



Afstudeerrapport

De stap maken van time-based naar condition-based maintenance van een vermogensschakelaar



Auteur:	Stefan Nieuwenhuis
Datum:	16-05-2021
Versie:	1.0 – definitief
Studentnummer:	373283
Hogeschool:	Hanzehogeschool
Opleiding:	Elektrotechniek
Afstudeerbegeleider:	1 ^e docent: Jeen Postma 2 ^e docent: Christian van Someren
Opdrachtgever:	Omexom Assen
Bedrijfsbegeleiders:	Andre Timmermans Mateusz van Strien
Status:	Openbaar

Afstudeerrapport

Student: Stefan Nieuwenhuis
[Redacted]

Hogeschool: Hanzehogeschool
[Redacted]

1^e afstudeerbegeleider: Jeen Postma
[Redacted]

2^e afstudeerbegeleider: Christian van Someren
[Redacted]

Afstudeerbedrijf: Omexom Assen
[Redacted]

1^e begeleider bedrijf: Andre Timmermans
[Redacted]

2^e begeleider bedrijf: Mateusz van Strien
[Redacted]

GEZIEN OMEXOM					
OPGESTELD DOOR		VERIFICATIE DOOR		VRIJGEGEVEN DOOR	
Omexom		Omexom		Omexom	
Naam: S. Nieuwenhuis		Naam: M. van Strien		Naam: A. Timmermans	
Functie: Senior Technician		Functie: Projectleider		Functie: BU-Manager	
					
Datum:	07-05-2021	Datum:	07-05-2021	Datum:	07-05-2021

Verklaring met betrekking tot originaliteit en anti -plagiaatverklaring

Ik verklaar dat het door mij ingeleverde afstudeerrapport mijn eigen originele werk is. Het is niet, geheel of gedeeltelijk, geschreven door een ander dan wel geheel of gedeeltelijk overgenomen uit andermans werk. Waar dit wel gebeurd is wordt in de tekst door middel van noten en/of bronvermeldingen verwezen naar de vindplaatsen van het werk van die andere perso(o)n(en).

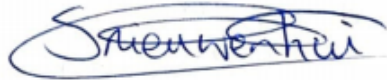
Informatiebronnen zijn expliciet en in detail opgenomen in de literatuurlijst en daar is in de tekst naar verwezen.

Ik weet dat plagiaat zal leiden tot het ongeldig zijn van de beoordeling van dit afstudeerverslag en dat, indien er sprake is van plagiaat, er disciplinaire maatregelen zullen volgen.

Naam:

Handtekening:

Stefan Nieuwenhuis



Plaats / datum / jaar:

Assen, 16-05-2021

Voorwoord

Voor u ligt het afstudeerrapport: de stap maken van time-based naar condition-based maintenance van een vermogensschakelaar. Dit afstudeerrapport is geschreven in het kader van module 8, het afstudeertraject van de deeltijdopleiding elektrotechniek aan de Hanzehogeschool te Groningen. Het onderzoek is uitgevoerd bij Omexom Assen.

Met het opstellen en afronden van dit afstudeerrapport komt er een einde aan mijn vier jaar durende studie Elektrotechniek aan de Hanzehogeschool in Groningen. Tijdens de studie ben ik in aanraking gekomen met verschillende methoden met betrekking tot het uitvoeren van onderzoek. Ook is er in verschillende projectopdrachten toegewerkt naar het opleveren van producten. De laatste fase tijdens de studie is het afstudeertraject, waarin ik de verworven competenties en vaardigheden ga toepassen in de vorm van een onderzoek en het opleveren van een product.

Ik wil via deze weg Andre Timmermans en Mateusz van Strien bedanken voor de verkregen afstudeeropdracht. Tevens wil ik al mijn collega's bedanken die hebben meegedacht tijdens het realiseren en implementeren van het product en mij hebben voorzien van tips. Anderzijds wil ik Jeen Postma bedanken voor zijn feedback tijdens de verschillende terugkomdagen gedurende de afstudeerperiode. Ook gaat mijn dank uit naar General Electric voor het leveren van de CB-Watch, mede hierdoor is het afstudeerproject een succes geworden. Tot slot wil ik mijn studiegenoten Johan van der Goot, Christiaan Leungen en Arnold Leijendekker bedanken voor de afgelopen vier studiejaren. Samen met hen heb ik alle tentamens en projecten gedurende de opleiding met succes afgerond.

Veel plezier met het lezen van dit afstudeerrapport.

Assen, Mei 2021.

Stefan Nieuwenhuis

Samenvatting

Inleiding:

Het afstudeerproject: de stap maken van time-based naar condition-based maintenance van een vermogensschakelaar is uitgevoerd bij Omexom Assen. Omexom heeft verspreid door Nederland verschillende locaties die zich bezighouden met het modificeren van verschillende hoogspanningsstations. Omexom is een onderdeel van Vinci Energies, die verspreid door Europa ongeveer 80.000 medewerkers aan het werk heeft in verschillende sectoren: gas, industrie, brandpreventie en energie.

Aanleiding:

De aanleiding tot het afstudeeronderwerp is dat er in de praktijk veelal het probleem is dat men niet tijdig op de hoogte is van onderhoud of problemen aan hoogspanningscomponenten. Hierdoor kunnen er gevaarlijke situaties optreden, zoals het niet uitschakelen van een vermogensschakelaar tijdens een storing. Eén van de belangrijkste componenten binnen een hoogspanningsinstallatie is de vermogensschakelaar, deze is verantwoordelijk voor het al dan niet gewild in- en uitschakelen van een installatie. Indien deze weigert of door achterstallig onderhoud niet naar behoren werkt, kunnen de gevolgen cruciaal zijn. (Bergman, 2012, p. 50).

Doelstelling:

Het doel van dit onderzoek is om enerzijds, met behulp van een geautomatiseerd proces, meer inzicht te verkrijgen in de condities van een vermogensschakelaar waarmee de power quality gewaarborgd kan worden. Er worden meer data en gegevens uit een vermogensschakelaar gelezen, die vervolgens continu worden gemonitord. Hierdoor wordt het mogelijk gemaakt om de stap te maken van time-based naar condition-based maintenance. Anderzijds is het doel om inzicht te krijgen in wat de huidige fase van de levenscyclus van een vermogensschakelaar is. Een belangrijk onderdeel van een gezond elektriciteitsnet is power quality, hierbij zijn condensatorvelden en spoelvelden van groot belang. Het kritische onderdeel van deze installaties is de vermogensschakelaar, verantwoordelijk voor het al dan niet bewust in- en uitschakelen.

Onderzoeksmethode en resultaten:

Het afstudeerproject is uitgevoerd aan de hand van 'het ontwerpen van technische innovaties' van Inge Oskam (Oskam, 2017). In de oriëntatiefase is de probleemverkenning opgesteld en is deze verwoord in de probleemstelling en onderbouwd aan de hand van literatuur. Vervolgens zijn de vraag- en doelstelling opgesteld. De vraagstelling waarop in het afstudeerproject antwoord gegeven wordt is: ***Welke stappen moeten er worden ondernomen om over te gaan van time-based via condition-based naar predictive maintenance?*** Hierbij worden de condities van het meest essentiële onderdeel van een hoogspanningsinstallatie, de vermogensschakelaar, digitaal gemonitord. Dit onderzoek is specifiek toegewijd op het overgaan van time-based naar condition-based maintenance. De stap maken naar predictive maintenance is alleen mogelijk door het analyseren van verzamelde data.

Aan de hand van een vooronderzoek zijn een drietal fabrikanten met elkaar vergeleken, om over te gaan tot een productkeuze. De fabrikanten die zijn onderzocht in het vooronderzoek zijn Siemens, Asea Brown Boveri (hierna ABB genoemd) en General Electric (hierna GE genoemd). Na het toetsen van de klantenwensen met de mogelijke producten van de fabrikanten, is de Circuit Breaker Watch (hierna CB-Watch genoemd) van GE gekozen om te gaan implementeren tijdens het afstudeerproject. In fase twee, de productanalyse, is er een product- en functieanalyse uitgevoerd. Hierdoor zijn alle functies van de CB-Watch in kaart gebracht. Vanuit hier is het functieblokschema ontworpen en zijn de ontwerpcriteria opgesteld. In fase drie, de ontwerpfase, is er met behulp van een morfologisch overzicht gekeken naar alternatieve ontwerpen. Hierdoor zijn alle mogelijke alternatieven geanalyseerd om digitaal condities van een vermogensschakelaar te monitoren. De resultaten hiervan zijn getoetst en in een Kesselring diagram geplaatst, waarmee het beste ontwerp is gekozen.

In de vierde fase is overgegaan tot detaillering van de CB-Watch. In deze fase zijn testen uitgevoerd met de CB-Watch om referentiewaarden te creëren. De resultaten hiervan zijn vergeleken met de referentiewaarden van

de fabrikanttesten (routinetesten) en met het timen van de vermogensschakelaar. Bij het timen worden alle testen uitgevoerd, die ook worden gemonitord door de CB-Watch. In tabel 1 staan de resultaten van de fabrikanttesten en het timen van de vermogensschakelaar weergegeven. Wanneer deze worden vergeleken met de data die de CB-Watch registreert tijdens schakelhandelingen, kan worden overgegaan tot de conclusie.

Tabel 1 – Resultaten referentiemetingen CB-Watch

Resultaten referentiemetingen				
Meting:	Fabrikanttest:	Timen VS:	CB-Watch:	Binnen toleranties fabrikant:
Inschakeltijd:	70 ms	70.4 ms	72.8 ms	Min. 54 & max. 81 ms.
Uitschakeltijd:	28.9 ms	29.6 ms	32.8 ms	Min. 23.4 & max. 34.1 ms
Inschakelstroom:	n.v.t. **	3.1 A	3.0 A	< 5 A
Uitschakelstroom:	n.v.t.	2.7 A	2.8 A	< 5 A
Motorstroom:	8.44 A	8.91 A	8.6 A*	< 24 A
Spanning:	121 VDC	110 VDC	123 VDC	> 100 VDC & Max. 130 VDC
SF6-gasdruk:	7.4 Bara (drukwachter)***	7.31 Bara	7.31 Bara	> 6.4 Bara

* Handmatig gemeten i.v.m. defecte stroomtransformator.

** Geen onderdeel van routinetesten in fabriek.

*** Druk van drukwachter vermogensschakelaar afgelezen. In de fabriek is deze test niet uitgevoerd.

Conclusie:

In tabel 1 staan de resultaten van de fabrikanttesten en van het timen van de vermogensschakelaar. Wanneer deze worden vergeleken met de verzamelde data van de CB-Watch, kan de conclusie getrokken worden dat de data uit de CB-Watch overeenkomt met de referentiewaarden. Ook vallen de data en metingen binnen de gestelde toleranties. De verzamelde data zijn correct en de CB-Watch meldt issues wanneer grenswaarden worden overschreden.

Door het implementeren van de CB-Watch op een vermogensschakelaar is het mogelijk om continu data te verzamelen tijdens schakelhandelingen. Hierdoor is het mogelijk gemaakt om inzicht te verkrijgen in de levenscyclus van een vermogensschakelaar en kan worden bepaald wanneer er onderhoud nodig is. Dit maakt het mogelijk om de stap te maken van time-based naar condition-based maintenance. Wanneer er op termijn grenswaarden worden overschreden wordt dit gemeld door de CB-Watch. Men kan nu tijdig actie ondernemen met betrekking tot het plegen van onderhoud en hierdoor potentiële storingen elimineren, voordat het te laat is en een vermogensschakelaar gestoord raakt.

Aanbevelingen:

De stap naar predictive maintenance kan worden gemaakt door het analyseren van verzamelde data over een langere periode bij een vermogensschakelaar waarmee vaker wordt geschakeld. Een aanbeveling is om de CB-Watch in te bouwen een vermogensschakelaar die meerdere keren per dag schakelt, denk hierbij aan een spoel- of condensatorveld. Hierdoor wordt het mogelijk om over een langere periode data te verzamelen en analyseren. De levenscyclus wordt bekend en er kan worden overgegaan naar predictive maintenance. Een tweede aanbeveling is om in samenwerking met GE de meting van de motorstromen te gaan optimaliseren. Er loopt momenteel een onderzoek bij de GE-fabriek in Ierland naar de problemen met betrekking tot deze meting. De laatste aanbeveling is om het SCADA-systeem te gaan implementeren in het Omexom Institute. Hierdoor wordt het mogelijk gemaakt om de verzamelde data door de CB-Watch te gaan presenteren op een scherm en kunnen eventuele alarmen worden opgemerkt.

Inhoudsopgave

Afkorting- en begrippenlijst	8
1. Inleiding en achtergrond	9
1.1. De context	9
1.2. De onderzoeksvraag en deelvragen	9
1.3. De doelstelling van het onderzoek	10
1.4. De werkwijze	10
2. Fase 1: De oriëntatie	11
2.1. De probleemverkenning	11
2.2. De probleemstelling onderbouwd m.b.v. literatuuronderzoek	12
2.3. De vraag- en doelstelling	13
2.4. De doelstelling SMART-geformuleerd	13
2.5. De klantenwensen	14
2.6. De projectgrenzen	14
3. Het vooronderzoek	15
3.1. Theoretische onderbouwing belang vermogensschakelaar binnen hoogspanningsinstallatie	15
3.2. De gekozen fabrikanten met mogelijkheden tot uitlezing	17
3.3. Het morfologisch overzicht	18
3.4. Toetsen van resultaten uit het morfologisch overzicht	20
3.5. De resultaten weergegeven in het Kesselring diagram	20
3.6. Conclusie vooronderzoek	21
4. Fase 2: De productanalyse	22
4.1. De SWOT-analyse	22
4.2. De deelvragen	22
4.3. De product- en functieanalyse van de CB-Watch	22
4.4. Het functieblokschema	23
4.5. Bepalen van de ontwerpcriteria	23
5. Fase 3: De ontwerpfase	26
5.1. Morfologisch overzicht t.b.v. alternatieve mogelijkheden analyseren data	26
5.2. Toetsen van resultaten morfologisch overzicht en onderbouwing van beste ontwerp	26
5.3. Bevestigen beste ontwerp m.b.v. Kesselring diagram	28
5.4. Het concept engineeringpakket	29
6. Fase 4: Detaillering van het ontwerp	30
6.1. De demo opstelling	30
6.2. De testen, valideren van referentiewaarden en de eerste resultaten	31
6.3. Risicoanalyse CB-Watch met behulp van FMEA	33

6.4.	Problemen en uitdagingen tijdens implementatie CB-Watch.....	35
7.	Fase 5: De resultaten en de gebruikerstest.....	36
7.1.	De resultaten.....	36
7.2.	De gebruikerstest	37
7.3.	Normen	38
8.	Conclusie en aanbevelingen.....	39
	Literatuur	41
	Bijlagenlijst.....	43
	Bijlage A: Het projectlogboek	44
	Bijlage B: Interview tijdens het vooronderzoek.....	48
	Bijlage C: Gesprekssamenvatting vooronderzoek t.b.v. verkregen informatie	50
	Bijlage D: De projectbegroting.....	51
	Bijlage E: De product- en functieanalyse	54
	Bijlage F: Het Programma van Eisen	59
	Bijlage G: De schetsen t.b.v. het engineeringspakket.....	61
	Bijlage H: Risico's tijdens het afstuderen.....	69
	Bijlage I: Het definitieve engineeringspakket	70
	Bijlage J: Benaderen en programmeren van de CB-Watch	79
	Bijlage K: De resultaten.....	86
	Bijlage L: Wijzigingen tijdens uitvoering	111
	Bijlage M: De gebruikerstest.....	113

Afkorting- en begrippenlijst**Begrip:**

ABB
CB-Watch
CDG
CDM
COM-poort
DVM
EMC
FMEA
GE
HMI
kV
mA
ms
PLC
RJ45
SCADA
SFP-connector
SF6
Sprecher Automation
SWOT-analyse
VAC
VBS
VDC
VS

Betekenis:

Asea Brown Boveri
Circuit Breaker Watch
Centraal dienstgebouw
Command Detection Module
Communicatiepoort
DC Voltage Measurement
Elektromagnetische compatibiliteit
Failure Mode Effect Analyse
General electric
Human Machine Interface
Kilo Volt
Milliampère
Miliseconden
Programmable Logic Controller
Registered Jack 45
Supervisory Control And Data Acquisition
Small Form Plug connector
Zwafelhexafluoride
Leverancier van de PLC van het Omexom Institute
Strengths Weaknesses Opportunities Threats analyse
Volt Alternating Current (wisselspanning)
Veld Besturing Systeem
Volt Direct Current (gelijkspanning)
Vermogensschakelaar

1. Inleiding en achtergrond

Het afstudeerproject is uitgevoerd bij Omexom Assen. Omexom heeft verspreid door Nederland verschillende locaties die zich bezighouden met het modifieren van verschillende hoogspanningsstations. Omexom is een onderdeel van Vinci Energies, die verspreid door Europa ongeveer 80.000 medewerkers aan het werk heeft in verschillende sectoren: Gas, Industrie, brandpreventie en energie.

In Nederland zijn drie locaties verantwoordelijk voor de coördinatie en uitvoering van deze projecten: de hoofdvestiging in Dordrecht, verantwoordelijk voor het uitvoeren van verschillende projecten in het westen en zuiden van het land, de engineeringslocatie in Zwolle en tot slot de locatie in Assen, waar men verantwoordelijk is voor het beheren en uitvoeren van projecten in het noorden van Nederland. Binnen Omexom Assen zijn ongeveer 85 medewerkers actief.

Omexom is één van de technische partners van de landelijk netbeheerder TenneT TSO. De hoogspanningsnetbeheerder is druk met het modifieren van zijn primaire en secundaire installaties. Ook worden diverse beveiligingssystemen vernieuwd. Omexom is via diverse projecten betrokken bij het modifieren van de verschillende installaties.

1.1. De context

Omexom is begin 2020 gestart met de realisatie van het Omexom Institute. Het Omexom Institute is een internationaal leernetwerk voor de energiesector om vaardigheden aan te leren, anderen te inspireren en ideeën te verwezenlijken. Een belangrijk punt hierbij is hoe er in de toekomst kennis en vaardigheden van personeel op peil gehouden kan worden. Vergrijzing zou er namelijk voor kunnen zorgen dat kennis gaat verdwijnen.

Het trainingscentrum voor hoogspanningsstations bestaat uit zowel een theorie- als een praktijkruimte. Met dank aan dit trainingscentrum is het mogelijk om de veiligheid, kwaliteit als ook de kennis en vaardigheden van medewerkers naar een hoger niveau te brengen. In de theorieruimte kunnen deelnemers aan de slag met aansprekende theoretische modules, met behulp van E-learning en diverse Virtual Reality-Safety trainingsmodules. Ook is er een compleet hoogspanningsveld gebouwd waar deelnemers getraind kunnen worden met betrekking tot alle aspecten van een hoogspanningsstation, zowel primair als secundair.

Bovenstaande is dan ook de aanleiding tot het afstudeeronderwerp. In de praktijk is er veelal het probleem, dat men niet tijdig op de hoogte is van onderhoud of problemen aan hoogspanningscomponenten. Hierdoor kunnen er gevaarlijke situaties optreden, zoals het niet uitschakelen van een vermogensschakelaar tijdens een storing (Bergman, 2012, p. 50). Eén van de belangrijkste componenten binnen een hoogspanningsinstallatie is de vermogensschakelaar, deze is verantwoordelijk voor het al dan niet gewild in- en uitschakelen van een installatie. De verkregen afstudeeropdracht luidt: ***De stap maken van time-based naar condition based maintenance van een vermogensschakelaar.*** Met de resultaten van de afstudeeropdracht kan Omexom de energiemarkt op om het product aan te bieden en implementeren bij verschillende klanten.

1.2. De onderzoeksvraag en deelvragen

De onderzoeksvraag waarop antwoord en onderbouwing wordt gegeven in hoofdstuk twee is:

Welke stappen moeten er worden ondernomen om over te gaan van time-based via condition-based naar predictive maintenance?

Hierbij worden de condities van het meest essentiële onderdeel van een hoogspanningsinstallatie, de vermogensschakelaar, digitaal gemonitord. Dit onderzoek is specifiek toegewijd op het overgaan van time-based naar condition-based maintenance. De stap maken naar predictive maintenance is alleen mogelijk door het analyseren van de verzamelde data.

De deelvragen van het vooronderzoek zijn:

- Wat is de functie van een vermogensschakelaar op een hoogspanningsstation?

- Welke fabrikanten maken het mogelijk om digitale monitoring op een vermogensschakelaar aan te brengen?
- Hoe werkt het product?
- Welke data kunnen er continu worden gemonitord uit een vermogensschakelaar?
- Welke mogelijkheden biedt het Sprecher Automation veld besturingssysteem (PLC van Omexom Institute) met betrekking tot het presenteren van alarmen en data van het product?

1.3. De doelstelling van het onderzoek

Het doel van dit onderzoek is om, met behulp van een geautomatiseerd proces, meer inzicht te verkrijgen in de condities van een vermogensschakelaar waarmee de power quality gewaarborgd kan worden. Er worden meer data en gegevens uit een vermogensschakelaar gelezen, die vervolgens continu worden gemonitord. Hierdoor wordt het mogelijk gemaakt om de stap te maken van time-based naar condition-based maintenance.

Het doel is om inzicht te krijgen in wat de huidige fase van de levenscyclus van een vermogensschakelaar is. Een belangrijk onderdeel van een gezond elektriciteitsnet is power quality, hierbij zijn condensatorvelden en spoelvelden van groot belang. Het kritische onderdeel van deze installaties is de vermogensschakelaar, verantwoordelijk voor het al dan niet gewild in- en uitschakelen.

1.4. De werkwijze

De werkwijze is de manier waarop er te werk is gegaan, deze is tevens op te vatten als leeswijzer. Het afstudeerrapport is gerealiseerd aan de hand van de fasering volgens het 'ontwerpen van technische innovaties' van Inge Oskam. Er is gestart met een literatuuronderzoek. In hoofdstuk twee, de oriëntatiefase, wordt er ingezoomd op de literatuur waarmee de probleemverkenning en de probleemstelling tot stand zijn gekomen. Aansluitend wordt de hieruit geformuleerde vraag- en doelstelling nogmaals beschreven. Tot slot wordt in dit hoofdstuk aangegeven wat er wel en geen onderdeel is van het onderzoek in de projectafbakening. In hoofdstuk drie is het vooronderzoek uitgevoerd waarbij er is gestart met een theoretische onderbouwing over het belang van een vermogensschakelaar op een hoogspanningsstation. In het vooronderzoek zijn drie fabrikanten met elkaar vergeleken die het mogelijk maken om digitaal condities te monitoren van vermogensschakelaar. In het vooronderzoek wordt bepaald welke fabrikant het meest geschikt is om toe te passen tijdens het afstudeertraject.

De volgende stap wordt gezet in hoofdstuk vier, hier is een product- en functieanalyse uitgevoerd en staan de deelvragen beschreven. Aansluitend aan de product- en functieanalyse is het functieblokschema gerealiseerd en zijn de ontwerpcriteria opgesteld. In hoofdstuk vijf, de ontwerpfase, is er met behulp van een morfologisch overzicht gekeken naar alternatieve mogelijkheden om data uit een vermogensschakelaar te analyseren. De resultaten uit het morfologisch overzicht zijn getoetst en verwerkt in een Kesselring diagram. Tot slot is er in dit hoofdstuk een concept engineeringpakket opgesteld met behulp van schetsen.

De volgende fase van het afstudeerproject is het detailleren van het ontwerp, uitgewerkt in hoofdstuk zes. Er is gestart met het realiseren van een demo opstelling om te verifiëren of de CB-Watch naar behoren functioneert. Hierna is de CB-Watch ingebouwd in een separate kast nabij de vermogensschakelaar en zijn de eerste testen uitgevoerd. Aansluitend aan de eerste testen is er een risicoanalyse uitgevoerd met behulp van een FMEA (Failure Mode Effect Analyse). De laatste fase van het afstudeerproject is het analyseren van de data die wordt verzameld door de CB-Watch tijdens schakelhandelingen. De resultaten hiervan staan beschreven in hoofdstuk zeven. Tevens is hier een gebruikerstest uitgevoerd waarin alle belangrijke aspecten van de CB-Watch worden doorlopen en getest, ook ongewenste bedrijfssituaties zijn hier gesimuleerd. Tot slot zijn de normen benoemd die van toepassing zijn op de CB-Watch ingebouwd in een vermogensschakelaar op een hoogspanningsstation. In hoofdstuk acht staan de conclusie en aanbevelingen beschreven.

2. Fase 1: De oriëntatie

In hoofdstuk één zijn de vraag- en doelstelling al benoemd. Deze worden in dit hoofdstuk onderbouwd en verklaard aan de hand van een probleemverkenning, welke is verwoord in een probleemstelling. De probleemstelling wordt onderbouwd met behulp van literatuur die is onderzocht om de probleemstelling vorm te geven. Vervolgens worden nogmaals de vraag- en doelstelling benoemd, waarbij de doelstelling wordt gespecificeerd door SMART te formuleren. Tot slot worden de klantenwensen benoemd en zijn de projectgrenzen gesteld.

2.1. De probleemverkenning

Met behulp van de 5WH-methode (Oskam, 2017, p. 56) is er een probleemverkenning uitgevoerd. Door de probleemverkenning is er een globaal beeld ontstaan van het probleem en de context (beschreven in paragraaf 1.1) waarbinnen deze zich voordoet.

