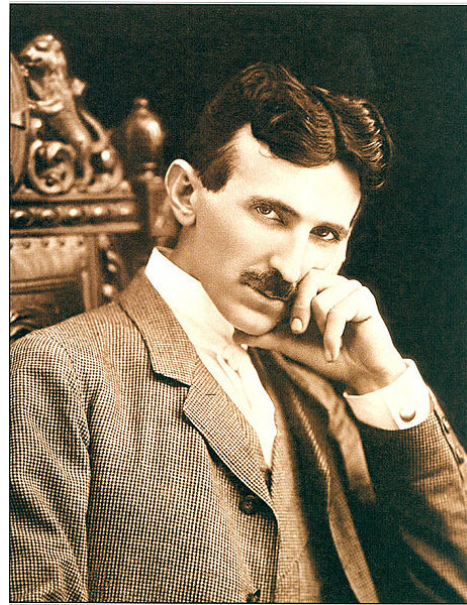
De eerste openbare verdeling van elektriciteit werd pas uitgevoerd in 1879. Dit gebeurde op oudejaarsavond 1879 in New York door een zekere Thomas Edison als commerciële stunt om zijn recentelijk ontwikkelde gloeilamp te promoten. Al snel werden de klassieke kaarsen en olielampen vervangen door elektrische verlichting. Dit heeft dan ook geleid tot het begrip "lichtnet".

Gelijkspanning (DC) heeft echter twee grote nadelen, het leent zich niet tot het eenvoudig regelen van de spanning en onderbreken van grote DC stromen is heel moeilijk. Nikola Tesla, een in 1884 naar Amerika geëmigreerd Serviër, vormde de pionier op het gebied van wisselspanning (AC). Wisselspanning laat zich zonder veel moeite en verlies transformeren naar andere spanningen met behulp van een transformator.



Figuur 1: Thomas Alva Edison

°11 februari 1847 + 18 oktober 1931



Figuur 2: Nikola Tesla

°10 juli 1856 + 7 januari 1943

Teslas ontwikkelingen leidden in 1891 tot een eerste echte lange-afstandslijn tussen Lauffen en Frankfurt am Main, een 175km lange driefasige lijn op 25kV. De eerste echte commerciële AC hydrocentrale werd opgericht in 1896 aan de Niagara Falls en leverde elektriciteit aan New York. Hierbij werd de AC-spanning opgetrokken van 500V naar 3000V om nadien terug te brengen op een werkbare 100V.

Uiteindelijk heeft het bovenstaande pilootproject geleid tot een finale beslissing in de “War of Currents” en de algemene doorbraak van wisselspanning voor de distributie van elektriciteit. Alhoewel wisselspanning een gemakkelijke transformatie van spanningsniveau toelaat, heeft wisselspanning eveneens één groot nadeel. Reactief vermogen is een vervelend bijproduct van wisselspanning.

Het spanningsniveau voor het transport van elektriciteit werd stelselmatig opgetrokken van 11kV naar 30kV net voor de Tweede Wereldoorlog. Nadien werd een spanningsniveau van 70kV ingevoerd om dan over te schakelen op 150kV. Momenteel ligt de piekwaarde van de spanning op transportniveau op 400kV. Omwille van het corona-effect, waarbij de lucht rond de geleiders geïoniseerd wordt, behaalt men momenteel geen hogere spanningswaarden op commercieel niveau. Het corona-effect zorgt immers voor ozonproductie en bijgevolg een degradatie van het isolatiemateriaal van de transformatoren.

Om te besluiten is volgens de National Academy of Engineering (NAE), en auteur/astronaut Neil Armstrong, de innovatie in het vakgebied van elektriciteit en specifiek de uitbouw van het elektriciteitsnet over de aardbol de grootste verwezenlijking van de mens in de twintigste eeuw.

Hoog- en Middenspanningsnet

In wat volgt wordt meer specifiek ingegaan op hoog- en middenspanningsnetten. Omdat binnen de industriële wereld vaak aan verschillende spanningsniveaus verschillende namen werden gegeven, werd beslist om op eenduidige basis de nomenclatuur voor de spanningsniveaus vast te leggen in het AREI. Hoogspanning van de eerste categorie wordt binnen vaktermen ook aangeduid als middenspanning.

Tabel 1: Spanningsniveaus volgens AREI

		Wisselspanning (V)	Gelijkspanning (V)	
			Zonder rimpel	Met rimpel
Zeer lage spanning		$U \leq 50$	$U \leq 75$	$U \leq 120$
Laagspanning	1 ^e categorie	$50 < U \leq 500$	$75 < U \leq 750$	$120 < U \leq 750$
	2 ^e categorie	$500 < U \leq 1000$	$750 < U \leq 1500$	$750 < U \leq 1500$
Hoogspanning	1 ^e categorie	$1000 < U \leq 50000$	$U > 1500$	$U > 1500$
	2 ^e categorie	$U > 50000$		

Om netten verder te analyseren is de belangrijkste parameter de R/X verhouding. Dit is de verhouding van de weerstand tot de reactantie, die aangeeft in welke mate het net resistief ($R/X > 1$) of reactief ($R/X < 1$) is. Voor netten die uitgebraat worden op een hoge spanning is voornamelijk de inductiviteit van belang. Deze netten bezitten dan ook een lage R/X verhouding. Omgekeerd geldt voor laagspanningsnetten dat de weerstand van de kabel een belangrijke parameter vormt. Bijgevolg bezitten deze een hoge R/X verhouding. In wat volgt wordt het hoogspanningsnet volledig ontkoppeld van het laagspanningsnet omwille van deze uiteenlopende R/X verhoudingen.

