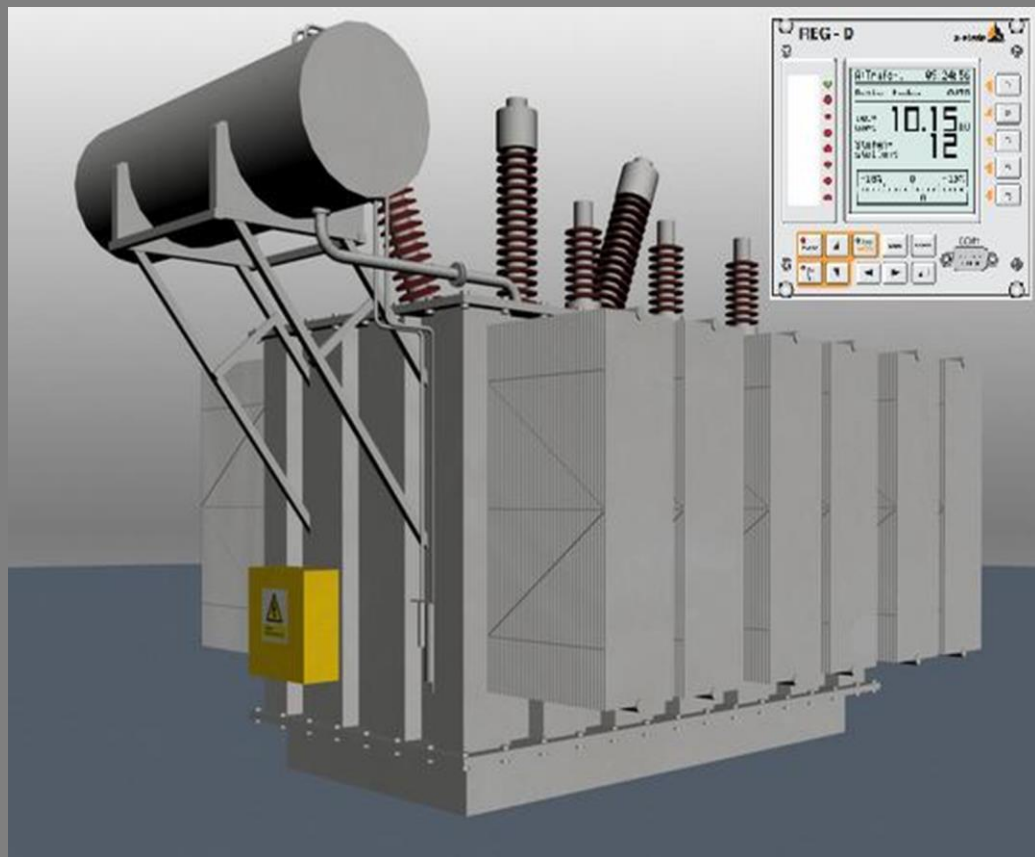


2015

AFSTUDEERSCRIPTIE

Optimaliseren van de spanningsregeling



Stagebedrijf: Stedin B.V.

Bedrijfsbegeleider: ing. Jelle van Velden

Stagecoördinator: Dhr. ir. J.B. Woudstra

Auteur: Kowist Albarzanji

Datum: 04-06-2015

Plaats: Delft

Versie: 1.0

2015

AFSTUDEERSCRIPTIE

Project: Optimaliseren van de spanningsregeling

Auteur: Kowist Albarzanji

Opleiding: Elektrotechniek

Studierichting: Energietechniek

Studie jaar: 4de jaar

Datum: 04-06-2015

Studentnummer: 11107979

Bedrijf: Stedin B.V.

Afdeling: Netcoördinatie HS

Versie: 1.0

HBO instelling De Haagse Hogeschool

Adres: Rotterdamseweg 137

Postcode: 2628 AL

Stad: Delft

Telefoon: 015-2606200

Stagecoördinator: Ir. J.B.Woudstra

Bedrijf: Stedin B.V.

Afdeling: Netcoördinatie HS

Postcode: 2627 AZ

Stad: Delft

Telefoon: 0655892080

Bedrijfsmentor: ing. Jelle van Velden



Voorwoord

De afgelopen 17 weken waarin ik bij Stedin op de afdeling Netcoördinatie HS1 de kans heb gekregen om te werken aan mijn afstudeerscriptie, vormt de afsluiting van mijn vierjarige opleiding Elektrotechniek, afstudeerrichting Energietechniek, aan de Academie voor Technology, Innovation en Society te Delft.

Deze laatste periode van mijn opleiding heb ik gewijd aan het zowel theoretisch als praktisch beschrijven van de spanningsregeling voor transformatoren. Zoals verwacht was de benodigde voorkennis minimaal. De eerste weken zijn besteed aan het verdiepen in de theorie van de spanningsregeling, loadflowprogramma Vision en de opbouw van de netten van Stedin. Uiteindelijk heeft dit alles positief bijgedragen aan het uitvoeren van de opdracht.

Dankzij de goede werksfeer, de beschikbare middelen en de tijd die voor mij vrijgemaakt werd, heb ik afgelopen afstudeerperiode met veel plezier ervaren. Voor de totstandkoming van dit werk wil ik graag mijn begeleider ing. Jelle van Velden bedanken voor zijn tijd en hulp gedurende mijn afstudeerperiode bij Stedin. Eveneens bedank ik ir. Johan Woudstra, mijn begeleider vanuit school. Verder wil ik mijn collega's van de afdeling Netcoördinatie HS1 en HS2 bedanken voor de tijd die ze hebben vrijgemaakt om mijn vragen te kunnen beantwoorden en de aangename tijd die ik binnen de afdeling heb gehad. Ook wil ik de volgende collega's van Joulz en vooral de engineers bedanken die mij geholpen hebben bij de vragen over de instellingen van de spanningsregeling, te weten: ing. Rene de Jongh, ing. Hemant koemar Jagesar-Tewari, en John Zegwaard

Ten slotte wil ik graag de mensen uit mijn directe omgeving bedanken voor hun steun die ze mij hebben gegeven tijdens mijn gehele studie.

Delft, juni 2015

Kowist Albarzanji

Samenvatting

Stedin BV is een onafhankelijke netbeheerder die is ontstaan ten gevolge van de Wet Onafhankelijk Netbeheer. Na de fusie van de verschillende energiebedrijven die samen Eneco gingen vormen en ook nadat Stedin en Joulz in 2008 tot stand waren gekomen, is er geen algemene standaard gemaakt voor de instellingen van de spanningsregeling. De eerste stap in het onderzoek was om er achter te komen of er op dit moment een beleid is voor de instellingen van de spanningsregeling. Binnen Stedin bepaalt en beschrijft de afdeling Asset Management het beleid met betrekking tot de aankoop en het beheer van de Assets van Stedin. Na oriënterend onderzoek bleek dat de afdeling Asset Management geen beleid heeft voor de instellingen van de spanningsregeling. Bovendien komt men verschillende versies van de instellingen tegen die waarschijnlijk leiden tot onnodig veel regelen van de transformatoren in het net van Stedin. Dit is iets wat de beheersbaarheid bemoeilijkt en de onderhoudskosten verhoogt.

Onderdeel van het onderzoek is optimaliseren van de spanningsregeling van de regelbare transformatoren in de hoog- en middenspanning. Het doel van het onderzoek is om te kijken of het mogelijk is de instellingen van de spanningsregeling te optimaliseren zodat de spanningsregeling zo min mogelijk gaat regelen en een voorstel voor een algemeen spanningsregelconcept voor het gehele gebied waardoor bovenstaande ongewenste effecten geminimaliseerd worden, terwijl de spanningskwaliteit aan de eisen zoals beschreven in de Netcode blijft voldoen. Doordat er minder geregeld wordt is er ook minder onderhoud nodig aan de regelschakelaar. Ook neemt hierdoor de kans op falen van de regelschakelaar af. Het elektriciteitsnet is minimaal n-1 uitgelegd. Daarom is het van groot belang dat een regelschakelaar niet meer regelt dan nodig is op een dag.

Er is ook een voorstel gedaan gekoppeld aan een praktijkvoorbeeld uit Den Haag. Dit voorstel heeft betrekking op de instellingen van de spanningsregeling van de 150/25kV transformatoren en de hier onderliggende 25/10kV transformatoren. De opdrachtgever voor dit onderzoek (Stedin) gaat deze voorstelinstellingen in de praktijk in een testcase implementeren om deze aan de hand van netmetingen in de praktijk te testen.

Inhoudsopgave

Voorwoord	1
Samenvatting	3
Inhoudsopgave	4
Overzicht van figuren	6
Overzicht van tabellen	6
1. Inleiding	7
1.1. Achtergrond Stedin B.V.	7
1.2 Probleemstelling	8
2. Elektriciteitsnetten	9
2.1.1 Verschillende spanningsniveaus.....	9
2.1.2 Koppelnet.....	9
2.1.3 Transportnet	10
2.1.4 Distributienet	10
2.1.5 Laagspanningsnet.....	10
2.2 Opbouw netten van Stedin.....	11
2.2.1 Ringnet.....	11
2.2.2 Sternet	12
2.2.3 Vermaasd net	12
2.3 Aardingsconcepten.....	13
2.3.1 Star geaard net.....	13
2.3.2 Zwevend net.....	13
2.3.3 Aardingstransformator geaard net.....	15
3. Algemene werking van een spanningsregeling	16
4. Regelschakelaars voor transformatoren	18
4.1.1 Conventionele regelschakelaar	18
4.1.2 Vacuüm regelschakelaar	19
5. Uitvoeringen voor het regelen van een transformator	20
5.1.1 Stand alone transformator	20
5.1.2 Driewikkeltransformator	20
5.1.3 Parallelregeling.....	21
6. Netcode Elektriciteit	22
6.1.1 Spanningsverschijnselen	23
6.1.2 Spanningskwaliteitsmetingen	23
7. Huidige instellingen van de spanningsregeling	26
8. Voorstel instelling spanningsregeling	29
8.1.1 Tijd verloop	30
8.1.2 Evaluatie huidige instelling spanningsregeling Den Haag.....	31

9. Conclusie	34
10. Aanbevelingen	36
11. Reflectie verslag.....	37
Bijlage	38
Bijlage 1 Bronvermeldingen.....	38
Bijlage 2 Instellingen spanningsregelingen Stedin gebied	39
Bijlage 3 Spanningskwaliteitsmetingen Netbeheer Nederland	47
Bijlage 4 fase- aardsluiting zwevend net	50
Bijlage 5 Spanningsverlies representatief middenspanningsstation	51
Bijlage 6 Transformator tellerstanden registratie.....	52
Bijlage 7 REG-D standaard	53
Bijlage 6 Instellingen	54

Overzicht van figuren

Figuur 1 Verdeling elektriciteitsnet in Nederland	9
Figuur 2 Algemeen overzicht van een net.....	11
Figuur 3 Ringnet.....	11
Figuur 4 Sternet	12
Figuur 5 Vermaasdnnet.....	12
Figuur 6 Star geaard net.....	13
Figuur 7 Zwevend net	13
Figuur 8 Ongestoorde zwevend net.....	14
Figuur 9 ÉÉN fase- aardsluiting	14
Figuur 10 Aardingstransformator	15
Figuur 11 Stroom verloop gedurende een aardfout	15
Figuur 12 Trapstand	16
Figuur 13 Transformator 150/23/10 kV	16
Figuur 14 Principe regelschakelaar.....	17
Figuur 15 Stand 10 naar stand 11	17
Figuur 16 SMIT regelschakelaar.....	18
Figuur 17 Roet en boogvorming	18
Figuur 18 Vacuüm bottle.....	19
Figuur 19 Stand alone transformator	20
Figuur 20 Driewikkeltransformator	20
Figuur 21 Parallel regeling transformatoren	21
Figuur 22 Spanningskwaliteitsmeting laagspanning Rotterdam	24
Figuur 23 Spanningskwaliteitsmeting Den Haag	25
Figuur 24 Regelcurve REG 5A/E.....	28
Figuur 25 Instellingen grenswaarde in 1982	28
Figuur 26 Instelling grenswaarde in 1985	28
Figuur 27 Principe regelcurve spanningsregeling.....	29
Figuur 28 Spanningsregeling Den Haag.....	31

Overzicht van tabellen

Tabel 1 Spanningskwaliteit Netcode.....	22
Tabel 2 Verschillende soorten spanningsregelingen	26
Tabel 3 Integral regelkarakteristiek	30
Tabel 4 Fast Integral regelkarakteristiek.....	30
Tabel 5 Huidige instellingen 150/25 kV HVS-ZUID.....	32
Tabel 6 Huidige reactie tijd HVS-ZUID 150/25 kV	32
Tabel 7 Voorstel instellingen 150/25 kV HVS-ZUID	32
Tabel 8 Huidige instellingen 25/10 kV Hengelolaan	33
Tabel 9 Huidige reactie tijd 25/10 kV Hengelolaan	33
Tabel 10 Voorstel instellingen 25/10 kV Hengelolaan	33
Tabel 11 Voorstel regelkarakteristiek Integral Hengelolaan	33

1. Inleiding

1.1. Achtergrond Stedin B.V.

Voordat de splitsing plaats vond binnen Eneco ten gevolge van de Wet Onafhankelijk Netbeheer, waaruit Stedin en Joulz zijn voortgekomen, was Eneco een samengevoegd energiebedrijf van kleinere gemeentelijke energiebedrijven.

Stedin Netbeheer B.V. is een regionale netbeheerder die voornamelijk in de Randstad opereert. Stedin is verantwoordelijk voor een veilig en continu transport van elektriciteit en gas naar circa 2 miljoen huishoudens en industriële klanten. Naast drie van de vier grote steden valt de Rotterdamse haven onder het gebied van de netbeheerder.

De bedrijfsvoering van het elektrische energienet (monitoring en besturing op afstand) maakt Stedin onder andere gebruik van het bedrijfsvoering centrum dat met behulp van automatisering het net kan schakelen. Onder netbesturing vallen alle activiteiten en systemen die binnen de bestaande netten nodig zijn om de gewenste energietransporten zo goed mogelijk uit te voeren. Het bedrijfsvoering centrum is verantwoordelijk voor het uitvoeren en coördineren van schakelhandelingen in de bestaande netten, om de gewenste vermogenstransporten over het net en werkzaamheden in het net mogelijk te maken.

Op termijn zullen de netten van Stedin meer intelligentie bevatten en zal er steeds meer informatie verwerkt worden. Voorbeelden hiervan zijn de zelf herstellende netten, DMS, EMS, slimme meters en toenemende complexiteit van het energienet, door onder andere decentrale opwekking van elektrische energie.

DMS staat voor Distributie Management Systeem en optimaliseert de bestaande processen. EMS staat voor Energie Management Systeem en is het centrale deel van de systemen voor netbesturing bij Stedin.

1.2 Probleemstelling

Een elektrisch apparaat is ontworpen voor een bepaalde voedingsspanning waarop slechts een kleine afwijking toegestaan is. Als de afwijking te groot wordt kan het apparaat niet goed functioneren of zelfs defect gaan. Daarom is het van groot belang dat de spanning geregeld wordt naar de juiste waarde. Het regelen van de spanning gebeurt door regelbare transformatoren. Deze transformatoren zijn opgenomen in de keten tussen de opwekkers en de verbruikers. In Nederland zijn eisen gesteld aan de minimale en maximale waarde van de spanning. Voor het laagspanningsnet is bepaald dat de spanning op een aansluitpunt tussen 207 en 253V moet liggen. Tevens zijn er regels in de Netcode opgenomen voor de energiebedrijven om aan de spanningskwaliteit te voldoen. In de Netcode van 04-04-2014 staat het volgende over de langzame spanningsvariatie:

Voor netten $\leq 1\text{kV}$:

- $U_n \pm 10\%$ voor 95% van de over 10 minuten gemiddelde waarde gedurende 1 week.
- $U_n +10/-15\%$ voor alle over 10 minuten gemiddelde waarde.

Voor netten $1\text{kV} < U_c < 35\text{kV}$:

- $U_c \pm 10\%$ voor 95% van de over 10 minuten gemiddelde waarden gedurende 1 week.
- $U_c +10/-15\%$ voor alle over 10 minuten gemiddelde waarden.

Voor netten $U_c \geq 35\text{kV}$:

- $U_c \pm 10\%$ voor 99.9% van de over 10 minuten gemiddelde waarden gedurende een beschouwing periode van een week.

De spanningsregeling dient zo ingesteld te worden dat er een optimum ontstaat tussen zo min mogelijk schakelingen van de regelschakelaar en een spanning die aan de limiet voldoet. Belangrijk is dat het aantal schakelingen van 16 keer per dag niet overschreden wordt, zie de bronvermelding, dit in verband met slijtage en de hoeveelheid onderhoud aan de regelschakelaar.

Tijdens de afstudeerstage is onderzocht hoe de instellingen van de spanningsregeling geoptimaliseerd kunnen worden zodat er minimaal geregeld hoeft te worden en dat terwijl de netbeheerder nog steeds aan de Netcode blijft voldoen. Wanneer de spanningsregeling geoptimaliseerd is, betekent dat het onderhoud aan de regelschakelaars flink gereduceerd kan worden en hiermee ook de verbonden onderhoudskosten. Uit spanningskwaliteitsmetingen voor Den Haag en Rotterdam is gebleken dat de spanning te veel geregeld wordt en zolang men aan de Netcode voldoet waarom zou er zoveel geregeld moet worden? Bij het uitvoeren van deze opdracht zullen de volgende punten onderzocht worden:

- Heeft Stedin een beleid voor de instellingen van de spanningsregeling?
- Is optimaliseren wel nodig? Zo ja wat is het effect? Zo nee, waarom niet?
- Heeft geaard/niet geaard net invloed op de optimalisering van de spanningsregeling?
- Is optimaliseren van de grenswaarde bijvoorbeeld (+1% en -1%) van de spanningsregeling mogelijk?
- Kan Stedin door de optimalisering van de spanningsregeling geld besparen op onderhoud van de regelschakelaar van de transformator?

De doelstelling van dit onderzoek is als volgt:

- Het analyseren van de huidige instellingen van de spanningsregeling
- Voorstel doen voor de instellingen van de spanningsregeling
- Aanbevelingen voor een vervolgonderzoek

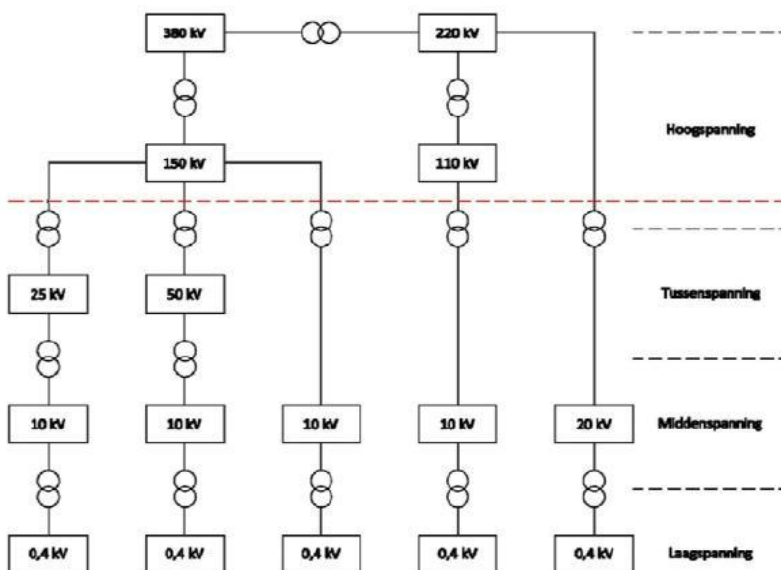
2. Elektriciteitsnetten

Het elektriciteitsnet zorgt ervoor dat elektriciteit van de plaats waar dit wordt opgewekt, wordt getransporteerd naar de afnemers. De opwekking van elektrische energie gebeurt in Nederland vanuit fossiele brandstoffen bijvoorbeeld door gas- of kolengestookte centrales en Wamte-krachtkoppeling (WKK's) die vooral bij kwekers staan. Er is ook een klein bijdrage vanuit duurzaam opwekking denk hierbij aan de zonnepanelen en de windmolens. In Nederland worden voor de verspreiding van elektrische energie hoogspanningsnetten gebruikt. Deze netten kunnen onderverdeeld worden in vier categorieën.