- **WIE?:** De grootste problemen gaan er ontstaan bij de landelijk netbeheerder TenneT TSO en bij de regionale netbeheerders zoals, Enexis, Liander, Stedin enzovoort. Deze partijen zullen niet langer voldoende elektriciteit kunnen distribueren en transporteren. Hoogspanningscomponenten raken hierdoor overbelast waardoor er storingen ontstaan. Met name bij een vermogensschakelaar kan dit grote gevolgen hebben. Het continu digitaal monitoren van de condities van een vermogensschakelaar kunnen deze potentiële storingen in een tijdig stadium signaleren. Het te implementeren product zal dan ook inzetbaar zijn bij dergelijke partijen. Onderhoud kan beter worden gepland, omdat eerder zichtbaar wordt wanneer een vermogensschakelaar onderhoud nodig heeft. Het probleem en de effecten voor de afnemers is nog veel groter, industrie valt stil, winkels en pinbetalingen, tankstations, datacentra en vliegvelden kunnen niet functioneren. De impact op de samenleving is zowaar nog groter dan de directe problemen van de landelijk netbeheerder en regionetbeheerders.
- **Wat?:** De groeiende vraag aan energie van, met name duurzame energiebronnen, zal in de toekomst gaan leiden tot een tekort aan energie (zie paragraaf 1.3 voor de onderbouwing, middels onderzochte literatuur). Hierdoor komen de leverzekerheid en kwaliteit van elektriciteit in het gedrang. Het is dan ook van groot belang dat hoogspanningscomponenten niet in storing raken. In de huidige situatie is er geen continue monitoring aanwezig op een vermogensschakelaar. Wanneer deze problemen geeft is het te laat en treedt er een storing op; bijvoorbeeld afwijkende schakeltijden. Indien er wordt overgegaan tot digitale monitoring van deze condities, is het mogelijk om data te verzamelen en analyseren. Hierdoor wordt het mogelijk om in een eerder stadium te bepalen wanneer er onderhoud nodig is, waarmee de stap kan worden gemaakt van time-based naar condition-based maintenance.
- **Waar?:** Het betreft de hoogspanningsvermogensschakelaar opgesteld in een 110 kV schakelstation of een hoger spanningsniveau (150 kV, 220 kV of 380 kV). De vermogensschakelaar is verantwoordelijk voor het in- en uitschakelen van een hoogspanningsinstallatie. Meestal is dit component in de openlucht opgesteld. De digitale monitoring ten behoeve van de condities zal, indien mogelijk, in een paneel nabij de vermogensschakelaar worden opgesteld.
- **Wanneer?:** De groeiende energievraag is in de laatste tien jaar explosief gegroeid (zie onderbouwing in paragraaf 1.3, middels onderzochte literatuur). Na het uitvoeren en implementeren van het product wordt het aangeboden op de markt (valt buiten de projectgrenzen). Het product zal met name op condensator- en spoelvelden een toegevoegde waarde hebben. Dit omdat dergelijke velden iedere dag in- en uitgeschakeld worden om zorg te dragen voor een goede kwaliteit van elektriciteit. Door juist op dit type hoogspanningsinstallaties continu data te analyseren kan de kwaliteit van energie worden gewaarborgd.

- **Waarom?:** De grootste impact op de oorzaak van het probleem is de verduurzaming van Nederland en dan met name de veroorzakers van een slechtere kwaliteit in het energienet. Er worden vele zonne- en windparken gerealiseerd, die een grote impact hebben met betrekking tot het terug-leveren van energie (blindvermogen) op het Nederlandse elektriciteitsnet. De condensator- en spoelvelden zijn in deze verantwoordelijk voor het compenseren van de blindinvloeden. Indien er op meerdere plaatsen, in dergelijke velden problemen optreden, kan dit grote gevolgen hebben voor de kwaliteit van het elektriciteitsnet in Nederland.
- **Hoe?:** De huidige levenscyclus en condities van een vermogensschakelaar kunnen worden bepaald door het monitoren, verzamelen en analyseren van data. Dit kan worden bereikt door een product te implementeren op een vermogensschakelaar, die deze condities kan meten.

2.2. De probleemstelling onderbouwd m.b.v. literatuuronderzoek

Nu in paragraaf 2.1 de probleemverkenning is uitgevoerd wordt de probleemverkenning aansluitend in deze paragraaf verwoord in de probleemstelling. Deze probleemstelling wordt onderbouwd met behulp van een literatuuronderzoek.

De groeiende energievraag kan in de nabije toekomst gaan leiden tot capaciteitsproblemen in het elektriciteitsnet zoals onderzocht door regionetbeheerders (Enexis, Capaciteitsproblemen Drenthe en Groningen, 2020) en (Liander, 2020). In deze onderzoeken is naar voren gekomen dat de vele duurzame energiebronnen in de nabije toekomst gaan leiden tot een te kort aan energie. Ook kan de kwaliteit van het elektriciteitsnet (power quality) in de problemen komen door dergelijke capaciteitsproblemen. Op termijn kan dit invloed hebben op de leverzekerheid. Het ligt in de lijn der verwachting dat de kwaliteit van energie impact gaat hebben op de energiehuishouding. Om kwaliteitsproblemen te voorkomen wordt in het Nederlandse hoogspanningselektriciteitsnet veel gebruik gemaakt van condensatorbanken en spoelvelden. Deze hebben dan ook een belangrijke bijdrage in het behouden van een gezond elektriciteitsnet en het voorkomen van vervuiling hierop, ook wel Cos-Phi verbetering genoemd (Prinssen, 2020, p. 402).

Het gezond houden van het elektriciteitsnet, alsmede het voorkomen van vervuiling op kwaliteit van het Nederlandse elektriciteitsnet, is en wordt steeds belangrijker. Dit is in het verleden onderzocht voor hoogspanningsnetbeheerder TenneT (Berg, 2014) en de gevolgen hiervan voor Nederlandse huishoudens is onderzocht door Netbeheer Nederland (Netbeheer Nederland, 2020). Ook is dit door middel van een spanningskwaliteit onderzoek bevestigd, in opdracht van Netbeheer Nederland (Bogear, 2020). Middels het onderzoek is men erachter gekomen dat op termijn steeds meer schommelingen kunnen optreden in het Nederlandse elektriciteitsnet.

Naast het gezond houden en voorkomen van vervuiling op het Nederlandse energienet dient in geval van storing een afschakeling plaats te vinden. Hierbij is de rol van een vermogensschakelaar cruciaal (Smeets, 2004). Indien er een storing optreedt in een installatie, of men wil een installatiedeel vrijmaken van bedrijfsspanning, wordt een vermogensschakelaar toegepast. Indien deze weigert of door achterstallig onderhoud niet naar behoren werkt, kunnen de gevolgen cruciaal zijn. In 'Final Report of the 2004-2007 International Enquiry on Reliability of High Voltage Equipment' is een uitvoerig onderzoek gedaan naar het aantal keren dat een vermogensschakelaar weigert. Bijvoorbeeld door SF6-lakage of in- en uitschakelspoelen die niet naar behoren functioneren (Bergman, 2012, p. 50). Deze probleemstelling heeft dan ook geleid tot de vraag- en doelstelling van het afstudeeronderwerp, beschreven in paragraaf 2.3.

2.3. De vraag- en doelstelling

De vraagstelling:

Welke stappen moeten er worden ondernomen om over te gaan van time-based via condition-based naar predictive maintenance?

Hierbij worden de condities van het meest essentiële onderdeel van een hoogspanningsinstallatie, de vermogensschakelaar, digitaal gemonitord. Dit onderzoek is specifiek toegewijd op het overgaan van time-based naar condition-based maintenance. De stap maken naar predictive maintenance is alleen mogelijk door het analyseren van verzamelde data.

De doelstelling:

Het doel van dit onderzoek is om, met behulp van een geautomatiseerd proces, meer inzicht te verkrijgen in de condities van een vermogensschakelaar waarmee de power quality gewaarborgd kan worden. Er worden meer data en gegevens uit een vermogensschakelaar gelezen, die vervolgens continu worden gemonitord. Hierdoor wordt het mogelijk gemaakt om de stap te maken van time-based naar condition-based maintenance.

Het doel is om inzicht te krijgen in wat de huidige fase van de levenscyclus van een vermogensschakelaar is. Een belangrijk onderdeel van een gezond elektriciteitsnet is power quality, hierbij zijn condensatorvelden en spoelvelden van groot belang. Het kritische onderdeel van deze installaties is de vermogensschakelaar, verantwoordelijk voor het al dan niet bewust in- en uitschakelen.

2.4. De doelstelling SMART-geformuleerd

- **Specifiek:** Het uitvoeren van een onderzoek naar mogelijkheden om digitaal de condities te monitoren van een vermogensschakelaar, welke vervolgens geïmplementeerd dient te worden. Dit wordt uitgevoerd door middel van het uitwerken van een afstudeerrapport waarin, aan de hand van een onderzoek, stapsgewijs wordt gewerkt naar implementatie van het product. Het stapsgewijs toewerken naar de oplossing wordt uitgevoerd aan de hand van de fasering van het boek '*ontwerpen van technische innovaties, van Inge Oskam*'.
- **Meetbaar:** Met behulp van een nulmeting wordt er een startpunt gecreëerd waardoor referentiewaarden ontstaan. Deze meting dient aansluitend na drie maanden en een jaar, nogmaals uitgevoerd te worden. Naast deze metingen is digitale monitoring aanwezig voor het meten van de condities van de vermogensschakelaar, die wordt geïmplementeerd tijdens het onderzoek.
- **Acceptabel:** De opdrachtgever wordt voor aanvang van het onderzoek geïnformeerd over het uit te voeren plan en gedurende de uitvoering continu op de hoogte gehouden van de voortgang. Dit geheel wordt vastgelegd middels voortgangsverslagen en het onderzoeksrapport. In de planning zijn PIT-stop momenten vastgelegd, aansluitend worden uitkomsten van de PIT-stop gewaarborgd in het projectlogboek, bijgevoegd onder bijlage A.
- **Realistisch:** Door gebruik te maken van de digitale monitoring wordt er representatieve data verzameld met betrekking tot de condities van de vermogensschakelaar, waarmee de doelstelling volbracht dient te worden.
- **Tijdsgebonden:** Het vooronderzoek is eind november 2020 reeds gestart om inzichtelijk te maken welke mogelijkheden er zijn. Het geheel dient te zijn volbracht omstreeks week 24-2021. Met behulp van de planning is de fasering in detail uitgewerkt.

2.5. De klantenwensen

De volgende klantenwensen ten aanzien van het ontwerpen van een oplossing zijn in overleg met Omexom opgesteld. De oplossing is:

- Gebruiksvriendelijk;
- Compact van formaat;
- Universeel toepasbaar;
- Betaalbaar;
- Betrouwbaar;
- Toepasbaar binnen bestaande installaties;
- Uit te lezen op een separaat SCADA-systeem (eventueel met behulp van converter);
- Toepasbaar op hoogspanningsvermogensschakelaars, spanningsniveau 110kV en hoger;
- Eenvoudig te implementeren.

2.6. De projectgrenzen

Nu er een overzicht is van de klantwensen en duidelijk is wat de verwachtingen zijn van Omexom, worden tot slot de projectgrenzen en afbakening bepaald.

Binnen de scope van het afstudeerproject:

Het vooronderzoek naar welke mogelijkheden er zijn met betrekking tot het implementeren van digitale monitoring van de condities van een vermogensschakelaar, is uitgewerkt in hoofdstuk 3. Er wordt onderzocht welke fabrikanten de mogelijkheid hebben om dit te realiseren. Na het volbrengen van het vooronderzoek wordt er overgegaan tot de productkeuze. Met behulp van een onderzoek naar de werkwijze van het product, dient deze geïmplementeerd te worden op de vermogensschakelaar van het Omexom Institute. Tevens wordt onderzocht op welke wijze verkregen meetdata uit het product kan worden uitgelezen op de Sprecher Automation VBS, waarmee de real time monitoring gerealiseerd dient te worden. Diverse onderzoeken en testen zullen benodigd zijn, om antwoord te kunnen geven op de in paragraaf 1.4 gestelde vragen.

Buiten de scope van het afstudeerproject:

Het ontwerpen van een SCADA-systeem. Hiermee wordt de verkregen data vanuit het product, uitgelezen met het Sprecher Automation VBS, gepresenteerd op een beeldscherm in het Omexom Institute. Tevens zal het communiceren van het geïmplementeerde product richting verschillende klanten geen onderdeel uitmaken van dit afstudeerproject.

3. Het vooronderzoek

Nu in hoofdstuk 2 aan de hand van de probleemverkenning en de probleemstelling is gewerkt naar de vraag- en doelstelling, wordt er in dit hoofdstuk een vooronderzoek uitgewerkt. In het vooronderzoek zijn een drietal fabrikanten met elkaar vergeleken met betrekking tot het digitaal monitoren van condities van een vermogensschakelaar. Zoals beschreven in de doelstelling dient er met behulp van een geautomatiseerd proces meer inzicht verkregen te worden in de condities van een vermogensschakelaar. Hiermee wordt het mogelijk om inzicht te krijgen in wat de huidige fase van de levenscyclus van een vermogensschakelaar is.

In het vooronderzoek is de keuze gevallen op het volgende drietal fabrikanten: Siemens, ABB en GE om tot een productkeuze te komen. Het product dat uit dit vooronderzoek het beste wordt beoordeeld aan de hand van 'ontwerpen van technische innovaties' (Oskam, 2017), wordt toegepast in het afstudeerproject. Tevens wordt er in dit hoofdstuk een theoretische onderbouwing gegeven waarom de vermogensschakelaar een cruciaal onderdeel is van een hoogspanningsinstallatie.

In de inleiding staan een aantal deelvragen beschreven, op twee van deze deelvragen wordt in dit hoofdstuk antwoord gegeven. De eerste deelvraag: Wat is de functie van een vermogensschakelaar op een hoogspanningsstation? De tweede deelvraag is: Welke fabrikanten maken het mogelijk om digitale monitoring op een vermogensschakelaar aan te brengen?

3.1. Theoretische onderbouwing belang vermogensschakelaar binnen hoogspanningsinstallatie

In deze paragraaf wordt er door middel van een onderbouwing beschreven waarom een vermogensschakelaar een cruciaal onderdeel is binnen een hoogspanningsinstallatie. Met behulp van literatuur wordt er hierna onderbouwd wat dit belang is.

De taak van een vermogensschakelaar, zoals hieronder weergegeven op afbeelding 3.1.1, is het inschakelen, voeren en uitschakelen van een normale bedrijfsstroom. Tevens is de vermogensschakelaar verantwoordelijk voor het afschakelen van een overbelasting of kortsluitstroom (Prinssen, 2020, p. 158).

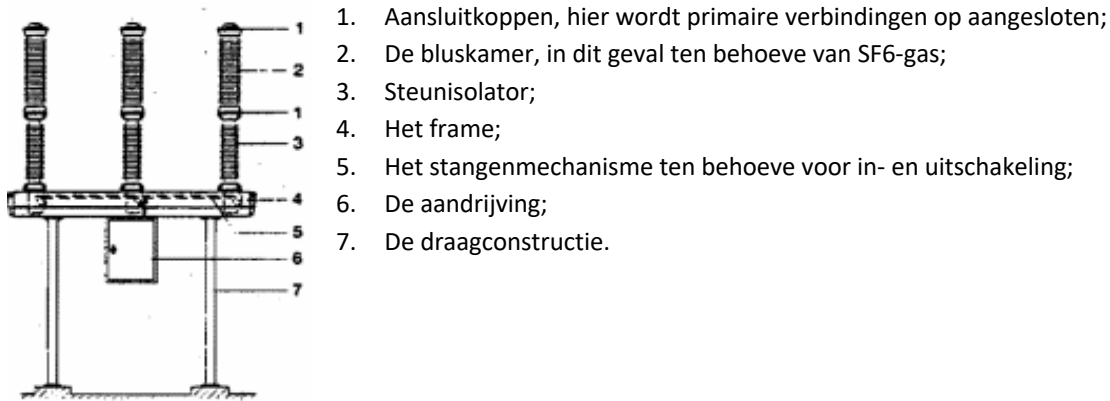


Afbeelding 3.1.1 – Voorbeeld van een 110kV vermogensschakelaar (Hoogspanningsnet, 2003)

Een vermogensschakelaar, afhankelijk van het spanningsniveau waar deze wordt ingezet, moet in staat zijn om de grootst mogelijke kortsluitstroom af te schakelen. Het spanningsniveau van het Nederlandse hoogspanningsnet bestaat uit 110kV, 150kV, 220kV of 380kV. In geval van een storing wordt een vermogensschakelaar aangestuurd door een beveiliging, die een uitschakelcommando verstuurt naar de vermogensschakelaar. Hierdoor wordt de vermogensschakelaar uitgeschakeld. Deze uitschakeling geschied mechanisch. De vermogensschakelaar van het Omexom Institute wordt mechanisch geopend met behulp van een veermechanisme.

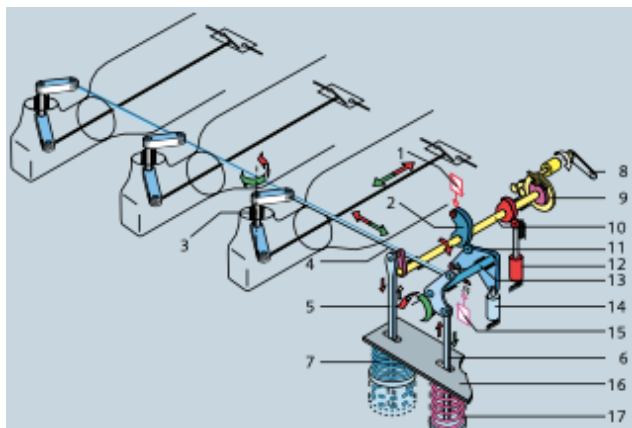
Indien een vermogensschakelaar weigert of door achterstallig onderhoud niet naar behoren werkt, kunnen de gevolgen cruciaal zijn. In 'Final Report of the 2004-2007 International Enquiry on Reliability of High Voltage Equipment' is een uitvoerig onderzoek gedaan naar het aantal keren dat een vermogensschakelaar weigert. Bijvoorbeeld door SF6-lakkage of in- en uitschakelspoelen die niet naar behoren functioneren (Bergman, 2012, p. 50).

De opbouw van een vermogensschakelaar verschilt, dit is afhankelijk van type blusmiddel (hierover later meer) en ervaringen door de jaren heen. Op afbeelding 3.1.1 is een Y-vormige vermogensschakelaar geïllustreerd die met olie gevuld is. In afbeelding 3.1.2 is een schematische weergave geïllustreerd, waarbij de opbouw is weergegeven met behulp van cijfers. De schematische weergave van afbeelding 3.1.2 komt overeen met de vermogensschakelaar van het Omexom Institute, die gaat worden toegepast voor diverse metingen en testen (zie hiervoor hoofdstuk 6, paragraaf 2).



Afbeelding 3.1.2 – Opbouw van een vermogensschakelaar (Smeets, 2004, pp. 8b-4)

De bluskamer van een vermogensschakelaar dooft de vlamboog die ontstaat tijdens een schakelhandeling. De vermogensschakelaar van het Omexom Institute is gevuld met SF6-gas. Dit SF6-gas dient als isolatiemedium waardoor in geval van een kortsluiting in de vermogensschakelaar, deze niet zal doorslaan naar de buitenzijde. Tot slot is op afbeelding 3.1.3 de binnenzijde van een vermogensschakelaar geïllustreerd. Hier zijn de belangrijkste aspecten bijgevoegd die van groot belang zijn in geval het in- en uitschakelen van een vermogensschakelaar. Aan de hand van nummers zijn de belangrijkste onderdelen uitgelicht.



Afbeelding 3.1.3 – Binnenzijde vermogensschakelaar (Siemens Energy, 2012, p. 11)

1. Uitschakelspoel dicht, deze spoel wordt bekrachtigd ten behoeve van het al dan niet gewild uitschakelen van de vermogensschakelaar;
4. Aandrijfstang;
5. Aandrijfstang voor het sluiten van de veer;
6. Aandrijfstang voor het openen van de veer;
7. Sluiting van veer (deze veer wordt toegepast om de vermogensschakelaar te sluiten);
8. Handslinger voor noodgevallen;
13. As voor de bediening;
15. Uitschakelspoel open;

16. Aandrijfmechanisme behuizing;
17. Openingsveer (deze veer wordt toegepast om de vermogensschakelaar te openen).

3.2. De gekozen fabrikanten met mogelijkheden tot uitlezing

Zoals aan het begin van dit hoofdstuk benoemd worden er drie fabrikanten met de mogelijkheid om digitale monitoring aan te brengen op een vermogensschakelaar onderzocht. Hierbij zijn fabrikanten Siemens, ABB en GE gekozen om tot een product keuze te komen. De reden hiervan is dat deze fabrikanten de grootste marktspelers zijn met betrekking tot het leveren van vermogensschakelaars op hoogspanningsstations. Er wordt per fabrikant omschreven hoe de informatie ten aanzien van de producten is verkregen.

Om te bepalen welke mogelijkheden de fabrikanten bezitten, is er naast het uitvoeren van een literatuuronderzoek ook telefonisch contact geweest. Tevens is er gemaaild met leveranciers om informatie te verkrijgen. Bij ABB is een interview afgenomen om informatie te verkrijgen omtrent het digitaal monitoren van de condities van een vermogensschakelaar. Dit interview is bijgevoegd onder bijlage B. Met Siemens is er contact geweest op een hoogspanningsstation om de informatie te verkrijgen. Met GE is mail- en telefonisch contact geweest. Er is een gesprekssamenvatting bijgevoegd onder bijlage C met de uitkomsten. Hierna is kort beschreven hoe het contact is ontstaan en welke producten de fabrikanten bezitten.

Siemens

Via een contactpersoon bij Qirion gevestigd in Duiven, is er informatie verkregen over het digitaal monitoren van condities met behulp van fabrikant Siemens. Qirion is verantwoordelijk voor het ontwerpen, bouwen en onderhouden van hoogspanningsinstallaties. De contactpersoon is Engineer bij vermogensschakelaarteam van Qirion en verantwoordelijk voor het plaatsen, testen en in bedrijf stellen van vermogensschakelaars. De contactpersoon van Qirion gaf aan dat Siemens een aantal mogelijkheden heeft ten aanzien van het monitoren van bepaalde condities van een vermogensschakelaar. Via de contactpersoon is er een brochure verkregen waarin deze staan beschreven (Siemens Energy, 2012, p. 14).

Het product welke Siemens bezit voor digitale monitoring van de condities van een vermogensschakelaar is de SOLM01. Hiermee is het mogelijk om onder andere momentane waarden te meten die kunnen worden gepresenteerd op een SCADA-systeem. In paragraaf 3.3 wordt er ingegaan op voor- en nadelen van dit product.

ABB

Het contact met ABB is ontstaan via een oud-medewerker van ABB, momenteel is hij werkzaam als commissioning engineer (zzp'er) voor TenneT. Tot voor kort was hij werkzaam bij ABB als commissioning engineer. ABB is een Zweeds-Zwitserse multinational en verantwoordelijk voor het plaatsen en leveren van producten voor transport van elektriciteit en automatisering. Op diverse projecten is er een samenwerking met de betreffende collega. Een aantal weken voor het interview is er contact geweest met de collega over de afstudeeropdracht en het bijbehorende vooronderzoek. Aansluitend aan dit gesprek heeft hij gesproken met zijn oud-collega's bij ABB en navraag gedaan over de mogelijkheden met betrekking tot digitale monitoring van condities van een vermogensschakelaar.

ABB bezit een beveiligingsrelais waarbij het mogelijk is de instellingen te wijzigen om de condities van een vermogensschakelaar kunnen monitoren. Dit product heet de REC615 (Library ABB, 2019, p. 551 t/m 568)

GE

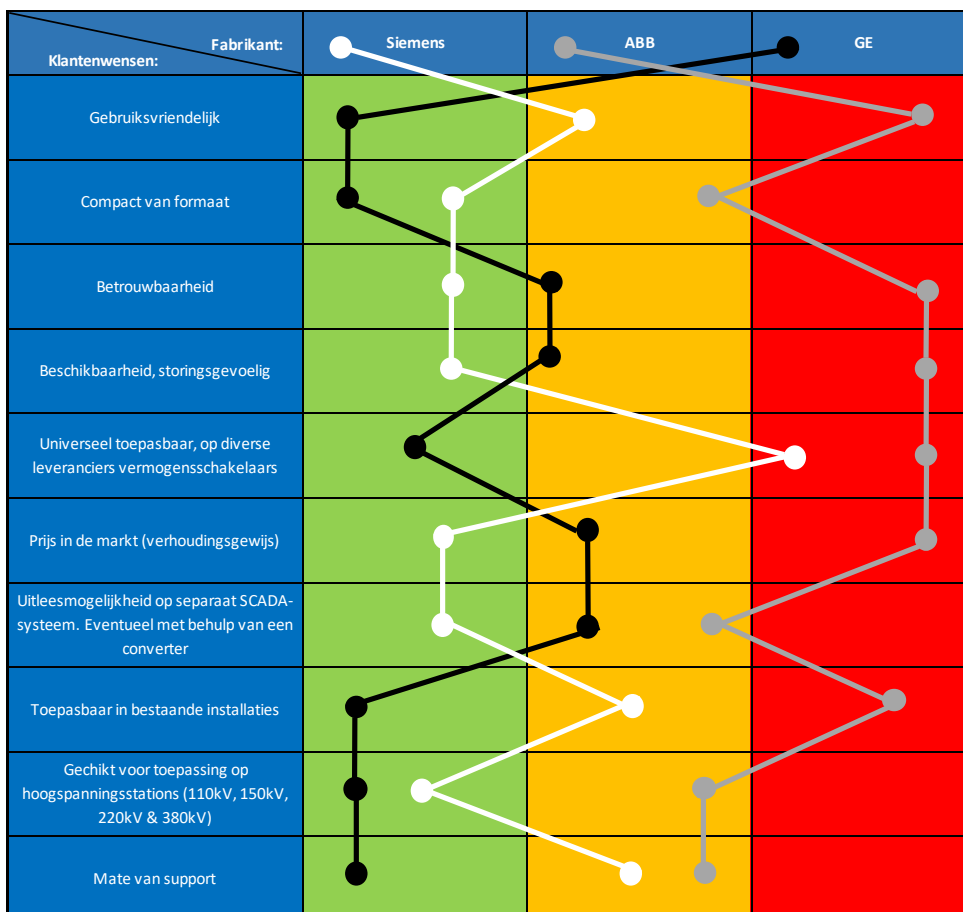
In Nederland is GE verantwoordelijk voor het leveren van primaire componenten (scheiders, aarders, meettransformatoren en vermogensschakelaars) en secundaire installaties (veldbesturingssystemen en beveiligingstoepassingen) ten behoeve van hoogspanningsstations. Omexom heeft met GE een overeenkomst voor de primaire commissioning en het afstellen van scheiders en aarders op hoogspanningsstations in heel Nederland. Hierdoor was het, in tegenstelling bij Siemens en ABB een stuk eenvoudiger om direct de goede

personen te spreken over het digitaal monitoren van condities van een vermogensschakelaar. Na mail- en telefonisch contact te hebben gelegd was de Sales Manager direct erg enthousiast over de afstudeeropdracht en de context ervan. Namelijk het implementeren van het product in het Omexom Institute en deze vervolgens aanbieden bij klanten. Hierdoor is er veel informatie verstuurd over het product van GE (GE - CB-Watch, 2020). Het betreft de Circuit Breaker Watch, hierna CB-Watch genoemd. De CB-Watch heeft een aantal overeenkomsten met het product van Siemens, wat het dan ook interessant maakt om ze te vergelijken in een morfologisch overzicht, zie hiervoor paragraaf 3.3.