Primaire en secundaire regelreserve

Voor elektriciteit geldt dat er steeds moet geleverd worden wat ogenblikkelijk gevraagd wordt. Indien niet voldaan wordt aan dit evenwicht ontstaan ongewenste effecten.

Op hoogspanning kan het volledige net voorgesteld worden door een synchrone machine gekoppeld aan een last in eilandbedrijf. Indien er meer vermogen gevraagd wordt dan er kan geleverd worden dan zal de machine in toeren zakken. Dit zal leiden tot een frequentiedaling van de spanning. Omgekeerd, wordt de synchrone machine minder belast, dan zal de frequentie stijgen. Een stabiele frequentie duidt dus op een goed evenwicht tussen vraag en aanbod van actief vermogen. Daarom wordt onze netfrequentie nauwgezet opgevolgd. De ogenblikkelijke netfrequentie kan u terugvinden op <https://www.entsoe.eu/system-operations/the-frequency/>.

Een groot deel van het Europese elektrische net vormt één net dat volledig gesynchroniseerd is. Dit net wordt geregeld en bestuurd vanuit “The European Network of Transmission System Operators for Electricity” of kortweg ENTSOE. Merk hierbij op dat dit Europees netwerk eveneens verbonden is met andere netten, zoals met Groot-Brittannië en Scandinavië. Deze koppeling gebeurt echter op een asynchrone manier.

Dit net bestaat natuurlijk niet uit één grote synchrone machine, maar uit verschillende eenheden die elk hun vermogen injecteren. Als de belasting toeneemt dan ligt het optimum natuurlijk zo dat iedere machine zijn procentueel deel van de belastingsstijging opneemt. Daarom wordt er een extra regelaar

opgenomen zodat we kunnen spreken van de statische regeling van de verschillende generatoren in het net. Dit noemt men primaire regeling. Bij de primaire regeling wordt er dus voor gezorgd dat het gevraagd vermogen gelijk is aan het geleverd vermogen. Tengevolge van een belastingsstijging zal de frequentie dus dalen en de extra vermogenvraag verdeeld worden over de verschillende productie-eenheden.

Het is echter de bedoeling om een blijvend stabiel net te hebben, dus indien de primaire reserve werd aangesproken, dan moet er extra energie voorzien worden zodat de frequentie opnieuw 50Hz bedraagt. De secundaire regeling zorgt hierbij voor dit extra vermogen zodat er weer vermogen vrijkomt voor de primaire regeling. Bij een volgende belastingsvariatie kan de primaire regelreserve dan opnieuw aangesproken worden. De primaire regeling is een uiterst snelle regelaar, de secundaire regelaar reageert op minuten basis. Verder kan men dan ook nog de tertiaire regelaar en de tijdsregeling onderscheiden. De snelheid waarmee de frequentie zakt is niet alleen functie van de generator maar ook van de belasting. Als de generator veel motoren aandrijft, dan bezitten deze motoren een zekere inertie. Deze mechanische inertie of ook wel draaiende inertie genoemd, zorgt dus ook voor meer stabiliteit in het net.

Uitdagingen voor het hoogspanningsnet

Nu de regeling en de stabiliteit van een net werd besproken, kunnen de hedendaagse uitdagingen voor het elektrisch energienet aangekaart worden.

Het huidige energienet moet rekening houden met volgende nieuwe aspecten:

1. Het transportnet wordt nu ook gebruikt om effectief vermogen uit te wisselen in het kader van de vrijgemaakte energiemarkt.
2. Het transportnet moet massale hoeveelheden hernieuwbare energie kunnen transporteren zonder dat de stabiliteit van het net in het gedrang komt.

Het net op 400kV is historisch opgebouwd geweest om verschillen in opgenomen vermogen te spreiden over de verschillende productie-installaties. Op deze manier helpt iedere generator via de primaire regelreserve mee om de stabiliteit van het totale net te bewaren. Het huidige net is dus geconcipieerd als koppeling tussen de verschillende generatoren, vandaar de oude benaming “koppelnet”.

Sinds de vrijmaking van de energiemarkt wordt dit net echter eveneens gebruikt voor effectief transport van grote hoeveelheden elektrische energie. Indien de elektriciteit in Duitsland goedkoop is, omwille van veel wind en weinig verbruik, kan deze bij wijze van voorbeeld in Spanje aangekocht worden. Jammer genoeg ligt het economisch model niet steeds in lijn met het elektrisch model. De complexe stroompaden leiden tot extra belastingen van leidingen. Deze lijnen werden initieel niet op dergelijk gebruik berekend.