2.1.1 Verschillende spanningsniveaus

Wanneer een elektrische stroom door een geleider vloeit, treden er energieverliezen op. Hoe hoger het spanningsniveau is, hoe lager deze verliezen zijn ($I^2 \times R$). Het elektriciteitsnet heeft daarom verschillende spanningsniveaus. In Nederland is het elektriciteitsnet op te delen in vier categorieën of deelnetten:

- Koppelnets: hieronder vallen de spanningsniveaus 220 kV en 380 kV.
- Transportnet: hieronder vallen de spanningsniveaus 25 kV, 50 kV, 66 kV, 110 kV en 150 kV.
- Distributienet: hieronder valt het spanningsniveau 23 kV en lager.
- Laagspanning: hieronder valt het spanningsniveau 0.4 KV.



Figuur 1 Verdeling elektriciteitsnet in Nederland

2.1.2 Koppelnets

Het hoogspanningsnet, ook wel het koppelnets genoemd, transporteert elektrische energie over grotere afstanden binnen Nederland. De grotere elektriciteitscentrales, denk aan 500 MVA, zijn hierop aangesloten. Dit net heeft ook verbindingen met België, Duitsland, en daarnaast nog via gelijkstroomverbindingen met Groot-Brittannië en Noorwegen. TenneT is de netbeheerder van dit net met een spanningsniveau van 220 kV of 380 kV. Het hoogspanningsnet bestaat uit ongeveer 2682 km bovengrondse lijn en ongeveer 23 km ondergrondse kabel. Een verstoring in het net mag niet tot uitval van de energievoorziening van aangesloten leiden. Het hoogspanningsnet is daarom redundant ontworpen zodat falen van, of onderhoud aan een component niet leidt tot uitval van aangesloten ook bekend als n-1. Pas als daarna nog een component faalt, bestaat de kans dat dit wel gepaard gaat met uitval van aangesloten.

2.1.3 Transportnet

Het transportnet verbindt het hoogspanningsnet met de distributienetten. Op het hoogspanningsnet zijn onder andere elektriciteitscentrales, industrie en grotere windmolenparken van 35 tot 500 MVA aangesloten. Het hoogspanningsnet bestaat voornamelijk uit netten met een spanningsniveau van 50 kV, 66 kV, 110 kV of 150 kV, waarbij netten met de laatste twee genoemde spanningsniveaus in beheer zijn van de landelijke netbeheerder TenneT. Het hoogspanningsnet bestaat uit ongeveer 5492 km bovengrondse lijn en ongeveer 3760 km ondergrondse kabel. In principe is ook het hoogspanningsnet n-1 uitgevoerd. Volgens de Netcode Elektriciteit hoeven aansluitingen met een aansluitvermogen kleiner dan 100 MW, als de energieonderbreking binnen 6 uur kan worden hersteld, overigens niet aan het n-1 norm te voldoen. Omzetting vanaf extra hoogspanning naar hoog- of middenspanning vindt plaats in hoogspanningsstations, waarvan de componenten binnen- of buiten worden opgesteld. Dit verschilt van station tot station.

2.1.4 Distributienet

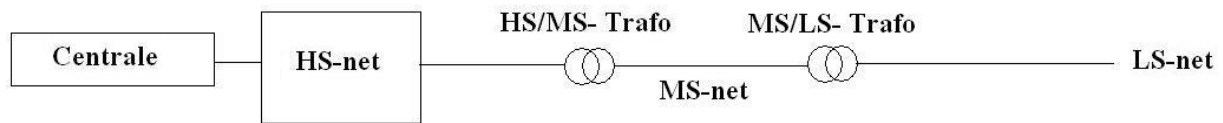
Het middenspanningsnet wordt ook wel het distributienet genoemd. Op dit net zijn vermogens tussen 0,2 MVA en 35 MVA aangesloten zoals spoorwegen, industrie, warmtekrachtcentrales, windmolens en ook de transformatorhuisjes die in woonwijken staan. Het meest voorkomende spanningsniveau in het middenspanningsnet is 10kV. Men is druk bezig om dit om te zetten naar de 23KV. Bij nieuw bouwprojecten zoals woonwijken of fabrieken, wordt al enige tijd 23kV in plaats van 10kV uitgelegd. Middenspanningsnetten worden beheerd door regionale netbeheerders. Het net bestaat uit ondergrondse kabels met een totale lengte van ruim 101965 km. De structuur van de meeste middenspanningsnetten is ringvormig of vermaasd. In een ringsysteem worden de verbruikers in een ring op de voeding aangesloten. De kabellengte van dit systeem is relatief kort, maar de kabeldikte relatief groot. In een vermaasd net worden de verbruikers niet alleen in een ring aangesloten, maar ook onderling doorverbonden. Dit systeem biedt netbeheerders meer mogelijkheden om klanten via een alternatieve route te voeden als er onverhoopt een storing optreedt. De bedrijfszekerheid is dus hoger.

2.1.5 Laagspanningsnet

Het laagspanningsnet is de laatste schakel in de leveringsketen van de elektriciteitscentrale naar gebruiker. Op het laagspanningsnet zijn voornamelijk huishoudens, maar ook winkels en kleine bedrijven aangesloten. In de meeste gevallen is dit net uitgevoerd als een 3-fasen systeem met een spanningsniveau van 400 V tussen de fasen en 230 V tussen de fase en de nul. De maximale aansluitwaarde van een aangeslotene is in de orde van grootte van 200 kW. Het laagspanningsnet heeft een lengte van ongeveer 223.000 km, waarvan 174 km bestaat uit bovengrondse lijn. Als er een storing optreedt in het laagspanningsnet kan meestal niet worden omgeschakeld om de energielevering te herstellen. De netbeheerder zal de storing moeten lokaliseren en herstellen om de getroffen gebruikers vervolgens weer van energie te kunnen voorzien. In sommige gevallen kan hierbij ook gebruik gemaakt worden van een noodstroomaggregaat. Dit verklaart ook waarom een onderbreking van de energielevering in het laagspanningsnet gemiddeld een langere onderbrekingsduur heeft dan een storing in het middenspanningsnet. Daarnaast kan het, in tegenstelling tot hoogspanningsnet en middenspanningsnet, voorkomen dat slechts één van de drie fasen wordt onderbroken, waardoor een aantal aangeslotenen nog wel een onverstoorde energievoorziening hebben. Het laagspanningsnet wordt gevoed vanuit het middenspanningsnet waarbij de transformatie van midden- naar laagspanning gebeurt in transformatorhuisjes die in woonwijken staan.

2.2 Opbouw netten van Stedin

Het geheel van geleiders, stations en bedrijfsmiddelen heet een net. De kabels en lijnen zijn verdeeld over verschillende netten met elk zijn specifieke eigenschappen.

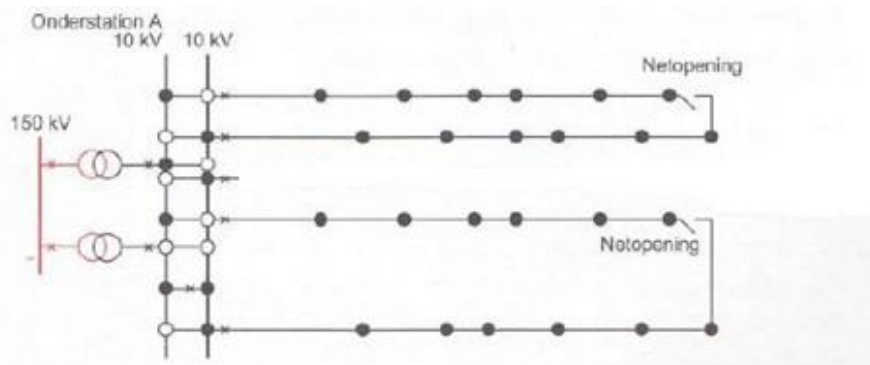


Figuur 2 Algemeen overzicht van een net

Het koppelnet en transportnet zijn over algemeen opgebouwd in een ring. De geleiders kunnen bestaan uit lijnen, dit zijn de geleiders boven de grond en kabels dit zijn de geleiders onder de grond. De punten waar de verschillende netten worden gekoppeld worden onderstations genoemd. Een andere benaming is ook wel transportstation. Het distributienet kan opgebouwd zijn uit drie verschillende netstructuren.

2.2.1 Ringnet

In Nederland worden vaak de distributienetten ringvormig aangelegd. Dit houdt in dat de uiteinden van de strengen elkaar ontmoeten en dat er een ringvormige structuur ontstaat. Wat de netbedrijven wel doen is een lastscheider geopend (netopening) in de ring houden. Zo ontstaat er een radiaal of open bedreven ringvormige structuur.

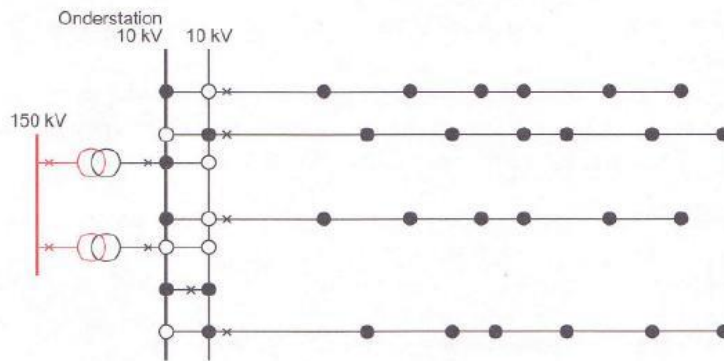


Figuur 3 Ringnet

Op de grens van verzorgingsgebieden van twee onderstations kan ook een verbinding gemaakt worden. De netopening die daarin gemaakt wordt, wordt netscheiding genoemd. Het voordeel van dit soort netten is, dat mocht er een sluiting optreden, de netopening gesloten wordt en het gedeelte waar de sluiting in zit selectief uitgeschakeld kan worden. De stations kunnen zo gevoed blijven totdat de sluiting is gerepareerd. Na reparatie kan de netopening weer geopend worden. Een nadeel is dat bij een sluiting alle stations spanningsloos worden totdat de sectie waar de sluiting in zit is geïsoleerd en de ring is gesloten.

2.2.2 Sternet

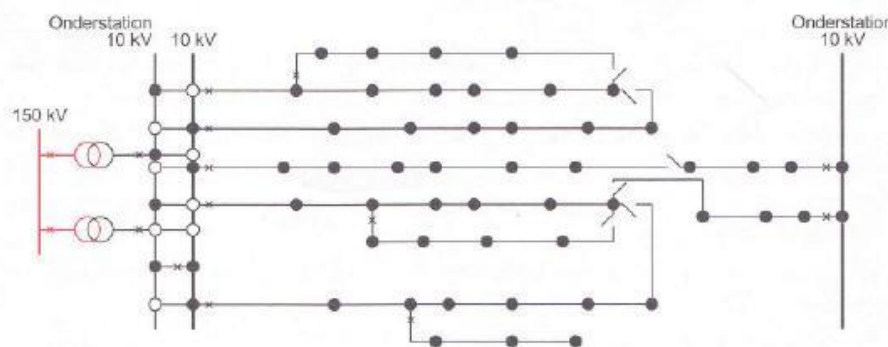
Het radiale net is de meest eenvoudige uitvoering. Het voornaamste nadeel van dit net is dat er geen storingsreserve(n-1) aanwezig is. Dit houdt in dat bij een sluiting in een kabel of station het gehele voedingsgebied spanningsloos komt te zitten gedurende reparatietijd. Vanuit het onderstation vertrekken er strengen geografisch in alle richtingen van het verzorgingsgebied. Deze uitvoering wordt zeer weinig gebruikt en dan alleen nog in de gebieden waar de klantconcentraties laag zijn.



Figuur 4 Sternet

2.2.3 Vermaasd net

Bij een vermaasde netstructuur is de bedrijfszekerheid hoog. Een vermaasde netstructuur is een ringvormige netstructuur waar meerdere ringen aan elkaar gekoppeld zijn. Tevens zitten er hier meerdere netopeningen in waardoor, in geval van storing, meerdere omschakelmogelijkheden zijn. Het voordeel van deze structuur is dat het vermogen van zwaar belaste delen van het net kan worden verdeeld over meerdere strengen. Dit is zeer wenselijk in gebieden met grote steden en in industriegebieden. Nadelen zijn dat de kabels in sommige gevallen zwaarder uitgevoerd moeten worden en koppeling tussen twee gebieden wordt moeilijker bij een enkel rail. Het is ook duurder en complexer.



Figuur 5 Vermaasdnet

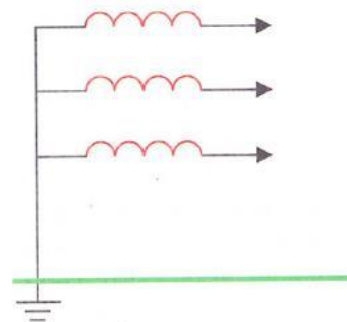
2.3 Aardingsconcepten

In dit hoofdstuk wordt er gekeken wat de impact van aarding is op de spanningsregeling tijdens een kortsluiting. Het aarden gebeurt onder andere aan de secundaire zijde en in sommige gebieden is het 50 kV net aan de primaire zijde van de transformator geaard. Maar als de secundaire zijde een naar buiten uitgevoerd sterpunt heeft kan deze star worden geaard of via een weerstand. Mocht aan de secundaire zijde dit niet zitten, bijvoorbeeld doordat de secundaire zijde een driehoekswikkeling heeft, dan kan met een aardingstransformator een kunstmatig sterpunt gecreëerd worden. Ook bestaat de mogelijkheid om de transformator helemaal niet te aarden. In het verzorgingsgebied van Stedin wordt er op aantal verschillende manieren geaard en dat zijn:

- Star geaard net
- Zwevend net
- Aardingstransformator geaard net

2.3.1 Star geaard net

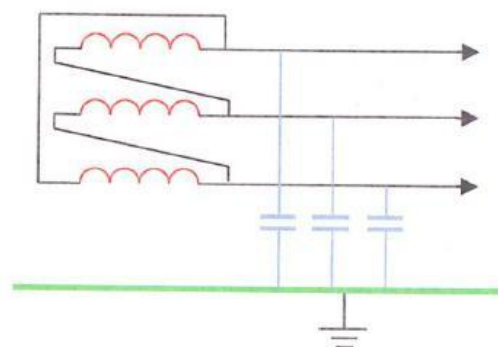
In een star geaard net is het sterpunt van de transformator direct verbonden met de aarde, zie figuur 6. Er wordt gedacht dat de aardingsimpedantie nul ohm is maar in werkelijkheid is dat anders. De aardingsimpedantie wordt bepaald door de aardverspreidingsweerstand en dat is ongelijk aan nul ohm. Dit retour pad voor de aardstromen heeft een lage impedantie. Het gevolg hieraan is dat fase- aardfout grote stromen tot gevolg hebben waardoor iedere fout leidt tot afschakeling en veroorzaakt flinke spanningsdips in het net. Een voordeel van de hoge kortsluitstroom is dat de fout met behulp van de beveiliging goed waarneembaar is en daarmee selectief kan worden afgeschakeld. Omdat de kortsluitstromen best hoog zijn en het wordt binnen 5s afgeschakeld, heeft een star geaard net bij een kortsluiting geen impact op de spanningsregeling.



Figuur 6 Star geaard net

2.3.2 Zwevend net

Een zwevend net is een net waarvan de transformator met zijn sterpunt niet aan aarde maar zwevend is verbonden, zie figuur 7. De retourstromen kunnen nu alleen vloeien door de in het net aanwezige capaciteiten tussen de fase en aarde. Deze stromen zijn capacitief en de grootte is afhankelijk van de totale lengte van de zwevende net achter de voedingstransformator. Zwevende netten worden in de middenspanningsnetten toegepast. Bij een bovengronds net gaan een fase sluitingen vaak vanzelf over. Ondergronds is dit niet het geval waardoor een fase sluitingen vaak over gaan in meer fase sluitingen. Een meer fase sluiting is een één fase aardfout die overgaat in twee fase fout in het zelfde component als waar de aardfout is ontstaan. De crosscountry sluiting is een één fase aardfout die overgaat in een twee fase fout die gelegen is in een andere locatie in het net. De oorzaak dat een één fase aardfout overgaat in een meer fase aardfout is een combinatie van slechte isolatie, slechte moffen en verhoogde spanning in het net. Doordat de tweede aardfout op elke plek in het net kan ontstaan, is het mogelijk dat er grote delen van netten worden afgeschakeld. Dit soort fouten kunnen binnen de perken gehouden worden door ze snel af te schakelen of door het plaatsen van een blusspoel. Deze beperkt weer de kortsluitstroom die ontstaat.

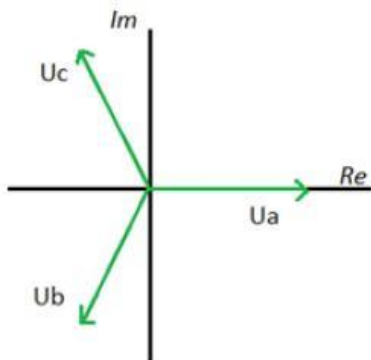


Figuur 7 Zwevend net

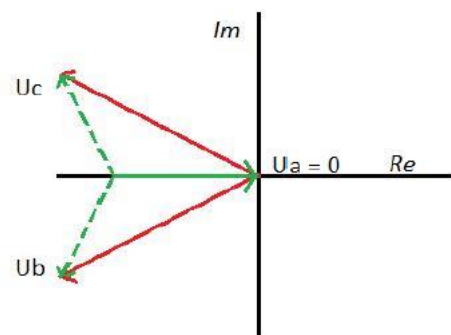
Figuur 8 toont de spanningsvectoren ten opzichte van de aardpotential. In normale bedrijfstoestand is de spanning van het niet geaarde sterpunt gelijk aan de aardpotential. Hierdoor vallen alle begin punten van de vectoren samen in het nulpunt.

Stel dat er een fase- aardsluiting optreedt in fase a, zie figuur 9, dan wordt de spanning ten opzichte van de aarde nul. Fase b en fase c nemen de gekoppelde spanning aan ten opzichte van aarde. Doordat de gezonde fasen een $\sqrt{3}$ hogere spanning ten opzichte van aarde aangenomen hebben, worden de stromen door de capaciteiten ook een factor $\sqrt{3}$ groter.

Deze stromen variëren in de 10kV netten tussen 40 en 300 Ampère. Een voordeel van dit systeem is dat de kortsluitstromen relatief lag zijn en niet veel schade aanrichten en het net in bedrijf kan blijven bij een fase- aardsluiting. Een nadeel is dat het lokaliseren van de fase- aardsluiting heel lastig is. De foutlocatie wordt pas gevonden als de kabelsectie, waar de fout zich bevindt, is uitgeschakeld. Na dit uitschakelen nemen de fasespanningen weer de juiste waarden aan. Een ander nadeel is dat bij kleine netten de fase- aardsluiting zo klein is dat deze herhaaldelijk verdwijnt en dan weer terugkomt, waardoor er hoge spanningspieken ontstaan. Dit wordt veroorzaakt door de capaciteiten naar aarde. Ook een nadeel is dat tijdens een dergelijke fase- aardsluiting een tweede kortsluiting kan ontstaan waardoor het gehele net wordt afgeschakeld. Zoals hierboven vermeld is, wordt bij een fase- aardsluiting in een 10kV net de spanning van de niet getroffen fase ten opzichte van aarde $\sqrt{3}$ groter. Omdat de spanningsregeling de gekoppelde spanning ziet en dat is de gemeten spanning tussen twee fasen en niet fase- aarde, gaat de spanningsregeling niet regelen ten gevolgen van de aardfout in het net.