3.3. Het morfologisch overzicht

Om tot een keuze voor het beste product te komen worden de drie opties naast elkaar gezet in een morfologisch overzicht. Hierin staan onder andere de klantenwensen die zijn opgesteld door Omexom weergegeven. Tevens is van groot belang dat de fabrikant de mogelijkheid heeft een product te leveren. Deze en nog een aantal belangrijke aspecten staan benoemd in het morfologisch overzicht in figuur 3.3.1. Er is met een drietal kleuren aangegeven hoe het product van de fabrikant ten aanzien van de klantenwensen 'scoort'. De kleur groen geeft aan dat het punt uitstekend voldoet, de kleur oranje geeft aan dat het punt redelijk voldoet. Indien het punt rood scoort, is dit het niet acceptabel.

Let op: de fabrikanten staan in willekeurige volgorde opgesteld in het figuur. Om de score van Siemens ten aanzien van de klantenwensen te volgen is er gebruik gemaakt van een witte lijn, om de score van ABB te volgen is de grijze lijn toegepast en voor GE is de zwarte lijn van toepassing.



Figuur 3.3.1 – Morfologisch overzicht ten behoeve van productkeuze

Onderbouwing beoordeling fabrikanten:

Hierna volgt een toelichting op de bepaling tot geschiktheid van de fabrikanten aan de hand van de klantenwensen. Per klantenwens wordt een onderbouwing met betrekking tot de score gegeven in het morfologisch overzicht.

- **Gebruiksvriendelijk:** Siemens bezit een product die alleen toepasbaar is binnen haar eigen installatie. ABB heeft een universeel product, maar deze is niet gebruiksvriendelijk vanwege de vele mogelijkheden die het bezit. Hierdoor is het product te complex voor het doel waarvoor deze toegepast dient te worden. GE kan een product aanleveren die ook toepasbaar is bij externe fabrikanten.
- **Compact van formaat:** De producten van Siemens en GE kunnen in de nabijheid van de vermogensschakelaar worden geplaatst. Het product van ABB heeft deze mogelijkheid niet omdat het geen op zichzelf staand apparaat is, maar een functie in een beveiliging.
- **Betrouwbaarheid:** Omdat het product van GE in Nederland nog niet is geplaatst op hoogspanningscomponenten, is het mogelijk dat er gedurende het onderzoek een aantal aandachtspunten zullen optreden. Dit is de reden waarom het product van GE oranje scoort. Het product van ABB krijgt een slechte score. Dit product is nog helemaal niet geïmplementeerd op hoogspanningsinstallaties. Het product van Siemens is functioneel op haar eigen installaties.
- **Beschikbaarheid, storingsgevoelig:** Het product van Siemens wordt toegepast in Nederland voor middenspanningsinstallaties, het product van GE is nieuw en nog niet functioneel in Nederland. Tijdens de implementatiefase wordt pas duidelijk of er eventueel problemen optreden met betrekking tot bijvoorbeeld software of sensoren. Bij het product van ABB is geen informatie omtrent dergelijke storingen. Het product is niet functioneel in Nederland met de doeleinden waarvoor deze in het afstudeerproject worden toegepast.
- **Universeel toepasbaar:** Zoals benoemd is het product van GE toepasbaar in installaties van diverse fabrikanten. Het product van ABB is dit ook, alleen is dit niet realistisch omdat er een compleet beveiligingsrelais geplaatst dient te worden. Het product van Siemens is uitsluitend toepasbaar binnen eigen installaties.
- **Prijs in de markt (verhoudingsgewijs):** Er is informatie omtrent de prijs van de drie fabrikanten, echter wordt deze niet benoemd binnen dit afstudeerproject. Er is verhoudingsgewijs aangegeven hoe de prijs in de markt is. In bijlage D is een complete projectbegroting bijgevoegd. Hier zijn de kosten voor aanschaf van het product niet in meegenomen. In bijlage D is zowel een voorlopige als een definitieve begroting bijgevoegd.
- **Uitleesmogelijkheden:** De producten van Siemens en GE zijn uit te lezen en presenteren op een HMI-scherm en benaderbaar via webbrowsers. Het product van ABB is alleen te benaderen via de laptop of door het bedienen van het display.
- **Product toepasbaar in bestaande installaties:** Het product van GE is toe te passen in bestaande installaties. Die van Siemens ook, dit is wederom alleen van toepassing binnen eigen installatie. Met betrekking tot het product van ABB is dit moeilijk te realiseren, omdat er dan ook andere installatie onderdelen vervangen dienen te worden (beveiligingsrelais). Dit zal in de praktijk niet worden uitgevoerd.

- **Geschikt voor op hoogspanningsinstallaties:** De producten van Siemens en GE zijn geschikt om toe te passen op hoogspanningsstations (110kV, 150kV, 220kV & 380kV). Het product van ABB ook, alleen is dit in de praktijk nog niet gerealiseerd vanwege de kosten.
- **Mate van support:** GE is bereid om informatie en een product te leveren die kan worden toegepast op de vermogensschakelaar van het Omexom Institute. Siemens en ABB konden alleen informatie aanleveren. Tevens is GE bereid gevonden om tijdens implementatie van het product support te leveren in het geval van problemen of vragen.

3.4. Toetsen van resultaten uit het morfologisch overzicht

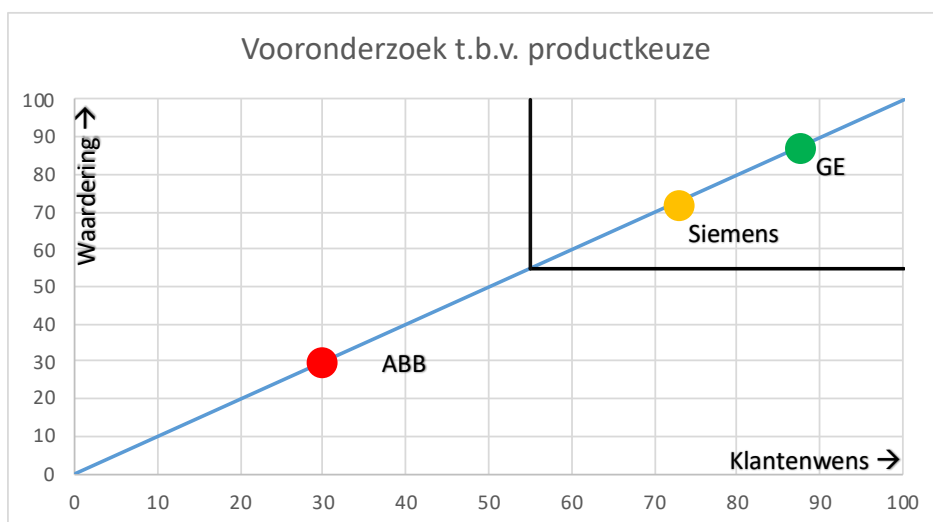
In paragraaf 3.3 is geanalyseerd welk product aan de hand van de klantenwensen het meest geschikt is om toe te passen tijdens de implementatiefase. Een belangrijke uitkomst hierbij is dat GE een product heeft geleverd, de CB-Watch, welke mag worden gebruikt tijdens de implementatiefase. Om er zeker van te zijn dat dit ook daadwerkelijk de beste keuze is, worden de uitkomsten van het morfologisch overzicht getoetst. Zoals benoemd kan een klantenwens een groene, oranje of rode score toebedeeld krijgen. Deze scores zijn in tabel 3.4.1 geplaatst, waardoor het product die het meest geschikt is om toe te passen is bepaald.

Tabel 3.4.1 – Resultaten van het morfologisch overzicht

Vooronderzoek ten behoeve van productkeuze	Waardering			Ideaal
	Siemens	ABB	GE	
Gebruiksvriendelijk	6	1	10	10
Compact van formaat	10	6	10	10
Betrouwbaarheid	10	1	6	10
Beschikbaarheid, storingsgevoelig	10	1	6	10
Universeel toepasbaar op diverse leveranciers vermogensschakelaars	1	1	10	10
Prijs in de markt (verhoudingsgewijs)	10	1	6	10
Uitleesmogelijkheid op separaat SCADA-systeem, eventueel met behulp van converter	10	6	10	10
Toepasbaar in bestaande installaties	1	1	10	10
Geschikt voor toepassing op hoogspanningsstations (110kV, 150kV, 220kV & 380kV)	10	6	10	10
Mate van support	6	6	10	10
Totaal	74	30	88	10
%	74,0	30,0	88,0	100

3.5. De resultaten weergegeven in het Kesselring diagram

De resultaten uit tabel 3.4.1 zijn inzichtelijk met behulp van het Kesselring diagram in figuur 3.5.1. Met de Kesselring methode wordt bevestigd dat fabrikant GE met zijn CB-Watch de beste keuze is om toe te gaan passen tijdens de implementatiefase van het afstudeerproject.



Figuur 3.5.1 – Het Kesselring diagram ten behoeve van het vooronderzoek tot productkeuze

3.6. Conclusie vooronderzoek

Doel van het vooronderzoek:

Het doel van het vooronderzoek was om inzichtelijk te maken welke fabrikanten het mogelijk maken om condities van een vermogensschakelaar digitaal te monitoren. Om tot bepaling over te gaan van deze productkeuze zijn in overleg met Omexom klantenwensen opgesteld waaraan het product dient te voldoen. Vervolgens zijn de stappen uitgewerkt aan de hand van 'ontwerpen van technische innovaties' van Inge Oskam.

Werkwijze:

Met behulp van een literatuuronderzoek is er informatie verkregen van de verschillende leveranciers met betrekking tot het digitaal monitoren van de condities van een vermogensschakelaar. Tevens is er, waar mogelijk, een interview afgenomen bij een medewerker die connecties heeft ten aanzien van de leverancier. De ontvangen informatie van de leveranciers is ingevoerd in een morfologisch overzicht. Deze uitkomsten zijn getoetst en gewaardeerd aan de hand van de klantenwensen. Vanuit hier is het product welke het meest geschikt is voor het afstudeerproject bepaald.

De conclusie:

Zoals beschreven in paragraaf 3.2 hebben Omexom en GE een samenwerking met betrekking tot het uitvoeren van werkzaamheden op hoogspanningsstations. Tevens heeft het Omexom Institute bijgedragen in het geheel, dit heeft er dan ook toe geleid dat GE bereid is geweest om een CB-Watch met toebehoren te leveren. Deze CB-Watch wordt in de opvolgende hoofdstukken stap voor stap onderzocht en uiteindelijk geïmplementeerd op de vermogensschakelaar van het Omexom Institute.

De conclusie van het vooronderzoek is dat deze uitstekend is verlopen. Met behulp van connecties en het netwerk van diverse collega's is de benodigde informatie verkregen om tot een productkeuze over te gaan. Hiermee zijn de benodigde antwoorden op de deelvragen verkregen. Ten eerste op deelvraag: Hoe is de vermogensschakelaar opgebouwd en wat is zijn werking op hoogspanningsstations? Ten tweede op deelvraag: Welke fabrikanten maken het mogelijk om digitale monitoring op een vermogensschakelaar aan te brengen?

Antwoord op twee deelvragen:

De eerste deelvraag: Hoe is de vermogensschakelaar opgebouwd en wat is zijn werking op hoogspanningsstations? In paragraaf 3.1 is een uitgebreide theoretische onderbouwing gerealiseerd. Hier staat onder andere beschreven dat de vermogensschakelaar verantwoordelijk is voor het, al dan niet terecht, in- en uitschakelen van een installatie. De vermogensschakelaar is gevuld met een bepaald isolatiemedium om een vlamboog te blussen tijdens schakelhandelingen. De tweede deelvraag: Welke fabrikanten maken het mogelijk om digitale monitoring op een vermogensschakelaar aan te brengen? Er zijn drie fabrikanten onderzocht welke het grootste aandeel hebben in het leveren van vermogensschakelaars in Nederland. GE is hier als beste uit het vooronderzoek naar voren is gekomen en waar het vervolg van het afstudeertraject mee wordt ingezet. Dit staat beschreven in paragraaf 3.4.

4. Fase 2: De productanalyse

Aansluitend aan het vooronderzoek is de volgende stap om een productanalyse en de toepasbaarheid hiervan op de klantenvraag uit te voeren. Vanuit GE, de leverancier van de CB-Watch, is documentatie en het product verstrekt om deze productanalyse mee uit te voeren. Er worden in deze fase oplossingsrichtingen verkend door de functies van de CB-Watch te analyseren en worden er ontwerpcriteria opgesteld. Tevens worden er onderzoeksvragen geformuleerd, zoals deze al stonden beschreven in de inleiding. Tot slot wordt er antwoord gegeven op de derde deelvraag: hoe is de werking van de CB-Watch?

4.1. De SWOT-analyse

Met behulp van de SWOT-analyse wordt er een inventarisatie gemaakt van de positieve eigenschappen (sterktes) en de negatieve eigenschappen (zwaktes). Vervolgens worden de externe positieve invloeden (kansen) en negatieve invloeden (bedreigingen) bepaald. Deze invloeden dragen bij aan de optimalisatie en innovatie voor het afstudeerproject. Met behulp van tabel 4.1.1 is de SWOT-analyse uitgevoerd. SWOT is de Engelse afkorting voor **S**(trengths) **W**(eaknesses) **O**(pportunities) **T**(hreats).

Tabel 4.1.1 – De SWOT-analyse

SWOT	Sterktes (Strengths):	Zwaktes (Weaknesses):
Intern:	- Alle klantenwensen kunnen worden geïmplementeerd m.b.v. het product. - Continu analyseren en monitoren van data wordt mogelijk gemaakt.	- Zolang er geen SCADA-systeem functioneel is, dienen er d.m.v. mankracht de condities in de gaten te worden gehouden. Het live presenteren van data wordt pas mogelijk nadat dit is gerealiseerd. Problemen met CB-Watch worden gemeld op het VBS (veld besturingssysteem). - Product komt het beste tot zijn recht op locaties waar veel geschakeld wordt met een vermogensschakelaar, zoals bij condensatorbanken en spoelvelden.
Extern:	Kansen:(Opportunities): - Omexom kan het product gaan aanbieden bij klanten en zo bij dragen aan digitaliseren van energietransitie, alsmede het innoveren van hoogspanningsinstallaties. - Bedrijfszekerheid van installaties aan klantzijde verhogen	Bedreigingen (Threats): - Een andere fabrikant realiseert gedurende het afstudeeronderzoek een alternatief, welke beter naar voren komt en aansluit bij de klantenwensen van Omexom.

4.2. De deelvragen

Met behulp van een aantal deelvragen, die zijn ontstaan vanuit de probleemverkenning en probleemstelling, wordt er gewerkt naar het oplossen van de vraagstelling zoals gegeven in paragraaf 2.3. De eerste twee deelvragen zijn reeds beantwoord in het vooronderzoek.

De deelvragen van het onderzoek zijn:

- Wat is de functie van een vermogensschakelaar op een hoogspanningsstation?
- Welke fabrikanten maken het mogelijk om digitale monitoring op een vermogensschakelaar aan te brengen?
- Hoe is de werking van het product?
- Welke data kunnen er continu worden gemonitord uit een vermogensschakelaar?
- Welke mogelijkheden biedt het Sprecher Automation veld besturingssysteem (PLC van Omexom Institute) met betrekking tot het presenteren van alarmen en data van het product?

4.3. De product- en functieanalyse van de CB-Watch

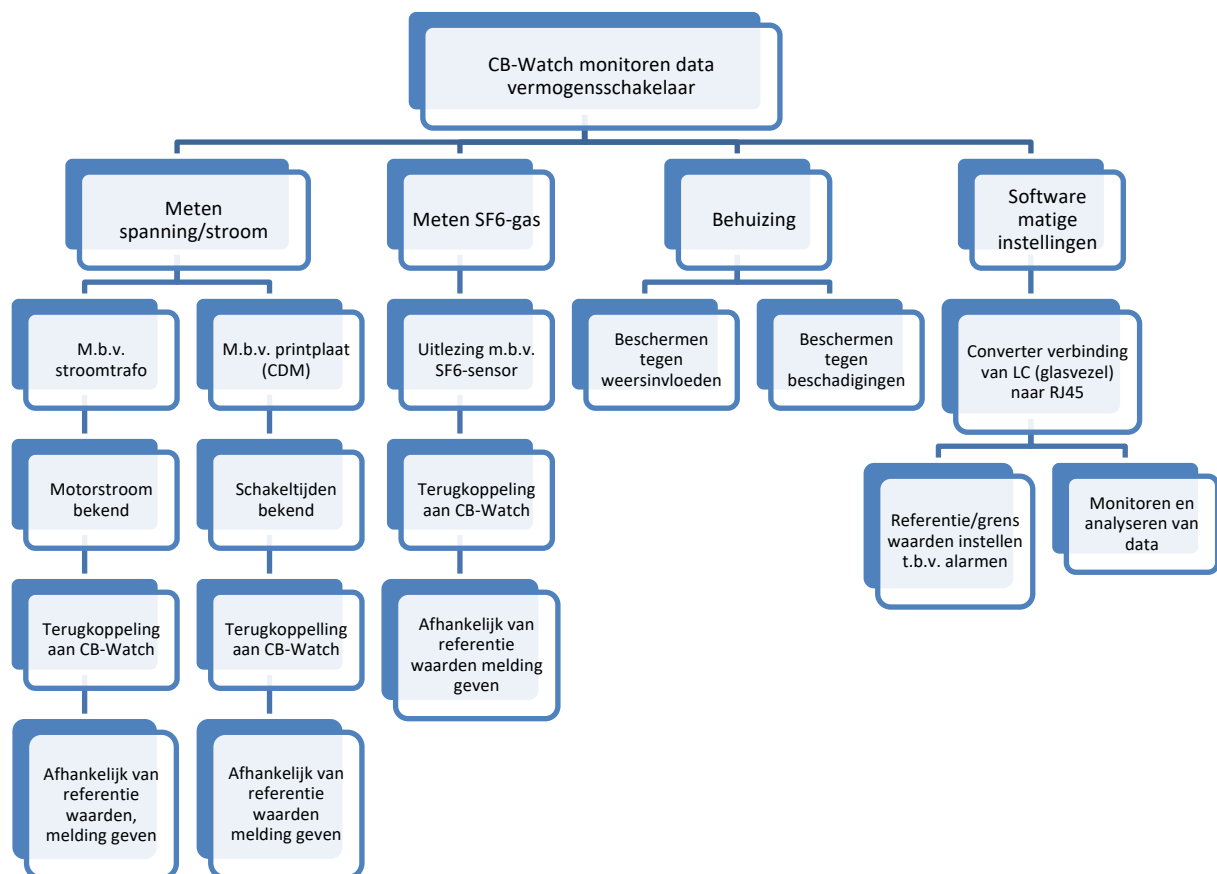
In bijlage E is de product- en functieanalyse van de CB-Watch bijgevoegd. Er is van ieder onderdeel een afbeelding gemaakt, die vervolgens is onderbouwd. Door de product- en functieanalyse van de CB-Watch is er een basis gelegd voor het ontwerpen van het functieboomschema is paragraaf 4.4 en ontwerpcriteria in paragraaf 4.5.

De conclusie van de product- en functieanalyse, is dat het mogelijk is om te voldoen aan de klantenwensen. Er kunnen verschillende metingen worden uitgevoerd, die zullen bijdragen aan digitale monitoring van de condities van een vermogensschakelaar.

4.4. Het functieblokschema

Nu alle functies van de CB-Watch inzichtelijk zijn gemaakt wordt er in deze paragraaf een functieblokschema opgesteld. Met behulp van het functieblokschema wordt de hoofdfunctie ontleed in een aantal deelfuncties. Hierdoor wordt duidelijk wat de CB-Watch allemaal moet kunnen. De gegevens die zijn vastgelegd in het functieblokschema zijn opgebouwd aan de hand van de klantenwensen. Tevens is door het uitvoeren van de product- en functieanalyse een goed beeld ontstaan over de mogelijkheden van de CB-Watch.

De hoofdfunctie van het functieboomschema is met behulp van de CB-Watch het digitaal monitoren van de condities van een vermogensschakelaar. Vervolgens is er een viertal deelfuncties opgesteld, namelijk de meting van spanning en stroom ten behoeve van schakeltijden en motorstromen, het meten van SF6-gas, een degelijke behuizing en tot slot de softwarematige instellingen. De softwarematige instellingen zijn bedoeld om referentie- en grenswaarden te bepalen, deze moeten zorgen voor alarmmeldingen wanneer metingen buiten de ingegeven range vallen. Het terugkoppelen van de gemeten data zorgt ervoor dat het geheel compleet is.



Figuur 4.4.1 – functieblokschema analyse van de functies

4.5. Bepalen van de ontwerpcriteria

In paragraaf 2.5 zijn de klantenwensen beschreven zoals deze zijn opgesteld door Omexom. In deze paragraaf worden de klantenwensen vertaald naar ontwerpcriteria. Het vertalen van de klantenwensen naar ontwerpcriteria wordt uitgevoerd met behulp van het House of Quality. Met behulp van het House of Quality

van figuur 4.5.1 ontstaan de technische belangen van een bepaald criteria. Hoe groter het technisch belang, hoe belangrijker deze wordt tijdens implementatie van het product in de realisatiefase. Tijdens het ontstaan van de ontwerpcriteria is er rekening gehouden met het Programma van Eisen. In het Programma van Eisen staan de gebruikerswensen en functionele eisen beschreven die zijn opgesteld in overleg met Omexom. Het Programma van Eisen is bijgevoegd onder bijlage F.

Binnen het House of Quality is gebruik van gemaakt van beoordelingscijfers. Aan de hand van deze cijfers is inzichtelijk gemaakt welke ontwerpcriteria toebehoren aan een klantenwens. Er is onderscheid gemaakt in vier marges met betrekking tot de beoordelingscijfers. Wanneer er geen cijfer is ingevuld betekent dit dat er geen technisch belang is tussen een klantenwens en ontwerpcriteria. De score 1 betekend dat er een laag belang is, score 5 betekend dat het gaat om een redelijk belang. Indien er een 9 wordt gescoord hebben de klantenwens en het ontwerpcriteria grote impact voor de implementatie tijdens de realisatiefase.

Tabel 4.5.1 – De ontwerpcriteria beschreven a.d.h.v. het House of Quality

Ontwerpcriteria:																
Beoordelingscijfers t.b.v. technisch belang: 1 = laag belang 5 = redelijk belang 9 = groot belang	Meetnauwkeurigheid	Niet storingsgevoelig	Omvang product	(De)montage met standaard gereedschap	Installatie product met overzichtelijke handleiding	Verschillende metingen mogelijk m.b.v. analoge poorten in CB-Watch	Continu meten van SF6-waarden	Continu meten motorstromen oa. t.b.v. schakeltijden	Alarmering CB-Watch i.g.v. storing	Aansluiten extern HMI-scherm t.b.v. uitlezing data	Voldoen aan richtlijnen NEN1010	Voldoen aan richtlijnen NEN3140	Voldoen aan richtlijnen IP-Norm (IP54)	Correct engineeringspakket t.b.v. werking product	Degelijke behuizing	
Klantenwensen:																
Gebruiksvriendelijk	1	1	5	9	9	1	5	-	-	1	5	5	5	1	5	
Compact van formaat	-	-	9	9	5	1	1	-	-	-	-	-	-	-	9	
Universeel toepasbaar	9	1	5	9	9	9	9	9	5	5	5	5	5	5	5	
Betaalbaar	5	9	5	9	-	-	1	1	1	1	1	1	1	-	5	
Toepasbaar in bestaande installaties	9	9	9	9	9	9	9	9	9	5	9	9	9	9	9	
Uit te lezen op een separaat SCADA-systeem	5	9	5	1	1	9	9	9	9	9	1	1	1	1	1	
Toepasbaar op hoogspanningsvermogensschakelaars	9	9	5	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
Het product is eenvoudig te programmeren	-	9	-	-	9	1	9	9	9	5	5	5	5	5	5	
Betrouwbaar	9	9	-	1	5	9	9	9	9	5	9	9	9	9	9	
Totaal score ontwerkcriteri	47	56	43	56	56	48	61	55	51	40	44	44	44	39	57	
Technisch belang in percentage	74,6	77,8	68,3	77,8	77,8	66,7	75,3	87,3	81,0	55,6	61,1	61,1	61,1	61,9	70,4	

In tabel 4.5.1 is met behulp van het toekennen van beoordelingscijfers aan de technische belangen, de belangrijkste punten uitgelicht. Het uitvoeren van de verschillende metingen, het alarm slaan in geval van storing, (de)monteren van de CB-Watch en het installeren hiervan met behulp van een handleiding hebben het hoogst gescoord. Dit betekent dat deze ontwerpcriteria een groot belang hebben ten tijde van het implementeren van de CB-Watch.

In de tabel is eerst de totaalscore van alle ontwerpcriteria bepaald, hier is een maximale score te behalen van 81 punten. Dit is de hoogst mogelijke score, maar zal in deze tabel niet behaald worden vanwege het feit dat niet iedere klantenwens van toepassing is op ieder ontwerpcriteria. Vervolgens zijn de technische belangen weggezet in een percentage, hier wordt de totaalscore van de ontwerpcriteria gedeeld door het aantal van toepassing zijnde klantenwensen en tot slot keer 100% gedaan.

Procesboom:

Tot slot is er in tabel 4.5.2 een procesboom opgesteld. Hierbij is in chronologische volgorde (aan de hand van cijfers) een overzicht gecreëerd van de stappen die doorlopen dienen te worden bij het ontstaan, verspreiden, gebruik en in geval van storing demonteren van de CB-Watch. Onder 'ontstaan' wordt het verkrijgen, voorbereiden en inbouwen van de CB-Watch verstaan. Aansluitend kan deze 'gebruikt' gaan worden. Onder het kopje 'gebruik' is stapsgewijs weergegeven welke stappen gevolgd dienen te worden om dit te realiseren. Met het kopje 'verspreiden' wordt bedoeld het bekend maken van de CB-Watch. Dit wordt uitgevoerd aan de

hand van een salesplan en is uitgesloten van dit afstudeerproject, zoals beschreven in paragraaf 2.6, de projectgrenzen. Tot slot is er het kopje 'demontage', hier worden de processtappen beschreven die gevolgd dienen te worden wanneer de CB-Watch defect raakt. In hoofdstuk 6, paragraaf 3, is een risicoanalyse uitgevoerd met behulp van een FMEA. Hiermee is getracht om de aanwezige risico's in kaart te brengen, deze te beheersen en zo nodig te elimineren.

De procesboom is ontstaan aan de hand van de stappen die worden gevolgd bij het uitlezen van data uit de CB-Watch met behulp van de functieboom uit paragraaf 4.5 en de ontwerpcriteria, opgesteld in tabel 4.5.1.