Een tweede aspect is het feit dat het transportnet massaal veel hernieuwbare energie moet kunnen transporteren zonder dat de stabiliteit van het net in het gedrang komt. Voornamelijk de massale integratie van windenergie vormt hierbij een uitdaging. Indien deze energiebron moet instaan voor een substantieel deel van de energievoorziening, dan moet deze ook meedoen in de primaire regeling van het net.

Complexe weer- en windmodellen zorgen ervoor dat men met relatief grote zekerheid de productie van windenergie op voorhand kan bepalen. Op basis van deze voorspellingen kan men windmolens laten deelnemen in de primaire regelreserve. Daarnaast moet men echter rekening houden dat de generatoren in windturbines vaak via vermogenelektronica met het net gekoppeld zijn. Bijgevolg is de mechanische inertie van de generator niet meer gekoppeld met het net en dit zorgt bijgevolg voor een verlaagde stabiliteit.

Momenteel wordt in verschillende onderzoeksinstellingen veel onderzoek verricht naar enerzijds het correct voorspellen van de opbrengst van windenergie en anderzijds het proberen op elektronische wijze nabootsen van de mechanische inertie.

Spanningsregeling en HVDC

De frequentie over het volledige synchrone net is overal dezelfde. De spanning wordt echter lokaal bepaald, deze is meestal afhankelijk van de reactief-vermogen-vraag binnen het net.

Om de spanning binnen de limieten te houden, kan men de generatoren meer of minder bekrachtigen (synchrone compensator), kan men lokaal aan reactief compensatie doen, of kan men de spanning op de transformator regelen door de windingsverhouding een weinig aan te passen via een Under Load Tap Changer (ULTC).

Zoals reeds vermeld is reactief vermogen een ongewenst bijproduct van wisselspanning. Een eeuw geleden was alles uitgevoerd met mechanische schakelaars maar recente ontwikkelingen in vermogenelektronica laten nu een transformatie van DC-spanning toe met geringe verliezen. Daardoor wordt nu opnieuw DC-spanning gebruikt om vermogen te transporten op hoge spanning, via High Voltage DC. Op deze manier wordt de “War of Current” toch opnieuw actueel.

Deze High Voltage DC wordt op vermogenelektronische wijze opnieuw omgezet naar een AC-spanning. Voorgaande techniek laat toe om verschillende asynchrone netten, eventueel zelfs met een verschillende frequentie, met elkaar te koppelen. Deze asynchrone koppeling wordt bijvoorbeeld reeds toegepast om Noorwegen en Denemarken met elkaar te koppelen, of verre offshore windparken aan land te brengen met behulp van twee aders in plaats van drie.



Figuur 3: driefasige thyristorbrug [ABB]



Figuur 4: HVDC omvormer [ABB]

Laagspanningsnetten

Om de betrouwbaarheid van hoogspanningsnetten te verhogen, plaatst men verbindingen tussen verschillende productie-eenheden. Dit leidt tot een op het eerste zicht wir-war van leidingen. Dergelijke netten worden maasnetten genoemd en hierbij moet men speciale beveiligingen voorzien. Het uitrekenen van dergelijke netten is een niet-voor-de-hand-liggende taak.

Eenmaal men een spanningsniveau lager werkt, tussen de 70 kV en 11kV, dan worden deze netten eenvoudiger van structuur waarbij vaak een ringstructuur wordt toegepast. Vaak gaat men bij dergelijke ringnetten één zijde van de feeder openen zodat uiteindelijk een straalnet wordt bekomen. Bij fouten schakelt men de beveiligingen zodanig dat de stroomvoorziening voor zoveel mogelijk afnemers voorzien blijft. Dit noemt men uitbating in (open) ring.

Eenmaal men het laagspanningsniveau bereikt heeft, courant 230V/400V, dan gebeurt de distributie van elektriciteit op basis van een straalnet. Dit net heeft het voordeel dat de spanningsvallen en de beveiligingen op relatief eenvoudige manier kunnen berekend worden. Dit geldt in de meeste industriële netten en is zeker geldig voor residentiële laagspanningsnetten.