Figuur 8 Ongestoorde zwevend net

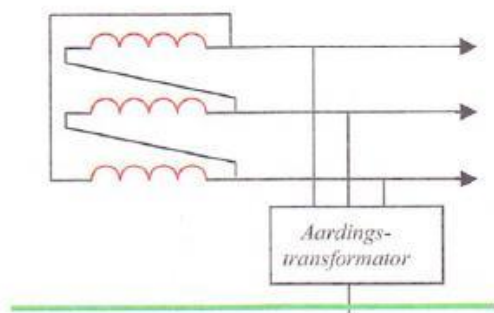


Figuur 9 ÉÉN fase- aardsluiting

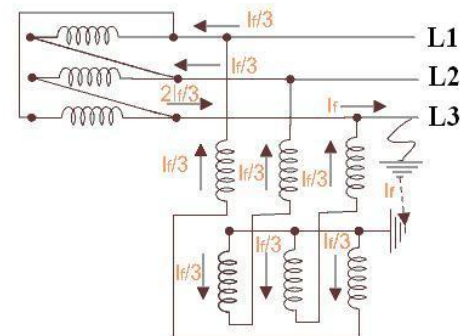
2.3.3 Aardingstransformator geaard net

Mocht er geen sterpunt beschikbaar te zijn, dan kan het netwerk geaard worden met behulp van een aardingstransformator, zie figuur 10. Deze aardingstransformator, ook wel nulpunttransformator genoemd, is opgebouwd als een zigzag- transformator. Ook de impedantie van de aardingstransformator bestaat uit reactantie. De reden hiervoor is dat de verliezen beperkt blijven. Deze transformator worden in de middenspanning netten en in laagspanning netten toegepast. Indien de transformator op een normaal symmetrisch driefasesysteem is aangesloten, is de impedantie zeer hoog. Er vloeit alleen de magnetiseringstroom. De spanning op het sterpunt van de transformator is dan nul.

Op het moment dat er een fase- aardfout optreedt, zie figuur 11, gaat er een stroom lopen via de aarde door de aardingstransformator. De homo polaire impedantie is nu zeer klein. De stromen worden gelijk verdeeld over de drie wikkelingen. De twee gezonde fasen nemen de gekoppelde spanning ten opzichte van de aarde aan. Op het moment dat de stromen de aardingstransformator verlaten is de kortsluitstroom $I_0 + I_1 + I_2$. Het zeer snel reageren van de beveiliging op de aardfout en het afschakelen van het defecte net deel heeft tot gevolg dat het geen invloed heeft op de spanningsregeling.



Figuur 10 Aardingstransformator



Figuur 11 Stroom verloop gedurende een aardfout

3. Algemene werking van een spanningsregeling

Een elektrisch apparaat is ontworpen voor een bepaalde spanning waarop slechts een kleine afwijking toegestaan is. Als dit niet het geval is kan het elektrische apparaat niet goed meer werken of zelfs kapot gaan. Daarnaast is de levensduur van een elektrisch apparaat afhankelijk van de hoogte van de spanning. Een te lage netspanning zorgt ervoor dat apparaten en motoren niet goed gaan werken. Het is zelfs zo dat als de spanning 10 procent lager is dan normaal, de kracht van een motor met 20 procent afneemt. Een 5 procent verhoogde netspanning zorgt dat de levensduur van een gloeilamp met 50 procent afneemt.

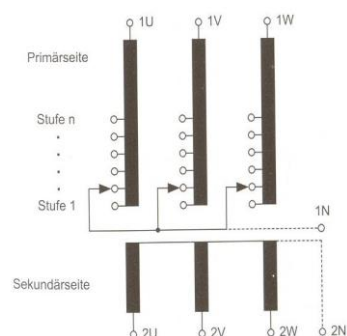
De spanning varieert doordat verschillende belastingen worden in- of uitgeschakeld. Kijk maar eens thuis, zodra de wasmachine, droger of stofzuiger aangezet wordt, ziet men het licht flikkeren of kortstondig dimmen. De spanning is dan tijdelijk iets lager. Door toename van belasting neemt de spanning af- en bij afname van de belasting neemt de spanning toe.

Er zijn ook verliezen door transport van elektriciteit en hierdoor kan de spanning ook afnemen. Er zijn ook situaties denkbaar waarbij de spanning kan toenemen zoals in de avond/nachtelijke belastingen of door vreemd vermogen van WKK's en zonnepanelen. Verder is er bij een hoger spanningsniveau meer transportvermogen aanwezig, een nadeel is dat naarmate de spanning hoger wordt, de elektrische installaties duurder worden.

Door alle bovengenoemde punten is het van groot belang dat de spanning geregeld wordt naar de juiste waarde. Het regelen van de spanning gebeurt door transformatoren. Transformatoren zetten de spanning van een bepaald niveau om naar een lager niveau of juist andersom. Bij Stedin wordt hoge spanningsniveau de primaire zijde van een transformator genoemd. Het lagere niveau de secundaire zijde van een transformator. Het regelen van de spanning gebeurt door de overzet-verhouding tussen primair en secundair te wijzigen, zie figuur 12. Aan de primaire zijde van de transformator wordt met behulp van een schakelaar wikkelingen bij of afgeschakeld. Het regelen gebeurt aan de primaire zijde vanwege de lagere stroom, dit zorgt voor minder stress aan de schakelaar. Elke stand van de schakelaar wordt aangeduid met een trapstand die correspondeert met een bepaalde overzetverhouding. Wanneer men het type plaatje van een transformator bekijkt, zie figuur 13, wordt aangegeven welke trapstand overeenkomt met welke primaire spanning. Om dit duidelijk te maken wordt het volgende rekenvoorbeeld gegeven. De spanning aan de secundaire zijde zakt naar 9,5 kV en dat geeft primair de volgende spanning:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} \longrightarrow U_1 = U_2 \times \frac{N_1}{N_2} \longrightarrow U_1 = 9.5 \text{ kV} \times 15 = 142.5 \text{ kV}.$$

Het aantal stappen hangt van de regelschakelaar af. De regelbare transformatoren van Stedin hebben regelschakelaars met standen tussen 0 en 30. Het is vaak zo dat hoe lager het spanningsniveau, des te minder stappen de transformator heeft. Een voorbeeld hiervan zijn de distributie transformatoren 10/0.4 kV die 5 trapstanden hebben en deze zijn niet regelbaar onder belasting. De snelheid waarmee geregeld kan worden hangt af van de regelschakelaar, meestal zo rond de 10 seconden, deze waarde hangt af van de opbouw van de aandrijving. De regelschakelaar wordt aangestuurd door de spanningsregeling.



Figuur 12 Trapstand

type plaatje van een

Y = 123 / 0 - 12 23 3 G		Fabrieksnummer		152 014
704		Isolatie-niveau kV		LI 550 AC
Stand	Spanning V	Stroom A	Fijn-regelaar	G reg
Hoogspanning		Aansluiting: 1N - 1U - 1V - 1W		
1	168 000	412	515	1
2	165 750	418	522	2
3	163 500	424	530	3
4	161 250	430	537	4
5	159 000	436	545	5
6	156 750	442	552	6
7	154 500	448	561	7
8	152 250	455	569	8
9	150 000	462	577	9
10	147 750	469	586	10
11A				11
11	145 500	476	595	11
11B				12
12	143 250	484	605	2
13	141 000	491	614	3
14	138 750	499	624	4
15	136 500	508	634	5
16	134 250	516	645	6
17	132 000	525	656	7
18	129 750	534	667	8
19	127 500	543	679	9
20	125 250	553	691	10
21	123 000	563	704	11
Middenspanning		Aansluiting: 2w - 2v - 2u - 2n		
	24 200	2 863	3 579	

Figuur 13 Transformator 150/23/10 kV

De primaire wikkeling kan geregeld worden door bepaalde trappen voor de fijne afstelling van het spanningsniveau, zie figuur 12. Deze trappen kunnen geregeld worden door een regelaar die aan secundaire zijde de spanning meet. Aan de hand van de waarde van de spanning moet de overzetverhouding van de transformator groter of kleiner worden en zorgt de spanningsregeling ervoor dat er een trap omhoog of omlaag wordt gegeven.

Bij de distributietransformatoren 10/0.4kV wordt het principe zoals in figuur 12 uitgevoerd. Wanneer men kiest voor een andere overzetverhouding zal de transformator uitgeschakeld moeten worden. Wanneer er gekozen wordt om onder belasting te schakelen zal er een bepaalde opbouw gemaakt moeten worden zodat de stroom niet onderbroken wordt. Dit gebeurt in de regelschakelaar van de transformator.

Om te kunnen schakelen zonder stroomonderbreking zullen de twee aftakkingen van de windingen kortstondig met een weerstand verbonden moeten worden. Zonder weerstanden schakelen betekent dat er zeer grote kortsluitstromen gaan lopen. De hoge stroom ontstaat doordat er regelwikkelingen overbrugd worden. Door de weerstanden wordt de kortsluitstroom beperkt en het is mogelijk de hoofdstroom van de ene aftakking naar de andere aftakking te geleiden. Daarna wordt de verbinding tussen de twee aftakkingen verbroken. Tijdens dit proces worden de weerstanden enorm opgewarmd.

De beweging van de kiezer is tamelijk traag en gelijkmatig, de lastschakelaar schakelt zo snel mogelijk, vaak binnen 100ms. Wat er geldt is $\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$

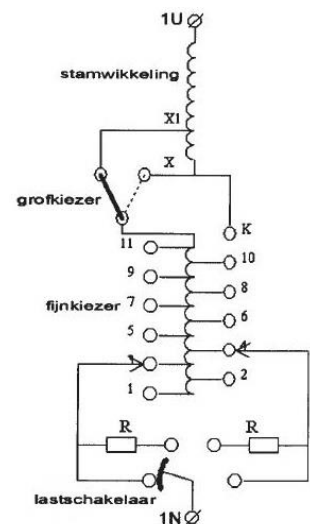
→ $U_1 \cdot N_2 = U_2 \cdot N_1$. Doordat er in het verleden transformatoren door de verschillende gemeentes en provincies werden gekocht is de trapspanning per regio anders.

Transformatoren Den Haag: Trap hoger betekent lagere primaire spanning en hogere secundaire spanning ($20 > 21$).

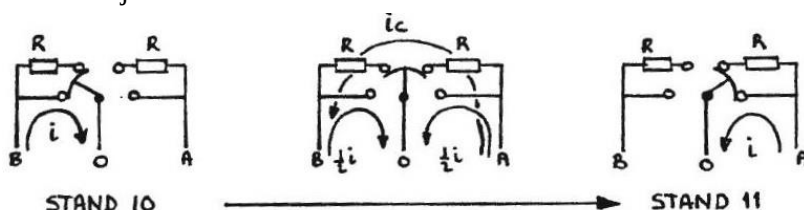
Transformatoren Rotterdam: Trap hoger betekent hogere primaire spanning en lagere secundaire spanning ($20 > 21$).

Het afschakelen van windingen gebeurt als volgt:

Om van 1 naar 2 te gaan schakelt de lastschakelaar om van I naar II, zie figuur 14. Er loopt kortstondig een kortsluitstroom die veroorzaakt wordt door het doorverbinden van de regelwikkelingen en een deel van de belastingstroom over de weerstanden. Bij de volgende regeling gaat de looper van de voorkiezer van 1 naar 3 en de lastschakelaar van II naar I. Op deze manier gaat de regeling verder tot de eindstand bereikt is. Maar wanneer de fijn- regeling in stand 9 komt gebeurt het volgende. De looper van de voorkiezer gaat van 9 naar 1 en gelijktijdig schakelt de grofkiezer om van 11 naar 12. Dit kan omdat er nu geen belasting stroom loopt door het contact van de grofkiezer. Nu kan de lastschakelaar om schakelen van II naar I. Het proces van stand 10 naar 11 wordt aan de hand van figuur 15 verduidelijkt.



Figuur 14 Principe regelschakelaar



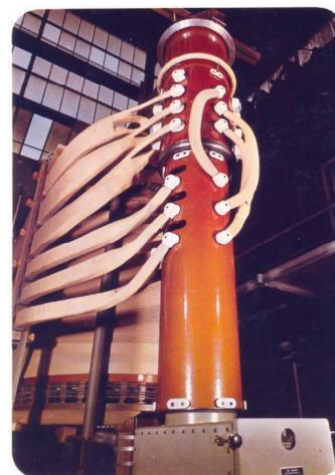
Figuur 15 Stand 10 naar stand 11

4. Regelschakelaars voor transformatoren

Transformatoren kunnen in spanning geregeld worden om een goed spanningsniveau te krijgen. Dit gebeurt in de primaire wikkeling omdat de stroom kleiner is dan aan de secundaire zijde. Bij Stedin worden de transformatoren aan de primaire zijde geregeld. In dit hoofdstuk worden twee typen regelschakelaars beschreven. Het eerste type is de conventionele regelschakelaar en het tweede type is de vacuüm regelschakelaar. De vacuüm regelschakelaar is tegenwoordig de nieuwe standaard bij de nieuwe transformatoren.

4.1.1 Conventionele regelschakelaar

De regelbare transformatoren in Nederland met regelschakelaars bestaan uit 9 fabricaten en ongeveer 37 verschillende typen. De conventionele regelschakelaars zijn van het zogeheten inbouwtype en de schakelaar bevindt zich in de transformatorbak, zie figuur 16. De hier beschreven regelschakelaar staat op de bodem van een gescheiden ruimte van de transformatorbak. De motoraandrijving is onder de schakelaar buiten de transformatorbak gemonteerd. De regelschakelaar bestaat uit een lastschakelaar- trappenkiezer en een voorkiezer. De voorkiezer kan uitgevoerd zijn als omschakelaar of als grofkiezer voor het kiezen van één of twee grofregeltrappen bij grof- fijn regeling. Bij een tegenwikkeling is er alleen de stam en de fijn wikkeling. Aan het eind van de fijn wikkeling komt de grof wikkeling in de plaats en begint



Figuur 16 SMIT regelschakelaar

de fijn wikkeling weer bij de eerste aftakking. De olie in de lastschakelaar die vervuult, als gevolg van het schakelen onder belasting is volledig gescheiden van de transformatorolie. De vuile olie moet bij een onderhoud worden vervangen. De olie in de voorkiezer is dezelfde als de schone olie in de transformatorbak. De voorkiezer schakelt niet onder belasting en veroorzaakt geen vervuiling in de transformator olie.

In het normale dagelijkse gebruik schakelt een regelschakelaar 16 keer per dag en dat is ongeveer 6000 keer per jaar zie de bronvermelding. De onderhoudsperiode van een conventionele regelschakelaar ligt bij een 3 fase transformator met wikkelingen in ster tussen 5-7 jaar en met de wikkelingen in driehoek tussen 3-4 jaar of bij een bereikt aantal schakelingen die per type verschillen. Bijvoorbeeld bij het type van Smit zijn dit 30.000 schakelingen, bij het type MR zijn dit 50.000 schakelingen. Bij gebruik van een oliefilter die na elke schakeling de olie filtert, wordt het aantal schakelingen tussen twee inspecties verdubbeld. Het onderhoud moet worden gedaan, omdat bij conventionele regelschakelaars boogvorming ontstaat waarbij materiaal en olie weggebrand worden, zie figuur 17.



Figuur 17 Roet en boogvorming

Het roet slaat neer op de onderdelen in de regelschakelaar en bij vochtopname ontstaat een kruispoor wat een fasesluiting veroorzaakt. Dit is natuurlijk een groot risico met grote gevolgen. Onnodig schakelen vergroot het probleem en maakt nodig de inspectie versneld uit te voeren. Daarom is het van groot belang dat de instellingen van de automatische spanningsregeling goed berekend en ingesteld zijn. Door de bandbreedte van de spanningsregeling iets te vergroten en de wachttijd iets te verhogen zal de regelschakelaar minder schakelen en hierdoor minder belast worden. Dit levert bij de conventionele regelschakelaar veel geldbesparing op.

4.1.2 Vacuüm regelschakelaar

Door de genoemde problemen heeft men gezocht naar oplossingen met vacuüm schakelementen die het ontstaan van bogen en daarmee roet en kool uitsluiten. De vacuümschakelaar is nu de algemeen toegepaste nieuwe vorm in nieuwe transformatoren, zie figuur 18. Bij het schakelen ontstaat in de vacuümschakelaar geen vlamboog zoals dat wel het geval is bij de conventionele regelschakelaars. De vacuümonderbrekers zijn speciaal ontwikkeld en geoptimaliseerd om de belasting te schakelen. Doordat de “vacuüm bottles” vanzelfsprekend hermetisch afgesloten zijn kan de vlamboog nooit in contact komen met de olie. Dit betekent dat de onderhoudsperiode vanwege olievervuiling, afbranding en roet verder uitgesteld kan worden tot het maximum van 500.000 schakelingen. Dat zou betekenen in het normale dagelijkse gebruik dat het onderhoud van de vacuüm regelschakelaar over

$$\frac{\text{Maximum aantal schakelingen}}{\text{Aantal schakelingen per jaar}} = \frac{500.000}{6000} = 83 \text{ jaar is.}$$

Daarom is het bij de vacuüm regelschakelaar niet zinvol om bij de energiedistributiebedrijven de schakelingen te beperken, het is wel zinvol om in de industrie waar veel geregeld wordt de schakelingen te beperken. Er moet wel rekening gehouden worden met de aandrijving van de regelschakelaar. De aandrijving slijt natuurlijk wel en daarom kan het van belang zijn om de spanningsregeling te optimaliseren.



Figuur 18 Vacuüm bottle

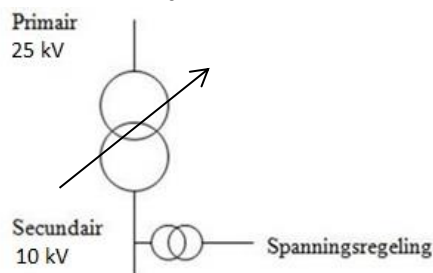
5. Uitvoeringen voor het regelen van een transformator

Er zijn drie verschillende configuraties voor het regelen van een transformator. Het type uitvoering hangt af van het type transformator en het aantal transformatoren dat parallel staat.

- Stand alone transformator.
- Driewikkel transformator.
- Parallelregeling van transformatoren.

5.1.1 Stand alone transformator

Met de stand alone transformator, zie figuur 19, wordt bedoeld dat een transformator twee wikkelingen heeft. Een primaire- en een secundaire zijde. Bij deze vorm van regeling wordt de secundaire spanning gemeten. Aan de gemeten waarden kan het spanningsregeling zien of er geregeld moet worden of juist niet.

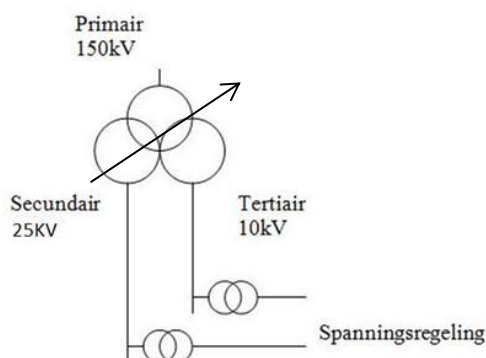


Figuur 19 Stand alone transformator

5.1.2 Driewikkeltransformator

Bij een driewikkeltransformator, zie figuur 20, heeft de transformator drie galvanisch gescheiden wikkelingen. Bij deze transformator zijn er primaire, secundaire en tertiaire spanningen. Dit is bijvoorbeeld primair 150 kV, secundair 25 kV en tertiaire 10 kV. Het is mogelijk met de spanningsregeling de secundaire en tertiaire spanning te meten en regelen. Als de primaire spanning geregeld wordt, veranderen de secundaire en tertiaire spanning ook. Er zijn een paar verschillende vormen van regelen.

- Er kan op de tertiaire spanning geregeld worden.
- Er kan op de secundaire spanning geregeld worden.
- Er kan ook belasting afhankelijk geregeld worden. Als er aan secundaire zijde meer belasting is, dan wordt er op de secundaire zijde geregeld. Als er dan aan de tertiaire zijde meer belasting is, wordt er op de tertiaire zijde geregeld.