Tabel 4.5.2 – De procesboom

1. Ontstaan	2. Verspreiden
1. Verkrijgen CB-Watch 2. Analyseren onderdelen 3. Bepalen locatie in of nabij vermogensschakelaar 4. Sensoren en metingen inbouwen t.b.v. monitoring 5. Voorbereidingen treffen voor gebruik 6. Voedingen voorbereiden i.v.m. spanning aanbieden CB-Watch 7. Opstellen concept engineeringspakket 8. Opstellen concept handleiding t.b.v. inbouwen CB-Watch	<i>De stap verspreiden wordt uitgevoerd aan de hand van een salesplan. Deze maakt geen onderdeel uit van het afstudeerproject.</i>
3. Gebruiken	4. Demonteren
1. CB-Watch onderspanning brengen 2. Programmeren 3. Testen, valideren 4. Analyseren gemonitorde data 5. Bijstellen parameters t.b.v. monitoring 6. Alarmcontacten programmeren in PLC (VBS) Omexom Institute 7. Vastleggen geanalyseerde data 8. Opstellen definitief engineeringspakket 9. Opstellen definitieve handleiding t.b.v. gebruik CB-Watch	1. Afschakelen voeding 2. Losnemen sensoren, voedingen en bekabeling 3. Demonteren CB-Watch 4. Transporteren 5. Eventueel hergebruik van materialen welke nog functioneel zijn

Antwoord op derde deelvraag:

In dit hoofdstuk is antwoord gegeven op de derde deelvraag: Hoe werkt een CB-Watch? Er is met behulp van het uitvoeren van een product- en functieanalyse in bijlage E uitgebreid antwoord gegeven op deze deelvraag. Doordat deze deelvraag is beantwoord is er een basis gelegd voor de ontwerpfase die wordt uitgewerkt in hoofdstuk vijf.

5. Fase 3: De ontwerpfase

In het vorige hoofdstuk is de CB-Watch geheel uitgelicht en zijn de functies en het product geanalyseerd. De volgende stap is om in paragraaf 5.1 de functies in een morfologisch overzicht onder elkaar te zetten en van hieruit een drietal ontwerpen te genereren. Door middel van deze werkwijze wordt er onderzocht of er alternatieve mogelijkheden zijn met betrekking tot het verzamelen van data uit een vermogensschakelaar.

Aansluitend op het toepassen van het morfologisch overzicht en het toetsen van de resultaten, wordt in de laatste paragraaf een eerste opzet gemaakt voor het engineeringspakket. Deze zal nog bestaan uit schetsen en is bijgevoegd onder bijlage G. Tot slot is antwoord geven op deelvraag: Welke data kunnen er continu worden gemonitord uit een vermogensschakelaar?

5.1. Morfologisch overzicht t.b.v. alternatieve mogelijkheden analyseren data

In bijlage E is een uitgebreide product- en functieanalyse uitgevoerd over de mogelijkheden en functies die de CB-Watch bezit. In deze paragraaf is nogmaals nagegaan of via een alternatieve wijze data kunnen worden verkregen uit de CB-Watch. Door het toepassen van een alternatieve wijze wordt het mogelijk om een aantal concepten te genereren. Hieruit dient het best uitvoerbare ontwerp gekozen te worden, waarmee uiteindelijk wordt overgegaan tot introductie van het product in het Omexom Institute.

In figuur 5.5.1 is het morfologisch overzicht met de drie ontwerpen bijgevoegd. Hier zijn de functies, die van toepassing zijn, uitgezet tegen drie conceptontwerpen. Onder ieder ontwerp staat de toepassing van een functie beschreven en de manier waarop deze geïmplementeerd zou worden. Als voorbeeld: bij ontwerp A zou als behuizing de aandrijfkast van de VS worden toegepast en het programmeren bij ontwerp B zou geschieden middels een SFP RJ45 connector.

Oplossing: Functies:	Ontwerp A	Ontwerp B	Ontwerp C
Behuizing	In aandrijfkast VS	Separate kast nabij VS	CDG (secundaire ruimte)
Presenteren van data op SCADA-systeem	Scherf van VBS	Op een scherm in theorie ruimte Omexom Institute	Via een internetpagina
Uitlezen van data uit CB-Watch t.b.v. presenteren op SCADA-systeem	Glasvezel	Ethernet (RJ45)	Display, m.b.v. toetsen
Programmeren van CB-Watch	SFP FO (connector t.b.v. uitlezen via glasvezel)	SFP RJ45 (connector t.b.v. uitlezen via RJ45)	Via COM-poort
Melden van storingen	Via CB-Watch op HMI-Scherf	Via CB-Watch op alarmscherf VBS	D.m.v. mankracht. Iedere dag controleren van CB-Watch op storingen
Metten en monitoren van SF6-gas	Analoge uitlezing (4-20 mA)	Sensor CB-Watch (RS-485)	Manometer SF6-druk aflezen
Metten en monitoren van motorstromen	Fluke 123B	M.b.v. tussenstroomtrafo's in aandrijfkast VS	Ampère meter
Metten van schakeltijden	Omicron Cibano	CDM-Printplaat	Externe partij welke de meting uitvoert

Figuur 5.5.1 – Morfologisch overzicht drie ontwerpen

5.2. Toetsen van resultaten morfologisch overzicht en onderbouwing van beste ontwerp

In deze paragraaf worden de drie ontwerpen getoetst. Een bepaalde functie wordt getoetst aan de hand van de oplossing zoals deze staat beschreven onder de drie ontwerpen. Hierbij is uitgegaan van de toepassing van de

CB-Watch binnen het Omexom Institute. Waar mogelijk is er ook rekening gehouden met situaties bij klanten van Omexom. Een voorbeeld hiervan is lengte van kabels van sensoren. Indien deze afstand te groot wordt treedt er spanningsval op. Hierdoor kan een meting onbetrouwbaar worden. Er worden drie cijfers toegepast. Het cijfer 1 indien een oplossing van een ontwerp niet aansluit op de te verwachten oplossing. Het cijfer 6 wanneer de functie een redelijke oplossing is voor het ontwerp. Tot slot het cijfer 10, wanneer een functie een uitstekende oplossing is voor het ontwerp. In tabel 5.2.1 zijn de resultaten weergegeven.

Tabel 5.2.1 – Toetsen resultaten drie ontwerpen

Toetsen beste ontwerp	Waardering			Ideaal
	Ontwerp A	Ontwerp B	Ontwerp C	10
Behuizing	10	10	6	10
Presenteren van data op SCADA-systeem	6	10	1	10
Uitlezen van data uit CB-Watch t.b.v. presentatie op SCADA-systeem	10	10	6	10
Programmeren van CB-Watch	6	6	10	10
Melden van storingen	10	6	1	10
Metten en monitoren van SF6-gas	6	10	1	10
Metten en monitoren van motorstromen	1	10	6	10
Metten van schakeltijden	6	10	1	10
Totaal	55	72	32	8
%	68,8	90,0	40,0	100

Onderbouwing ontwerpen:

Hierna wordt er per ontwerp onderbouwd waarom de functie een bepaalde waardering heeft gekregen. Belangrijk punt hierbij is dat ontwerp B het ontwerp is zoals de CB-Watch mogelijk kan worden toegepast. Met hulp van ontwerp A en C is gekeken naar alternatieve methoden.

Ontwerp A:

De behuizing van ontwerp A is in de aandrijfkast van de vermogensschakelaar. Dit is een geschikte oplossing, omdat er in deze situatie nooit een probleem zal ontstaan met verliezen in kabels van sensoren. Tevens zullen kabels nooit te kort zijn. Het presenteren van data op een SCADA-systeem wordt gewaardeerd met een 6, dit omdat er veel aanpassingen benodigd zijn in het VBS (PLC van Omexom Institute). Dit kan op hoogspanningsstations tot problemen leiden, omdat er niet voldoende in- en uitgangen vrij zijn. Het uitlezen van data uit de CB-Watch geschied door middel van een glasvezelverbinding. Het programmeren van de CB-Watch geschied met een SFP FO connector. Via een optische glasvezelkabel kan er data worden verkregen, het gevaar hierbij is dat de connector vervuild raakt en niet meer naar behoren functioneert.

Eventuele storingen worden direct gemeld op een HMI-scherm. Het grote voordeel hiervan is dat er geen aanpassingen hoeven te worden uitgevoerd in het VBS. Het meten en monitoren van het SF6-gas geschied middels analoge uitlezing en een omvormer die een signaal genereert van 4 tot 20 mA. Het nadeel hiervan is dat er een extra signaal omvormer benodigd is. Het meten en monitoren van motorstromen wordt bij ontwerp A uitgevoerd middels een Fluke 123B. Met de Fluke dient handmatig een meting gestart te worden om een dergelijke meting te registreren. In het kader van digitalisering is dit dan ook geen goede optie.

Tot slot is er de meting ten behoeve van de schakeltijden, deze wordt uitgevoerd met behulp van de Cibano 500 van Omicron. Met dit apparaat worden in de praktijk veelal dergelijke metingen uitgevoerd. Ook is er hier het probleem dat er extra mankracht benodigd is om de meting uit te voeren. Ontwerp A heeft een aantal pluspunten, maar ook een groot aantal minpunten waarvoor mankracht benodigd is. In het kader van digitalisering zal dit ontwerp dan ook niet gekozen worden als beste ontwerp tijdens de implementatiefase.

Ontwerp B:

De behuizing van ontwerp B is een separate kast nabij de vermogensschakelaar. Dit is een geschikte oplossing omdat ook bij dit ontwerp geen problemen zullen optreden met betrekking tot verliezen of lengtes van kabels.

Het presenteren van data op een SCADA-systeem wordt uitgevoerd door middel van een scherm in de theorieluimte van het Omexom Institute. Hierop worden alle standen van de componenten en eventuele alarmen zichtbaar gemaakt. Het uitlezen van data uit de CB-Watch geschiedt middels een ethernet verbinding (RJ45) en het programmeren ervan via een SFP RJ45-connector. Indien de CB-Watch een storing geeft wordt deze gemeld op het VBS. Aansluitend wordt de melding doorgezet naar het SCADA-systeem. Deze werkwijze wordt minder hoog gewaardeerd omdat er extra programmering vereist is in het VBS. Dit kan mogelijk leiden tot problemen op hoogspanningsstations, vanwege het feit dat er geen in- en uitgangen beschikbaar zijn. De meting en monitoring van het SF6-gas wordt uitgevoerd met behulp van een SF6-sensor, via RS485. De meting van de motorstroom wordt uitgevoerd aan de hand van de tussenstroomtrafo en de schakeltijden middels de CDM-printplaat. Ontwerp B beschikt over de hoogste waardering, het enige minpunt is de wijze van het melden van eventuele storingen aan de CB-Watch.

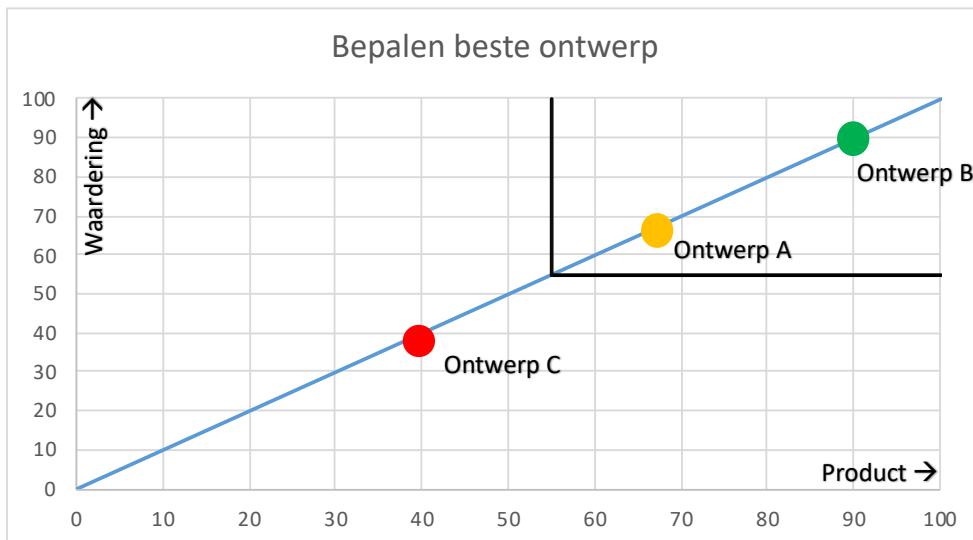
Ontwerp C:

Als behuizing voor ontwerp C is gekozen voor het centraal dienstgebouw (CDG). Dit betekent echter er langere kabels benodigd zijn ten behoeve van het uitlezen van data. Het risico hiervan is dat er verlies in de kabels optreedt waardoor metingen niet betrouwbaar zullen zijn. Het presenteren van data uit de CB-Watch geschiedt middels een internetpagina waarop dit wordt gevisualiseerd. Het probleem hierbij is dat er telkens moet worden ingelogd op de site wanneer men data wil verkrijgen. Dit ligt niet in lijn met het digitaal monitoren van de condities van de vermogensschakelaar en valt dan ook af als optie. Bij dit ontwerp is ervoor gekozen om bij het uitlezen van data gebruik te maken van een display met knoppen. Probleem hierbij is wederom dat er mankracht benodigd is voor het uitlezen van de data. Een voordeel van een dergelijk scherm is echter wel dat er geen laptop benodigd.

Om de CB-Watch in dit ontwerp te kunnen programmeren wordt gebruik gemaakt van een COM-poort, in principe is deze wijze net als die van optie A en B goed. Het probleem van de COM-poort is wel dat niet iedere laptop nog over deze poort beschikt. Het melden van een storing wordt bij dit ontwerp uitgevoerd door mankracht, die iedere dag dient te controleren of er problemen zijn. Voor dit afstudeerproject valt deze werkwijze af omdat het niet voldoet aan digitaal monitoren van de condities van de vermogensschakelaar. Monitoring van SF6-gas geschiedt door het aflezen van de manometer, ook deze werkwijze sluit niet aan bij de werkwijze van het afstudeerproject. Dit geldt ook voor het meten en monitoren van de motorstromen met behulp van een ampèremeter. In de praktijk is dit een prima optie, alleen niet binnen de gestelde eisen van het afstudeerproject. Het oplossen van veel van de functies in ontwerp C dient te worden uitgevoerd met behulp van mankracht. Dit sluit niet aan bij het afstudeerproject, het digitaal monitoren van de condities van een vermogensschakelaar en valt dan ook af als optie binnen dit project.

5.3. Bevestigen beste ontwerp m.b.v. Kesselring diagram

Nu in paragraaf 5.1 en 5.2 is bepaald wat het beste ontwerp is geworden met betrekking tot digitaal verzamelen van data uit een vermogensschakelaar, worden deze gevisualiseerd in het Kesselring diagram. Hier wordt met behulp van een grafiek nogmaals aangetoond dat ontwerp B het beste aansluit bij het afstudeerproject, ook al beschikt ontwerp A over een aantal prima alternatieven. In figuur 5.3.1 staat het Kesselring diagram met de uitkomsten gevisualiseerd. Zoals zichtbaar is in dit figuur, is ontwerp B gekozen voor de volgende fase van het afstudeerproject. Eén van de stappen hierin is het maken van een risicoanalyse van de CB-Watch. In bijlage H is een risicoanalyse bijgevoegd met betrekking tot bedrijfs- en projectrisico's. De risico's met betrekking tot de CB-Watch worden in hoofdstuk 6, paragraaf 3, uitgewerkt in een FMEA.



Figuur 5.3.1 – Kesselring diagram ten behoeve van bepalen beste ontwerp

5.4. Het concept engineeringspakket

In bijlage G zijn de schetsen bijgevoegd ten behoeve van het engineeringspakket. Met behulp van de schetsen wordt de CB-Watch in eerste instantie ingebouwd in de vermogensschakelaar op een tijdelijke positie (demo opstelling). Vervolgens wordt nagegaan of deze naar behoren werkt, dit geheel is terug te lezen in hoofdstuk 6, paragraaf 1. Aansluitend wordt de CB-Watch ingebouwd op zijn definitieve locatie in een separaat paneel. De schetsen worden na het inbouwen en testen omgezet naar een definitief engineeringspakket, zoals is bijgevoegd onder bijlage I. Het definitieve engineeringspakket wordt geïntegreerd in het tekenpakket van het Omexom Institute. De schetsen zijn ontworpen aan de hand van de product- en functieanalyse, de handleiding van de CB-Watch en is gebaseerd op het in figuur 5.3.1 bepaalde ontwerp. Binnen de schetsen zijn alle klantenwensen en ontwerpcriteria uitgewerkt. Hiermee is in grote lijnen de basis gelegd voor het opstellen van de demo opstelling en het uitvoeren van de eerste testen met de CB-Watch.

Antwoord op vierde deelvraag:

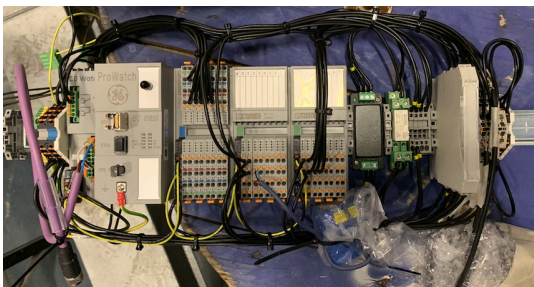
In dit hoofdstuk is antwoord gegeven op de vierde deelvraag: Welke data kunnen er continu worden gemonitord uit een vermogensschakelaar? Doordat er in het vorige hoofdstuk een product- en functieanalyse is uitgevoerd en er in dit hoofdstuk is gekeken naar alternatieve mogelijkheden om data te monitoren uit een vermogensschakelaar, is de deelvraag beantwoord. Met behulp van de CB-Watch is het mogelijk om in- en uitschakeltijden te meten, de in- en uitschakelstroom van de spoelen te meten, druk meting van SF₆-gas uit te voeren en motorstromen te meten. Tevens is er een handleiding ontworpen ten behoeve van het benaderen en programmeren van de CB-Watch, deze is bijgevoegd in bijlage J.

6. Fase 4: Detaillering van het ontwerp

In dit hoofdstuk wordt omschreven hoe de CB-Watch, in eerste instantie met behulp van een demo opstelling, is ingebouwd in de vermogensschakelaar van het Omexom Institute. Dit is uitgevoerd aan de hand van de product- en functieanalyse uit bijlage E. Tevens zijn de schetsen die zijn ontworpen in hoofdstuk 5, paragraaf 4, toegepast tijdens de realisatie. Nadat de demo opstelling is ingebouwd, geprogrammeerd en er is gecontroleerd of deze naar behoren werkt, wordt deze ingebouwd in het separate paneel nabij de vermogensschakelaar. Aansluitend worden de eerste testen uitgevoerd en worden de resultaten en uitkomsten hiervan vergeleken met de referentiewaarden van de fabrikant. Vervolgens wordt de vermogensschakelaar getimed. Hierdoor ontstaan er wederom referentiewaarden, waar de data uit de CB-Watch mee vergeleken wordt. Ook wordt er in dit hoofdstuk antwoord gegeven op de laatste deelvraag: Welke mogelijkheden biedt het Sprecher Automation veld besturingssysteem (PLC van Omexom Institute) met betrekking tot het presenteren van alarmen en data van het product?

6.1. De demo opstelling

Aan de hand van de ontworpen schetsen in paragraaf 5.4, welke zijn bijgevoegd onder bijlage G, is er een demo opstelling gerealiseerd van de CB-Watch. Deze demo opstelling is in de aandrieffkast van de vermogensschakelaar geplaatst, zodat deze geprogrammeerd en getest kon worden. Tevens konden er ingeval van fouten of afwijkingen relatief eenvoudig aanpassingen gemaakt worden. Afbeelding 6.1.1 illustreert de demo opstelling en op afbeelding 6.1.2 is de CB-Watch met toebehoren op zijn tijdelijke positie geplaatst achter in de aandrieffkast van de vermogensschakelaar.



Afbeelding 6.1.1 – Demo opstelling CB-Watch



Afbeelding 6.1.2 – CB-Watch ingebouwd op tijdelijke positie

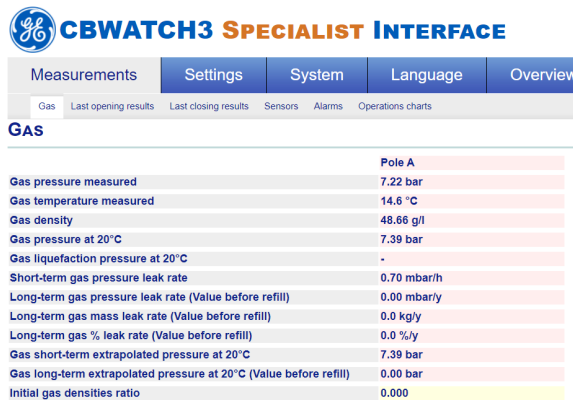
Na installatie van de demo opstelling in de aandrieffkast is deze voor de eerste keer onder spanning gebracht en is er ingelogd. In bijlage J staat uitgebreid beschreven hoe dit geheel in zijn werk gaat.

Programmeren:

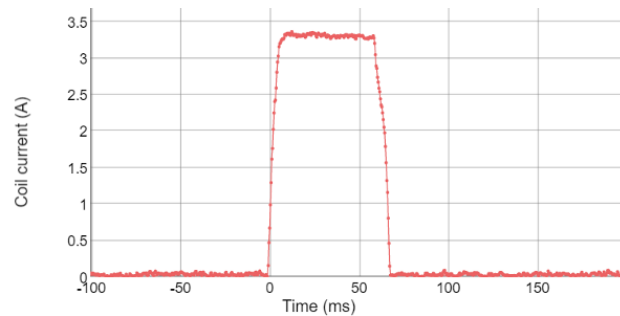
De volgende stap is om de CB-Watch te programmeren. Hier zijn onder andere de grenswaarden ingesteld ten behoeve van verzamelde data. Indien grenswaarden worden overschreden zal de CB-Watch eventueel storingsmeldingen moeten genereren, bijvoorbeeld als de druk van het SF₆-gas dusdanig is gedaald ten opzichte van ingegeven grenswaarden. In bijlage J is er naast een beschrijving met betrekking tot het inloggen, ook een beschrijving toegevoegd met betrekking tot de stappen die uitgevoerd dienen te worden om de CB-Watch te programmeren. Hier zijn de grenswaarden ingegeven waarbij de CB-Watch een alarm moet genereren. De grenswaarden verschillen per type vermogensschakelaar, deze staan beschreven in het handboek die is bijgeleverd bij een vermogensschakelaar.

Testen demo opstelling:

Tot slot is er geschakeld met de vermogensschakelaar om na te gaan of er daadwerkelijk data en metingen worden geregistreerd door de CB-Watch. Afbeelding 6.1.3 toont de SF₆-waarden die worden uitgelezen met behulp van de SF₆-sensor en afbeelding 6.1.4 toont een grafiek van de spoelstroom die wordt gemeten tijdens het inschakelen van de vermogensschakelaar.



Afbeelding 6.1.3 – SF6-waarden



Afbeelding 6.1.4 - Spoelstroom inschakelen

De conclusie van de eerste fase van het detailleren van de CB-Watch is dat deze succesvol is verlopen. De CB-Watch is geprogrammeerd en er wordt data uitgelezen en gemonitord vanuit de vermogensschakelaar. Tevens worden er schakeltijden geregistreerd en is de druk van het SF6-gas te monitoren. Dit betekende dat erover kon worden gegaan naar de volgende fase binnen het detailleren; de CB-Watch plaatsen in het paneel nabij de vermogensschakelaar.

6.2. De testen, valideren van referentiewaarden en de eerste resultaten

In paragraaf 6.1 is er met behulp van de demo opstelling getest of de CB-Watch naar behoren functioneert en of het mogelijk is om data uit te lezen en monitoren uit de vermogensschakelaar. De volgende stap is om over te gaan tot een definitieve opstelling, zoals bepaald aan de hand van het morfologisch overzicht in hoofdstuk 5, paragraaf 1. Eén van de klantenwensen is dat de CB-Watch wordt ingebouwd in een separaat paneel nabij de vermogensschakelaar. De definitieve opstelling is geïllustreerd op afbeelding 6.2.1.



Afbeelding 6.2.1 – Definitieve opstelling CB-Watch

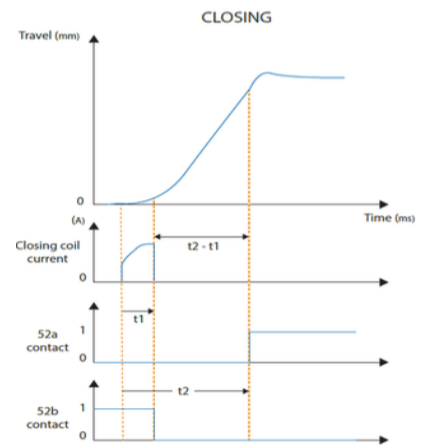
Testen:

Na het plaatsen van de CB-Watch in het separate paneel is er geprogrammeerd. Alle sensoren ten behoeve van metingen en verzamelen van data zijn ingebouwd. Tevens zijn de eerste testen uitgevoerd. Binnen deze testen zijn data uit de CB-Watch vergeleken met de referentiewaarden zoals deze staan beschreven in het handboek van de leverancier van de vermogensschakelaar. Door deze data met elkaar te vergelijken is er gevalideerd of de metingen uit de CB-Watch correct zijn. Tevens zijn de grenswaarden definitief ingesteld ten behoeve van het genereren van alarmen. Op afbeelding 6.2.2 zijn de schakeltijden weergegeven voor het inschakelen van de vermogensschakelaar, de belangrijkste gegevens op deze afbeelding worden onder de afbeelding toegelicht met behulp van pijlen en een nummer.

LAST CLOSING OPERATION DATA

	Pole A
Last operation date and time	Thu Mar 25 14:45:27 2021
Closing operation counter	18
52b contact switching time	58.8 ms
Closing reaction time (t1)	58.8 ms
52a contact switching time	72.8 ms
Closing operation time (t2)	72.8 ms
Closing travel time (t2-t1)	14.0 ms
Closing contact touching speed	7.5 m/s
Coil circuit DC voltage source 1	123.0 V
Outside ambient temperature	14.5 °C
COIL CURRENT	
Mean coil current - Closing	3.0 A

Afbeelding 6.2.2 – Schakeltijden inschakeling vermogensschakelaar



Afbeelding 6.2.3 - Werkingsprincipe

1. Tijd van schakelen van 'uit' (open) naar 'in' (close) stand (schakeltijd);
2. T1 betreft de tijd die benodigd is om de spoel te voorzien van stroom om te gaan sluiten (reactietijd) en T2 is de tijd die hij er daadwerkelijk over doet. Dit signaal wordt gemeten vanaf de wals contacten van de vermogensschakelaar (52a en 52b). Op tijdstip T2 is de spoel gesloten en is de totaal benodigde tijd bekend;
3. De daadwerkelijke schakeltijd, T2-T1;
4. De spanning van de spoel;
5. De stroom die vloeit tijdens het inschakelen van de vermogensschakelaar.