Spanningsvallen in laagspanningsnetten

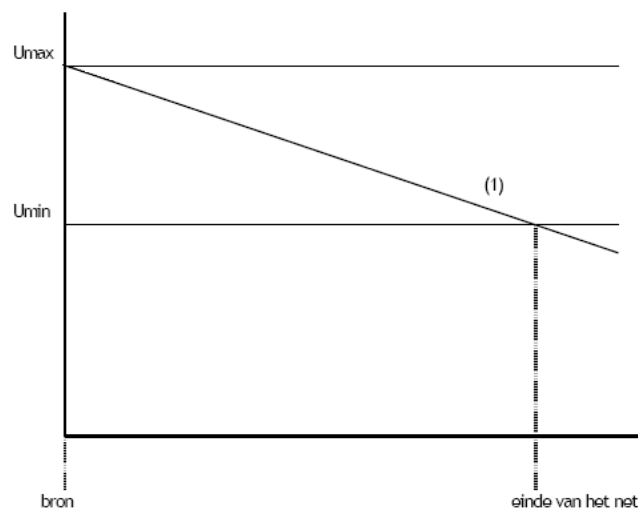
De limieten van de netspanning zijn genormeerd volgens de EN50160. Deze norm stelt dat de spanning aan PCC binnen de $\pm 10\%$ van de nominale spanning moet liggen. Voor een net op 230V geldt dus dat de uiterste spanningslimieten gelegen zijn op 207V en 253V.

Spanningsvallen in residentiële netten

Binnen residentiële netten wordt de spanning vastgelegd aan het PCC. PCC staat voor point of Common Coupling. Dit is het punt waar de verantwoordelijkheid voor de elektrische installatie overgaat van de distributienetbeheerder (DNB) naar de eigenaar van de installatie. De spanning op de feeder moet op elk PCC voldoen aan de EN50160 limieten.

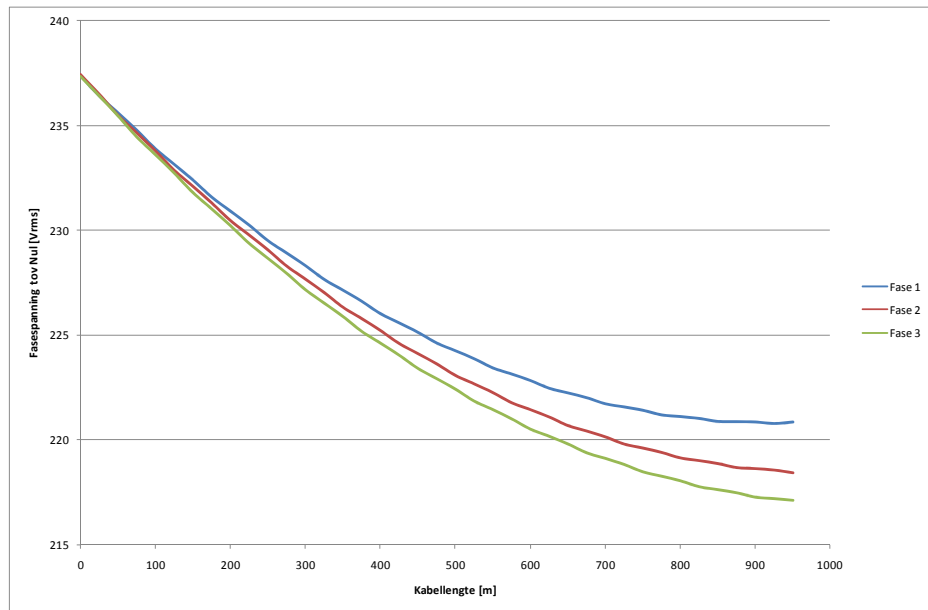
De spanningsval wordt bepaald door de onttrokken stroom en natuurlijk de impedantie tussen de bron en de last. Deze netimpedantie wordt voornamelijk bepaald door de kabel- en transformatorimpedantie en in veel mindere mate door de impedantie van het hoger gelegen transport net.

Spanningsvallen over de netimpedantie zijn inherent aan het net en kunnen bijgevolg niet vermeden worden. Teneinde aan deze spanningsvallen tegemoet te komen, wordt de MS/LS transformator zo geregeld dat er aan het einde van de feeder nog steeds een voldoende spanning aanwezig is op de aankomstklems.



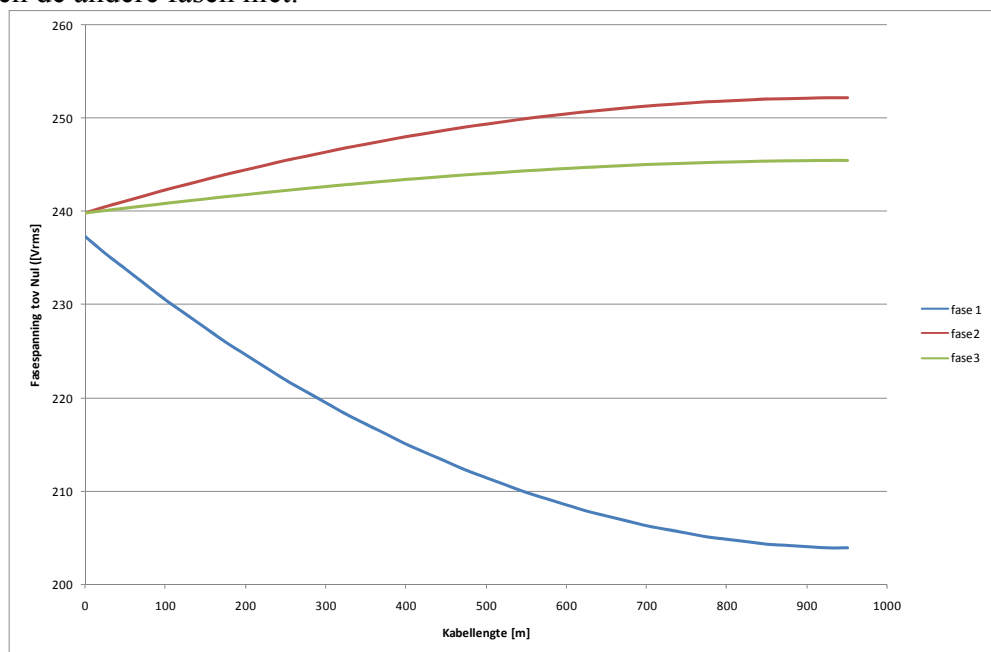
Figuur 5: spanningsplan bij enkel afname (Bron C10-11)