Figuur 20 Driewikkeltransformator

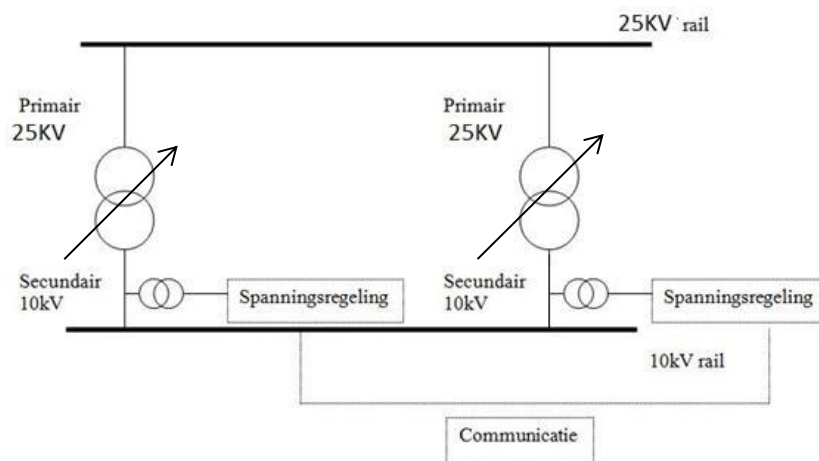
5.1.3 Parallelregeling

Met parallelregeling wordt bedoeld dat twee of meer transformatoren die parallel staan geregeld worden, zie figuur 21. Meestal zijn dit dan twee wikkeltransformatoren, die tevens als stand alone geregeld worden als de transformatoren niet parallel staan. Of de transformatoren parallel staan is afhankelijk van de standen van verschillende schakelaars.

Als men twee transformatoren niet parallel zou regelen dan is het mogelijk dat de ene transformator meer schijnbaar vermogen levert dan de andere. Hierdoor zullen er blindstromen tussen de transformatoren gaan lopen. Blindstromen zijn ongewenst voor de transformatoren want door blindstromen treedt er meer slijtage op door het warm worden van de wikkelingen. De grootte van de blindstroom tussen twee transformatoren wordt bepaald aan de hand van het spanningsverschil $U_{\text{trafo1}} - U_{\text{trafo2}}$ en de inwendige impedantie van de twee parallel staande transformatoren.

Op de twee spanningsregelingen worden ook de standen van de primaire schakelaars aangeboden. Als er transformatoren parallel staan worden deze geregeld als Master-Follower. De spanningsregeling de “Master” wordt echt als spanningsregeling gebruikt en de “Follower” volgt enkel elke verandering van de “Master” op.

Communicatie vindt plaats door een communicatie protocol tussen de spanningsregelingen. Bij de REG-D is dit de E-LAN (Energie-Local Area Network).



Figuur 21 Parallel regeling transformatoren

6. Netcode Elektriciteit

In Nederland moet de elektriciteit voldoen aan een bepaalde kwaliteit, deze wordt aangegeven als spanningskwaliteit. De spanningskwaliteit van de Nederlandse elektriciteitsnetten behoort tot de beste ter wereld. Dit komt mede door de Netcode, een wetgeving waarin wordt voorgeschreven aan welke eisen de spanning moet voldoen. Een belangrijk doel van de netbeheerder is daarom om ervoor te zorgen dat de spanning nu en in de toekomst goed blijft.

Elke aangeslotene in Nederland heeft recht op transport van elektriciteit door heel Nederland tot een hoeveelheid ter grootte van het op de aansluiting gecontracteerde en beschikbaar gestelde vermogen besluit 00-011 uit de Netcode. In tabel 1 wordt alleen het kwaliteitsaspect van de langzame spanningsvariatie weergegeven. De overige spanningsverschijnselen zijn: snelle spanningsvariatie, spanningsasymmetrie, harmonische vervorming en spanningsdips. Voor het huidige onderzoek zijn alleen de langzame spanningsvariatie relevant en de overige spanningsverschijnselen worden kort beschreven in hoofdstuk 6.1.1. Dit komt omdat alleen de langzame spanningsvariatie direct invloed hebben op de spanningsregeling die de netbeheerder gebruikt op zijn transformatoren.

Kwaliteitsaspect	Criterium
Langzame spanningsvariatie	Voor netten $U_n \leq 1\text{kV}$: • $U_n \pm 10\%$ voor 95% van de over 10 minuten gemiddelde waarden gedurende 1 week • $U_n +10 / -15\%$ voor alle over 10 minuten gemiddelde waarden Voor netten $1\text{kV} < U_c < 35\text{kV}$: • $U_c \pm 10\%$ voor 95% van de over 10 minuten gemiddelde waarden gedurende 1 week • $U_c +10 / -15\%$ voor alle over 10 minuten gemiddelde waarden Voor netten $U_c \geq 35\text{kV}$: • $U_c \pm 10\%$ voor 99,9% van de over 10 minuten gemiddelde waarden gedurende een beschouwing periode van een week.

Tabel 1 Spanningskwaliteit Netcode

Thuis en op kantoor is men aangesloten op het laagspanningsnet. In Nederland is de hoogte van de spanning in dit net ongeveer 230/400V. Om uitval of beschadiging aan apparatuur te voorkomen, zijn er regels gemaakt die grenzen stellen aan de maximale afwijking van de spanning. De netbeheerder is verantwoordelijk voor deze goede spanningskwaliteit in het elektriciteitsnet. De verantwoordelijkheid van de netbeheerder loopt tot aan het aansluitpunt. De installatie achter de elektriciteitsmeter is de verantwoordelijkheid van de klant. Wanneer er spanningsklachten voordoen, zal de klant eerst zelf onderzoeken of het niet aan de eigen installatie of apparatuur ligt. Als het probleem niet bij de klant ligt, kan er contact opgenomen worden met de netbeheerder. De netbeheerder start een onderzoek en als het nodig is worden er metingen uitgevoerd om de spanningskwaliteit vast te stellen.

In Nederland zijn de eisen gesteld aan de maximale en minimale waarde van de spanning. Voor het laagspanningsnet is bepaald dat de spanning op een aansluitpunt tussen 207 en 253V moet liggen. Als dat niet zo is, kan apparatuur niet of slecht werken. Spanningsvariatie wordt bijvoorbeeld veroorzaakt door duurzame en decentrale energieopwekking zoals zonnepanelen, windmolens en WKK's.

6.1.1 Spanningsverschijnselen

Hieronder wordt een korte toelichting gegeven over de belangrijkste spanningsverschijnselen. De netbeheerders bewaken deze verschijnselen en rapporteren hier jaarlijks over in het rapport “Spanningskwaliteit in Nederland”. De langzame spanningsvariatie komt het meeste voor en dat heeft te maken met de volgende factoren zoals etmaal- weekend- seizoen- en feestdag belastingen. De weergesteldheid speelt ook een rol bij de langzame spanningsvariatie.

- **Langzame spanningsvariatie:** In Nederland zijn eisen gesteld aan de maximale en minimale waarde van de spanning. Voor het laagspanningsnet is bepaald dat de spanning op een aansluitpunt tussen 207 en 253 Volt moet liggen. Als dat niet zo is kan een toestel niet of slecht werken. Spanningsvariatie wordt bijvoorbeeld veroorzaakt door duurzame en decentrale energieopwekking zoals zonnepanelen en windmolens.
- **Snelle spanningsvariatie:** Snelle spanningsvariatie staat bekend als flikker en komt door het in- en uitschakelen van apparaten die veel stroom nodig hebben zoals lasapparatuur en kopieermachines, strijkijzer, wasmachines, drogers en ovens. Dit verschijnsel kan knipperend licht veroorzaken, wat voor mensen hinderlijk kan zijn bij het lezen.
- **Spanningsasymmetrie:** Het elektriciteitsnet in Nederland bestaat uit drie fasen en een nul geleider. Men spreekt over spanningsasymmetrie als de fasespanning niet aan elkaar gelijk zijn. Asymmetrie komt door een verkeerde verdeling van de belastingen of opwekkers over de fasen. In de praktijk kan bijvoorbeeld de aansluiting van zonnepanelen op één fase voor asymmetrie zorgen. Asymmetrie kan storingen geven bij driefasen apparatuur.
- **Harmonische vervorming:** Bij vermogensregeling in bijvoorbeeld computers, magnetrons, spaarlampen worden zogenaamde harmonischen opgewekt. Als gevolg van deze harmonischen wordt de netspanning vervormd. Dat kan leiden tot extra energie verliezen en overbelasting of uitval van apparatuur
- **Spanningsdips:** Dit zijn kortdurende verlagingen van de spanning op een aansluitpunt. Spanningsdips worden gekenmerkt door een diepte en een tijdsduur. De oorzaak is vaak een kortsluiting in het elektriciteitsnet, bijvoorbeeld als gevolg van een kapotte kabel. Ook het in- en uitschakelen van een grote motor in een fabriek kan leiden tot spanningsdips. Voor de huishoudens zijn de meeste spanningsdips niet hinderlijk omdat ze vanwege de beveiligingsinstellingen bij de netbeheerder beperkt van omvang zijn.

6.1.2 Spanningskwaliteitsmetingen

In Nederland worden 500 weekmetingen per jaar gepland om de spanningskwaliteit te bepalen. De metingen worden verdeeld in twee groepen. Groep1 is 250 metingen in het laagspanningsnet en groep2 is 250 metingen in het middenspanningsnet. Sinds 2008 wordt de steekproef getrokken uit EAN-codes.

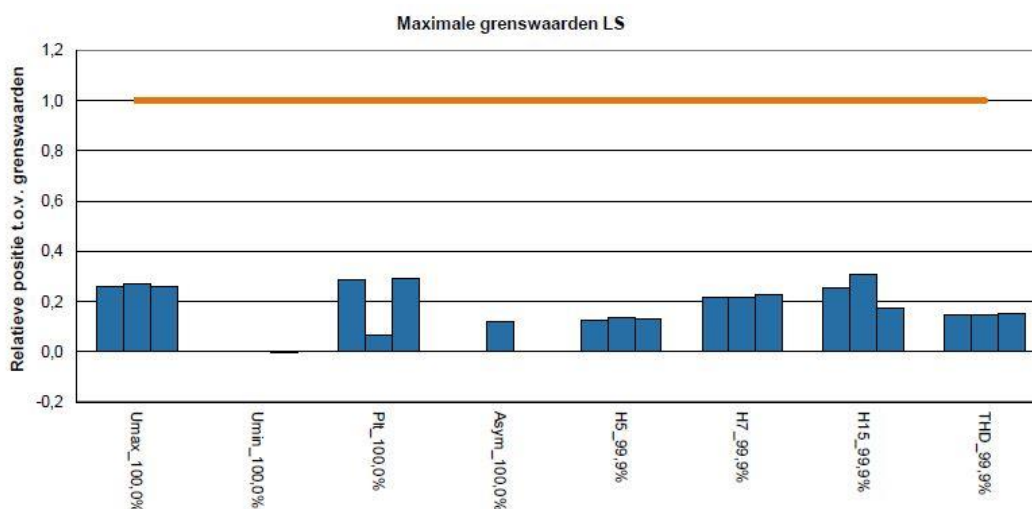
EAN staat voor Europees Artikel Nummer en is uniek voor elke klant aansluiting. De steekproefselectie moet representatief zijn en het is van belang dat deze niet selectief wordt uitgevoerd. Elke meting heeft eigen meetnummer en de meetlocatie wordt aangegeven doormiddel van de eerste vier cijfers van de postcode en de bijbehorende plaatsnaam. De in de steekproef getrokken EAN-codes worden gekoppeld aan een postcode.

Binnen of zoveel mogelijk in de buurt van deze postcode voert de netbeheerder een meting uit. Verder wordt er aangegeven welke netbeheerder verantwoordelijk is voor het elektriciteitsnet waarbinnen de meting is uitgevoerd. Aan de hand van de gemiddelde omgevingsadressendichtheid wordt bepaald wat de mate van de stedelijkheid is ter plaatse van de meetlocatie.

Tijdens het onderzoek is gekeken naar de spanningskwaliteit in Nederland en met name naar de laagspanning en de middenspanning. Wat er gelijk afgeleid kan worden is dat de spanningskwaliteit in Nederland zeer goed is. Daarom behoort de spanningskwaliteit van Nederland tot een van de beste ter wereld. Maar de vraag is waarom de netbeheerders zo veel willen regelen? Zolang men aan de Netcode voldoet zou het theoretisch voor de meeste gevallen goed moeten zijn, zie hierboven tabel 1. De netbeheerder moet zeker rekening houden met uitlopers in haar net die veel vermogen afnemen waardoor de spanning te veel varieert. Hieronder volgen aantal voorbeelden van meetresultaten spanningskwaliteit uit 2015 in Rotterdam en Den Haag.

6.1.3 Meetresultaten laagspanning Rotterdam

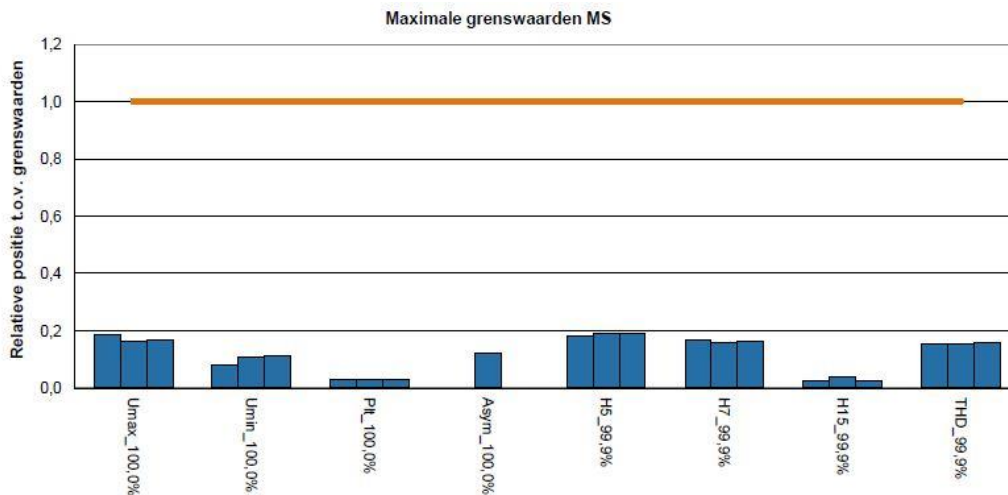
Hieronder is een meting te zien van de laagspanning in Rotterdam met het meetnummer LS213 uit een meetperiode van 23-03-2015 t/m 30-03-2015 waarbij gekeken wordt naar het spanningsniveau 230 V. Het gaat hier om een meting van de netbeheerder Stedin en zoals te zien is voldoen de meetresultaten aan de kwaliteitscriteria uit de Netcode Elektriciteit zie tabel 1. De reden hiervoor is dat de spanning bij Stedin geregeld wordt op een grenswaarde van (+1% en -1%) regelafwijking. Er kan geconcludeerd worden dat de regelafwijking voor de spanning in de meeste gevallen te krap wordt ingesteld en misschien is dat niet altijd nodig zolang er aan de Netcode voldaan wordt. Men moet wel rekening houden met uitlopers waarbij de spanningsval groot kan zijn.



Figuur 22 Spanningskwaliteitsmeting laagspanning Rotterdam

6.1.4 Meetresultaten middenspanning Den Haag

Hieronder is een meting te zien van de middenspanning in Den Haag met het meetnummer MS199 uit een meetperiode van 07-01-2015 t/m 14-01-2015 waarbij gekeken wordt naar het spanningsniveau 10 kV. Het gaat hier om een meting van de netbeheerder Stedin en zoals te zien is voldoen de meetresultaten aan de kwaliteitscriteria uit de Netcode Elektriciteit zie tabel 1. De reden hiervoor is dat de spanning bij Stedin geregeld wordt op een grenswaarde van (+1% en -1%) regelafwijking. Er kan geconcludeerd worden dat de regelafwijking voor de spanning in de meeste gevallen te krap wordt ingesteld en misschien is dat niet altijd nodig zolang er aan de Netcode voldaan wordt. Men moet wel rekening houden met uitlopers waarbij de spanningsval groot kan zijn.



Figuur 23 Spanningskwaliteitsmeting Den Haag

Samengevat is de spanningskwaliteit goed in Nederland en er wordt op dit moment veel geregeld. Zoals uit de bovenstaande figuren 22 en 23 afgeleid kan worden is, dat er ruim voldoende aan de Netcode voldaan wordt. Dat houdt in dat er dagelijks op veel plaatsen meer geregeld wordt dan het nodig is zie de bijlage. Door veel regelen wordt de onderhoudsinterval van een regelschakelaar verkort wat veel kosten met zich mee brengt en de kans op storingen verhoogt.

7. Huidige instellingen van de spanningsregeling

Voordat de splitsing plaats vond binnen Eneco ten gevolge van de Wet Onafhankelijk Netbeheer, waaruit Stedin en Joulz zijn voortgekomen, was Eneco een samengevoegd energiebedrijf van kleinere gemeentelijke energiebedrijven.

Eneco werd opgericht in 1995. De ontwikkelingen in de energiesector hadden niet alleen betrekking tot opwekking, transport en levering ook op organisatorisch vlak gebeurde er veel. Gas- en elektriciteitsbedrijven gingen steeds nauwer met elkaar samenwerken om zo een grotere efficiëntie te bereiken. In de loop van de jaren 80 vonden de eerste fusies plaats. De nieuwe energiebedrijven waren niet langer in gemeentelijke handen. Wel bleven de gemeenten als aandeelhouder bij de bedrijven betrokken. Inmiddels waren door fusies de energiebedrijven Den Haag, Dordrecht en Rotterdam ontstaan. In 1995 vormden ze samen een nieuwe organisatie ENECO. Het stond voor energie en communicatie, wat te maken had met de kabelactiviteiten van twee van de fusiepartners. Op dat moment was Eneco, met 1 miljoen klanten, het grootste energiebedrijf van Nederland.

De verschillende energiebedrijven hadden allemaal verschillende filosofieën over de spanningsregelingen voor transformatoren. Een voorbeeld hiervan is dat er in Den Haag een tijdvertraging van 67 seconden ingesteld werd en in Rotterdam was dat 4 minuten. In het gebied van Dordrecht en Den Haag vindt men voornamelijk Smit spanningsregelaars, dit zijn analoge regelingen. In Den Haag vindt men ook de spanningsregeling van A-Eberle REG-D. In de Delfland gebied vindt men onder andere het SPAU 341 relais van ABB en de Siemens PLC regeling. In Rotterdam vindt men allerlei verschillende spanningsregelingen bijvoorbeeld het Smit relais, SPAU 341 en de A-Eberle REG-D. De laatste genoemde spanningsregeling vindt men in het hele gebied in nieuwe en omgebouwde stations en waar oude spanningsregelingen vanwege defecten vervangen worden voor nieuwe. Samengevat zijn er de volgende spanningsregelingen te vinden in het Stedin net:

Soort relais	Welk gebied	Analoog / digitaal
Smit relais	Dordrecht Den Haag Rotterdam	Analoog
SPAU 341 C van ABB	Rotterdam Delft Zoetermeer	Digitaal
PLC van Siemens	Delft Zoetermeer Pijnacker Nootdorp	Digitaal
REG-D van A-Eberle	Den Haag Rotterdam Delft	Digitaal

Tabel 2 Verschillende soorten spanningsregelingen

Stedin Netbeheer heeft ook verschillende spanningsniveaus. De verschillende spanningsniveaus zijn 150, 50, 25, 23, 13, 10 en 0,4 kV en in de industriegebieden vindt men nog meer verschillende spanningsniveaus zoals 66 en 6 kV. De 150kV wordt niet door Stedin geregeld, maar de overige genoemde spanningsniveaus wel. Ook zijn er verschillende transformatoren te vinden in de gebieden. Zo zijn er bijvoorbeeld een aantal driewikkeltransformatoren, zoals een 150/25/10 kV transformator. Ook zijn er natuurlijk verschillende vermogens in het Stedin gebied te vinden. Dit varieert van 10 MVA tot 120 MVA regelbare transformatoren. In hoofdstuk 5 zijn drie uitvoeringen beschreven hoe de spanningsregeling van transformatoren uitgevoerd kan worden.