Op afbeelding 6.2.3, het werkingsprincipe zijn de wals contacten 52a en 52b (ten behoeve van uit- en in stand) van de vermogensschakelaar geïllustreerd. Zodra het commando wordt gegeven om de vermogensschakelaar 'in' te schakelen, start tijdstip T1 en begint er een spoelstroom (Closing coil current) te lopen. Parallel hieraan start de meting van T2. Zodra het wals contact van de vermogensschakelaar meldt dat deze zich in de 'in' positie bevindt, stopt de meting en worden de meetgegevens gegenereerd volgens afbeelding 6.2.2. Zodra de spoelstroom aanwezig is (einde T1) begint de meting van de schakeltijden totdat deze zich in de 'in' positie bevindt (einde T2). Tot slot wordt de stroom gemeten van de inschakelspoel, deze wordt weergegeven in een grafiek zoals is weergegeven op afbeelding 6.1.4. De werking van het uitschakelen van de vermogensschakelaar is gebaseerd op hetzelfde principe, de resultaten hiervan zijn bijgevoegd in bijlage K.

De eerste resultaten:

Aansluitend aan bovenstaande testen, zijn de uitkomsten ervan vergeleken met de opgegeven referentiewaarden vanuit de fabrikant. Op afbeelding 6.2.4 staan de referentiewaarden van de vermogensschakelaar van het Omexom Institute weergegeven. Het volledige document is in bijlage K bijgevoegd. Vanuit het handboek van de leverancier staat een tolerantie van +/- 10% op de minimale en maximale in- en uitschakeltijd. De conclusie die hieruit getrokken kan worden is dat de waarden overeenkomen en binnen de toleranties vallen zoals deze zijn opgegeven vanuit de fabrikant.

Measured values at routine test	Tolerance	Pole A
Closing time	min 62 - max 74	70
Opening time	min 26 - max 31	28,9

Afbeelding 6.2.4 – Referentiewaarden fabrikant vermogensschakelaar Omexom Institute

Het timen van de vermogensschakelaar:

De laatste stap binnen het testen van de CB-Watch was het timen van de vermogensschakelaar. Hier is met behulp van externe apparatuur een aantal metingen uitgevoerd. Deze metingen worden in de praktijk altijd uitgevoerd voor in bedrijf name van een nieuwe vermogensschakelaar. Tevens wordt het timen uitgevoerd tijdens zes jaarlijks onderhoud van de vermogensschakelaar, volgens de onderhoudsrichtlijnen van TenneT. In

bijlage K zijn alle meetwaarden en resultaten uit de CB-Watch bijgevoegd, zoals in- en uitschakeltijden, spoelstromen, ingestelde grenswaarden en de SF6-gaswaarden. Tevens is in deze bijlage het timingsrapport bijgevoegd waarmee is aangetoond dat de CB-Watch betrouwbaar genoeg is om te worden ingezet bij het continu verzamelen van data en het monitoren van de condities van een vermogensschakelaar. Deze conclusie kan getrokken worden omdat de data en meetwaarden die de CB-Watch genereerd vanuit de vermogensschakelaar overeenkomen met zowel de fabrikanttesten als met de resultaten van het timen.

Afronden eerste testen en uitlezing van alarmen CB-Watch op VBS van het Omexom Institute:

De testen zijn met succes zijn uitgevoerd en de CB-Watch doet wat ervan verwacht wordt. Dit is getoetst aan de hand van het Programma van Eisen in bijlage F en de ontwerpcriteria in hoofdstuk 4, paragraaf 5. De laatste stap is het afronden van definitieve engineeringspakket. Dit engineeringspakket is bijgevoegd onder bijlage I en wordt geïntegreerd in het tekenpakket van het Omexom Institute. Tot slot is er onderzocht of het mogelijk is om alarmen vanuit de CB-Watch te presenteren op het VBS van het Omexom Institute. Dit blijkt geen problemen op te leveren. Er is voor gekozen om deze stap in een later stadium te gaan doorvoeren, omdat er op korte termijn nog een aantal wijzigingen in het VBS van het Omexom Institute worden doorgevoerd. Dit geheel kan nu op één moment gepland worden met de leverancier (Sprecher Automation Nederland). Op afbeelding 6.2.6 zijn de I/O-gegevens bijgevoegd zoals deze geprogrammeerd gaan worden in het VBS ten behoeve van het presenteren van data (blauw gearceerd zodat de software engineer van Sprecher direct ziet om welke meldingen het gaat). In bijlage G (schetsen) en in bijlage I (definitie engineeringspakket) op pagina 'W4' staan de twee meldingen ingetekend.

DI_414_201	ASN B	Storing CB-Watch	DI_414 VERMOGENSSCHAKELAAR	X	DIU20	-Bd	DI14
DI_414_202	ASN B	Storing CB-Watch Verzamelalarm	DI_414 VERMOGENSSCHAKELAAR	X	DIU20	-Bd	DI15

Afbeelding 6.2.6 – I/O-lijst meldingen CB-Watch

Antwoord op vijfde deelvraag:

In deze paragraaf is antwoord gegeven op de laatste deelvraag: Welke mogelijkheden biedt het Sprecher Automation veld besturingssysteem (PLC van Omexom Institute) met betrekking tot het presenteren van alarmen en data van het product? De mogelijkheden om data en alarmen van de CB-Watch te presenteren op het VBS van het Omexom Institute zijn onderzocht. In de schetsen van bijlage G staan de alarmmeldingen ingetekend en zijn de I/O- en kaartnummers gereserveerd ten behoeve van de te presenteren alarmen. Zoals in deze paragraaf inzichtelijk is gemaakt is het mogelijk om alarmen van de CB-Watch te presenteren op het VBS. Er is voor gekozen om de betreffende alarmen op een later tijdstip te laten programmeren door de leverancier. Dit omdat er nog een aantal meldingen worden toegevoegd in het VBS, hiermee de kosten worden verlaagd tot een minimum. Deze wijziging is vastgelegd in bijlage L, wijzigingen tijdens uitvoering.

6.3. Risicoanalyse CB-Watch met behulp van FMEA

Nu de werking van de CB-Watch bekend is en de eerste testen zijn uitgevoerd, is er over gegaan tot een risicoanalyse. De risicoanalyse is uitgevoerd aan de hand van een FMEA (Failure Mode Effect Analyse). Hier zijn de belangrijkste onderdelen van de CB-Watch geanalyseerd en is bepaald wat de gevolgen kunnen zijn van een eventueel risico. Er is een norm beschikbaar waar in wordt beschreven welke risico's er aanwezig zijn binnen het schakelen van een vermogensschakelaar, namelijk de IEEE Standard C37.10.1 – 2000 (IEEE, 2001). Deze risico's zijn niet meegenomen in onderstaand FMEA omdat deze voornamelijk zijn gericht op de vermogensschakelaar zelf.

Hoe werkt het FMEA?

Met een FMEA worden verschillende onderdelen van een product, in dit geval de CB-Watch uitgelicht. De faalwijze, mogelijke gevolgen en oorzaken worden bepaald. Met deze werkwijze wordt er drie keer een score toegewezen. Namelijk voor de ernst, de frequentie en tot slot de detectie van het falen van een onderdeel. De cijfers liggen tussen de 1 en 10. Des te hoger een cijfer, des te groter is de ernst, frequentie en in geval de

detectie, de kans om het falen snel te detecteren. De volgende stap is om deze drie met elkaar te vermenigvuldigen, waardoor er een RPN (Risk Priority Number) ontstaat. Is de totaalscore van $\text{Ernst} \times \text{Frequentie} \times \text{Detectie}$ groter dan 150? Dan dient er actie ondernomen te worden om het risico te verkleinen.

In tabel 6.3.1 t/m 6.3.3 zijn de opbouw van scores van het toegelicht (FMEA - risicoanalyse, 2017). Hierbij wordt er onderscheid gemaakt in de ernst, de frequentie en de kans op detectie.

Tabel 6.3.1 – Omschrijving definities ernst van een proces

Ernst proces		
Score:	Omschrijving:	Definitie:
10	Gevaarlijk hoog	Falen kan personeelslid ernstig verwonden
9	Zeer hoog	Falen leidt tot het niet langer voldoen aan voorschriften
8	Erg hoog	Falen leidt tot de mogelijkheid dat product niet langer voldoet voor klanten
7	Hoog	Falen leidt tot het moeten afkeuren van reeds geanalyseerde data
6	Gemiddeld	Falen kan niet op korte termijn gecorrigeerd worden
5	Laag	Falen leidt tot het repareren van reeds geanalyseerde data
4	Erg laag	Falen kan gecorrigeerd worden, maar leidt wel tot stilstand in analyseren van data
3	Minimaal	Falen leidt tot ergenis maar kan verholpen worden zonder veel vertraging
2	Gering	Het falen wordt nauwelijks opgemerkt
1	Geen	Het falen wordt niet opgemerkt

Tabel 6.3.2 – Omschrijving definities van optredende frequentie

Frequentie		
Score:	Omschrijving:	Definitie:
10	Extreem vaak	Meer dan eens per dag
9	Zeer vaak	Eens per die of vier dagen
8	Vaak	Eens per week
7	Zeer regelmatig	Eens per maand
6	Regelmatig	Eens per drie maanden
5	Met tussenpozen	Eens per zes maanden
4	Af en toe	Eens per jaar
3	Laag	Eens per één tot drie jaar
2	Gering	Eens per drie tot vijf jaar
1	Nihil	Eens per vijf jaar of meer

Tabel 6.3.3 – Omschrijving definities van kans op detectie van falen

Detectie (kans op vroegtijdige ontdekking op problemen met CB-Watch)		
Score:	Omschrijving:	Definitie:
10	Vrijwel uitgesloten	Detectie is uitgesloten, fout kan niet vooraf of tijdens het proces gedetecteerd worden
9	Zeer onwaarschijnlijk	Zeer onwaarschijnlijk, kans is zeer klein om vooraf gedetecteerd te worden
8	Onwaarschijnlijk	De kans op detectie wordt onwaarschijnlijk
7	Erg laag	De kans op detectie wordt erg laag
6	Laag	De kans op detectie wordt laag
5	Gemiddeld	De kans op een snelle detectie wordt onwaarschijnlijker
4	Meer dan gemiddeld	Er wordt na enige een afwijking gemeld t.o.v. referentiewaarden, zoals deze zijn geprogrammeerd
3	Waarschijnlijk	Na enige tijd wordt afwijking t.o.v. referentiewaarden gemeld
2	Zeer waarschijnlijk	Het defect is wederom duidelijk en wordt gemeld door CB-Watch
1	Vrijwel zeker	Het defect is duidelijk zichtbaar en wordt gemeld door CB-Watch

In tabel 6.3.4 staan de onderdelen van de CB-Watch met hun faalkansen beschreven in het FMEA. In de kolom 'RPN' staat de faalkans weergegeven ($\text{Ernst} \times \text{Frequentie} \times \text{Detectie}$). De kleur geeft aan welke faalkansen er verkleind moeten worden. Bij een rode kleur is er actie vereist. De kleuren oranje en groen geven aan dat de faalkans klein tot nihil zijn. Verder is er inzichtelijk gemaakt welk onderdeel, welke faalkans betreft en mogelijke oorzaken en gevolgen ervan. Tot slot is de wijze van detectie beschreven en eventuele actie die vereist is.

Tabel 6.3.4 – Het FMEA

Nr.	Onderdeel	Faahwijze	Mogelijk gevolg	Ernst	Mogelijke oorzaak	Frequentie	Wijze van detectie	Detectie	RPN* (E*F*D)	Actie Ja / Nee
1.	Defecte sensoren t.b.v. stroommetingen	Kabelbreuk	Foutieve meting	7	Graafschade	4	Tijdens schakelhandeling ontbreekt data	6	168	Ja
		Montage fout	Analyse van data vertraagd	2	Onervaren monteur	2	Tijdens commissioning	1	4	Nee
2.	EMC-problemen CB-Watch	Installatie voldoet niet aan richtlijnen EMC, waardoor metingen incorrect zijn	Er wordt foutieve data verkregen vanuit CB-Watch	8	Magnetische straling en invloeden van andere installatie onderdelen	4	Er wordt afwijkende data verkregen van CB-Watch t.o.v. referentie waarden.	3	96	Ja
3.	CB-Watch, gegevens verdwijnen bij spanningsuitval	Door een stroomstoring valt CB-Watch uit	Vergaarde data gaat verloren	7	Spanningsdip, stroomstoring bij netbeheerder of klant	4	Geen verbinding of communicatie meer met CB-Watch	2	56	Nee
		Elektrocute tijdens uitvoeren van testen	Vergaarde data gaat verloren en persoonlijk letsel	10	Door een menselijke- of teken technische fout wordt er kortsluiting veroorzaakt	2	De kortsluiting wordt afgeschakeld door een beveiligingsautomaat	2	40	Nee
4.	Defecte SF6-sensor	DILO-koppeling defect	Lekkage van SF6-gas	10	In de DILO-koppeling werken rubbers niet naar behoren	3	CB-Watch meldt een snelle daling van SF6-druk t.o.v. referentie waarden	3	90	Nee
		Sensor defect	Veroudering, foutieve spanning op RS485 verbinding door een storing	4	Door een kortsluiting (secundaire installatie) wordt de sensor opgeblazen	2	Er wordt niet langer een waarde voor SF6-druk gemeld. CB-Watch meldt een storing	3	24	Nee

Aanbevelingen naar aanleiding van risicoanalyse met behulp van FMEA

In tabel 6.3.4 is inzichtelijk gemaakt dat er een drietal onderdelen van de CB-Watch mogelijk tot problemen kunnen gaan leiden. Een defecte sensor, waardoor een stroommeting niet langer uitgevoerd kan worden, heeft de grootste faalkans. Om dit probleem te verkleinen dient inzichtelijk te worden gemaakt (op de betreffende locatie) waar de kabels ten behoeve van de sensoren liggen. Tevens wordt er aanbevolen om mantelbuizen om de kabels van de sensoren te plaatsen, zodat deze minder gevoelig zijn.

Het tweede probleem die tot foutieve data kan leiden zijn EMC-problemen. Om dergelijke problemen te voorkomen dient met zich tijdens montage van de CB-Watch rekening te houden met montage volgens de richtlijnen van EMC. Ook dienen kabels ten behoeve van stuursignalen en voedingskabels niet in dezelfde kabelgoot geplaatst te worden. Dit zal EMC-problemen verkleinen tot een minimum (Verwoerd, 2016).

Tot slot is er een mogelijkheid dat er lekkage van SF6-gas optreedt. Dit is erg slecht voor het milieu. Eén kilogram SF6-gas in atmosfeer staat gelijk aan bijna 24000 kilogram CO²-uitstoot (Eaton, 2017). Daarom dient er tijdens het monteren van de zelfsluitende koppeling rekening gehouden te worden met correcte montage van deze koppeling, met name het plaatsen van de rubbers in de binnenzijde van de koppeling dient secuur te worden uitgevoerd. Aansluitend dient er een controle uitgevoerd te worden met behulp van lekdetectie apparatuur, hiermee wordt ook dit risico tot een minimum beperkt.

6.4. Problemen en uitdagingen tijdens implementatie CB-Watch

In deze paragraaf worden kort de ‘lessons learned’ benoemd naar aanleiding van het bouwen, het uitvoeren van de testen en controleren van de data. De eerste uitdaging was een goede zelfsluitende koppeling verkrijgen om de SF6-sensor te koppelen aan de vermogensschakelaar. Dit is in samenwerking met GE opgelost door foto’s te versturen van de afmetingen van de koppeling van de vermogensschakelaar en die van de sensor. De tweede uitdaging was het verkrijgen van een goede SFP-converter om de CB-Watch mee uit te kunnen lezen. Er was in eerste instantie een SFP-glasvezel koppeling geleverd. Via een GE-fabriek in Ierland is er een correcte versie verstuurd. Na het inbouwen van de CB-Watch in de definitieve opstelling en het opnieuw aanbrengen van spanning op de installatie, werkte de Command Detection Module niet (ten behoeve van de schakeltijden). Door een montage fout is de CDM foutief geplaatst en liep de stroom in verkeerde richting. Hierdoor detecteerde de CDM geen waarden. Het laatste punt is het uitlezen van de motorstromen. Deze komen tot op heden niet binnen op de CB-Watch. GE is bezig met een onderzoek naar een oplossing voor dit probleem.

7. Fase 5: De resultaten en de gebruikerstest

In dit hoofdstuk worden de resultaten gepresenteerd en wordt de gebruikerstest uitgevoerd. In de praktijk wordt de gebruikerstest uitgevoerd wanneer alle functionele testen goedgekeurd zijn en een product gereed is voor oplevering. In de gebruikerstest worden nog eenmaal alle kritische punten doorlopen. Ook worden de resultaten van de testen uit hoofdstuk 6, paragraaf 2, gevalideerd. Denk hierbij aan de druk van het SF6-gas (drukwachter vermogensschakelaar en waarde CB-Watch), in- en uitschakelstroom en schakeltijden. Door de resultaten van de testen te vergelijken met de fabrikanttesten (routinetesten) en het timen van de vermogensschakelaar, dient geconcludeerd te kunnen worden dat de verzamelde data uit de CB-Watch overeenkomt met de werkelijkheid.

In paragraaf 7.1 staan de resultaten van de testen nog éénmaal overzichtelijk in een tabel opgesomd, zodat wordt aangetoond dat de CB-Watch naar behoren functioneert. In paragraaf 7.2 wordt de gebruikerstest uitgevoerd. Met behulp van een checklist worden alle punten nagelopen en tot slot worden er ook een aantal fouten gesimuleerd. Dit wordt gedaan om te controleren of dat er daadwerkelijk foutmeldingen worden gegenereerd door de CB-Watch.

7.1. De resultaten

In tabel 7.1.1 staan de resultaten uit de CB-Watch en die van de referentiemetingen weergegeven. Hiermee is aangetoond dat de data uit de CB-Watch overeenkomt met de routinetesten van de fabrikant van de vermogensschakelaar en het timen hiervan. Tijdens het timen worden manueel alle testen uitgevoerd, die noodzakelijk zijn voor een in bedrijf name van een nieuwe vermogensschakelaar. Door de vermogensschakelaar van het Omexom Institute te timen worden er extra referentiewaarden gerealiseerd om te vergelijken met de resultaten van de testen uit de CB-Watch. In tabel 7.1.1 staan in- en uitschakeltijden, in- en uitschakelstroom, motorstroom, spanning en SF6-gas gegevens gepresenteerd. In bijlage K is een uitgebreide toelichting gegeven op de resultaten en uitgevoerde testen.

Tabel 7.1.1 – Resultaten referentiemetingen CB-Watch

Resultaten referentiemetingen				
Meting:	Fabrikanttest:	Timen VS:	CB-Watch:	Binnen toleranties fabrikant:
Inschakeltijd:	70 ms	70.4 ms	72.8 ms	Min. 54 & max. 81 ms.
Uitschakeltijd:	28.9 ms	29.6 ms	32.8 ms	Min. 23.4 & max. 34.1 ms
Inschakelstroom:	n.v.t. **	3.1 A	3.0 A	< 5 A
Uitschakelstroom:	n.v.t.	2.7 A	2.8 A	< 5 A
Motorstroom:	8.44 A	8.91 A	8.6 A *	< 24 A
Spanning:	121 VDC	110 VDC	123 VDC	> 100 VDC & Max. 130 VDC
SF6-gasdruk:	7.4 Bara (drukwachter) ***	7.31 Bara	7.31 Bara	> 6.4 Bara

* Handmatig gemeten i.v.m. defecte stroomtransformator/analoge-kaart. Onderzoek GE-Ierland loopt.

** Geen onderdeel van routinetesten in fabriek.

*** Druk van drukwachter vermogensschakelaar afgelezen. In fabriek is deze test niet uitgevoerd.

Conclusie resultaten:

De conclusie die getrokken kan worden uit de resultaten van tabel 7.1.1, is dat de meetwaarden en data die worden gepresenteerd door de CB-Watch overeenkomen met de gestelde referentiewaarden. De in- en uitschakeltijden en bijbehorende in- en uitschakelstromen komen overeen met de fabrikanttesten, tevens met de referentiewaarden van het timen van de vermogensschakelaar. Ook komen de waarden van de SF6-gasmeting van de CB-Watch en die van de gasanalyse, tijdens het timen met elkaar overeen. Dit bevestigt dat de data die wordt geanalyseerd door de CB-Watch correct is. Het overgebleven punt van aandacht is de meting van de motorstroom. Deze vraag ligt bij de GE-fabriek in Ierland. In overleg met Omexom is deze meting niet langer onderdeel van het afstudeerproject. Dit is vastgelegd in bijlage L, wijzingen tijdens uitvoering.

7.2. De gebruikerstest

Op afbeelding 7.2.1 is een deel van de gebruikerstest bijgevoegd. Op de afbeelding zijn de algemene inspecties en functionele testen inzichtelijk gemaakt. De gehele gebruikerstest is bijgevoegd onder bijlage M.

Item	Omschrijving	Controle	Opmerkingen
1	Algemene inspectie CB-Watch		
1.1	Tekenpakket aanwezig	OK	
1.2	Koppeling SF6-sensor aanwezig	OK	DN8
1.3	Kast/behuizing geaard	OK	
1.4	Kabels, bedrading, klemmenstrook aangesloten en gecodeerd	OK	
1.5	Aansluitingen correct conform tekeningenpakket	OK	
1.6	Interne bedrading correct en netjes	OK	
1.7	Externe en interne aarding correct en vast	OK	
1.8	Polariteit motor correct	OK	
1.9	Handleiding en gebruiksaanwijzing aanwezig	OK	
2	Functionele testen CB-Watch		
2.1	Motorspanning en inschakelspanning aanwezig	OK	
2.2	Uitschakelspanning 1 en 2 aanwezig	OK	Fysiek 1 gelijkrichter en dus 1 UV spanning
2.3	Voedingsspanning power supply aanwezig (230VAC en 24 VDC)	OK	
2.4	+/- 15 VDC aanwezig	OK	
2.5	Uit-stand VS functioneert op CB-Watch (m.b.v. contact 52a)	OK	
2.6	In-stand VS functioneert op CB-Watch (m.b.v. contact 52b)	OK	
2.7	CDM registreert schakeltijden tijdens schakelhandelingen	OK	Zie bijlage I voor resultaten
2.8	Stroommeting inschakeling VS functioneert	OK	Zie bijlage I voor resultaten
2.9	Stroommetingen uitschakeling VS functioneren	OK	Zie bijlage I voor resultaten
2.10	Motorstroom functioneert tijdens schakelhandelingen	NOK	Actie ligt bij GE, mogelijk is stroomtrafo defect
2.11	SF6-gasmeting functioneert	OK	Zie bijlage I voor resultaten
2.12	Storing SF6-meting	OK	Zie bijlage K en paragraaf 7.2 voor de test
2.13	Storing meten schakeltijden	OK	Zie bijlage K voor de test
2.14	Storing meten in en uitschakelstroom	OK	Zie bijlage K voor de test
2.15	Storing meting motorstroom	OK	Zie bijlage K voor de test
2.16	Algemene storing CB-Watch voedingsspanning afwezig	OK	Zie bijlage K voor de test

Afbeelding 7.2.1 – De gebruikerstest

Zoals benoemd in bovenstaande gebruikerstest zijn er ook een aantal fouten gesimuleerd. Met behulp van afbeeldingen vanuit het HMI-scherm van de CB-Watch en het interne alarmscherm, wordt als voorbeeld hieronder de gezonde situatie en de gestoorde situatie weergegeven van de SF6-gassensor. Afbeelding 7.2.2 illustreert de gezonde situatie indien de SF6-sensor waarden registreert. Indien de verbinding met de sensor is verbroken worden er geen waarden geregistreerd, zoals is geïllustreerd op afbeelding 7.2.3. Afbeelding 7.2.4 geeft de ‘gezonde’ situatie weer in een normale bedrijfssituatie. Wanneer er geen data wordt verkregen door de CB-Watch, vanuit de SF6-sensor, geeft deze een alarmmelding (wordt als verzamelalarm opgestuurd), zoals geïllustreerd op afbeelding 7.2.5. De overige gesimuleerde alarmmeldingen staan weergegeven in bijlage M, de gebruikerstest.

GAS

	Pole A
Gas pressure measured	7.23 bar
Gas temperature measured	15.3 °C
Gas density	48.59 g/l
Gas pressure at 20°C	7.38 bar

Afbeelding 7.2.2 – Gezonde situatie SF6-sensor

GAS

	Pole A
Gas pressure measured	-1000.00 bar
Gas temperature measured	-1000.0 °C
Gas density	-1000.00 g/l
Gas pressure at 20°C	-1000.00 bar

Afbeelding 7.2.3 – Gestoorde situatie SF6-sensor

ALARMS RELATED TO GAS

	Pole A
Gas pressure < threshold 1	OK
Gas pressure < threshold 2	OK
Gas pressure > threshold 3	OK
Gas pressure < liquefaction pressure	OK
Short-term extrapolated pressure < threshold 2	OK
Long-term extrapolated pressure < threshold 1	OK
Gas sensor not present	OK
Invalid data from gas sensor	OK

Afbeelding 7.2.4 – Gezonde situatie alarmscherm

ALARMS RELATED TO GAS

	Pole A
Gas pressure < threshold 1	OK
Gas pressure < threshold 2	OK
Gas pressure > threshold 3	OK
Gas pressure < liquefaction pressure	OK
Short-term extrapolated pressure < threshold 2	OK
Long-term extrapolated pressure < threshold 1	OK
Gas sensor not present	Alarm
Invalid data from gas sensor	Alarm

Afbeelding 7.2.5 - Gestoorde situatie alarmscherm

Conclusie gebruikerstest:

De conclusie van de gebruikerstest is dat behoudens de meting van de motorstromen, de CB-Watch naar behoren functioneert. De data, die worden geregistreerd bij schakelhandelingen en de drukmeting van het SF6-gas is correct. Dit is gevalideerd aan de hand van de referentiewaarden van het timen van de vermogensschakelaar en de fabrikanttesten. Indien er alarmen worden gecreëerd die in de praktijk kunnen optreden, of wanneer er gemeten wordt buiten de grenswaarden, geeft de CB-Watch alarmmeldingen. Het enige overgebleven punt van aandacht is de meting van de motorstromen. Mede omdat de CB-Watch in Nederland nu alleen functioneert in het Omexom Institute lopen de onderzoeken naar de oorzaak van dit probleem nog.

7.3. Normen

De CB-Watch dient te voldoen aan een aantal normen, zowel als onderdeel van de vermogensschakelaar, maar ook als onderdeel van een hoogspanningsinstallatie. Hierna staan de geldende normeringen

- NEN-EN-IEC-62271-100 (NEN-EN-IEC 62271, 2003)*: beschrijft hoogspanningsschakelmateriaal en installatievoorschriften.