Ten einde een beeld te vormen over het gedrag van de spanning over de feeder moet men nagaan hoe deze feeder belast wordt en hoe deze belastingen verspreid staan over de feeder. Alhoewel de huidige aansluitingen in de tellerkast steeds driefasig worden uitgevoerd, wordt slechts één fase ter beschikking gesteld in een residentiële installatie. In een ideale situatie zijn de eenfasige belastingen mooi symmetrisch verdeeld over de drie fasen.



Figuur 6: simulatie resultaten 3-fasig verdeelde belasting

Bovenstaande is echter een ideale situatie. Het worstcasescenario is echter dit waarbij één fase volledig wordt belast en de andere fasen niet.



Figuur 7: spanningsval ten gevolge van asymmetrische belasting

Hierbij kan opgemerkt worden dat, om op het einde van een feeder nog voldoende spanning te bekommen, de spanning aan de transformator dient opgetrokken te worden. De meeste transformatoren worden dan ook zo ingesteld dat de fasespanning aan de transfo zelf zo'n 245V bedraagt. Op deze manier kan op het einde nog een waarde van 210V bekommen worden.

Daarnaast kan ook vastgesteld worden dat op de niet belaste fasen de spanning stijgt. Deze spanningsstijging is het gevolg van de spanningsval over de nulleiderimpedantie.

Al het voorgaande slaat natuurlijk enkel op de uiteindelijke spanning aan het PCC. Eenmaal de spanning residentieel verdeeld wordt, worden er nergens nog normen voor aangesteld. In het AREI wordt echter wel vermeld dat de spanningslimieten in dergelijke grenzen moeten liggen dat de correcte werking van de toestellen nog moet gegarandeerd blijven.

Omdat binnen het AREI toch vaste secties gebruikt worden per type verbruiker binnen een woning, wordt er nagenoeg nooit aandacht besteed aan de spanningsval binnen de woning zelf.

Spanningsvallen in industriële laagspanningsnetten

Binnen industriële installaties is de DNB'er verantwoordelijk voor de spanningskwaliteit tot aan PCC. Aangezien de meeste bedrijven een eigen transformator hebben stopt de verantwoordelijkheid van de DnB'er aan de klemmen van de transformator. Nadien dient de installatie op correcte wijze gedimensioneerd te worden.

De kabels, en de bijhorende beveiligingen, dienen voldoende gedimensioneerd te worden zodat:

1. De spanningsval niet te groot wordt. Dit duidt dus op een voldoende grote sectie!
2. De kortsluitstromen niet te groot worden. Dit duidt dus op een niet te grote sectie!

Op het eerste zicht wil men altijd de sectie van de leiding zo klein mogelijk houden, om financieel het grootste voordeel te verkrijgen. Een kleinere sectie zorgt voor kleinere kortsluitstromen, waardoor het onderbrekingsvermogen van de bijhorende beveiliging ook lager mag zijn, wat op zich ook weer goedkoper is. Echter, het probleem met spanningsvallen kan niet opgelost worden door een doordachte keuze van beveiligingstoestel te maken. Spanningsvallen kunnen enkel beperkt worden door de sectie te verhogen of de lengte te verkleinen.

Het AREI specificeert niet wat de exacte maximale spanningsval mag zijn die mag optreden. Art.198 van het AREI vermeldt enkel dat de leidingen zo dienen gekozen te worden dat 'de spanningsval onder de normale bedrijfsvoorwaarden verenigbaar is met de bedrijfszekere werking van de gevoede elektrische machines en toestellen'. De goede werking van bepaalde gebruikers hangt namelijk af van de waarde van de spanning aan zijn klemmen. Het beperken van de spanningsval over een leiding mag dus niet verwaarloosd worden. Nu kan de vraag gesteld worden hoe groot de spanningsval maximaal mag zijn opdat een toestel nog zal werken. Op basis van deze waarde moeten de lengte en de sectie van de leiding bepaald worden.