Na de fusie van de verschillende energiebedrijven die samen Eneco gingen vormen en ook nadat Stedin en Joulz in 2008 tot stand waren gekomen, is er geen algemene standaard gemaakt voor de instellingen van de spanningsregeling. Er is wel een standaard voor het type spanningsregeling en dat is het regelsysteem van A-Eberle REG-D.

Zoals hierboven beschreven is, was er na de splitsing van het voormalige Eneco, geen standaard voor de instellingen van de spanningsregeling. De eerste stap in het onderzoek was om er achter te komen of er op dit moment een beleid is voor de instellingen van de spanningsregeling. Binnen Stedin bepaalt en beschrijft de afdeling Asset Management het beleid met betrekking tot de aankoop en het beheer van de Assets van Stedin. Na oriënterend onderzoek bleek dat de afdeling Asset Management geen beleid heeft voor de instellingen van de spanningsregeling. Bovendien komt men verschillende versies van de instellingen tegen die waarschijnlijk zorgen voor onnodig veel regelen van de transformatoren en de beheersbaarheid van het onderhoud en voorspelbaarheid van het regelgedrag verslechteren.

De spanningsregeling dient zo ingesteld te worden dat er een optimum ontstaat tussen zo min mogelijk aantal schakelingen van de regelschakelaar en zo een klein mogelijke en een volgens de Netcode acceptabele spanningsafwijking. Hierdoor worden waarschijnlijk veel onnodige kosten en uitval bespaard. Belangrijk is dat het aantal schakelingen niet overschreden wordt, dit i.v.m. slijtage en versnelde onderhoudscyclus van de regelschakelaar. Men registreert en controleert aan het eind van het jaar de stappenteller van de regelschakelaar en dat wordt vergeleken met voorgaande jaren. Mocht een regelschakelaar teveel stappen hebben gemaakt dan kunnen er verschillende oorzaken zijn: De spanningsregeling staat te krap ingesteld of functioneert slecht, of er is nieuwe ongunstig belasting in het net bijgekomen.

Op het moment wordt het aantal stappen beperkt door een staffeling aan te brengen in de instellingen. Dit wordt gedaan om te voorkomen dat bij het regelen van een transformator op een hoger spanningsniveau, alle onderliggende transformatoren ook een regelstap maken. In Den Haag wordt over het algemeen een tijdfactor van 4 gebruikt en in Rotterdam een tijdfactor 2. De onderstaande formule geldt alleen voor de instel principe REG 5A/E wat op dit moment standaard gebruikt wordt bij Stedin.

$$\text{Reactietijd} = 30 \times \left(\frac{bw}{\text{deviation}} \right)^{1.6} \times \text{Tijdfactor}$$

bw = De bandbreedte of anders gezegd de toelaatbare regelafwijking die ingesteld wordt in % van de regelspanning (Setpoint) of als % van de nominale spanning en geeft maximaal toelaatbare spanningsvariatie aan. Dat kan positief als negatief zijn.

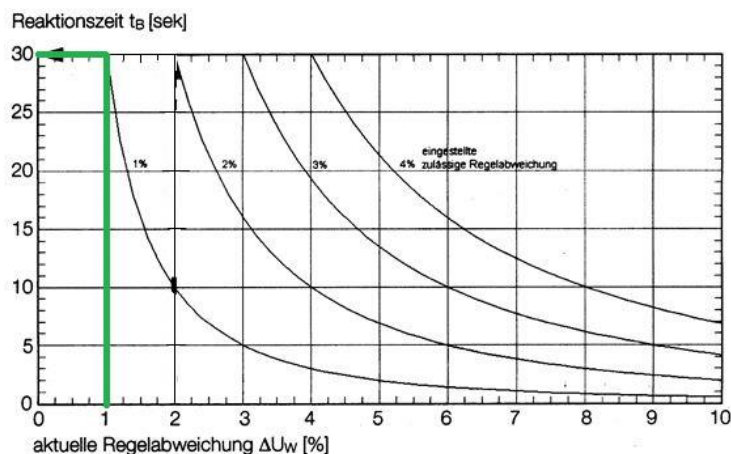
Deviation = De actuele regelafwijking in %. Bij grote spanningsafwijkingen moet de spanningsregeling sneller regelen dan bij kleine afwijkingen.

Tijdfactor = Een factor waarmee het aantal seconden uit de reactietijd mee vermenigvuldigd worden. Door de tijdfactor te verhogen zal een spanningsregeling langer wachten voordat er een commando gegeven wordt.

Hierbij een voorbeeld waarbij de formule wordt ingevuld aan de hand van de gegevens voor het station Ommoord Transformator 2 150/23kV:

Dit levert bijvoorbeeld voor een regelafwijking van 1% en bij een toelaatbare ingestelde afwijking van 1% bij een tijdfactor 4 een reactietijd op van 120 sec voordat de spanningsregeling een commando geeft. $\text{Reactietijd} = 30 \times \left(\frac{1\%}{1\%} \right)^{1.6} \times 4 = 120 \text{ sec.}$

Op dit moment wordt er gebruikt gemaakt van de instel principe REG 5A/E, zie figuur 24.



Figuur 24 Regelcurve REG 5A/E

Tijdens het onderzoek naar de huidige instellingen zijn er een aantal gesprekken gevoerd met verschillende personen binnen Joulz en Stedin. Uit de gevoerde gesprekken is gebleken dat er aantal instellingen proefondervindelijk bij het gemeentelijke energiebedrijven tot stand zijn gekomen. Helaas is dat nu nog steeds niet goed geregeld. Zo komt het regelmatig voor dat de spanningsregeling te krap ingesteld wordt en hierdoor de regelschakelaar behoorlijk gaat stappen. Er is in het verleden voorgekomen dat er een spanningsregeling opnieuw is ingesteld. De reden hiervoor was dat er veel gestapt werd en dat is natuurlijk ongewenst.

Hieronder worden twee voorbeelden gegeven van onderstation Anna van Buerenstraat in Den Haag waarin de grenswaarde verhoogd is. In 1982 stond de grenswaarde op (+1% en -1%) en dat is in 1985 veranderd naar een grenswaarde van (+1.3% en -1.3%). Waarom de grenswaarde veranderd is kan te maken hebben met te veel stappen per etmaal en de verhoogde spanning van 220V naar 230V landelijk.

Doc. Sprink. Toezicht. 2-13-49 Doc. no. 1

<i>D2</i>	Toegepast in <i>T.B. 10.2</i>	Juiste plaats <i>Schouwtoest</i>	AUTOMATISCHE SPANNINGSREGELING	Periodelijke controle <i>1. 1. 49</i>	Datum ingebruik <i>15-09-'48</i>										
Regeling met: SWITT elektronische regelaar type: ESR-30 SOSEN elektronische regelaar type:			Begrenzing % Overopspan. % Blokkeren % Herhaal tijd sec.	De regelaar en de gevoelsvinden en de schak- kelen worden van de Regelaar R.B. 3. direct aansluitend op R.B. 3. aange- sluit op de Spanningsregelaar en de R.B. 3. en de R.B. 3. worden aange- sluit op de Spanningsregelaar en de R.B. 3.											
Instelling: Regeling $101 \text{ V} \pm 1\% - 1,5\%$ Bewaking $101 \text{ V} \pm 1\% - 3,0\%$			Stroomcomp. 55% Impuls	Totaal te toelaten afwijking van de basisspanning: TOTAAL 0,3%											
MAXIMAAL TOELATBAAR AFWIJING VAN DE BASISSPANNING: TOTAAL 0,3%			Impuls												
		Reg. bij I=0 Amp (in V)	Reg. bij I=25 amp (in V)	Regeling	Bew. bij I=0 Amp (in V)	Bew. bij I=25 amp (in V)	Bewaking								
Opdracht	Datum	-1, % =	+1, % =	-1, % =	+1, % =	Tijd in sec.	-3,5% =	+3, % =	-3, % =	+3, % =	Tijd in sec.				
Bew. 1	11-10-48	100	101	100,8	100,8	103,8	104,8	67"	98	101	104	100,8	103,8	106,8	180"
Bew. 2	11-10-48	99,7	101	100,8	100,8	103,8	104,8	67"	98	101	104	100,8	103,8	106,8	180"
Bew. 3	11-10-48	100	101	100,8	100,8	103,8	104,8	67"	98	101	104	100,8	103,8	106,8	180"
Bew. 4	11-10-48	100	101	100,8	100,8	103,8	104,8	67"	98	101	104	100,8	103,8	106,8	180"
Bew. 5	11-10-48	100	101	100,8	100,8	103,8	104,8	67"	98	101	104	100,8	103,8	106,8	180"
Bew. 6	11-10-48	100	101	100,8	100,8	103,8	104,8	67"	98	101	104	100,8	103,8	106,8	180"
Bew. 7	11-10-48	100	101	100,8	100,8	103,8	104,8	67"	98	101	104	100,8	103,8	106,8	180"
Bew. 8	11-10-48	100	101	100,8	100,8	103,8	104,8	67"	98	101	104	100,8	103,8	106,8	180"

Figuur 25 Instellingen grenswaarde in 1982

B.4	Toegepast in juiste plaats Tijd Set B Schadeloos	AUTOMATISCHE SPANNINGSREGELING			Periodieke controle 4-11-13-24-4		Datum ingebruik 4-6-1985	
Regeling met SMIT elektronische regelaar type: ESR-20.		Begrenzing		%		STROOM AANSLUITING		
GG555 elektronische regelaar type: GG555		Overspann.		%		klem. 1 en 3 kortsluiten.		
De span. transformator met 100 V naar ca. 250 V		Blokkeren		90 %		klem. 1 en 3 open.		
Daarna moet de instelling van de basispanning 100% is vol.		Herhaaltijd		100 %		Aansluiten van ing. 2 en 3 naar STANSLUITING.		
Instelling: Regeling 104 V ± 12 %		Stroomoomp.		3,6 %		2 klem. 1 en 2 open.		
Bewaking 104 V ± 3,2 %		Impuls		3. sec.		Schuif. 2 en 3 open.		
MAXIMAAL TOELAATBARE AFWIJKING VAN DE BASISPANNING: TOTAAL 0,3%						Aansluiten van 2 en 3 naar 240 V.		

Opdracht	Datum	Reg. bij I=0 Amp (in V)	Reg. bij 2,5 Amp (in V)	Regeling	Bew. bij I=0 Amp (in V)	Bew. bij I=5 Amp (in V)	Bewaking
		-1,3 %	+	-1,3 %	+	-3,2 %	+
1. 10-10-85	100,0	102	103,2	103,6	103,0	105,0	100,0
2. 10-10-85	100,5	102	103,5	103,8	103,3	105,5	100,5
3. 10-10-85	104,5	106	107,5	107,8	107,0	109,0	104,5
4. 10-10-85	104,5	106	107,5	107,8	107,0	109,0	104,5

Figuur 26 Instelling grenswaarde in 1985

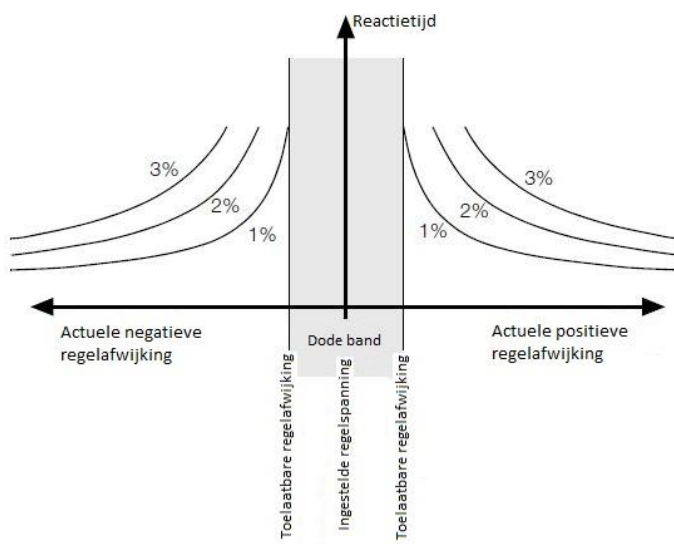
8. Voorstel instelling spanningsregeling

In dit hoofdstuk wordt er een voorstel gedaan voor de instellingen van de spanningsregeling. Zoals eerder in hoofdstuk 7 beschreven is, heeft Stedin verschillende spanningsregelingen in haar net. In het verzorgingsgebied van Stedin komen analoge en digitale spanningsregelingen voor. In dit hoofdstuk wordt alleen een voorstel gedaan voor de digitale spanningsregeling. Dat is gebaseerd op het feit dat de digitale spanningsregeling op dit moment de standaard is binnen Stedin.

De regelbare transformatoren bij Stedin die zijn uitgevoerd met een on-load regelschakelaar worden geregeld met behulp van een spanningsregeling. De spanningsregeling bepaalt aan de hand van een gemeten spanning aan de secundaire zijde van de transformator of de overzetverhouding van de transformator aangepast moet worden. Met aangepast wordt bedoeld of de spanningsregeling een commando hoger/lager moet geven. Afhankelijk van de grootte van de afwijking wordt een hoger/lager commando gegeven.

Voor de spanningsregeling zijn onder andere de volgende instelparameters van belang:

- Toelaatbare regelafwijking 0,1 ... 5%
- Setpoint waarde 80 ... 120 V
- Tijd verloop Integral, Fast Integral of REG 5A/E, Lineair en Constant
- Tijdfactor 0,1 ... 10
- Stroom beïnvloeding Wordt bij Stedin niet meer toegepast.
- Uitschakeling 0 ... 35%
- Snel schakeling omlaag 0 ... 35%
- Overspanning $U >$ 0 ... 25%
- Onderspanning $U <$ 0 ... -25%
- Snel schakeling omhoog 0 ... -35%
- Blokkering 0 ... -35%
- Overstroom $I >$ krijgt een signaal vanaf de Diff-relais
- Tijdvertraging 1 ... 999 s



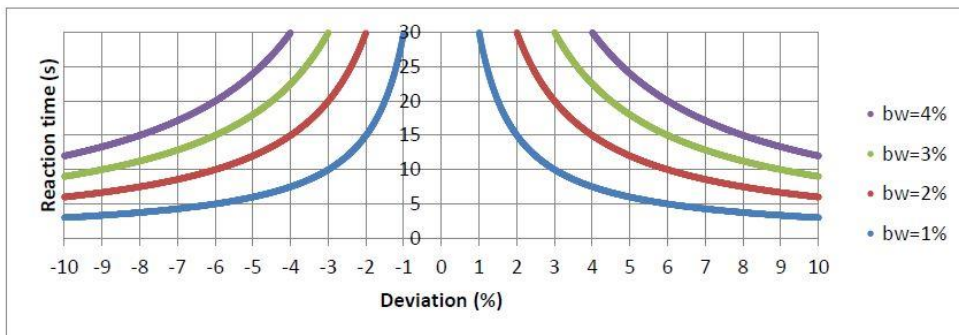
Figuur 27 Principe regelcurve spanningsregeling

De digitale spanningsregeling heeft vier verschillende regelkarakteristieken waarmee de spanning geregeld kan worden. De vier regelkarakteristieken waarmee de spanning geregeld wordt zijn: Integral, Fast Integral, lineair en Constant. Op dit moment wordt binnen Stedin op alle spanningsniveaus de Fast Integral met een regelafwijking van 1 % toegepast. Dat betekent dat de spanningskwaliteit zoals in hoofdstuk 6.1.3 en 6.1.4 te zien is behoorlijk scherp rond het ingestelde setpoint geregeld wordt.

8.1.1 Tijd verloop

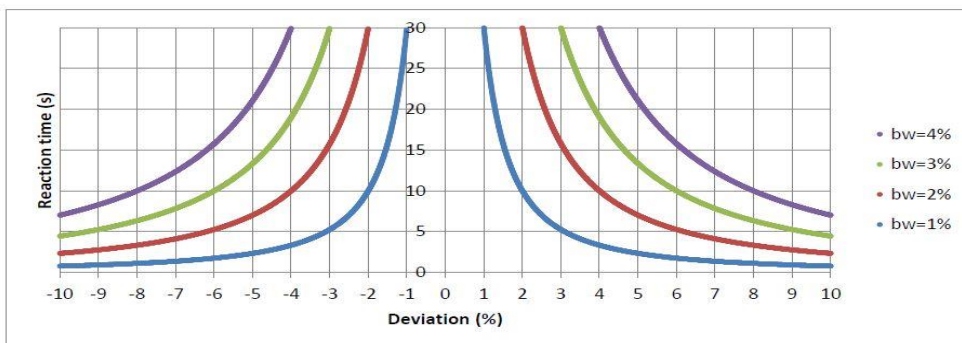
Wanneer de spanning hoger/lager wordt waardoor de ingestelde toelaatbare regelafwijking overschreden wordt, moet de spanningsregeling in grijpen. De tijd waarna een hoger/lager commando gegeven wordt is afhankelijk van het ingestelde regelkarakteristiek. De Lineaire en constante regelkarakteristieken worden buiten beschouwing gelaten omdat het bij Stedin niet toegepast mag worden.

Integral: Reactie tijd = $30 \times \left(\frac{bw}{Deviation}\right)$



Tabel 3 Integral regelkarakteristiek

Fast Integral: Reactie tijd = $30 \times \left(\frac{bw}{Deviation}\right)^{1.6}$

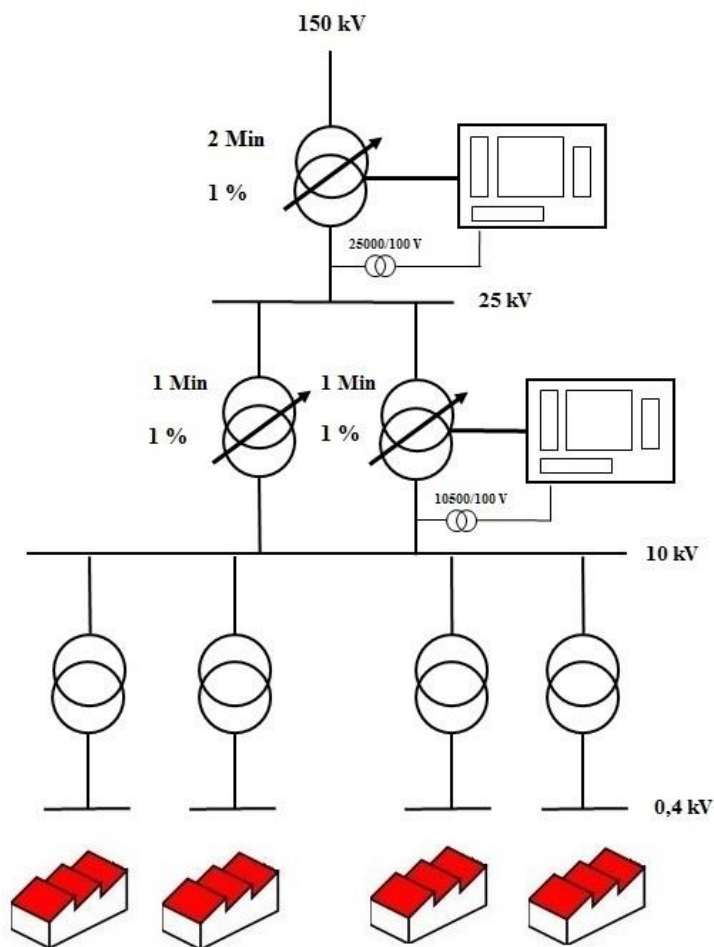


Tabel 4 Fast Integral regelkarakteristiek

De regelafwijking is het verschil tussen de werkelijke meetspanning en de ingestelde regelspanning (Setpoint). De toelaatbare regelafwijking wordt ingesteld in % van de regelspanning (Setpoint) of als % van de nominale spanning en geeft de maximale toelaatbare spanningsvariatie aan en dat kan zowel positief als negatief zijn zie tabel 3 en 4. Wanneer de spanning boven of onder de dode band komt moet de spanningsregeling ingrijpen. De bandbreedte moet groter zijn dan de spanningsvariatie per stap, om te voorkomen dat de spanningsregeling heen en weer pendelt. De regelafwijking moet groter zijn dan $0,6 \Delta U_{\text{stap}}$ in % van het setpoint of van U_{nom} .