De volgende testen vallen onder deze norm, tussen haakjes staat de subcategorie:

- Functionele mechanische testen (IEC 62271-100 paragraaf. 7.101);
- Ontwerp en visuele controles (IEC 62271-100 paragraaf. 7.5);
- Elektrische testen;
- Spanningsweerstandtest (IEC 62271-100 paragraaf. 7.2);
- SF6-dichtheidscontrole (IEC 62271-100 paragraaf. 7.4).
- NEN1010-deel 6.
- NEN3140 bedrijfsvoering laagspanningsinstallaties.
- DIN EN 60529 IP54 (DIN EN 60529 IP54, 1970) geldt voor de behuizing van de CB-Watch.
- IEC 60480 norm ten behoeve van kwaliteit SF6-gas.

*Staan beschreven op routine test certificaat van fabrikant in bijlage K, bronverwijzing naar inhoudspagina ter bevestiging.

8. Conclusie en aanbevelingen

Conclusie:

De vraagstelling waar antwoord op gegeven dient te worden binnen het afstudeerrapport was: **Welke stappen moeten er worden ondernomen om over te gaan van time-based via condition-based naar predictive maintenance?** Hierbij worden de condities van het meest essentiële onderdeel van een hoogspanningsinstallatie, de vermogensschakelaar, digitaal gemonitord.

De gevolgde methodiek om binnen het afstudeerrapport antwoord te geven op de vraagstelling is volbracht aan de hand van de fasering van 'het ontwerpen van technische innovaties' van Inge Oskam. Door de gestructureerde manier van werken te volgen is per fase gewerkt naar de oplossing en uiteindelijk de implementatie van de CB-Watch. Hierdoor kon er worden overgegaan tot de conclusie van het afstudeerrapport. Een belangrijke toevoeging aan de vraagstelling is dat dit onderzoek specifiek is toegewijd op het overgaan van time-based naar condition-based maintenance. De stap maken naar predictive maintenance is alleen mogelijk door het analyseren van verzamelde data over een langere periode.

De data welke zijn verzameld uit de CB-Watch tijdens schakelhandelingen en het continu meten van het SF6-gas zijn vergeleken met referentiewaarden van de fabrikanttesten (routinetesten). Ook zijn de resultaten van het timen van de vermogensschakelaar vergeleken met de vergaarde data uit de CB-Watch. Deze resultaten staan weergegeven in tabel 8.1, resultaten referentiemetingen CB-Watch.

Tabel 8.1 – Resultaten referentiemetingen CB-Watch

Resultaten referentiemetingen				
Meting:	Fabrikanttest:	Timen VS:	CB-Watch:	Binnen toleranties fabrikant:
Inschakeltijd:	70 ms	70.4 ms	72.8 ms	Min. 54 & max. 81 ms.
Uitschakeltijd:	28.9 ms	29.6 ms	32.8 ms	Min. 23.4 & max. 34.1 ms
Inschakelstroom:	n.v.t.**	3.1 A	3.0 A	< 5 A
Uitschakelstroom:	n.v.t.	2.7 A	2.8 A	< 5 A
Motorstroom:	8.44 A	8.91 A	8.6 A*	< 24 A
Spanning:	121 VDC	110 VDC	123 VDC	> 100 VDC & Max. 130 VDC
SF6-gasdruk:	7.4 Bara (drukwachter)***	7.31 Bara	7.31 Bara	> 6.4 Bara

* Handmatig gemeten i.v.m. defecte stroomtransformator/analoge-kaart. Onderzoek GE-Ierland loopt.

** Geen onderdeel van routinetesten in fabriek.

*** Druk van drukwachter vermogensschakelaar afgelezen. In de fabriek is deze test niet uitgevoerd.

Wanneer de resultaten uit tabel 8.1 met elkaar worden vergeleken kan de conclusie worden getrokken dat de data uit de CB-Watch overeenkomt met de referentiewaarden. Ook vallen de data en metingen binnen de gestelde toleranties. De verzamelde data zijn correct en de CB-Watch meldt issues wanneer grenswaarden worden overschreden.

Het doel van dit onderzoek was enerzijds om met behulp van een geautomatiseerd proces inzicht te verkrijgen in de condities van een vermogensschakelaar. Anderzijds was het doel om inzicht te verkrijgen in wat de huidige fase van de levenscyclus van een vermogensschakelaar is. Door het implementeren van de CB-Watch op een vermogensschakelaar is het mogelijk om continu data te verzamelen tijdens schakelhandelingen. Hierdoor is het mogelijk gemaakt om inzicht te verkrijgen in de levenscyclus van een vermogensschakelaar en kan worden bepaald wanneer er onderhoud benodigd is.

Dit maakt het mogelijk om de stap te zetten van time-based naar condition-based maintenance. Wanneer er op termijn grenswaarden worden overschreden wordt dit gemeld door de CB-Watch. Men kan nu tijdig actie ondernemen met betrekking tot het plegen van onderhoud en potentiële storingen elimineren, voordat het te laat is en een vermogensschakelaar gestoord raakt. Hiermee is de doelstelling met bereikt.

Met dank aan het succesvol afronden van het afstudeerproject kan Omexom met de CB-Watch de energiemarkt op. Omexom kan met behulp van de CB-Watch bijdragen aan het verzamelen en analyseren van data. Hierdoor kunnen klanten die gebruik van maken van de CB-Watch hun onderhoud beter gaan plannen (condition-based) en in de toekomst overgaan naar voorspellend (predictive) onderhoud.

Aanbevelingen:

De stap naar predictive maintenance kan worden gemaakt door het analyseren van verzamelde data over een langere periode bij een vermogensschakelaar waarmee vaker wordt geschakeld. Een aanbeveling is om de CB-Watch in te bouwen in een vermogensschakelaar die meerdere keren per dag schakelt, denk hierbij aan een spoel- of condensatorveld. Hierdoor wordt het mogelijk om over een langere periode data te verzamelen en analyseren. Op deze wijze wordt de levenscyclus bekend en kan er worden overgegaan naar predictive maintenance. Een tweede aanbeveling is om in samenwerking met GE de meting van de motorstromen te gaan optimaliseren. Er loopt momenteel een onderzoek bij de GE-fabriek in Ierland naar de problemen met deze meting. De laatste aanbeveling is om het SCADA-systeem te gaan implementeren in het Omexom Institute. Hierdoor wordt het mogelijk gemaakt om de verzamelde data door de CB-Watch te gaan presenteren en kunnen eventuele alarmen worden opgemerkt.

Literatuur

- Berg, D. v. (2014). *Welke invloed heeft zonne-energie op de landelijke balanshandhaving van TenneT*. Arnhem: n.v.t.
- Bergman, B. (2012, Oktober). *CIGRE Centennial Session*. Opgehaald van E-Cigre: <https://e-cigre.org/publication/510-final-report-of-the-2004---2007-international-enquiry-on-reliability-of-high-voltage-equipment---part-2-sf6-circuit-breakers>
- Bogearts, S. D. (2020). *Spanningskwaliteit in Nederland*. Den Haag: Netbeheer Nederland. Opgehaald van Netbeheer.
- Bontenbal, R. (omstreeks 2001). Opgehaald van Werken aan projecten: <https://werken-aan-projecten.nl/03102014-584/>
- DIN EN 60529 IP54. (1970). Opgehaald van Bopla technische informatie: <https://www.bopla.de/nl/technische-gegevens/technische-informatie/beschermingsklassen/ip-54.html>
- Eaton. (2017). Opgehaald van Eaton: <https://www.eaton.com/nl/nl-nl/company/news-insights/news-releases/2020/gebruik-sf6-broeikasgas-moet-nu-echt-voorbij-zijn.html>
- Enexis, o. n. (2020, Juli 1). *Capaciteitsproblemen Drenthe en Groningen*. Opgehaald van Capaciteitsproblemen Enexis: <https://www.enexis.nl/zakelijk/duurzaam/beperkte-capaciteit/gebieden-met-schaarste>
- FMEA - risicoanalyse. (2017, Februari). Opgehaald van FMEA - risicoanalyse: <https://seriousgamingminor.wordpress.com/opdrachten/periode-2/week-2/fmea-foutenanalyse/>
- GE - CB-Watch. (2020). Opgehaald van GE - CB-Watch: https://www.gegridsolutions.com/products/brochures/cbwatch3_gea-31972-e_170627_r003.pdf
- Grit, R. (2016). P6-Methode. In R. Grit, *P6-Methode*. Emmen: Noordhoff Uitgevers Groningen/Houten.
- Hoogspanningsnet. (2003). Opgehaald van Hoogspanningsnet: <https://www.hoogspanningsnet.com/techniek/vermogensschakelaars/>
- IEEE. (2001, April 18). *Norm Vermogensschakelaar*. Opgehaald van <https://ieeexplore.ieee.org/document/929430>
- Liander. (2020, November 12). *Capaciteitsproblemen Liander*. Opgehaald van Liander : <https://www.liander.nl/transport-schaarste/beschikbaarheid-capaciteit>
- Library ABB. (2019, Mei). Opgehaald van Library ABB: https://library.e.abb.com/public/8ab0db08b17544b7bbdcb49e77ce78c4/REC615_RER615_tech_758755_ENb.pdf
- Nederland, N. (2020, April 30). Opgehaald van Netbeheer Nederland: <https://www.netbeheernederland.nl/nieuws/onderzoek-spanningskwaliteit-2019-gepubliceerd-1371>
- NEN-EN-IEC 62271. (2003, Mei). Opgehaald van IEC: https://infostore.saiglobal.com/preview/iec/iec62000/62200/iec62271-100%7Bed1.1%7Den_d.pdf?sku=653690
- Netbeheer Nederland. (2020, April 30). Opgehaald van Netbeheer Nederland: <https://www.netbeheernederland.nl/nieuws/onderzoek-spanningskwaliteit-2019-gepubliceerd-1371>

- Oskam, I. (2017). In *Ontwerpen van technische innovaties*. Groningen/Utrecht: Noordhof uitgevers.
- Prinssen, W. (2020). Phase to Phase. In W. Prinssen, *Phase to Phase* (pp. 402, 158). Arnhem: Uitgegeven in eigen beheer.
- Siemens Energy*. (2012). Opgehaald van Siemens Energy: <https://www.scribd.com/document/360565273/high-voltage-circuit-breakers-portfolio-en-pdf>
- Smeets, R. (2004). Schakelen in energienetten (TU Eindhoven). In R. Smeets, *Schakelen in energienetten: techniek, gevolgen en beheersaspecten* (pp. Hoofstuk: 1, 2, 3, 8, 11). Arnhem: Version of Record - Gepubliceerd.
- Verwoerd, W. (2016). Opgehaald van Euronorm.net Wetgeving en Normalisatie: <https://www.euronorm.net/content/template2.php?itemID=189>

Bijlagenlijst

Bijlage A:	Het projectlogboek	p. 43
Bijlage B:	Interview tijdens het vooronderzoek met ABB	p. 47
Bijlage C:	Gesprek samenvatting vooronderzoek t.b.v. verkregen informatie Siemens & GE	p. 49
Bijlage D:	De projectbegroting	p. 50
Bijlage E:	De product- en functieanalyse	p. 53
Bijlage F:	Het Programma van Eisen	p. 58
Bijlage G:	De schetsen t.b.v. het engineeringspakket	p. 60
Bijlage H:	Risico's tijdens het afstuderen	p. 68
Bijlage I:	Het definitieve engineeringspakket	p. 69
Bijlage J:	Benaderen en programmeren van de CB-Watch	p. 78
Bijlage K:	De resultaten	p. 85
Bijlage L:	Wijzigingen tijdens uitvoering	p. 110
Bijlage M:	De gebruikerstest	p. 112

Het projectlogboek

Bijeenkomst 1, doornemen plan van aanpak

Aanwezig:

- Mateusz van Strien - Werkbegeleider
- Stefan Nieuwenhuis – Afstudeerder

Afwezig:

- Andre Timmermans - Werkbegeleider
-

Datum:

16-02-2021, week 07

Gespreksverslag:

Tijdens de eerste bijeenkomst zijn de hoofdstukken en fasering besproken van het plan van aanpak (onderzoeksplan). Inhoudelijk waren er weinig op- en aanmerkingen. Ik heb aan Mateusz het studieboek 'Ontwerpen van technische innovaties' laten zien, waardoor hij een goed beeld kreeg over de gekozen fasering en tot het ontstaan van probleemverkenning en probleemstelling. Hij begrijpt de methodiek en behoudens een aantal grammaticale op- en aanmerkingen was hij inhoudelijk akkoord.

Gemaakte afspraken n.a.v. verslag:

Het plan van aanpak laten aftekenen door Andre Timmermans en aansluitend opsturen naar de afstudeerbegeleider van de Hanzehogeschool

Go/No Go volgende projectfase:

GO

Geplande volgende bijeenkomst a.d.h.v. PIT-Stop:

Week 10, 08-03-2021

Bijeenkomst 2, doornemen vooronderzoek en productanalyse.*Aanwezig:*

- Mateusz van Strien - Werkbegeleider
- Andre Timmermans - Werkbegeleider
- Stefan Nieuwenhuis - Afstudeerder

Afwezig:

- Geen
-

Datum:

10-03-2021, week 10

Gespreksverslag:

Tijdens de tweede bijeenkomst zijn het vooronderzoek in hoofdstuk 3 en de productanalyse in hoofdstuk 4 doorgenomen. Over het algemeen was men te spreken over de voortgang en de gekozen methodieken. Als tip kreeg ik om een verklarende woordenlijst te gaan bijhouden in verband met de vele afkeringen die van toepassing zijn. Een tweede tip was om bij het morfologisch overzicht van figuur 3.3.1 een duidelijkere beschrijving toe te voegen ten aanzien van de drie kleuren die er zijn toegepast. Tot slot is er aangeraden om een versie van het afstudeerrapport op te sturen naar de afstudeerbegeleider van de Hanzehogeschool. Dit om er zeker van te zijn dat er "de goede" dingen worden gedaan.

Gemaakte afspraken n.a.v. verslag:

Toevoegen verklarende woordenlijst, aanpassen morfologisch overzicht en opsturen afstudeerrapport naar begeleider van de Hanzehogeschool voor een scan.

Go/No Go volgende projectfase:

GO

Geplande volgende bijeenkomst a.d.h.v. PIT-Stop:

Week 13, 01-04-2021

Bijeenkomst 3, functioneringsgesprek.*Aanwezig:*

- Mateusz van Strien - Werkbegeleider
- Andre Timmermans - Werkbegeleider
- Stefan Nieuwenhuis - Afstudeerder

Afwezig:

- Geen
-

Datum:

01-04-2021, week 13

Gespreksverslag:

Tijdens de bijeenkomst heb ik een toelichting gegeven op de competenties uit de afstudeerhandleiding. Voor Andre en Mateusz was in eerste instantie niet geheel duidelijk wat de competenties van het functioneringsgesprek document betekenden.

Vervolgens zijn alle competenties besproken en heb ik enige toelichting verzorgd. Omexom is erg te spreken over mijn onderzoek en uitkomsten voor zover deze nu bekend zijn.

Ze hebben mij voorzien van een aantal tips, namelijk: updaten kosten, leesbaarheid morfologisch overzicht, aanhaken TenneT voor implementatie na het afstuderen.

De conclusie is dat ik goed onderweg ben om alle competenties op het gewenste eindniveau te verkrijgen.

Ik zie de komende maanden dan ook met vertrouwen te gemoed.

Gemaakte afspraken n.a.v. verslag:

Een geüpdatet versie maken van de kosten en toelichting geven op het morfologisch overzicht.

Go/No Go volgende projectfase:

GO

Geplande volgende bijeenkomst a.d.h.v. PIT-Stop:

Week 18, 03-05-2021.

Bijeenkomst 4, doornemen van het concept afstudeerrapport.*Aanwezig:*

- Mateusz van Strien - Werkbegeleider
- Andre Timmermans - Werkbegeleider
- Stefan Nieuwenhuis - Afstudeerder

Afwezig:

- Geen
-

Datum:

03-05-2021, week 18.

Gespreksverslag:

Over het algemeen waren de werkbegeleiders zeer positief over het afstudeerrapport. Er is goede feedback gegeven, waarmee de puntjes op i kunnen worden gezet. De daadwerkelijke beoordeling van het afstudeerrapport wordt eind Mei gepland nadat het afstudeerrapport bij de Hanzehogeschool door de conceptfase is gekomen.

Gemaakte afspraken n.a.v. verslag:

Verwerken feedback van de afstudeerbegeleiders en het afstudeerrapport als concept aanbieden aan de Hanzehogeschool.

Go/No Go volgende projectfase:

Go

Geplande volgende bijeenkomst a.d.h.v. PIT-Stop:

Week 21

Bijlage B: Interview tijdens het vooronderzoek

Dit interview is afgenomen bij een medewerker van TenneT, die tot voorkort werkzaam was bij ABB als commissioning engineer. Op diverse projecten is er een samenwerking met de betreffende collega. Een aantal weken voor het interview heb ik gesproken met de collega over mijn afstudeeropdracht en het bijbehorende vooronderzoek. Aansluitend aan dit gesprek heeft de collega gesproken met zijn oud-collega's bij ABB en navraag gedaan over de mogelijkheden met betrekking tot digitale monitoring van condities van een vermogensschakelaar. Hieruit volgend heeft hij een aantal documenten tot zijn beschikking gekregen die hij mocht delen ten behoeve van het onderzoek.

Datum van interview

03-11-2020, week 45

Het interview (het gesprek is in overleg opgenomen, om alle antwoorden goed te verwoorden)

1. Wat is het product

Het betreft een beveiligingsrelais met de mogelijkheid om dergelijke functies zoals je hebt geschetst te programmeren. Het is de REC615, er zijn hiervan verschillende typen. Type 615 wordt voornamelijk toegepast in middenspanningsinstallaties. Maar er is ook een type beschikbaar, waarmee bijvoorbeeld hoogspanningsinstallaties beveiligd mee kunnen worden. De conditie monitoringstool heet de SSCBR, de naam van het functieblok in het beveiligingsrelais. Hiermee is het mogelijk om de status (stand), schakeltijden, meten van de stroom die er loopt tijdens afschakeling (van belang voor levensduur) en de SF6-druk meting. Dit is een meting die aangeeft dat er bijvoorbeeld lekkage is.

2. Is het product gebruiksvriendelijk?

Nee, het is een complex relais. Er zitten zeer veel functies op. Weet je niet waar je moet zoeken, wordt een lastig geheel.

3. Is het product compact van formaat?

Hij moet worden ingebouwd in een paneel, eventueel kan hij worden opgebouwd.

4. Is het product universeel toepasbaar?

Het is een compleet beveiligingsrelais. Dus om hem alleen toe te passen voor monitoring van condities is niet heel praktisch. Eigenlijk moet er een compleet relais worden vervangen, hetgeen wat in de praktijk niet gedaan zal worden. Maar het relais zelf is wel toepasbaar binnen verschillende leveranciers.

5. Is het product betaalbaar?

Het relais is een stuk duurder dan bijvoorbeeld een Siemens relais. Dit vanwege het feit dat er veel mogelijkheden zijn die kunnen worden ingesteld.

6. Is het product toepasbaar in bestaande installaties?

Het kan zeker, alleen is het voor de functionaliteit erg prijzig. Ik denk dan ook niet dat klanten een dergelijk relais zullen toepassen voor waar jij hem wilt gebruiken.

7. Is het mogelijk om het product uit te lezen op een separaat SCADA-systeem?

Ja via protocol 61850.

8. Is het product geschikt om toe te passen binnen hoogspanningsinstallaties?

Ja, alleen dit wordt in Nederland eigenlijk niet gedaan omdat hij niet goed in de markt ligt vanwege de prijs.

Samenvatting van het interview:

In het interview en tijdens het doornemen van een datasheet van het beveiligingsrelais werd duidelijk dat ABB een beveiligingsrelais kan toepassen en deze dusdanig kan programmeren ten behoeve van het uitlezen van data. Het grote nadeel van het product van ABB is dat er ontzettend veel mogelijkheden zijn. Met betrekking tot het onderzoek is dit beveiligingsrelais te uitgebreid en te kostbaar om toe te passen tijdens de implementatiefase. Ook merkte ik dat het relais vanwege zijn prijs, nog maar weinig tot niet wordt toegepast binnen hoogspanningsinstallaties in Nederland.

Bijlage C: Gesprekssamenvatting vooronderzoek t.b.v. verkregen informatie**Siemens:**

Zoals benoemd tijdens het vooronderzoek, in paragraaf 3.2 is er gesproken met medewerkers of contactpersonen van de verschillende fabrikanten. Dit is gedaan om naast het uitgevoerde literatuuronderzoek voldoende informatie te verkrijgen tijdens het vooronderzoek.

Er is gesproken met een medewerker van Qirion, die in verband met werkzaamheden aan een Siemens vermogensschakelaar aanwezig was op het hoogspanningsstation waar ik zelf werkzaam ben. Hij is als engineer onder andere verantwoordelijk voor het onderhouden van bestaande (Siemens) vermogensschakelaars en voor de commissioning van nieuwe vermogensschakelaars. Tijdens deze werkzaamheden kwam het afstudeeronderwerp ter sprake. Hier kwam ter sprake dat er een vooronderzoek gaande was ten aanzien van fabrikanten met de mogelijkheid om digitaal condities te monitoren van vermogensschakelaars.

De medewerker gaf aan dat Siemens hiervoor een optie heeft. Namelijk de SOLM01. Aansluitend aan dit gesprek is er gezocht naar literatuur met betrekking tot het product. Aan de hand van een technische brochure is dan ook informatie verkregen, die is toegepast tijdens het vooronderzoek.

GE:

Om informatie te verkrijgen van GE, is er op advies van een collega contact op genomen met de Sales en Production manager. Er was binnen Omexom al een brochure beschikbaar over de CB-Watch en na contact via de mail, is er nog eens erg nuttige informatie toegestuurd. Tevens werd er bekend dat het mogelijk was dat GE een CB-Watch kon leveren, die geïmplementeerd kon gaan worden op de vermogensschakelaar van het Omexom Institute. Het interessante van de CB-Watch is, is dat het ook voor GE een redelijk nieuw apparaat is. Men beidt dan ook volledige ondersteuning tijdens het implementeren van CB-Watch tijdens de implementatiefase.

Na de eerste gesprekken zijn er via mailverkeer diverse onderdelen opgestuurd met betrekking tot het uitlezen en programmeren van de CB-Watch, ook nu was er altijd contact mogelijk met de Engineers van GE. Zo bleek al snel dat er een zelfsluitende koppeling ontbrak ten behoeve van het plaatsen van de SF6-sensor op de vermogensschakelaar van het Omexom Institute. Na contact te hebben gezocht met GE, volgde er snel een actie. Ook bleek dat er een verkeerd type connector was geleverd, ten behoeve van het programmeren van de CB-Watch. Wederom werd er zeer adequaat gehandeld in het leveren van een correct type. Dit heeft dan ook bijgedragen in het de positieve beoordeling in het morfologisch overzicht in paragraaf 3.3

Bijlage D: De projectbegroting

In overleg met Omexom is er overeengekomen dat iedere week twee werkdagen beschikbaar zijn voor onderzoek, testen en tot slot implementatie van de CB-Watch. De vrijdag (reeds vrije dag ten behoeve van de studie) en een nader te bepalen werkdag. Voor het bepalen van de kosten per fase is er uitgegaan van een intern tarief van €76,50, wat neerkomt op €612 per week. Dit omdat er 8 uur in de week aan kosten wordt gemaakt door Omexom. Indien er tijdens een fase geen kosten zijn (€0,-), betekent dit de stap wordt uitgevoerd in eigen tijd. Kosten ten behoeve van aanschaffen van het te implementeren product worden niet meegenomen in de projectbegroting, vanwege belangenverstengeling. In tabel D.1 is de voorlopige projectbegroting per fase geïllustreerd.

Tabel D.1 – Voorlopige projectbegroting per fase

Fase 1 - Vooronderzoek (week 6, 2021)		
Vooronderzoek afronding	612	
Bepalen kritische punten product	0	
Ontwikkelen en toetsen morfologisch overzicht	0	+
Totale kosten fase 1	612	
Fase 2 - Productanalyse (week 7-9, 2021)		
Probleem en context analyseren	306	
Functies analyseren	612	
Ontwerp criteria bepalen	306	+
Totale kosten fase 2	1224	
Fase 3 - Ontwerp bepaling (week 10-11, 2021)		
Ontwikkeling van de functies	306	
Concept engineeringspakket	0	
Beste ontwerp bepalen	918	+
Totale kosten fase 3	1224	
Fase 4 - Detaillering van ontwerp (week 12-14, 2021)		
Engineeringspakket finetunen	306	
Ontwerp detailleren	306	
Prototype uitwerken, testen en eventueel verbeteren	1224	
Definitief ontwerp documenteren	0	+
Totale kosten fase 4	1836	
Fase 5 - Realisatie (week 15-19, 2021)		
Product introduceren bij collega's	612	
Optimaliseren en beheersen van kwaliteit	918	+
Totale kosten fase 5	1530	
Fase 6 - Oplevering (week 20-22, 2021)		
Afronden onderzoeksrapportage	0	+
Totale kosten fase 6	0	
Fase 7 - Presentatie + verdediging (week 23-24, 2021)		
Realiseren van eindpresentatie	0	
Presentatie voorleggen aan collega's	612	+
Totale kosten fase 7	612	

In tabel D.2 staan de voorlopige totale kosten van het afstudeerproject bijgevoegd.

Tabel D.2 – Voorlopige totale kosten van het afstuderen

Totale kosten fase 1	612	
Totale kosten fase 2	1224	
Totale kosten fase 3	1224	
Totale kosten fase 4	1836	
Totale kosten fase 5	1530	
Totale kosten fase 6	0	
Totale kosten fase 7	612	+
Totale kosten afstuderen	7038	

Definitieve kosten afstudeerproject na voltooiën afstudeerrapport:

In Tabel D.1 en D.2 staan de voorlopige kosten weergegeven met betrekking tot het afstudeertraject. Er na het afronden van het afstudeerproject een volledig overzicht ontstaan van de kosten per fase en van de totale kosten. Deze zijn opnieuw bijgevoegd in tabel D.3, de definitieve kosten en in tabel D.4, de totale kosten van het afstudeerproject. In tabel D.3 zijn bijvoorbeeld de kosten van het realiseren van het definitieve engineeringspakket meegenomen in samenwerking met een engineer meegenomen (in verband met licenties voor ontwerpen van tekeningen) en een grammaticale controle door document control.