Gezien het AREI geen specifieke waarde oplegt, wordt soms gekeken naar het vroegere Technische Reglement. Het Technisch Reglement specificeerde hierin:

'Met alle verbruikers van een installatie in een vol bedrijf mag het verschil tussen de spanning aan de klemmen van de hoofdschakelaar en de klemmen van een verbruiker niet meer bedragen dan 3% van de eerst vermelde spanning.'

Sommige regelgevingen, zoals de internationale norm IEC60364 en de Franse norm NF C15-100 geven eveneens een praktische richtwaarde op. Volgens de IEC60364 mag de maximale spanningsval 4% van de nominale spanning van de installatie zijn, maar er kan ook gekeken worden naar de NF C15-100 die duidelijke grenzen opgeeft wat betreft de spanningsval.

De spanningsvallen volgens de Franse norm worden weergegeven in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** Hierbij wordt een opsplitsing gemaakt tussen verlichting en overige vermogentoepassingen. Ook wordt een onderscheid gemaakt tussen klanten die verbonden zijn met het publieke net en klanten die over een eigen productie-eenheid beschikken. De norm is namelijk soepeler voor klanten die zorgen voor hun eigen productie.

Tabel 2 Spanningsvallen in installaties volgens NF C 15-100

	Verlichting	Ander gebruik
Type A – Installaties die direct gevoed worden door een aftakking op laagspanning, vertrekkende van een publiek distributienet op laagspanning	3%	5%
Type B – Installaties die gevoed worden door een generator of transformator vertrekkende van een hoogspanningsinstallatie en installaties van het type A waarvan het leveringspunt zich situeert in het algemeen laagspanningsbord van een publiek distributienet	6%	8%
<p>Als de belangrijkste leidingen van de installatie langer zijn dan 100m, mogen de spanningsvallen verhoogd worden met 0,005% per meter leiding na 100m, echter zonder dat dit supplement groter wordt dan 0,5%.</p> <p>De spanningsvallen zijn vastgelegd volgens de opgenomen vermogens van de gebruikers, indien nodig met het toepassen van gelijktijdigheidsfactoren, of bij onvoldoende informatie, volgens courante gebruikswaarden van circuits.</p>		

De formule voor het bepalen van de spanningsval volgens de Franse norm NF C15-100, is de volgende:

$$u = b(\rho_1 \frac{L}{S} \cos\varphi + \lambda L \sin\varphi) I_B$$

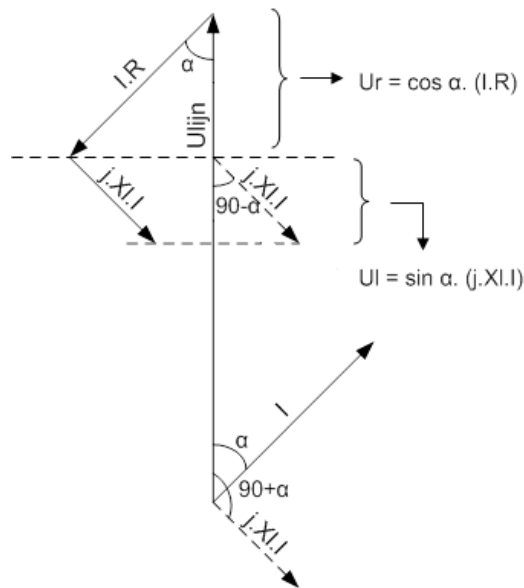
Hierin is:

u	De spanningsval [V]
b	Een coëfficiënt gelijk aan 1 voor driefasige kringen, gelijk aan 2 eenfasige kringen
ρ_1	De resistiviteit van de leidingen bij normaal bedrijf, gelijk gesteld aan de resistiviteit bij de temperatuur voor normaal bedrijf, zijnde 1,25 keer de resistiviteit bij 20°C, zijnde 0,023Ωmm ² /m voor koper en 0,037Ωmm ² /m voor aluminium
L	De lengte van de leidingen [m]
S	De sectie van de leidingen [mm ²]
cosφ	Wordt gelijk gesteld aan 0,8 bij afwezigheid van specifieke informatie (sinφ=0,6)
λ	De lineaire reactantie van de leidingen, gelijke gesteld aan 0,08mΩ/m bij afwezigheid van specifieke informatie
I _B	De gebruikersstroom [A]

De relatieve spanningsval ten opzichte van de nominale fasespanning kan in beide gevallen bepaald worden aan de hand van onderstaande vergelijking:

$$\Delta u = 100 \frac{u}{U_0}$$

Hierin is U₀ de spanning tussen een fase en de nulleider.



Figuur 0.18 Vectordiagram bepalen spanningsval

Spanningsval bij motoren

Gezien het vele gebruik van motoren in industriële installaties, wordt dit geval eveneens aangehaald. Hier moet namelijk een onderscheid worden gemaakt tussen het regimegedrag en het aanzetten van de motor. In beide gevallen zit het probleem hem in het feit dat het elektromagnetisch koppel van de motor kwadratisch afhankelijk is van de optredende spanningsval. Bij het aanzetten van de motor komt hierbij nog het feit dat de startstroom oploopt tot 5 à 6 maal de nominale stroom waardoor een nog hogere spanningsval optreedt.