8.1.2 Evaluatie huidige instelling spanningsregeling Den Haag

In dit hoofdstuk wordt de filosofie van de spanningsregeling uitgelegd hoe het in Den Haag toegepast wordt. Er is gekozen voor het hoogspanningsstation HVS-ZUID TH042 150/25 kV en voor één van de door dit station gevoede onderstation namelijk onderstation Hengelolaan TT054 25/10 kV. De filosofie van de spanningsregeling in Den Haag is voor de 150 naar 25 kV en de 25 naar 10 kV als volgt, zie figuur 28. In Den Haag wordt op de 150 kV een tijd factor 4 ingesteld en dat komt overheen met 2 minuten bij een toelaatbare regelfwijking van 1 % en de 25/10 kV heeft een tijdfactor 2 en dat komt overheen met 1 minuut bij een toelaatbare regelfwijking van 1%. Dat betekent dat er in Den Haag de spanning op de 10 kV veel meer geregeld wordt. Het onderstaande netschema, zie figuur 28, is een gesimplificeerd voorbeeld van de werkelijke situatie, maar dit doet geen afbreuk aan de principiële werking van de spanningsregeling in Den Haag. Hieronder worden de opbouw en de instellingen van de spanningsregeling (150/25 en 25/10 kV) in Den Haag schematisch toegelicht.



Figuur 28 Spanningsregeling Den Haag

De 150/25 kV spanningsregeling heeft de volgende instellingen zoals te zien is in tabel 5. De spanning op de 150 kV die niet door Stedin geregeld wordt heeft weinig last van spanningsvariaties waardoor men in Den Haag gekozen heeft om aan de 25 kV zijde een langere tijd in te stellen voor dat de spanningsregeling een commando hoger/lager geeft. Dit geeft gelijk ook een probleem dat er vaker door de onderliggende transformatoren geregeld moet worden in Den Haag.

Parameter	Instelling
Sollwert 1	25.5 kV
Sollwert 2	n.v.t.
Sollwert 3	n.v.t.
Sollwert 4	n.v.t.
Zulässige Regelabweichung	1% (n.b. toel. regelafwijking > 0,6 ΔU_{step})
Reglerzeitverhalten	REG 5A/E (Fast Int.)
Zeitfaktor	4

Tabel 5 Huidige instellingen 150/25 kV HVS-ZUID

Uitgaande van een instelling van 1 % voor de toelaatbare regelafwijking en een tijd factor 4 volgen de volgende commando tijden voor de hoogspanningsstation HVS-ZUID in Den Haag:

Actuele regelafwijking	Reactie tijd bij REG 5A/E	Reactie tijd x Tijdfactor
1 %	30 seconden	120 seconden
2 %	10 seconden	40 seconden
3 %	5 seconden	20 seconden
4 %	3 seconden	12 seconden

Tabel 6 Huidige reactie tijd HVS-ZUID 150/25 kV

Wanneer de spanning op het 150 kV niveau door een onbekende reden gaat variëren in HVS-ZUID, betekent automatisch dat de spanningsregeling op het 10 kV niveau als eerste een commando hoger/lager gaat geven. Dat heeft te maken met de snellere regeltijden van de 25/10 kV spanningsregelingen. Het is niet echt logisch wanneer, in dit voorbeeld, de spanning op de 25 kV verandert, dat de onderliggende transformatoren als eerste de spanning moeten herstellen. Theoretisch en vooral praktisch benaderd zou er gezegd worden dat de spanningsregeling de spanning moet herstellen waar het nodig is. Daarom is het van groot belang dat eerst de spanning op de 25 kV hersteld wordt.

Hieronder wordt een voorstel gedaan voor de spanningsregeling op het 150/25 kV niveau in HVS-ZUID. Hierdoor zal de spanningsregeling eerder reageren dan de onderliggende transformatoren bij een spanningsvariatie op de 25 kV.

Uitgaande van een instelling van 1 % voor de toelaatbare regelafwijking en een tijd factor 2 volgen de volgende commando tijden voor de hoogspanningsstation HVS-ZUID in Den Haag:

Actuele regelafwijking	Reactie tijd bij REG 5A/E	Reactie tijd x Tijdfactor
1 %	30 seconden	60 seconden
2 %	10 seconden	20 seconden
3 %	5 seconden	10 seconden
4 %	3 seconden	6 seconden

Tabel 7 Voorstel instellingen 150/25 kV HVS-ZUID

De 25/10 kV spanningsregeling heeft de volgende instellingen zoals te zien is in tabel 8. Dit is een onderstation waar de belasting niet veel varieert op een dag. De spanning op de 10 kV wordt in Den Haag over het algemeen krap ingesteld. Dat betekent dat de regelschakelaar veel stapt op jaarbasis en dat is natuurlijk niet nodig zolang aan de Netcode voldaan wordt.

Parameter	Instelling
Sollwert 1	10.6 kV
Sollwert 2	n.v.t.
Sollwert 3	n.v.t.
Sollwert 4	n.v.t.
Zulässige Regelabweichung	1% (n.b. toel. regelafwijking $> 0,6 \Delta U_{\text{step}}$)
Reglerzeitverhalten	REG 5A/E (Fast Int.)
Zeitfaktor	2

Tabel 8 Huidige instellingen 25/10 kV Hengelolaan

Uitgaande van een instelling van 1 % voor de toelaatbare regelafwijking en een tijd factor 2 volgen de volgende commandotijden voor de onderstation Hengelolaan in Den haag:

Actuele regelafwijking	Reactie tijd bij REG 5A/E	Reactie tijd x Tijdfactor
1 %	30 seconden	60 seconden
2 %	10 seconden	20 seconden
3 %	5 seconden	10 seconden
4 %	3 seconden	6 seconden

Tabel 9 Huidige reactie tijd 25/10 kV Hengelolaan

Hieronder wordt er een voorstel gedaan voor de spanningsregeling op de 25/10 kV voor het onderstation Hengelolaan in Den Haag zie tabel 10. Er wordt gekozen voor een tijdfactor 4 en dat komt overeen met 2 minuten bij een regelafwijking van 1%. Hierdoor zal de spanningsregeling wat langer gaan wachten voordat er een commando hoger/lager gegeven wordt. Dit betekent dat de spanningsregeling op het 10 kV niveau niet meer als eerste gaat regelen wanneer er een spanningsvariatie plaats vindt op het 25 kV niveau.

Er wordt ook een voorstel gedaan voor de regelkarakteristiek Integral die op dit moment binnen Stedin niet toegepast wordt, zie tabel 11. Wanneer er gekozen wordt voor de regelkarakteristiek Integral zal de spanningsregeling op het 10 kV niveau minder snel gaan regelen. De spanning zal nog steeds aan de Netcode voldoen en de regelschakelaar zal minder stappen.

Uitgaande van een instelling van 1 % voor de toelaatbare regelafwijking en een tijd factor 4 volgen de volgende commando tijden voor de hoogspanningsstation HVS-ZUID in Den Haag:

Actuele regelafwijking	Reactie tijd bij REG 5A/E	Reactie tijd x Tijdfactor
1 %	30 seconden	120 seconden
2 %	10 seconden	40 seconden
3 %	5 seconden	20 seconden
4 %	3 seconden	12 seconden

Tabel 10 Voorstel instellingen 25/10 kV Hengelolaan

Actuele regelafwijking	Reactie tijd bij Integral	Reactie tijd x Tijdfactor
1 %	30 seconden	120 seconden
2 %	15 seconden	60 seconden
3 %	10 seconden	40 seconden
4 %	7,5 seconden	30 seconden

Tabel 11 Voorstel regelkarakteristiek Integral Hengelolaan

9. Conclusie

In deze scriptie staan de onderzoekresultaten beschreven naar aanleiding van het onderzoek naar optimaliseren van de instellingen van de spanningsregeling binnen Stedin. Hieronder staan de belangrijkste conclusies op de gestelde vragen.

De digitale spanningsregeling die op dit moment een standaard is bij Stedin is een moderne relais om de spanning van transformatoren te kunnen regelen. Het bijzondere aan de digitale spanningsregeling is, dat er gebruikt wordt gemaakt van dynamische regelkarakteristiek waardoor bij grotere spanningsafwijkingen sneller geregeld wordt. Helaas wordt er op dit moment niet goed over nagedacht hoe de instellingen van de spanningsregeling tot stand zijn gekomen en waarom deze op dit moment zo ingesteld worden.

Heeft Stedin beleid voor de instellingen van de spanningsregeling?

De eerste stap in het onderzoek was om er achter te komen of er op dit moment een beleid is voor de instellingen van de spanningsregeling. Binnen Stedin bepaalt en beschrijft de afdeling Asset Management het beleid van de organisatie. Het beleid met betrekking tot de aankoop en het beheer van de assets van Stedin. Na oriënterend onderzoek bleek dat de afdeling Asset Management geen beleid heeft voor de instellingen van de spanningsregeling. Naar mijn mening is het belangrijk dat de afdeling Asset Management beleid opstelt met betrekking tot de instellingen van de spanningsregeling van de transformatoren in het net van Stedin. Dit om de beheersbaarheid van het onderhoud te verbeteren, de voorspelbaarheid van het regelgedrag te vergroten, de onderhoudskosten te beperken en de storingen die samenhangen met te veel schakelen van de regelschakelaar te verminderen.

Is optimaliseren wel nodig? Zo ja wat is het effect? Zo nee waarom niet?

Optimaliseren van de instellingen voor de spanningsregeling bij Stedin is op basis van dit rapport nodig en dat is gebaseerd op de spanningskwaliteitsmetingen in Den Haag en Rotterdam. Zoals uit de spanningskwaliteitsmetingen van Netbeheer Nederland te zien is, is er heel weinig spanningsvariatie in het net van Stedin in Den Haag en Rotterdam. Dit geeft aan dat de spanning zeer scherp geregeld wordt rondom het ingestelde setpoint wat meer schakelingen tot gevolg heeft en hiermee samenhangend meer onnodig onderhoud en een hogere faalkans met zich mee brengt. Elke onnodige stap betekent namelijk slijtage aan de regelschakelaar. Zolang aan de eisen van de minimale en maximale waarde van (207V en 253V) in de laagspanning voldaan wordt, is er geen noodzaak om meer te gaan regelen.

Heeft geaard/niet geaard net invloed op de optimalisering van de spanningsregeling?

Een geaard/niet geaard net heeft geen invloed op de spanningsregeling tijdens een kortsluiting. Omdat de kortsluitstromen redelijk hoog zijn en er wordt binnen enkele seconden afgeschakeld worden, heeft een star geaard net bij een kortsluiting geen impact op de spanningsregeling.

In een zwevend net wordt bij een fase- aardsluiting in een 10kV net de spanning van de niet getroffen fase ten opzichte van aarde $\sqrt{3}$ groter. Omdat de spanningsregeling de gekoppelde spanning ziet en dat is de gemeten spanning tussen twee fasen en niet fase- aardespanning, gaat de spanningsregeling niet regelen ten gevolgen van een aardfout in een zwevend net.

Is optimaliseren van de grenswaarde van (+1% en -1%) mogelijk?

De grenswaarde van (+1% en -1%) kan op basis van dit rapport zeker geoptimaliseerd worden. Dat is gebaseerd op de spanningskwaliteitsmetingen die zijn uitgevoerd in Den Haag en Rotterdam waaruit blijkt dat de langzame spanningsvariatie niet boven en onder 3% van de nominale norm spanning uitkomen (zie de figuren 25 en 26). Hieruit blijkt dat er de mogelijkheid is om de grenswaarde van de spanningsregeling te verhogen naar 1.5% a 2% terwijl er nog steeds aan de Netcode voldaan wordt.

Kan Stedin door de optimalisering van de spanningsregeling geld besparen op onderhoud van de regelschakelaar van de transformator?

Wanneer uit de spanningskwaliteitsmetingen blijkt dat de spanningsregeling na het optimaliseren van de instellingen per dag minder hoeft te regelen, zal de onderhoudsinterval verlengd worden. De precies verlengde interval moet in vervolgonderzoek onderzocht worden. Daar het in het net van Stedin om een groot aantal transformatoren met een conventionele regelschakelaar gaat, is het naar mijn mening mogelijk dat Stedin heel veel geld kan besparen op het onderhoud en het falen van deze regelschakelaars.

Stel dat Stedin de onderhoudsinterval van de 250 regelbare transformatoren met één jaar kan verlengen, dan betekent dat het volgende geldbedrag bespaard kan worden op het onderhoud van de regelschakelaars. De volgende rekensom is de minimale geld besparing die alleen geldt voor de inspectie van de regelschakelaar. Bij een inspectie wordt er niks anders gedaan dan het bekijken van de regelschakelaar en het vervangen van de olie en dat kost volgens de Firma Smit 4.000 euro. De overige kosten zoals vrijeschakelen, man uren en vervangende onderdelen zijn buiten beschouwing gelaten.

Aantal transformatoren x inspectie kosten = Minimale onderhoudskosten regelschakelaar

$250 \times 4000 = 1\,000\,000$ Euro.

10. Aanbevelingen

- Stedin netbeheer heeft op dit moment geen beleid voor de instellingen van de spanningsregeling. Daarom is het naar mijn mening van groot belang dat de afdeling Asset Management zo snel mogelijk met een beleid moet komen voor de instellingen. Goed beleid betekent meer duidelijkheid en minder onnodig regelen van de spanningsregeling.
- Er is binnen Stedin op dit moment ook geen goedgekeurde standaard voor de instellingen van de spanningsregeling. Daarom is het handig dat Stedin met een standaard komt voor de instellingen. Hierdoor geeft Stedin een duidelijk signaal hoe de instellingen moeten zijn waardoor de spanningsregeling overzichtelijk en voorspelbaar en het onderhoud beheersbaar blijft.
- Het is aanbevolen om in Den Haag op de 150/25 kV in HVS-ZUID te kiezen voor een kortere regeltijd. Hiermee zouden de onderliggende transformatoren niet meer als eerste regelen bij een spanningsvariatie op de 25 kV. Dat betekent dat de spanningsregelingen niet meer tegen elkaar in regelen bij een spanningsvariatie. Hieronder het voorstel voor de nieuwe tijden in HVS-ZUID:

Actuele regelafwijking	Reactie tijd bij REG 5A/E	Reactie tijd x Tijdfactor
1 %	30 seconden	60 seconden
2 %	10 seconden	20 seconden
3 %	5 seconden	10 seconden
4 %	3 seconden	6 seconden

- Uit de spanningskwaliteitsmetingen van Netbeheer Nederland is gebleken dat er in Den Haag op het 10 kV niveau behoorlijk vaak geregeld wordt. Daarom is het aanbevolen om in het onderstation Hengelolaan 25/10 kV de regeltijden en naar alle waarschijnlijkheid ook de regelkarakteristiek aan te passen.

Bij een afwijking van de spanning op het 25 kV niveau die de ingestelde grenswaarde overschrijdt, zullen de 25/10 kV transformatoren met de nieuwe voorgestelde instellingen niet meer als eerste op het 10 kV niveau de afwijking gaan corrigeren. De afwijking op het 25 kV niveau wordt nu, zoals het hoort, gecorrigeerd door de 150/25 kV transformator. Dit levert natuurlijk veel minder onnodige stappen op en hiermee wordt de onderhoudsinterval niet meer versneld. Men kan ook kiezen om de grenswaarde van (+1% en -1%) te verhogen. Hierdoor zal de dode band ruimer de spanning regelen.

Hieronder het voorstel voor het onderstation Hengelolaan 25/10 kV in Den Haag:

Actuele regelafwijking	Reactie tijd bij REG 5A/E	Reactie tijd x Tijdfactor
1 %	30 seconden	120 seconden
2 %	10 seconden	40 seconden
3 %	5 seconden	20 seconden
4 %	3 seconden	12 seconden

Actuele regelafwijking	Reactie tijd bij Integral	Reactie tijd x Tijdfactor
1 %	30 seconden	120 seconden
2 %	15 seconden	60 seconden
3 %	10 seconden	40 seconden
4 %	7,5 seconden	30 seconden

11. Reflectie verslag

In dit reflectie hoofdstuk blik ik terug op de stageperiode bij Stedin en naar het proces van de totstandkoming van deze scriptie. De leerpunten en het leerproces staan in deze scriptie. De afgelopen 17 weken ben ik intensief bezig geweest met mijn afstudeeropdracht. De leerpunten van het proces van de totstandkoming van de afstudeeropdracht staan in deze scriptie beschreven.

Op 09-02-2015 ben ik gestart met de laatste fase van mijn HBO studierichting Elektrotechniek. De opdracht komt van Stedin en wordt uitgevoerd binnen de organisatie Stedin. De opdracht is het optimaliseren van de spanningsregeling. Met het optimaliseren wordt bedoeld of de instellingen verbeterd kunnen worden zodat er minder geregeld wordt.

De eerste weken ben ik druk bezig geweest met opstellen van het plan van aanpak en de planning voor de komende 17 weken en heb deze aangeboden ter goedkeuring aan mijn schoolbegeleider en daarna aan mijn afstudeerbegeleider van Stedin. Toen het plan van aanpak goedgekeurd was, kon ik beginnen met afstuderen.

Persoonlijk vond ik het schrijven van de scriptie erg leuk en vooral leerzaam. Mijn begeleider, de heer Jelle van Velden, heeft mij heel goed geholpen tijdens mijn stageperiode. Mijn dank gaat ook naar de heer Mark Oskam die altijd klaar stond om mijn vragen te beantwoorden. Ook de collega's van Joulz en vooral de engineers hebben mij geholpen bij de vragen over de instellingen van de spanningsregeling. Mijn dank gaat naar de volgende collega's van Joulz: ing. Rene de Jongh, ing. Hemantkoemar Tewari en John Zegwaard.

Tijdens mijn stageperiode heb ik aantal hoogspanningsstations, onderstations en distributiestations bezocht in het verzorgingsgebied van Stedin netbeheer. Het was een bijzondere ervaring om te zien hoe de stations ingedeeld zijn. Wat ik heel bijzonder vind is dat er duidelijk zichtbaar is hoe de filosofieën van de gemeentelijk energie bedrijven toen ter tijd waren en hoe deze nog steeds toegepast worden

Door de verschillende gemeentes en verschillende filosofieën is er op dit moment geen standaard voor de instellingen van de spanningsregeling. Waar ik echt tegen aan liep is, dat de afdeling Asset Management geen beleid heeft voor de instellingen van de spanningsregeling en dat vind ik een slechte zaak. Hierdoor komen verschillende versies van de instellingen voor en dat is natuurlijk niet de bedoeling.

Ik hoop zelf dat er na mijn onderzoek een vervolg onderzoek komt om te kijken hoe men aan een standaard kan komen. Het is niet makkelijk om één standaard te maken voor alle gebieden, maar het maken van een algemene richtlijn moet tot de mogelijkheden behoren.