Tabel D.3 – Definitieve projectbegroting per fase

Fase 1 - Vooronderzoek (week 6, 2021)		
Vooronderzoek afronding	612	
Bepalen kritische punten product	0	
Ontwikkelen en toetsen morfologisch overzicht	0	+
Totale kosten fase 1	612	
Fase 2 - Productanalyse (week 7-9, 2021)		
Probleem en context analyseren	306	
Functies analyseren	612	
Ontwerp criteria bepalen	306	+
Totale kosten fase 2	1224	
Fase 3 - Ontwerp bepaling (week 10-11, 2021)		
Ontwikkeling van de functies	306	
Concept engineeringspakket	0	
Beste ontwerp bepalen	918	+
Totale kosten fase 3	1224	
Fase 4 - Detaillering van ontwerp (week 12-14, 2021)		
Engineeringspakket finetunen i.s.m. engineer (licentie ElCad)	1836	
Ontwerp detailleren	306	
Prototype uitwerken, testen en eventueel verbeteren	1224	
Definitief ontwerp documenteren	0	+
Totale kosten fase 4	3366	
Fase 5 - Realisatie (week 15-19, 2021)		
Product introduceren bij collega's	612	
Optimaliseren en beheersen van kwaliteit	918	+
Totale kosten fase 5	1530	
Fase 6 - Oplevering (week 20-22, 2021)		
Grammaticale controle document control	918	
Afronden onderzoeksrapportage	0	+
Totale kosten fase 6	918	
Fase 7 - Presentatie + verdediging (week 23-24, 2021)		
Realiseren van eindpresentatie	0	
Presentatie voorleggen aan collega's	612	+
Totale kosten fase 7	612	

In tabel D.4 staan de definitieve kosten van het gehele afstudeerproject.

Tabel D.4 – Totale kosten gehele afstudeerproject

Totale kosten fase 1	612	
Totale kosten fase 2	1224	
Totale kosten fase 3	1224	
Totale kosten fase 4	3366	
Totale kosten fase 5	1530	
Totale kosten fase 6	918	
Totale kosten fase 7	612	+
Totale kosten afstuderen	9486	

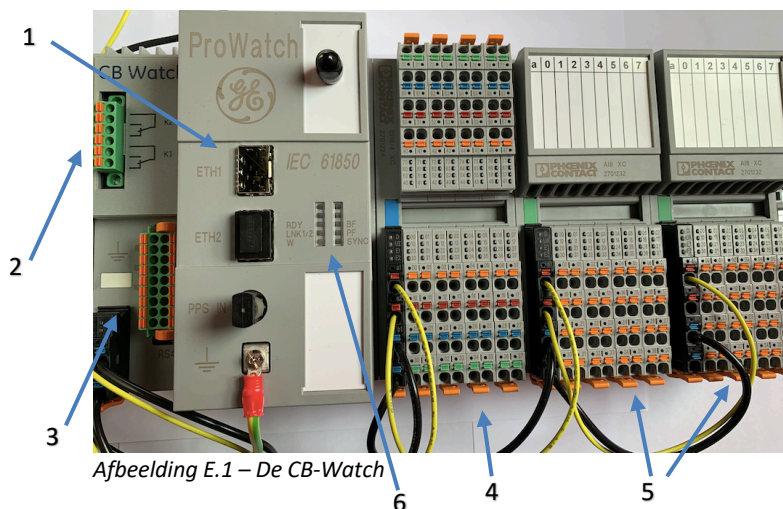
Bijlage E: De product- en functieanalyse

In de product- en functieanalyse zijn alle toebehoren van de CB-Watch apart van elkaar gefotografeerd. Vervolgens zijn alle losse onderdelen geanalyseerd en is er beschreven welke functie deze heeft tijdens de implementatiefase. De productanalyse is uitgevoerd om te onderzoeken welke functionaliteiten de CB-Watch tot in detail heeft.

Het eerste onderdeel is de CB-Watch, deze is bijgevoegd onder afbeelding E.1. De CB-Watch is in staat om de druk van het SF6-gas te monitoren. Indien er een te grote afwijking ontstaat, ten opzichte van ingegeven referentiewaarden, zal deze een melding geven. De CB-Watch bezit 16 digitale ingangen en verdeeld over twee analoge kaarten, 16 analoge ingangen. De CB-Watch is te programmeren met behulp van een Ethernet poort met behulp van RJ45. Indien gewenst is het mogelijk om in geval van de storing, de CB-Watch een melding te laten geven. Omexom wil deze melding toepassen en presenteren op de PLC (VBS) van het Omexom Institute.

De CB-Watch is compact van format en toe te passen in praktisch ieder type hoogspanningsvermogensschakelaar. Na iedere schakelhandeling wordt door de CB-Watch gecontroleerd of alle parameters binnen gestelde grenswaarden meet. Indien er in de toekomst meer gegevens of data uitgelezen dient te worden is dit mogelijk. De CB-Watch is uit te breiden met extra digitale- en analoge ingangen.

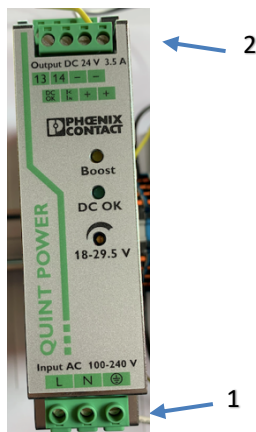
In onderstaande afbeelding zijn een aantal nummers toegevoegd om te verduidelijken wat de functie ervan is, deze worden onder de afbeelding onderbouwd.



Hierna volgt de onderbouwing van de nummers met de functie ten aanzien van de CB-Watch.

1. Communicatiemogelijkheid, via SFP-glasvezel of SFP-RJ45. Omexom gaat de RJ45 versie toepassen. Via deze poort kunnen instellingen worden aangepast of data worden uitgelezen.
2. Op deze poorten is het mogelijk of alarmering aan te sluiten die middels een separaat apparaat kan worden gelogd. Deze poort wordt toegepast om een alarmmelding te generen in geval van stroomuitval of een defect in de CB-Watch (K1 ten behoeve van melding van overschrijding ingegeven grenswaarden en K2 ten behoeve van interne fouten CB-Watch).
3. Aansluitmogelijkheid sensoren, die gascondities kunnen vastleggen. Op deze poort wordt de SF6-sensor aangesloten.
4. 16 keer digitale ingang.
5. In totaal 16 keer analoge ingang.
6. Status LEDs.

Het tweede onderdeel is de power supply, weergegeven in afbeelding E.2. De power supply zet 230 VAC om naar 24 VDC.



1. Aansluitpunt 230 VAC.
2. Spanning getransformeerd naar 24 VDC, met zijn aansluitpunten.

Afbeelding E.2 – Power supply

Op de drie afbeeldingen E.3.1, E.3.2 en E.3.3 hieronder, staan de SF6-sensor en kabels ten behoeve van de uitlezing geïllustreerd. De SF6-sensor wordt met behulp van een zelfsluitende koppeling bevestigd aan de vermogensschakelaar, weergegeven op afbeelding E.3.1. De linkerzijde van de sensor wordt gekoppeld aan de vermogensschakelaar en de rechterzijde met behulp van de verlengkabel aan de CB-Watch. De paarse kabel van afbeelding E.3.3 wordt aangesloten op de CB-Watch en de zwarte kabel van afbeelding E.3.2 is een verlengstuk voor als de behuizing niet nabij de vermogensschakelaar is opgesteld.



Afbeelding E.3.1 – De SF6-sensor



Afbeelding E.3.2 – De verlengkabel



Afbeelding E.3.3 – aansluitkabel CB-Watch

Op afbeelding E.4 staat een tussenstroomtrafo weergegeven. In totaal wordt deze drie keer toegepast (per fase). Met behulp van deze tussenstroomtrafo's wordt een stroom van maximaal 100 A omgezet naar maximaal 33.33 mA. Er wordt gemeten hoe snel de verbinding verbroken wordt. De blauwe klem is de stroomtransformator die om de kabel wordt geklikt. Hierdoor wordt het mogelijk om een meting uit te voeren. De zwarte kabel wordt aangesloten op de CB-Watch waarmee een uitkomst van de meting worden doorgegeven.



Afbeelding E.4 – Tussenstroomtransformator

De op afbeelding E.5 geïllustreerde tussenstroomtrafo is verantwoordelijk voor het meten van de motorstroom. Deze transformeert een stroom van maximaal 100A om naar een spanning van ongeveer 4 VDC. In tegenstelling tot afbeelding E.4 is deze tussenstroomtrafo slechts één keer uitgevoerd. Dit omdat er één veerspanmotor is toegepast in de vermogensschakelaar van het Omexom Institute. De zwarte klem is de stroomtransformator die om de kabel wordt geklikt. Hierdoor wordt het mogelijk om een meting uit te voeren. De zwarte kabel wordt aangesloten op de CB-Watch waarmee een uitkomsten van de meting worden doorgegeven.



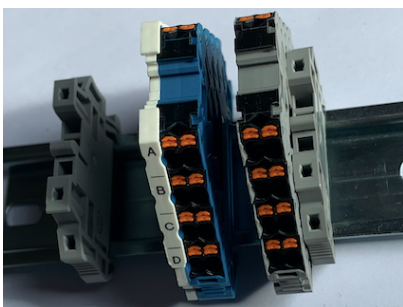
Afbeelding E.5 – Tussenstroomtransformator t.b.v. motorstroom

De laatste meting met betrekking tot stroom aan de hand van een stroomtransformator is die van afbeelding E.6. Hier wordt wederom een stroom getransformeerd van in dit geval maximaal 20 A naar 4 VDC. Deze meet de stroom van de spoelen in de vermogensschakelaar. De vermogensschakelaar beschikt over een tweetal spoelen voor het uitschalen van de vermogensschakelaar en over één spoel voor het inschakelen van de vermogensschakelaar. Bij deze meting worden de drie spoelen gemeten, aan de hand van drie tussenstroomtrafo's.



Afbeelding E.6 – Tussenstroomtrafo's (3x uitgevoerd) t.b.v. stroommeting in- en uitschakelspoelen

Op afbeelding E.2 is reeds de power supply weergegeven. Uit de power supply kan tweemaal +/- 24 VDC worden verdeeld. Met het toepassen van de klemmen op afbeelding E.7 wordt het mogelijk gemaakt om 16-keer een + en 16-keer een – 24 VDC aan te bieden aan de CB-Watch en zijn toebehoren. De grijze klem is ten behoeve van + 24 VDC en de blauwe klem is ten behoeve van – 24 VDC.



Afbeelding E.7 – Klemmen t.b.v. uitbreiden +/- 24 VDC

Afbeelding E.8 illustreert een DC/DC omvormer. De gelijkspanning wordt omgezet van 24 VDC naar +/- 15 VDC. Deze omvormer is benodigd voor het weergeven van een correcte meting van de stroomtransformatoren op afbeelding E.5 en E.6.



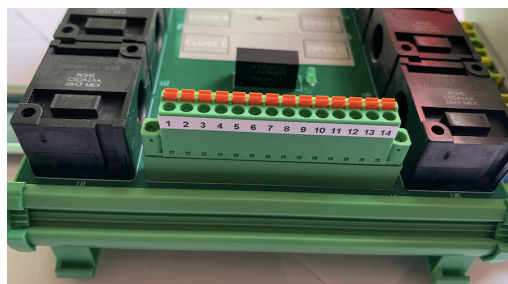
Afbeelding E.8 – De DC/DC-omvormer van 24 VDC naar +/- 15 VDC

Met het toepassen van de Command Detection Module, hierna CDM genoemd. Is het mogelijk om de schakeltijden van de vermogensschakelaar te monitoren. Met de CDM is het mogelijk een veranderingen in de schakeltijden te detecteren. Indien het in de loop der jaren opvalt dat het langer duurt tot de vermogensschakelaar is uitgeschakeld, kan er zijn voorgevallen dat bijvoorbeeld het verenpakket voor het spannen van de motor af zijn. De CDM is weergegeven op afbeelding E.9.1 en E.9.2.

Zoals te zien op afbeelding E.9.2 zijn er een aantal klemmen die aangesloten dienen te worden. Klem 1 en 2 zijn de +/- 24 VDC. Klem 6 t/m 14 worden aangesloten op verschillende digitale ingangen van de CB-Watch om te monitoren wat de tijden zijn van in- en uitschakelen van de vermogensschakelaar. Op afbeelding E.9.1 staat op de printplaat weergegeven waar de bedrading van de vermogensschakelaar aangesloten moet worden (Open A, Close A, Open B, Close B en Open C en Close C). Hiermee worden de stromen gemeten die van toepassen zijn bij het in- en uitschakelen van de drie polen.



Afbeelding E.9.1 – Boven aanzicht CDM



Afbeelding E.9.2 – Vooraanzicht CDM met klembezetting

Naast de CDM is er ook een relais genaamd DVM (DC Voltage Measurement) die de meting van uitschakelcircuit 1 (UV1) en uitschakelcircuit (UV2) monitort. De twee gelijkspanningen (110 VDC) worden aangesloten op het relais en getransformeerd naar een spanning van 0 tot 10 volt die is te meten door de CB-Watch. Het relais wordt gevoed middels 24 VDC (genummerd als '3' in afbeelding 4.10.2). UV1 (genummerd als '1' in afbeelding E.10.2) en UV2 (genummerd als '2' in afbeelding E.10.2) worden aangesloten op het relais. De getransformeerde spanning wordt aangesloten op de analoge ingang van de CB-Watch. Zie afbeelding E.10.1 en E.10.2 ter verduidelijking



Afbeelding E.10.1 – Boven aanzicht DVM



Afbeelding E.10.2 – Connectie 24VDC, UV1 en UV2 naar CB-Watch

Op afbeelding E.11 is de RJ45 kabel weergegeven. Met deze kabel is het mogelijk om met de laptop verbinding te maken met de CB-Watch. Deze kan geprogrammeerd of uitgelezen worden aan de hand van deze kabel.



Afbeelding E.11 – RJ45 kabel

Tot slot staat in afbeelding E.12 de SFP-connector geïllustreerd. Deze SFP-connector is benodigd om verbinding te kunnen maken met de CB-Watch aan de hand van de RJ45 kabel. Een belangrijk punt bij deze SFP-connector is dat hij een speciale karakteristiek heeft om daadwerkelijk verbinding te kunnen maken met de CB-Watch. Een standaard SFP-connector functioneert op 1Gbs, maar om de verbinding met de CB-Watch tot stand te brengen is een 100Mbps versie benodigd.



Afbeelding E.12 – SFP-connector

De conclusie van de product- en functieanalyse is dat het mogelijk is om te voldoen aan de klantenwensen. Er kunnen verschillende metingen worden uitgevoerd, die zullen bijdragen aan digitale monitoring van de condities van een vermogensschakelaar.

Programma van Eisen

1. Aanleiding

Dit Programma van Eisen is opgesteld ten behoeve van het afstudeerproject, de stap maken van time-based naar condition-based maintenance van een vermogensschakelaar.

Doel van het project:

Met behulp van een geautomatiseerd proces meer inzicht verkrijgen in de condities van een vermogensschakelaar waarmee de power quality gewaarborgd kan worden. Er worden meer data en gegevens uit een vermogensschakelaar gelezen, die vervolgens continu worden gemonitord. Hierdoor wordt het mogelijk gemaakt om de stap te maken van time-based naar condition-based maintenance.

Het doel is om een inzicht te krijgen wat de huidige fase in de levenscyclus van een vermogensschakelaar is. Een belangrijk onderdeel van een gezond elektriciteitsnet is power quality, hierbij zijn condensatorvelden en spoelvelden van groot belang. Het kritische onderdeel van deze installaties is de vermogensschakelaar, verantwoordelijk voor het al dan niet gewild in- en uitschakelen.

Vraagstelling:

Binnen het afstudeerproject dient er antwoord gegeven te worden op de volgende vraagstelling:

Welke stappen moeten er worden ondernomen om over te gaan van time-based via condition-based naar predictive maintenance?

Dit afstudeeronderzoek is er specifiek op gewijd om te stap te maken van time-based naar condition-based maintenance. De stap maken naar predictive maintenance is alleen mogelijk door het analyseren van verzamelde data.

2. Waarom dit programma van Eisen?

In dit programma van Eisen zijn alle eisen, wensen en randvoorwaarden beschreven waar het eindresultaat aan moet voldoen. Door alle wensen en begrenzingen in het begin van het project aan te scherpen kan het vervolg van het project efficiënt worden uitgevoerd. Het later wijzigen of uitbreiden van deze wensen, eisen en randvoorwaarden behoren tot de mogelijkheden. Gevolg hiervan kan zijn dat het project vertraging op loopt of dat er meer budget vereist is.

3. Hoe is dit programma van Eisen tot stand gekomen?

Voor dit programma van eisen is gesproken met:

- De heer Andre Timmermans, Business Unit Manager Omexom Assen;
- De heer Mateusz van Strien, Projectleider Commissioning, S&O, Omexom Assen.

De inhoud van dit programma van Eisen is gebaseerd op de inbreng van de gesprekpartners en als conceptversie voorgelegd. Aansluitend aan dit gesprek is de definitieve versie gedocumenteerd.

4. Inhoudelijke beschrijving Programma van Eisen

A. Functionele eisen

1. Continu meten van SF6-waarden;
2. Continu meten van motorstromen tijdens schakelhandelingen;
3. Continu meten van schakeltijden tijdens schakelhandelingen;

4. De gemeten waarden zoals aangegeven bij punt 1 t/m 3 aanbieden en uitlezen op de PLC van het Omexom Institute (digitale monitoring waarborgen);
5. Degelijke waterbestendige behuizing ontwerpen voor het product;
6. Locatie bepalen van te implementeren product;
7. Correct tekenpakket ontwerpen ten behoeve van het product;
8. Handleiding ontwerpen ten behoeve van benaderen en programmeren CB-Watch*;
9. Alarmering CB-Watch, in geval van storing;
10. Bepalen hoe het CB-Watch geprogrammeerd kan worden;
11. Voorbereidingen treffen voor het presenteren van de data uit het product op een separaat SCADA-systeem.

B. Gebruikerswensen ten behoeve van afstudeerproject

1. Gebruiksvriendelijk;
2. Compact van formaat;
3. Universeel toepasbaar;
4. Betaalbaar;
5. Betrouwbaar;
6. Toepasbaar binnen bestaande installaties;
7. Uit te lezen op een separaat SCADA-systeem (eventueel met behulp van converter);
8. Toepasbaar op hoogspanningsvermogensschakelaars, spanningsniveau 110kV en hoger;
9. Eenvoudig te implementeren.

C. Gebruikerswensen, uitgesloten van afstudeerproject

1. De metingen en alarmen die vanuit het product worden uitgelezen op de PLC van het Omexom Institute presenteren op een SCADA-systeem;
2. Het product aanbieden op energiemarkt met behulp van een salesplan.

D. Randvoorwaarden

1. Het product dient te voldoen aan de richtlijnen van: NEN-EN-IEC-62271-100, NEN1010-deel 6, NEN3140, DIN EN 60529 IP54, IEC 60480 (SF6-gas).

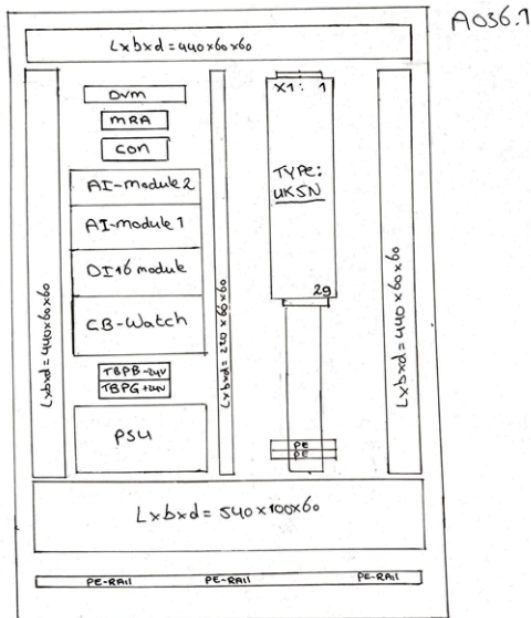
E. Ontwerpbependingen

1. Het product bevat een eigen scherm waarop data en alarmen zichtbaar gemaakt kan worden;
2. Uitlezing en programmering van het product d.m.v. Wifi.

* Het onderzoek en de implementatie van het afstudeeronderwerp is onderdeel van de performance roadmaps voor digitalisering en onderhoud en beheer van het EU-303 contract van TenneT en daarmee een concreet oplossingsgericht voorstel hoe Omexom op termijn installaties wil gaan onderhouden.

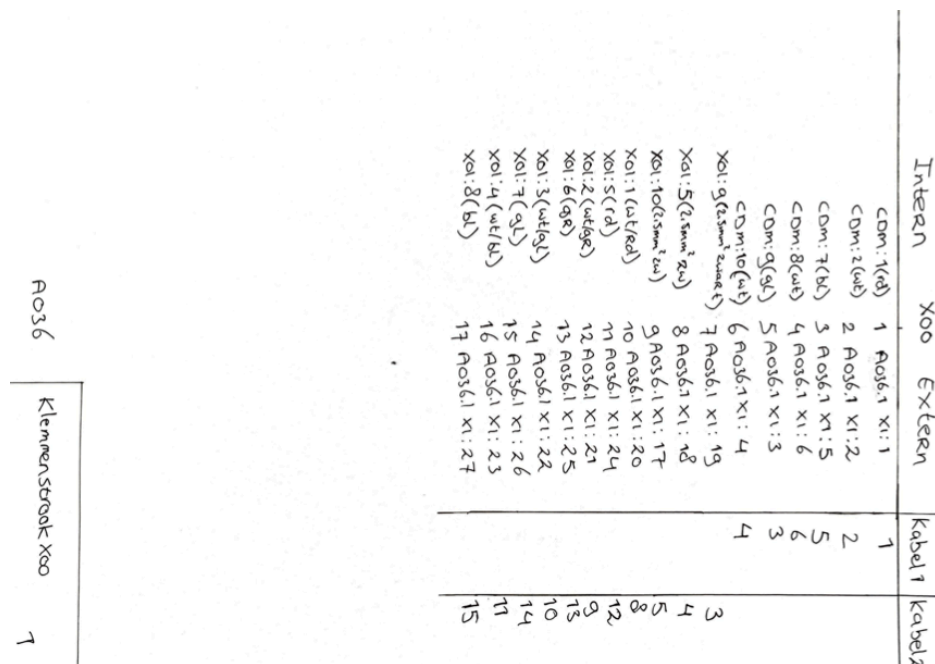
Bijlage G: De schetsen t.b.v. het engineeringspakket

In deze bijlage zijn de schetsen bijgevoegd ten behoeve van het engineeringspakket. De schetsen zullen aansluitend aan de testen worden verwerkt tot een definitief engineeringspakket. Dit definitieve engineeringspakket wordt geïntegreerd in het tekenpakket van het Omexom Institute. De schetsen zijn gerealiseerd aan de hand van de product- en functieanalyse en de handleiding van de CB-Watch. Onder iedere schets is aangegeven wat de functie van de betreffende pagina is.



Kastenbouw
Indeling A036.1

Schets G.1 – Overzicht kastindeling CB-Watch en toebehoren



Schets G.2 – Klemmenstrook X00 in aandrijfkast vermogensschakelaar

Intera	X01	Extera
mcd (wt)	1	X00: 10 (wt/red)
cDC1 (wt)	2	X00: 12 (wt/gr)
cDC2 (wt)	3	X00: 14 (wt/gr)
cDC3 (wt)	4	X00: 16 (wt/bl)
mcd (zw)	5	X00: 11 (rd)
cDC1 (zw)	6	X00: 13 (gr)
cDC2 (zw)	7	X00: 15 (gr)
cDC3 (zw)	8	X00: 17 (bl)
mcd (rd)	9	X00: 7 (2.5mm ² zw)
mcd (ge)	10	X00: 9 (2.5mm ² zw)

* alle rode draden van mcd & cDC 1 draagn met elkaar doorverbonden
 ** alle groene draden van mcd & cDC 1 draagn met elkaar doorverbonden!