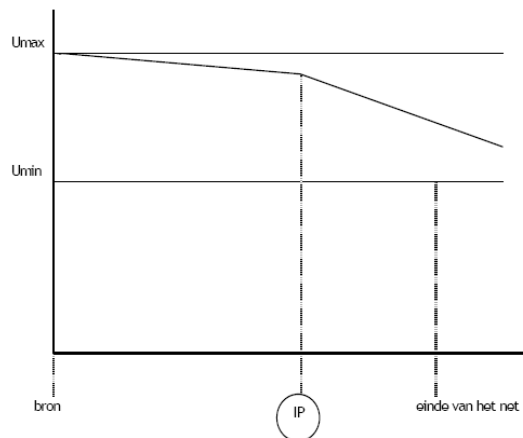
Er wordt aangenomen dat het aanzetkoppel van een motor 1,7 keer het weerstandskoppel van de belasting dient te overtreffen om onder normale omstandigheden te kunnen starten. Als vuistregel wordt aanbevolen de spanningsval bij het aanzetten te beperken tot maximum 10%.

Daarnaast dient te worden opgemerkt dat de grote startstroom tevens een invloed heeft op de andere, eventueel stroomopwaarts, gelegen verbruikers. Aangezien deze stroom een sterk inductief karakter heeft, kan namelijk een lagere overgangsarbeidsfactor worden aangenomen.

Omdat de uitbating van de industriële netten onder de verantwoordelijkheid van de eigenaar zelf valt wordt er hier niet dieper op ingegaan.

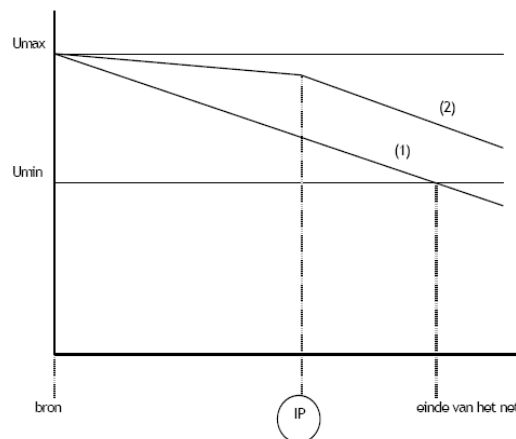
Invloed van hernieuwbare bronnen op de spanning

Wanneer er nu echter op een bepaald punt vermogen geïnjecteerd wordt in het net dan zal het spanningsplan er anders gaan uitzien. De spanningsval is niet meer lineair met de lengte. In functie van de locatie en het vermogen van de injectie zal de spanning in mindere of meerdere mate variëren.



Figuur

8: spanningsplan bij enkelvoudige injectie (bron C10-11)



Figuur 9: samengesteld spanningsplan(bron C10-11)

In een driefasige uitvoering is de spanningsval voor de drie fasen identiek, indien de belasting symmetrisch en evenwichtig is. Indien er echter eenfasige systemen in beschouwing worden genomen dan zal de spanningsval het grootst zijn op de meest belaste fase. Indien worst-case gerekend wordt, dit is de situatie waarbij de belasting enkel op één fase aanwezig is, dan zal de spanning op de belaste fase dalen en zal de spanning op de niet belaste fasen stijgen. Dit wordt sterpuntsverschuiving genoemd.

Als er nu geïnjecteerd wordt dan zal het omgekeerde effect zich voordoen. Op de fase waar er het meest geïnjecteerd wordt, zal de hoogste spanning aanwezig zijn. Indien opnieuw de worst-case situatie beschouwd wordt, nu wordt er op één fase geïnjecteerd, dan zal de spanning op deze fase stijgen. Dit kan als gevolg hebben dat de overspanningsbeveiliging binnen het PV-systeem uitschakelt en er dus productieverlies is.

Om aan bovenstaande problematiek het hoofd te bieden, kunnen verschillende regelprincipes gehanteerd worden:

1. Het geïnjecteerd vermogen beperken door minder te produceren.
2. Het geïnjecteerd vermogen beperken door lokaal energie op te slaan.
3. Reactief vermogen in het net sturen om zo de spanningsval te beperken.
4. De spanning aan de transformator regelen.
5. Het actief vermogen afstemmen op de productie.

Uit berekeningen en simulaties blijkt dat reactief-vermogen-regeling in een laagspanningsnet weinig tot geen invloed heeft en dit omwille van de grote R/X verhouding. De spanning regelen aan de transformator wordt nagenoeg nooit gedaan en dit omwille van de kostprijs van dergelijke transformator en de bijhorende regeling.

Blijkt dat het regelen op actief vermogen de meest ideale oplossing is. De productie reduceren is uit economisch oogpunt een ongewenste optie. Dus kan men het geleverd vermogen gaan regelen door het vermogen tijdelijk te bufferen in batterijen, of kan men het gevraagd vermogen gaan regelen.