Bijlage

Bijlage 1 Bronvermeldingen

- [1] Operating Manual REG-D
- [2] Marktonderzoek spanningsregeling Eneco Energie
- [3] Standaardiseren spanningsregeling A-Eberle REG-D onderzoek
- [4] Netten voor distributie van elektriciteit - PHASE TO PHASE
- [5] Siemens training transformatoren
- [6] Netcode Elektriciteit artikel 31, onderdelen a en f van de Elektriciteitswet 1998
- [7] Training Energietransformatoren Kema Nederland B.V.
- [8] Vision Network Analysis
- [9] Energie Management Systeem programma
- [10] standaard toepassing: “Het spanningsregel systeem van EBERLE (REGSys)”
- [11] Netbeheer Nederland
- [12] SMIT regelschakelaars voor regelbare transformatoren
- [13] SMIT document waarom transformatoren en regelschakelaars
- [14] HV power: REG-D & REG-DA Voltage regulating Relays
- [15] Netwerk Stedin

Bijlage 2 Instellingen spanningsregelingen Stedin gebied

kV	Station	Tr	Sp.reg	Un_norm	Un_laag	dU	T	Via	Be-wak.	Umax	Umin
25 kV	Akzo	1	V904								
10 kV	Wellebrug	2	V901	10.400	10.100	1%	4 min	mo-dem	MMS	10.900	9.900
25 kV	Botlek-Oost	2	V904	25.625		1%	1 min		MMS	26.625	24.000
10 kV	Heemraadlaan	4	V902	10.500	10.200	1%	4 min	TF	MMS	10.900	9.900
10 kV	Hellevoet-sluys	3	V902	10.500	10.200	1%	4 min	TF	MMS	10.900	9.900
10 kV	Botlek	2	geen						geen		
25 kV	Botlek-West	2	V904	25.625		1%	1 min		MMS	26.625	24.000
10 kV	Europoort	2	V901	10.500	10.200	1%	4 min	mode m	MMS	10.900	9.900
25 kV	Europoort Oost	2	V902	25.600							
25 kV	Europoort West	2	V902	25.600							
20 kV	Europoort	1	geen						geen		
20 kV	Maasvlakte	1	geen						geen		
25 kV	Maasvlakte Tr 1	1	V904	25.600							
25 kV	Maasvlakte Tr 2	1	V904	25.600							
10 kV	Hoogvliet	2	V901	10.500	10.200	1%	4 min		MMS	10.900	9.900
25 kV	Oudeland Binnenrail	1	V902	25.600		1%	1 min		MMS	26.625	24.000
10 kV	Boomgaards-hoek	2	V904	10.500	10.200	1%	4 min	mode m	MMS	10.900	9.900
25 kV	Oudeland Buitenrail	1	V902	25.600		1%	1 min		MMS	26.625	24.000
25 kV	Theemsweg Oost	2	V904	25.600		1%	1 min		MMS	26.625	24.000
20 kV	Verolme	1	geen						geen		
10 kV	Gerbrandyweg	2	V902	10.500	10.200	1%	4 min	mode m	MMS	10.900	9.900
13 kV	Capelle Tr2	2	6GC1600	13.125	12.750	1%	4 min	mode m	EL-MES	13.625	12.375
13 kV	Capelle Tr1	1	6GC1600	13.125	12.750	1%	4 min	mode m	EL-MES	13.625	12.375
10 kV	Boomgaard-straat	4	V904	10.500	10.200	1%	4 min	TF	MMS	10.900	9.900

kV	Station	Tr	Sp.reg	Un_norm	Un_laag	dU	T	Via	Be-wak.	Umax	Umin
20 kV	Centrum Tr1	1	6GC1600	23.000	22.690	1%	1 min	TF	PUM	24.000	21.600
10 kV	Vlaggeman-straat	3	V901	10.500	10.200	1%	4 min	TF	MMS	10.900	9.900
20 kV	Centrum Tr2	1	6GC1600	23.000	22.690	1%	1 min	TF	PUM	24.000	21.600
10 kV	Rob.Fruin-straat	4	V901	10.500	10.200	1%	4 min	TF	MMS	10.900	9.900
10 kV	de Haak	2	V901	10.500	10.200	1%	4 min	mode m	MMS	10.900	9.900
20 kV	Franklin-straat Sectie 1	1	6GC1600	23.000	22.660	1%	1 min	mode m	PUM	24.000	21.600
20 kV	Franklin-straat Sectie 3/5	1	6GC1600	23.000	22.660	1%	1 min	mode m	PUM	24.000	21.600
10 kV	Vierhavens-straat	4	V901	10.500	10.200	1%	4 min	TF	MMS	10.900	9.900
10 kV	Spaanse Polder	4	6GC1600	10.500	10.200	1%	4 min	TF	MMS	10.900	9.900
10 kV	Vlaardingen West	3	V901	10.500	10.200	1%	4 min	mode m	MMS	10.900	9.900
10 kV	Vlaardingen Oost	3	V902	10.500	10.200	1%	4 min	mode m	MMS	10.900	9.900
10 kV	Schiedam Oost	4	V901	10.500	10.200	1%	4 min	mode m	MMS	10.900	9.900
10 kV	Schiedam Noord	2	6GC1400	10.500	10.200	1%	4 min	mode m	MMS	10.900	9.900
25 kV	Franklin-straat Sectie 2/4	2	6GC1600	25.600	25.250	1%	1 min	mode m	PUM	26.625	24.000
10 kV	Schiedam West	2	6GC1600	10.500	10.200	1%	4 min	mode m	MMS	10.900	9.900
25 kV	Ommoord Noord	2	V904	25.600	25.250	1%	1 min	TF	MMS	26.625	24.000
10 kV	Schiebroek	3	V901	10.500	10.200	1%	4 min	TF	MMS	10.900	9.900
20 kV	Schiebroek	1	geen						geen		
10 kV	Grindweg	2	6GC1600	10.500	10.200	1%	4 min	TF	MMS	10.900	9.900
20 kV	Hoofdweg	1	geen						geen		
10 kV	Roca	2	6GC1400	10.500	10.200	1%	4 min	TF	MMS	10.900	9.900
10 kV	Hoofdweg	3	V901	10.500	10.200	1%	4 min	TF	MMS	10.900	9.900

kV	Station	Tr	Sp.reg	Un_norm	Un_laag	dU	T	Via	Be-wak.	Umax	Umin
25 kV	Ommoord Zuid	1	V904	25.600	25.250	1%	1 min	TF	MMS	26.625	24.000
20 kV	Oostzeedijk	1	geen						geen		
10 kV	Oostzeedijk	3	6GC1600	10.500	10.200	1%	4 min	TF	MMS	10.900	9.900
10 kV	Alkemade-straat	3	6GC1400	10.500	10.200	1%	4 min	TF	MMS	10.900	9.900
10 kV	IJsselmonde	3	V901	10.500	10.200	1%	4 min	TF	MMS	10.900	9.900
10 kV	Persoonsdam	3	6GC1600	10.500	10.200	1%	4 min	TF	MMS	10.900	9.900
10 kV	Putselaan	4	v904	10.500	10.200	1%	4 min	TF	MMS	10.900	9.900
20 kV	Koedood	2	geen						geen		
20 kV	Waalhaven	2	geen						geen		
5 kV	Heyplaat	2							geen		
10 kV	Koedood	4	V901	10.500	10.200	1%	4 min	TF	MMS	10.900 \\	9.900
25 kV	Waalhaven	3	6GC1600	25.625	25.250	1%	1 min	mode m	PUM	26.625	24.000
10 kV	Grutto-straat	3	6GC1400	10.500	10.200	1%	4 min	TF	MMS	10.900	9.900
10 kV	Zuidwijk	3	V904	10.500	10.200	1%	4 min	TF	MMS	10.900	9.900

1 Spanningsregelaar Transformator 4 Middelharnis (150/50/10kV)

1.1 Instellingen REG D

1.1.1 Parameters

Parameter	Instelling
Sollwert 1	52,5kV
Sollwert 2	n.v.t.
Sollwert 3	n.v.t.
Sollwert 4	n.v.t.
Zulässige Regelabweichung	1% (n.b. toel. regelafwijking $> 0,6 \Delta U_{\text{step}}$)
Reglerzeitverhalten	REG 5A/E (Fast Int.)
Zeitfaktor	4
Strombeeinflussung	Keine
Parallelbetrieb	Master
Selbsthaltung	Ein
Stufenstellung	In
Hand/Auto Umschaltung	00:E5-A/E6-H
Stromanzeige	Ein
LCD Saver	Ein
Großanzeige	Ein
Autosperre bei ELAN-Fehler	Ein
Meting stroomtransformator (welke fase)	L2
Kni factor	1200
Meting spanningstransformator	L1-L3
Knu factor	500
Netzzusammenbruch	Aus
Zeit Laufampe	n.v.t. (via PAN-D)
H/T-Relais: Ein-Zeit (s)	Te bepalen per regelschakelaar
Stillsetzung bei $<I$ oder $I>$	Aus (blokkering $I>$ gebeurt via trafodiff en E7)
Auslösung	n.v.t.
Schnellrücksschaltung	+5%
Überspannung	6% (instellen i.v.m. melding naar SA systeem)
Underspannung	-6% (instellen i.v.m. melding naar SA systeem)
Schnellvorschaltung	-5%
Stillsetzung (voor te lage spanning)	-25% (Trafo spanningsloos, regeling blokkeert)
Schalerverzögerung Auslösung	0 s
Schalerverzögerung Schnellrücksschaltung	0 s
Schalerverzögerung Underspannung	0 s
Schalerverzögerung Überspannung	0 s
Schalerverzögerung Schnellvorschaltung	2 s (i.v.m. tijdsvertraging bij inschakelen)
Schalerverzögerung Stillsetzung	0 s

43

1 Spanningsregelaar Maasvlakte Tr.4 25kV

2 Instellingen REG D

2.1 Parameters

Parameter	Instelling
Sollwert 1	25,6kV (102,4V)
Sollwert 2	n.v.t.
Sollwert 3	n.v.t.
Sollwert 4	n.v.t.
Zulässige Regelabweichung	1% (n.b. toel. regelafwijking $> 0,6 \Delta U_{\text{stab}}$)
Reglerzeitverhalten	REG 5A/E (Fast Int.)
Zeitfaktor	4
Strombeeinflussung	Keine
Parallelbetrieb	Master
Selbsthaltung	Ein
Stufenstellung	In
Hand/Auto Umschaltung	00:E5-A / E6-H
Stromanzeige	Ein
LCD Saver	Ein
Großanzeige	Ein
Autosperre bei ELAN-Fehler	Aus
Meting stroomtransformator (welke fase)	L3
Kni factor	1600 $((800/5 + 800/5)/1)$
Meting spanningstransformator	L1-L2
Knu factor	250 (27500/110V)
Netzzusammenbruch	Aus
Zeit Lauflampe	n.v.t. (via PAN-D)
H/T-Relais: Ein-Zeit (s)	Te bepalen per regelschakelaar
Stillsetzung bei $<I$ oder $I>$	Aus (blokkering $I>$ gebeurt via trafodiff en E7)
Auslösung	n.v.t.
Schnellrücksschaltung	+5%
Überspannung	6% (instellen i.v.m. melding naar SA systeem)
Underspannung	-6% (instellen i.v.m. melding naar SA systeem)
Schnellvorschaltung	-5%
Stillsetzung (voor te lage spanning)	-25% (Trafo spanningsloos, regeling blokkeerd)
Schalterverzögerung Auslösung	0 s
Schalterverzögerung Schnellrücksschaltung	0 s
Schalterverzögerung Underspannung	0 s
Schalterverzögerung Überspannung	0 s
Schalterverzögerung Schnellvorschaltung	2 s (i.v.m. tijdsvertraging bij inschakelen)
Schalterverzögerung Stillsetzung	0 s

1 Spanningsregelaar Transformator 1 Bleiswijk 1 (25/10kV)

1.1 Instellingen REG D

1.1.1 Parameters

Parameter	Instelling
Sollwert 1	10,5kV (300V)
Sollwert 2	n.v.t.
Sollwert 3	n.v.t.
Sollwert 4	n.v.t.
Zulässige Regelabweichung	2% (n.b. toel. regelafwijking $> 0,6 \Delta U_{\text{step}}$)
Reglerzeitverhalten	REG 5A/E (Fast Int.)
Zeitfaktor	2
Strombeeinflussung	Keine
Parallelbetrieb	Keine
Selbsthaltung	Ein
Stufenstellung	In
Hand/Auto Umschaltung	n.v.t.
Stromanzeige	Ein
LCD Saver	Ein
Großanzeige	Ein
Autosperre bei ELAN-Fehler	Aus
Meting stroomtransformator (welke fase)	L2
K _{ni} factor	1250/5A
Meting spanningstransformator	L1-L3
K _{pu} factor	11000/110V
Netzzusammenbruch	Aus
Zeit Lauf Lampe	n.v.t. (via PAN-D)
H/T-Relais: Ein-Zeit (s)	Te bepalen per regelschakelaar
Stillsetzung bei <I oder I>	Aus (blokkering I> gebeurt via trafodiff en E7)
Auslösung	n.v.t.
Schnellrücksschaltung	+5%
Überspannung	6% (instellen i.v.m. melding naar SA systeem)
Underspannung	-6% (instellen i.v.m. melding naar SA systeem)
Schnellvorschaltung	-5%
Stillsetzung (voor te lage spanning)	-25% (Trafo spanningsloos, regeling blokkeerd)
Schalterverzögerung Auslösung	0 s
Schalterverzögerung Schnellrücksschaltung	0 s
Schalterverzögerung Underspannung	0 s
Schalterverzögerung Überspannung	0 s
Schalterverzögerung Schnellvorschaltung	2 s (i.v.m. tijdsvertraging bij inschakelen)
Schalterverzögerung Stillsetzung	0 s

1 Spanningsregelaar TT042 ZTM1 Transformator (25/10kV)**2 Instellingen REG D****2.1 Parameters**

Parameter	Instelling
Sollwert 1	10,5 kV (105V)
Sollwert 2	n.v.t.
Sollwert 3	n.v.t.
Sollwert 4	n.v.t.
Zulässige Regelabweichung	1 % (n.b. toel. regelafwijking $> 0,6 \Delta U_{\text{stap}}$)
Reglerzeitverhalten	REG 5A/E (Fast Int.)
Zeitfaktor	2
Strombeeinflussung	Keine
Parallelbetrieb	n.v.t.
Selbsthaltung	Ein
Stufenstellung	In
Hand/Auto Umschaltung	00:E5-A / E6-H
Stromanzeige	Ein
LCD Saver	Ein
Großanzeige	Ein
Autosperre bei ELAN-Fehler	Aus
Meting stroomtransformator (welke fase)	L2
Kni factor	240 (1200/5)
Meting spanningstransformator	L1-L2-L3
Knu factor	100 (10000/100V)
Netzzusammenbruch	Aus
Zeit Laufflampe	n.v.t. (via PAN-D)
H/T-Relais: Ein-Zeit (s)	Aus (Te bepalen per regelschakelaar)
Stillsetzung bei $<I$ oder $I>$	Aus (blokkering $I>$ gebeurt via trafodiff en E7)
Auslösung	n.v.t.
Schnellrücksschaltung	+5%
Überspannung	6% (instellen i.v.m. melding naar SA systeem)
Underspannung	-6% (instellen i.v.m. melding naar SA systeem)
Schnellvorschaltung	-5%
Stillsetzung (voor te lage spanning)	-25% (Trafo spanningsloos, regeling blokkeerd)
Schalerverzögerung Auslösung	0 s
Schalerverzögerung Schnellrücksschaltung	0 s
Schalerverzögerung Underspannung	0 s
Schalerverzögerung Überspannung	0 s
Schalerverzögerung Schnellvorschaltung	2 s (i.v.m. tijdsvertraging bij inschakelen)
Schalerverzögerung Stillsetzung	0 s

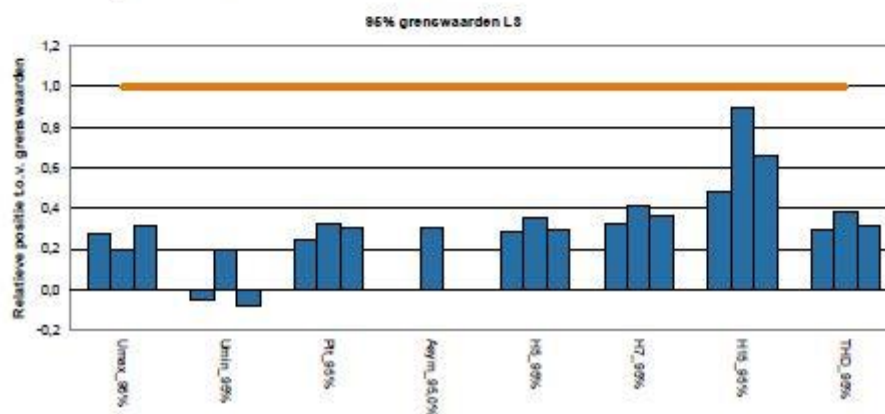
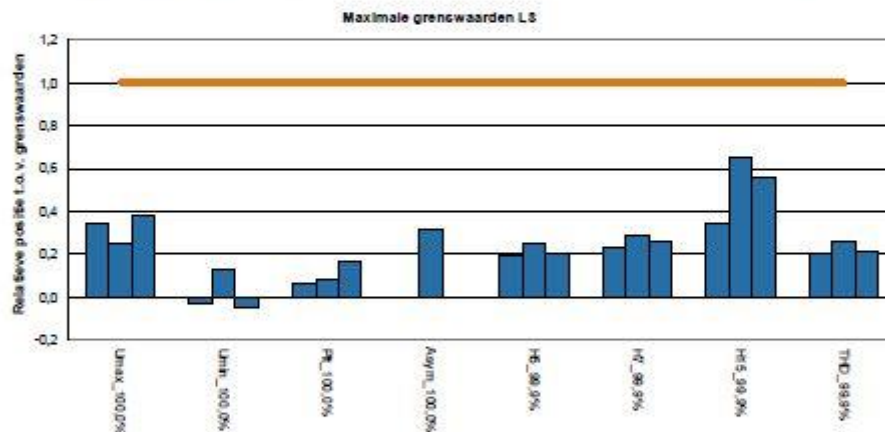
Bijlage 3 Spanningskwaliteitsmetingen Netbeheer Nederland

Meetresultaten spanningskwaliteit LS

Gegevens meting	
Meetnummer	LS207
Meetlocatie	2265, Leidschendam
Netbeheerder	Stedin
Stedelijkheid	Sterk stedelijk
Spanningsniveau	230 V
Meetperiode	19-02-2015 t/m 26-02-2015
Voldoet aan kwaliteitscriteria	Ja

Voldoen de meetresultaten aan de kwaliteitscriteria uit de Netcode Elektriciteit?

Verschuiving	Netcode
Langzame spanningsvariatie	✓
Snelle spanningsvariatie (Plt)	✓
Spanningsasymmetrie	✓
Totale harmonische vervorming (THD)	✓
Individuele harmonischen (2 t/m 25)	✓

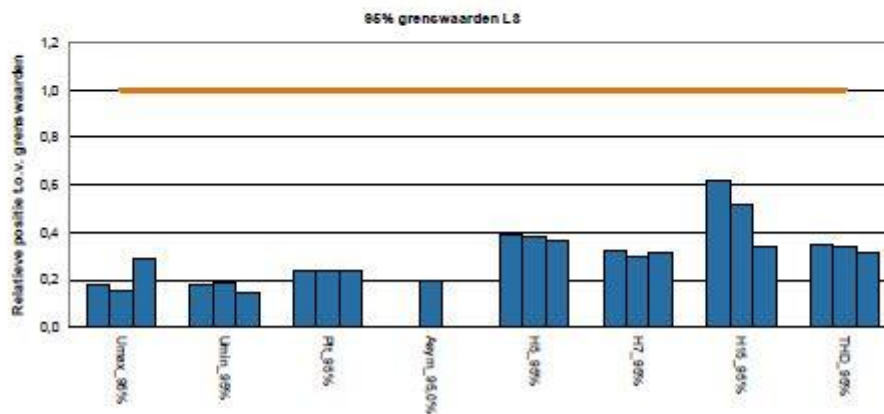
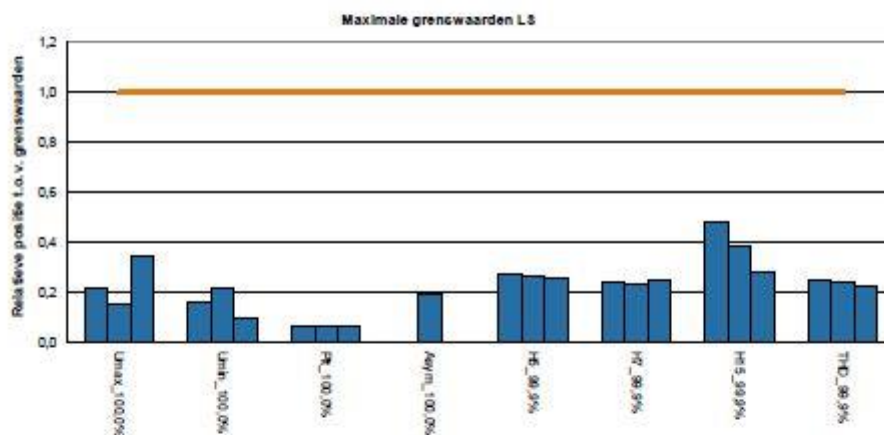


Meetresultaten spanningskwaliteit LS

Gegevens meting	
Meetnummer	LS204
Meetlocatie	3813, Amersfoort
Netbeheerder	Stedin
Stedelijkheid	Sterk stedelijk
Spanningsniveau	230 V
Meetperiode	03-02-2015 t/m 10-02-2015
Voldoet aan kwaliteitscriteria	Ja

Voldoen de meetresultaten aan de kwaliteitscriteria uit de Netcode Elektriciteit?

Verschuiving	Netcode
Langzame spanningsvariatie	✓
Snelle spanningsvariatie (Plt)	✓
Spanningsasymmetrie	✓
Totale harmonische vervorming (THD)	✓
Individuele harmonischen (2 t/m 25)	✓

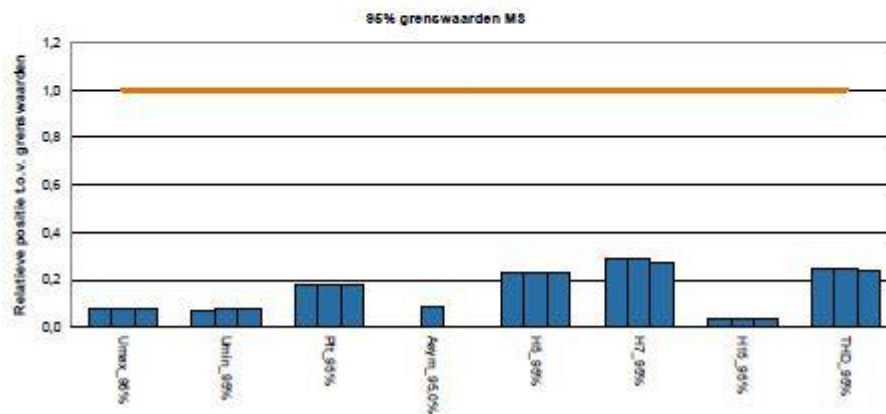
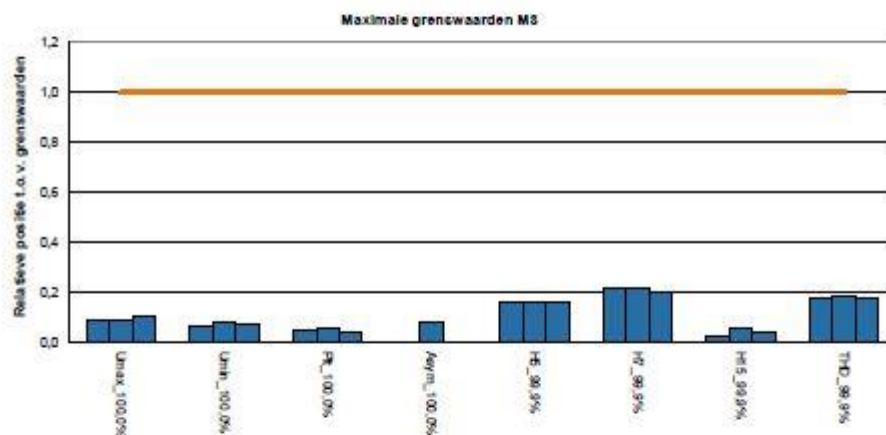


Meetresultaten spanningskwaliteit MS

Gegevens meting	
Meetnummer	MS203
Meetlocatie	2718, Zoetermeer
Netbeheerder	Stedin
Stedelijkheid	Sterk stedelijk
Spanningsniveau	23 kV
Meetperiode	06-01-2015 t/m 13-01-2015
Voldoet aan kwaliteitscriteria	Ja

Voldoen de meetresultaten aan de kwaliteitscriteria uit de Netcode Elektriciteit?

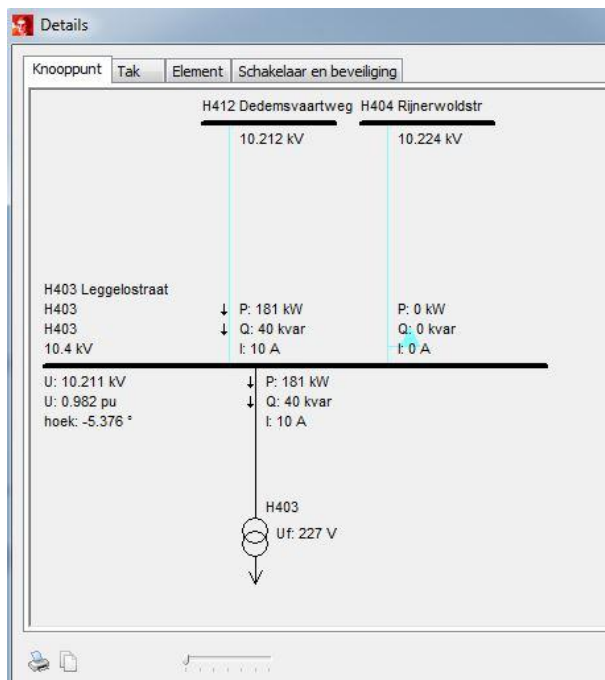
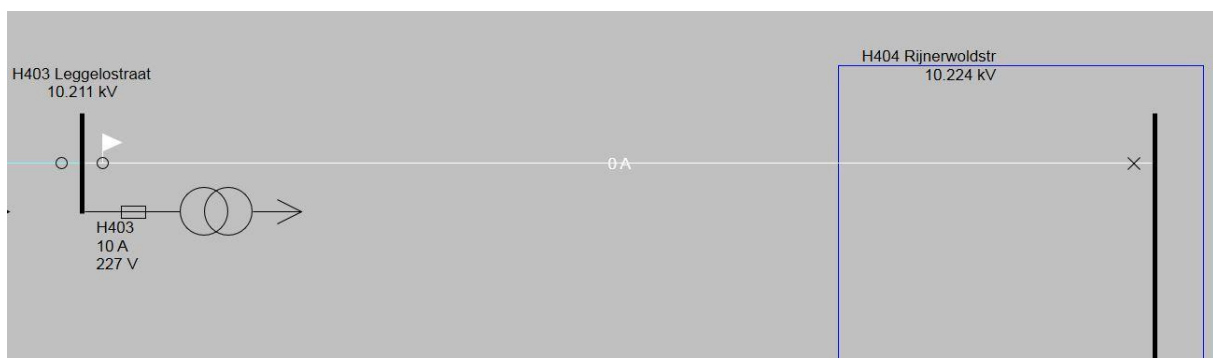
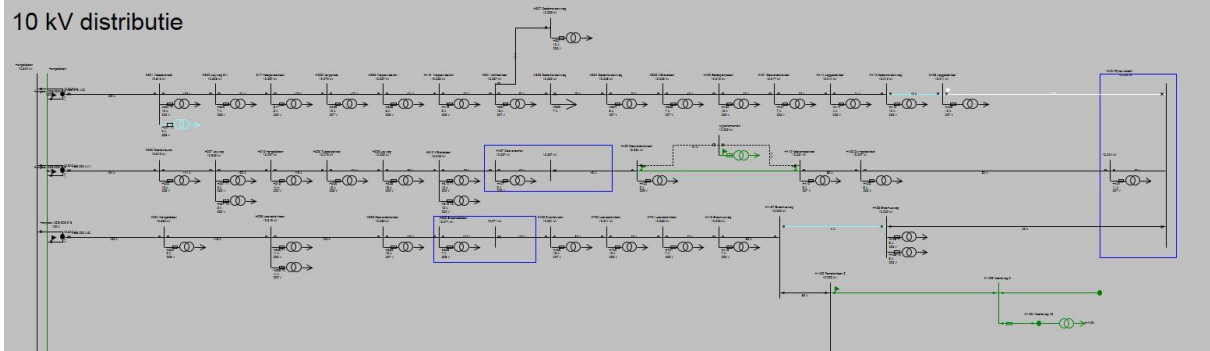
Verschuiving	Netcode
Langzame spanningsvariatie	✓
Snelle spanningsvariatie (Plt)	✓
Spanningsasymmetrie	✓
Totale harmonische vervorming (THD)	✓
Individuele harmonischen (2 t/m 25)	✓



Bijlage 4 fase- aardsluiting zwevend net

Details							
Knooppunt	Tak	Element	Schakelaar en beveiliging				
			ABCOUDE	BOS EN KALIS 4	BOSLN.	E.B. VINKEVEEN	GROENLANDSEKADE 2 LOENERSLOOT DORP MOLENEIND 1
			Uab: 10,078 kV Ubc: 9,990 kV Uca: 10,186 kV	Uab: 10,533 kV Ubc: 10,440 kV Uca: 10,645 kV	Uab: 10,224 kV Ubc: 10,134 kV Uca: 10,333 kV	Uab: 10,543 kV Ubc: 10,450 kV Uca: 10,656 kV	Uab: 10,456 kV Ubc: 10,364 kV Uca: 10,567 kV
			L084163	L000299	L002224	L057037	L000671
							L001708
							L002372
50KV ST. VINKEVEEN 3812 8450KV 10,5 kV			Ia: 225 A Ib: 226 A Ic: 217 A	Ia: 5 A Ib: 8 A Ic: 6 A	Ia: 110 A Ib: 112 A Ic: 104 A	Ia: 113 A Ib: 114 A Ic: 108 A	Ia: 113 A Ib: 117 A Ic: 107 A
			Ia: 97 A Ib: 100 A Ic: 91 A	Ia: 246 A Ib: 16 A Ic: 11 A			
Uab: 10,545 kV 42,50 ° Ubc: 10,453 kV -76,50 ° Uca: 10,658 kV 163,43 °							

Bijlage 5 Spanningsverlies representatief middenspanningsstation



Bijlage 6 Transformator tellerstanden registratie

A		B		C		D		E		F		G		H		I		J		K		L		M		N		O		P	
		Locatie				Transformator								Stand inspectie		Huidige stand								Revisie							
		Adres		Trafo		Fabrikaat		Nummer		Regelschakelaar type		Verzvervd J/N		Datum (dd-mm-yy)		Aantal (dd-mm-yy)		Aantal		Saldo		Gem. aantal slagen per		Interval (slagen)		Interval (jaren)		Aantal slagen tot revisie			
16	Diepenburchstr. TR2	2	Trafo Union	S250190	CRND									2011	80394	2014	80874	480	131	50000	5	49.520									
17	Diepenburchstr. TR3	3	Volta Werke	60007-001	Onbekend									2010	191715	2014	220793	29078	6.519	50000	5	20.922									
18	Vleerstraat TR5	5	A.E.G.	81/23613	CRNA									2011	128890	2014	130408	1518	413	50000	5	48.482									
19	Vleerstraat TR6	6	A.E.G.	81/25051	CRNA									2011	162891	2014	164140	1249	344	50000	5	48.751									
20	Vleerstraat TR7	7	Tironi	E6695	Rll									2013	63592	2014	70421	6829	3.841	50000	5	43.171									
21	Vleerstraat TR8	8	Tironi	E6696	Rll									2010	67044	2014	91990	24946	5.955	50000	5	25.054									
22	Hengelolaan TR3	3	Volta Werke	437245	EIII									2011	92695	2014	104415	11720	3.195	50000	5	38.280									
23	Hengelolaan TR4	4	Volta Werke	437244	EIII									2011	120601	2014	148559	27958	7.627	50000	5	22.042									
24	Cartesiusstraat TR2	2	Dominit	H6818079	EDIII									2011	246780	2014	273420	26640	7.289	50000	5	23.360									
25	Cartesiusstraat TR3	3	Dominit	H6919440	EDIII									2010	65762	2014	67432	1670	375	50000	5	48.330									
26	Cartesiusstraat TR5	5	Dominit	H6919439	EDIII									2010	131075	2014	163650	32575	7.312	50000	5	17.425									
27	Laagveen TR1	1	Smit	201928	TSS36									2010	274624	2014	315455	40831	9.171	50000	5	9.169									
28	Laagveen TR2	2	Smit	219523	TSS									2010	106363	2014	148886	42523	9.569	50000	5	7.477									
29	Laagveen TR3	3	Smit	219524	TSS									2013	107241	2014	107829	588	339	50000	5	49.412									
30	Vijzelstraat TR1	1	Smit	219251	TSS									2011	88572	2014	90029	1457	399	50000	5	48.543									
31	Vijzelstraat TR2	2	Smit	220016	MIII									2011	146840	2014	164679	17839	4.888	50000	5	32.161									
32	Vijzelstraat TR3	3	Smit	219252	TSS									2014	104551	2014	108684	4133	4.835	50000	5	45.867									
33	N. Schoolstraat TR1	1	Trafo Union	S250068	CRND									2013	73753	2014	83277	9524	5.365	50000	5	40.476									
34	N. Schoolstraat TR2	2	Tironi	D9541	Rll									2011	125350	2014	144768	19418	5.325	50000	5	30.582									
35	N. Schoolstraat TR3	3	Trafo Union	S250069	CRND									2013	136973	2014	137507	534	275	50000	5	49.466									
36	Televisiestraat TR2	2	Dominit	H6818080	EDIII 500									2014	128148	2014	235098	106950	124.718	50000	5	-56.950									
37	Televisiestraat TR3	3	Etra 33	78302	VRC3 700									2014	1744	2014	2372	628	#DEELUO1	50000	5	49.372									
38	Wegastraat TR1	1	Trafo Union	81/25954	CRND									2012	190680	2014	209295	18615	7.236	50000	5	31.385									
39	Wegastraat TR2	2	Tironi	F2634										2010	1	2014	42821	42820	9.565	50000	5	7.180									
40	Wegastraat TR3	3	Trafo Union	81/25953	CRND									2013	71045	2014	72390	1345	906	50000	5	48.655									
41	Boulensstraat TR1	1	Tironi	E1623	MIII									2013	126695	2014	142055	15360	8.733	50000	5	34.640									
42	Boulensstraat TR2	2	Tironi	E1624	MIII									2013	5261	2014	5775	514	290	50000	5	49.486									
43	Boulensstraat TR3	3	Dominit	H6818077	EDIII									2014	170087	2014	177197	7110	14.181	50000	5	42.890									
44	Populierlaan TR1	1	Volta Werke	60013/001	EDIII									2011	35236	2014	46203	10967	3.014	50000	5	39.033									
45	Populierlaan TR2	2	Dominit	H6616850	EDIII									2013	192310	2014	192754	444	412	50000	5	49.556									
46	Treubstraat TR1	1	Dominit	H6616852	EDIII									2011	171592	2014	197273	25681	7.074	50000	5	24.319									
47	Treubstraat TR2	2	Volta Werke	60295/001	EDIII									2011	89823	2014	92782	2959	815	50000	5	47.041									
48	Treubstraat TR3	3	Dominit	H6616851	EDIII									2011	120231	2014	146234	26003	7.152	50000	5	23.997									
49	Treubstraat TR4	4	Smit	221103	Rll									2012	58126	2014	89810	31684	12.303	50000	5	18.316									
50	Noordsingel TR1	1	Smit	216811	TSS36									2014	186685	2014	197095	10410	12.417	50000	5	39.590									
51	Noordsingel TR3	3	Smit	216810	TSS36									2014	167621	2014	176940	9319	11.152	50000	5	40.681									
52	Leidschenveen TR1	1	Smit	134503										2012	16060	2014	21016	4956	1.922	50000	5	45.044									
53	Hengelolaan TR2	2	Tironi	F3576	Rll									2011	1	2014	12899	12898	3.519	50000	5	37.102									
	Televisiestraat TR3	3	Dominit	H6818081	EDIII					vervallen				2009	101000	2011	111976	10976	4.461	50000	5	39.024									

Bijlage 7 REG-D standaard

Ingang	Functie
E1	Standmelding t.b.v. Parallelregeling
E2	Standmelding t.b.v. Parallelregeling
E3	Standmelding t.b.v. Parallelregeling
E4	Standmelding t.b.v. Parallelregeling
E5	Auto (Niet vrij programmeerbare ingang)
E6	Hand (Niet vrij programmeerbare ingang)
E7	Blokkeren spanningsregeling op overbelasting van de Trafo
E8	Signaleren/Blokkeren Sentinel beveiliging
E9	Vrij programmeerbaar
E10	Vrij programmeerbaar
E11	Vrij programmeerbaar
E12	Vrij programmeerbaar
E13	Vrij programmeerbaar
E14	Vrij programmeerbaar
E15	Vrij programmeerbaar
E16	Vrij programmeerbaar
E17	BCD 1 (Standmelding regelschakelaar)
E18	BCD 2 (Standmelding regelschakelaar)
E19	BCD 4 (Standmelding regelschakelaar)
E20	BCD 8 (Standmelding regelschakelaar)
E21	BCD 10 (Standmelding regelschakelaar)
E22	BCD 20 (Standmelding regelschakelaar)
E23	Vrij programmeerbaar
E24	Vrij programmeerbaar
E25	Vrij programmeerbaar
E26	Vrij programmeerbaar
E27	Vrij programmeerbaar
E28	Vrij programmeerbaar
E29	Interface met SA (Niet vrij programmeerbaar)
E30	Interface met SA (Niet vrij programmeerbaar)
E31	Interface met SA (Niet vrij programmeerbaar)
E32	Interface met SA (Niet vrij programmeerbaar)

Uitgang	Functie	klem
REL-01	Spanning omhoog	81-84
REL-02	Spanning omlaag	85-88
REL-03	Vrij programmeerbaar	
REL-04	Vrij programmeerbaar	
REL-05	Vrij programmeerbaar	
REL-06	Vrij programmeerbaar	
REL-07	Vrij programmeerbaar	
REL-08	Vrij programmeerbaar	
REL-09	Vrij programmeerbaar	

Bijlage 6 Instellingen

KNU:

Gegeven: U-trafo 27500V/220V/V3

Gegeven: Tussenspanningstrafo 220V/100V

KNU: $27500/100 = 275$

KNI:

Gegeven: 300/5A

KNI: $300/5 = 60$

Setpoint (1):

Gegeven: gewenst primair spanningsniveau 25kV

Setpoint (1) is dan: $25000/27500 \times 100 = 90,9 \text{ V}$ (afronden op 1 decimaal!)

Toegelaten regelafwijking:

1% Indien daar van moet worden afgeweken, dit motiveren met behulp van een berekening!

Regelkromme:

REG-5/E, Kleine afwijking meetspanning = lange reactietijd, grote afwijking de spanningsregelaar de meetspanning = korte reactietijd v

Tijdfactor:

Standaard 4, indien noodzakelijk i.v.m. spanningshuishouding (snelle spanningswisselingen) verkorten naar 2.

Hoe lager de tijdfactor staat hoe vaker de spanningsregeling regelt, waardoor de onderhoudskosten aan de transformator regelaars zullen toenemen.

Configuratie:

LCD-Schoner activeren (LCD wordt automatisch uitgeschakeld om slijtage en energieverlies te voorkomen).

Grossanzeige activeren (De trapstand aanduiding, en de afwijking van de meetspanning worden extra groot weergegeven).

2015

AFSTUDEERSCRIPTIE

Optimaliseren van de spanningsregeling

© copyright 2015 Afstudeerscriptie Stedin B.V. te Delft.

Het auteursrecht, ook ten aanzien van artikel 15 Aw, wordt uitdrukkelijk voorbehouden. Fouten en wijzigingen zijn altijd onder voorbehoud. Bezoekadres: Stedin B.V. Energieweg 20, 2627 AZ Delft.

Voor vragen over het rapport digitaal: kowist1987@hotmail.com

Auteur: 602492