Merk op dat het bovenstaande net, waarbij vraag en aanbod automatisch op elkaar worden afgestemd, een slim net of “smart grid” wordt. De toekomst ligt immers in deze netten en daarom wordt aan de verschillende instellingen en universiteiten veel onderzoek verricht naar dergelijke netten. De eerste stappen worden hier reeds genomen door de integratie van “smart meters”.

Aarding binnen laagspanningsnetten

In wat volgt wordt verondersteld een basiskennis van de net-uitbatingssystemen te kennen.

Aarding binnen hoogspanningsnetten

Aarding binnen hoogspanningsnetten wordt voornamelijk uitgevoerd als IT-netten. De netten zelf worden niet geaard. Toch bezitten deze netten een aardingsgeleider. Dit komt omdat omwille van de hoge gebruikte spanning er een beduidende lading ontstaat tussen de fysieke aarding en de kabels. Daar de kabel en de aarde op een verschillende potentiaal staan en deze gescheiden zijn door een isolator, namelijk lucht, vormt er zich een lekpad naar aarde. Dit probleem kan deels opgelost worden door een aardingsgeleider boven de kabels te hangen. Deze aardingsgeleider lost ten dele dit probleem op en biedt tevens bescherming tegen blikseminslagen op de kabels.

Het voorgaande kan uitgelegd worden door middel van conforme afbeeldingen, maar dit zou ons te ver leiden. Voor verdere informatie wordt naar vakliteratuur verwezen. De bovenste geleider vormt dus niet de nulleider zoals vaak verkeerd wordt geïnformeerd.

De reden waarom deze netten in een IT-configuratie worden uitgevoerd, ligt in het feit dat in een dergelijke uitbating bij een eerste fout dit net nog continu voeding kan leveren.

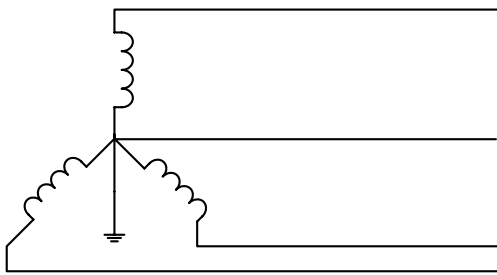
Aarding binnen laagspanningsnetten

Bij de laagspanningsverdeling in een industriële site kan men kiezen uit verschillende aardingsystemen. Het meest courant is een uitbating in een TNC of TNCS netstelsel, alhoewel kritische installaties vaak worden uitgebraat in IT netstelsels. Omwille van de diversiteit en de bijhorende complexiteit wordt hier niet verder op ingegaan.

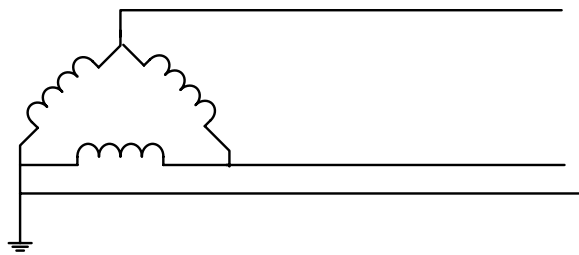
Ook de distributienetten zijn op historische wijze ontstaan. Waar er voordien nog gesproken werd over de zuivere intercommunales en de gemengde intercommunales, wordt het distributienet sinds de vrijmaking van de energiemarkt uitgebraat door de distributienetbeheerders, met name EANDIS en INFRAX. De historische diversiteit heeft ook op technisch gebied zijn implicaties.

De laagspanningsverdeling in residentiële netten gebeurt steeds volgens het TT net. Dit duidt erop dat zowel de belasting als de bron geaard zijn. Recente transformatoren worden normaal uitgevoerd als een Dy0 transformator met spanningsniveaus 230V/400V. Hierbij is aan de secundaire zijde een effectief sterpunt aanwezig. Dit sterpunt kan dan op eenvoudige wijze geaard worden.

Oudere netten, zoals bv. in Wevelgem, hebben een netspanning 130V/230V. Deze transformatoren worden in een Dd0 configuratie aangesloten. Hierbij wordt dan niet het sterpunt geaard, maar een fase. Naar werking bij indirecte fouten wijzigt er niets.



Figuur 10: DY configuratie



Figuur 11: DD configuratie

Naar persoonsbeveiliging vormen beide configuraties geen bedreiging. Indien een fout gebeurt op de geaarde fase bij de DD configuratie dan vormt er zich initieel geen probleem daar er geen spanningsverschil ontstaat. Pas bij een fout op een andere fase zal de gepaste beveiliging, automaat of differentieelschakelaar reageren.

Auteur: Colin Debruyne

Contactgegevens: Lemcko, Graaf Karel de Goedelaan 34, 8500 Kortrijk, Tel: 056.24.12.35,

Fax: 056.24.12.34, www.lemcko.be