A036 Klemmenstrook X01
 (achterzijde aandrijfkast)

2

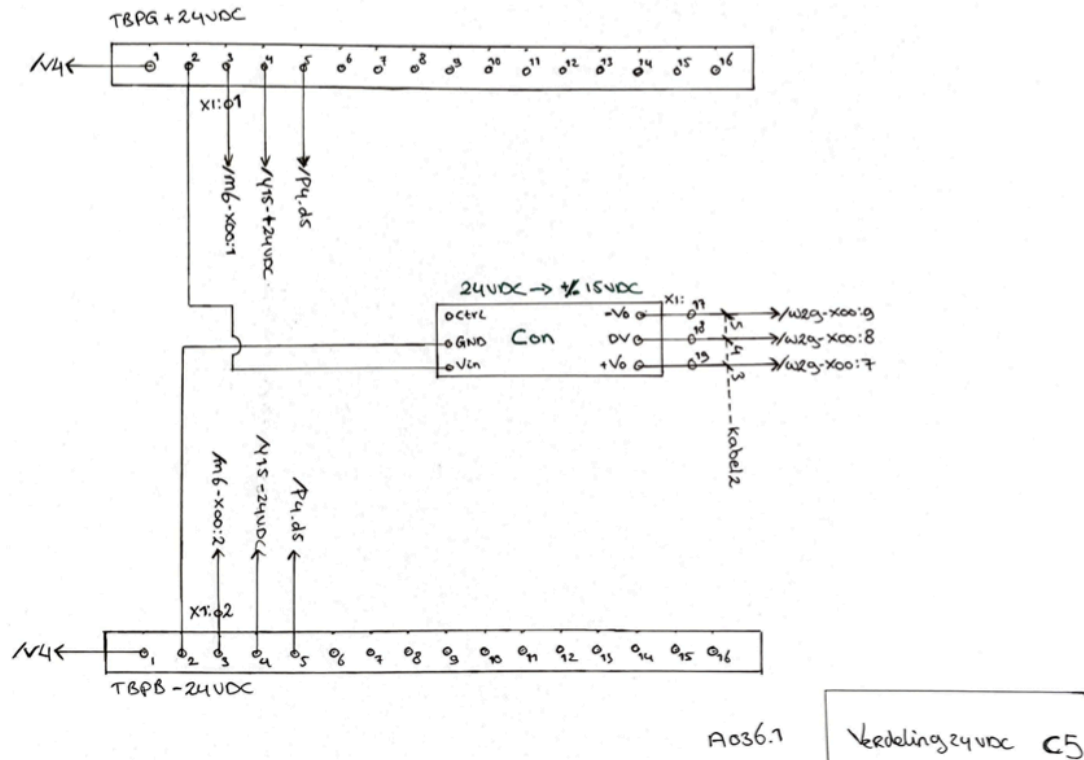
Schets G.3 – Klemmenstrook X01 in achterzijde aandrijfkast vermogensschakelaar

Intera	X1	Extera	kabel 1	kabel 2
TRB: 3	1	X00: 1	1	
TRB: 3	2	X00: 2	2	
DI11: 42	3	X00: 5	3	
DI11: 62	4	X00: 6	4	
DI10: 42	5	X00: 3	5	
DI10: 62	6	X00: 4	6	
DI12: 43	7	A036 X1: 54	7	
DI12: 53	8	A036 X1: 53	8	
DI13: 44	9	A036 X1: 51	9	
DI14: 54	10	A036 X1: 52	10	
mcd A1	11	A036 X1: 451		6
mcd A2	12	A036 X1: 466		7
Dum: X1	13	A036 X1: 600		
Dum: X2	14	A036 X1: 605	12	
Dum: X5	15	A036 X1: 700	11	
Dum: X6	16	A036 X1: 705		
con: -V0	17	X00: 9	1	
con: 0V	18	X00: 8	2	
con: +V0	19	X00: 7	3	
AI-m2: 00	20	X00: 10	4	
AI-m2: 01	21	X00: 12	5	
AI-m2: 02	22	X00: 14	8	
AI-m2: 03	23	X00: 16	10	
AI-m2: 10	24	X00: 11	11	
AI-m2: 11	25	X00: 15	12	
AI-m2: 12	26	X00: 15	13	
AI-m2: 15	27	X00: 17	14	
PS4: L	28	A036 X1: 501		
PS4: N	29	A036 X1: 516		

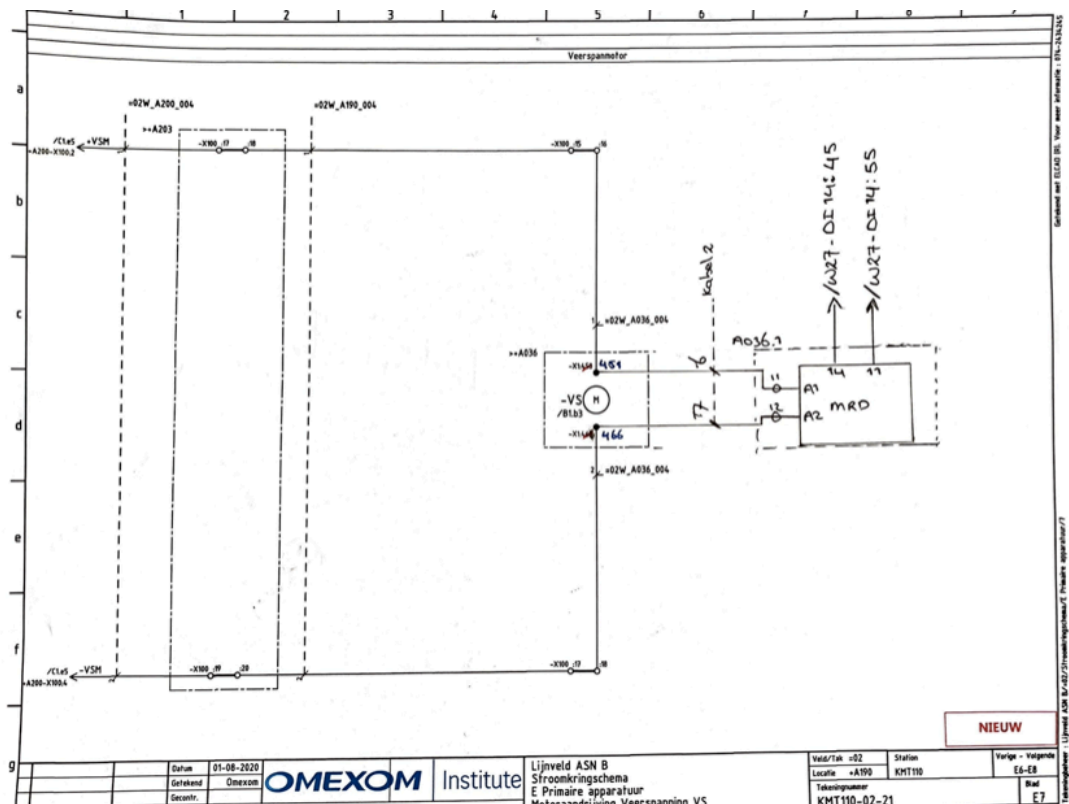
A036.1 Klemmenstrook
 X1

3

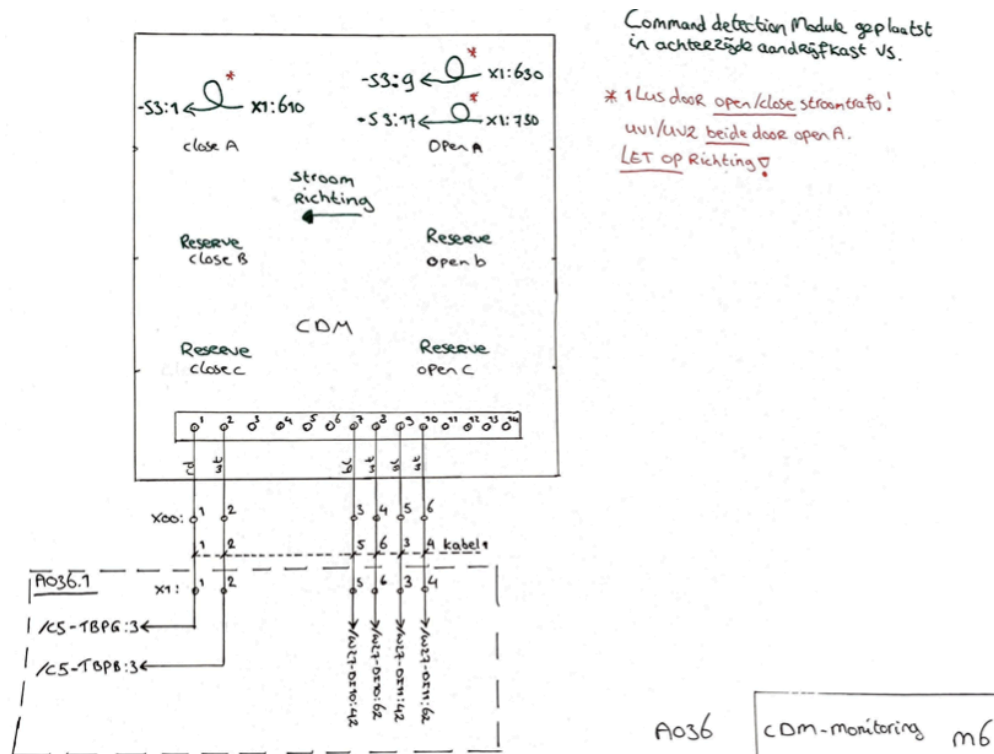
Schets G.4 – Klemmenstrook X1 in A036.1 (kast ten behoeve van CB-Watch)



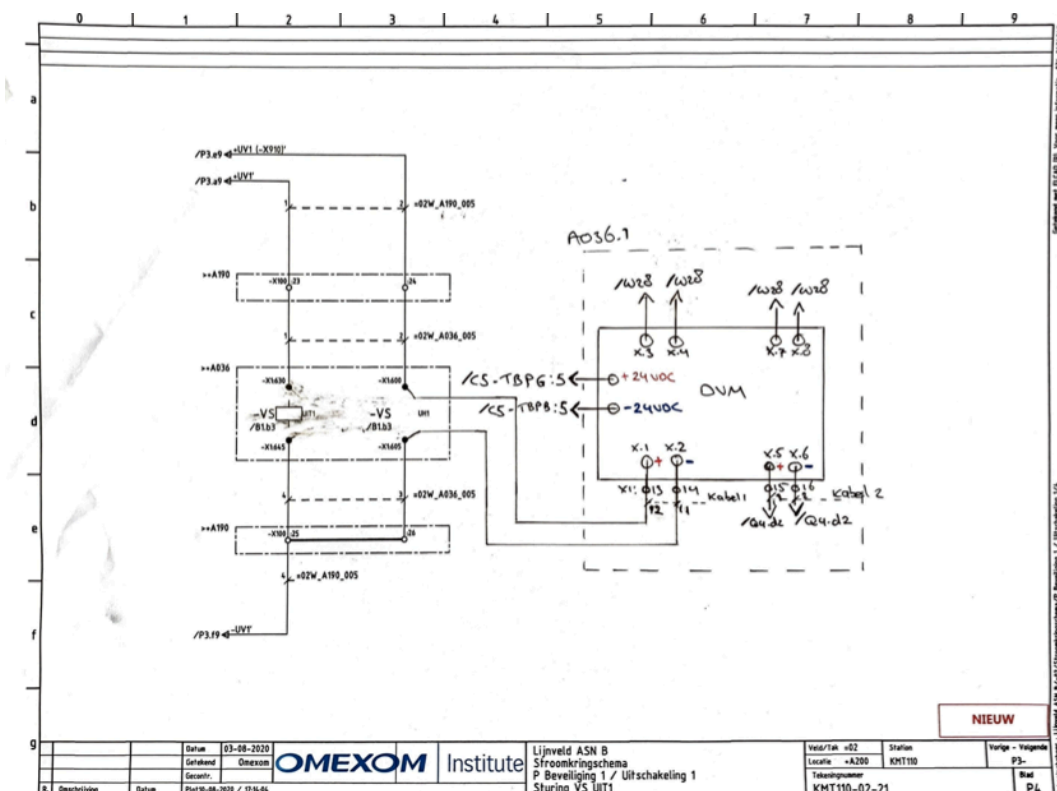
Schets G.5 – Verdeling 24 VDC



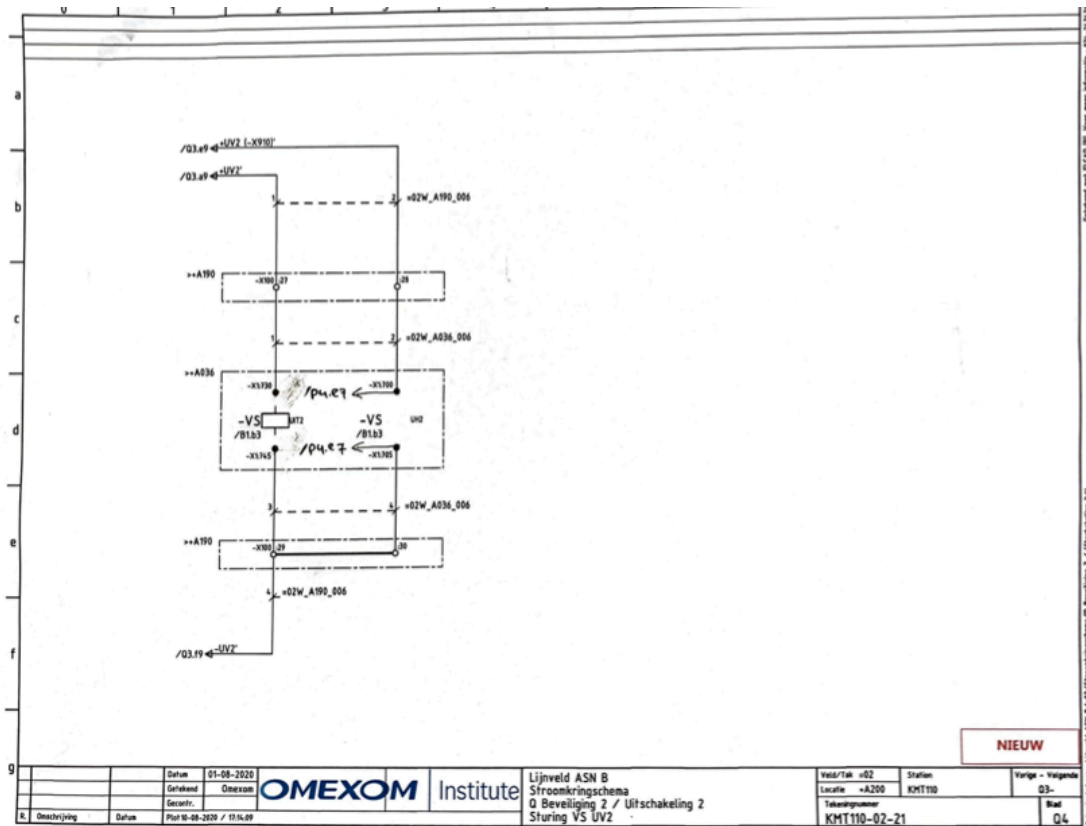
Schets G.6 – Meting spanning veerspanmotor aanwezig



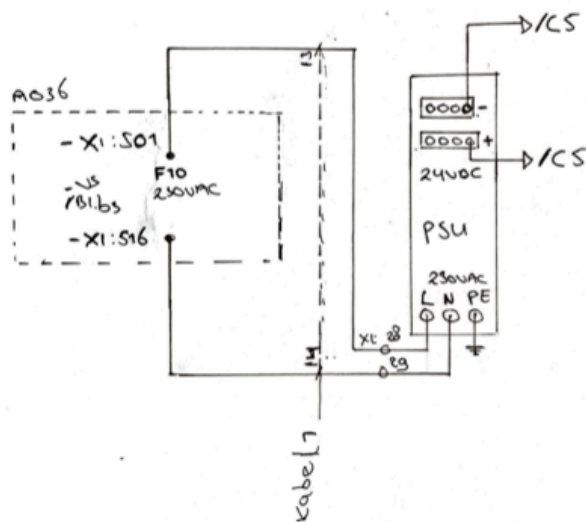
Schets G.7 – CDM (Command Detection Module) in achterzijde aandrijfkast vermogensschakelaar



Schets G.8 – DVM (DC Voltage Measurement), controle aanwezigheid uitschakelspanning 1&2



Schets G.9 – Verwijzing naar DVM ten behoeve van meting uitschakelspanning 2

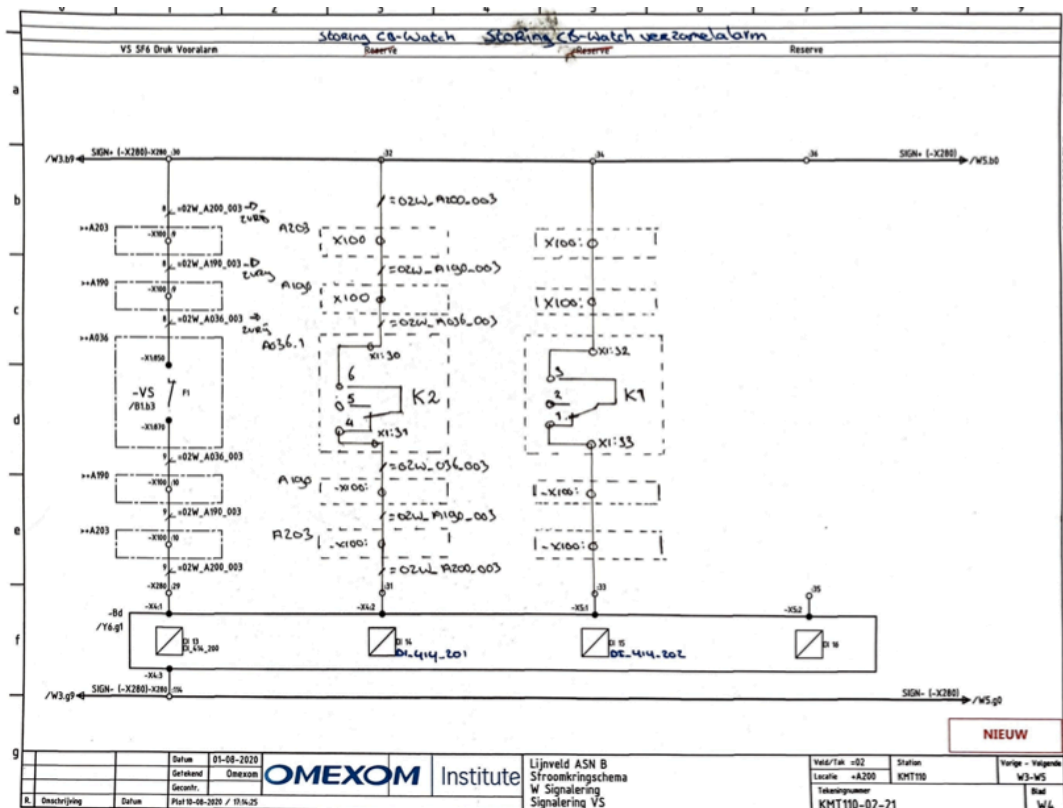


Schets G.10 – 230 VAC voeding PSU (Power Supply)

A036.1

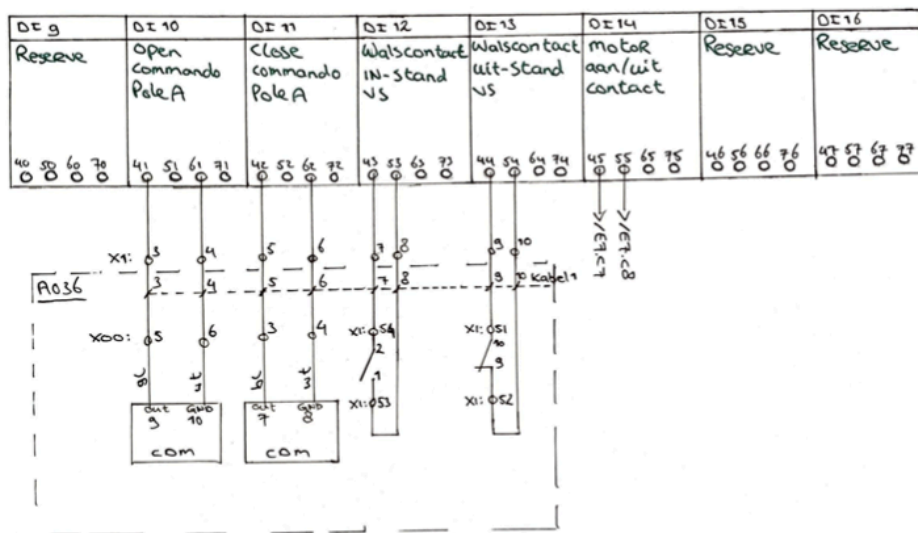
Voeding CB-Watch
230VAC $\rightarrow$ 24VDC

V4



Schets G.11 – Storingsmeldingen CB-Watch

DI 16 module - DIM

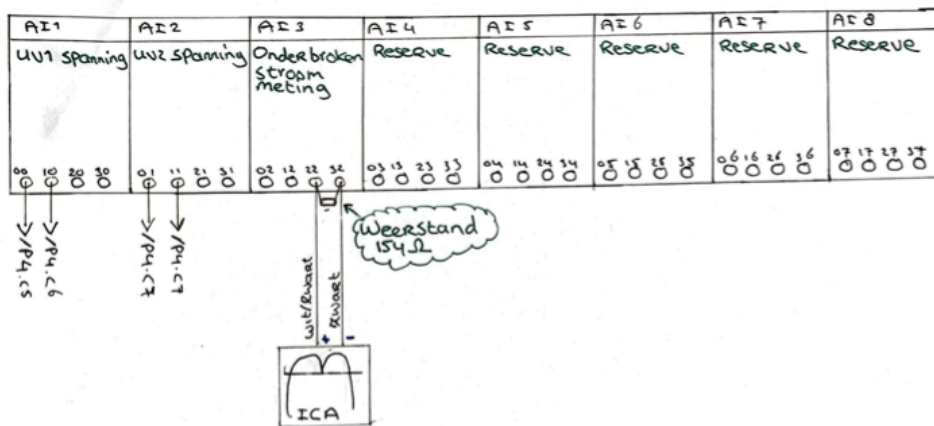


A036.1

DI16 module
CB-Watch W27

Schets G.12 – DI16-module

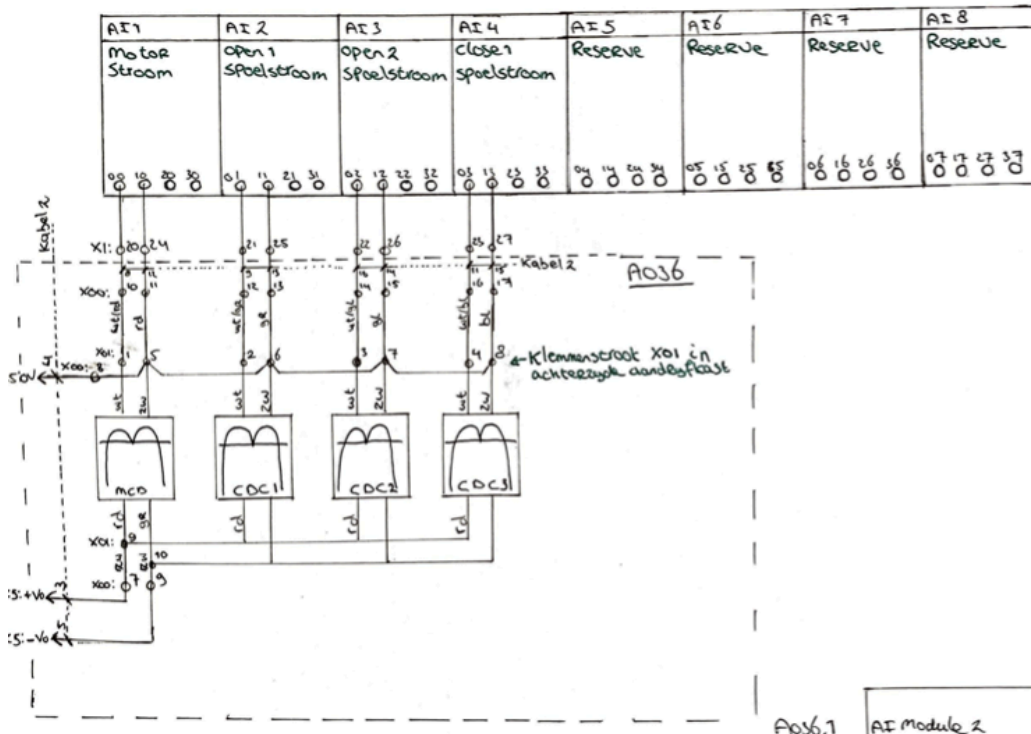
AI module 1



AI module 1 CB-Watch w28

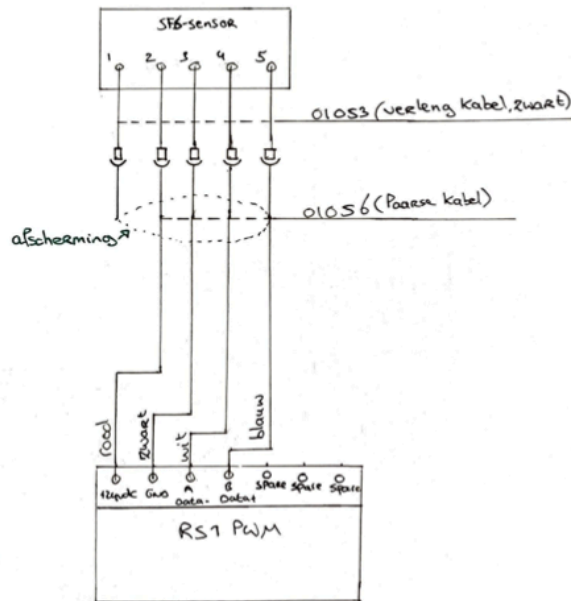
Schets G.13 – AI-module 1

AI Module 2



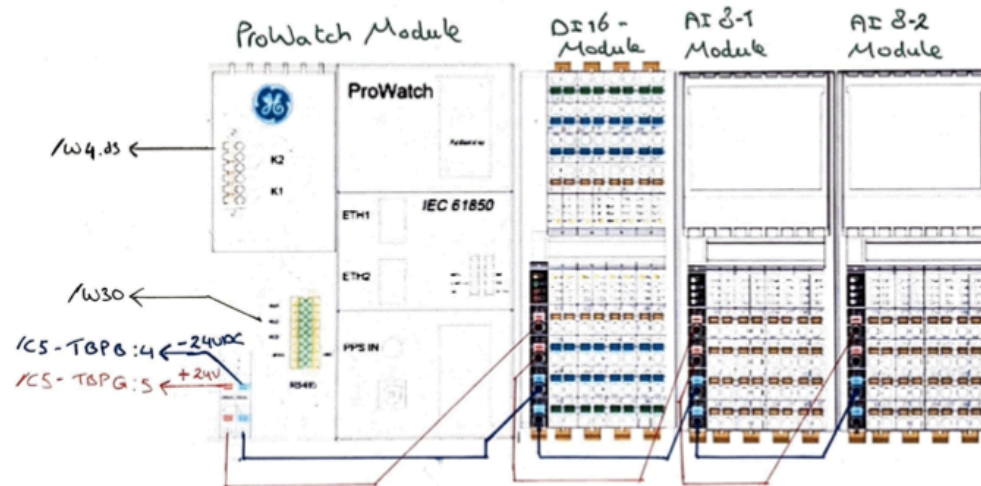
AI module 2 CB-watch w29

Schets G.14 – AI-module 2



Willezen data SF6-sensor W30

Schets G.15 – Meting SF6-gasdruk



Overzicht CB-Watch + Di+Ai Y15

Schets G.16 – Overzicht CB-Watch

DI 414_201	ASN B	Storing CB-Watch	DI 414 VERMOGENSSCHAKELAAR	X	DIU20	-Bd	DI14
DI 414_202	ASN B	Storing CB-Watch Verzamelalarm	DI 414 VERMOGENSSCHAKELAAR	X	DIU20	-Bd	DI15

Afbeelding G.17 – I/O-lijst meldingen CB-Watch t.b.v. PLC Omexom Institute

Bijlage H: Risico's tijdens het afstuderen

In hoofdstuk 6, paragraaf 3 is een FMEA opgesteld. Hiermee is getracht risico's die betrekking hebben op de CB-Watch in kaart te brengen. Hoe deze risico's vervolgens beheerst worden en hoe deze geëlimineerd kunnen worden. In deze bijlage staan de business- en projectrisico's in algemene zin beschreven.

Businessrisico's:

1. Student volbrengt afstudeeropdracht niet. Indien de student de opdracht niet kan volbrengen heeft dit tot gevolg dat Omexom niet met een nieuwe innovatie richting zijn klanten kan gaan.
2. Benodigde investeringen. Mogelijk treden er onvoorziene kosten op tijdens het uitvoeren van testen of toepassen van materialen tijdens het implementeren van het product.
3. Product blijkt geen meerwaarde te hebben op bestaande installaties.

Projectrisico's:

1. Covid-19. Een mogelijke uitbraak van Covid-19 op de testlocatie kan gevolgen hebben voor planning en doorlooptijd van diverse test activiteiten.
2. Niet tijdig gereed zijn van testlocatie: Omexom Institute. Momenteel (Januari 2021) worden de laatste werkzaamheden uitgevoerd voordat het Omexom Institute gereed is. Verwachte opleverdatum is eind week 6, 2021.
3. Gevaar van elektrocutie op testlocatie. Tijdens het testen en implementeren van het product is er kans op elektrocutie, bijvoorbeeld door een montage of programmeerfout van het product.

Beheersen van de Businessrisico's:

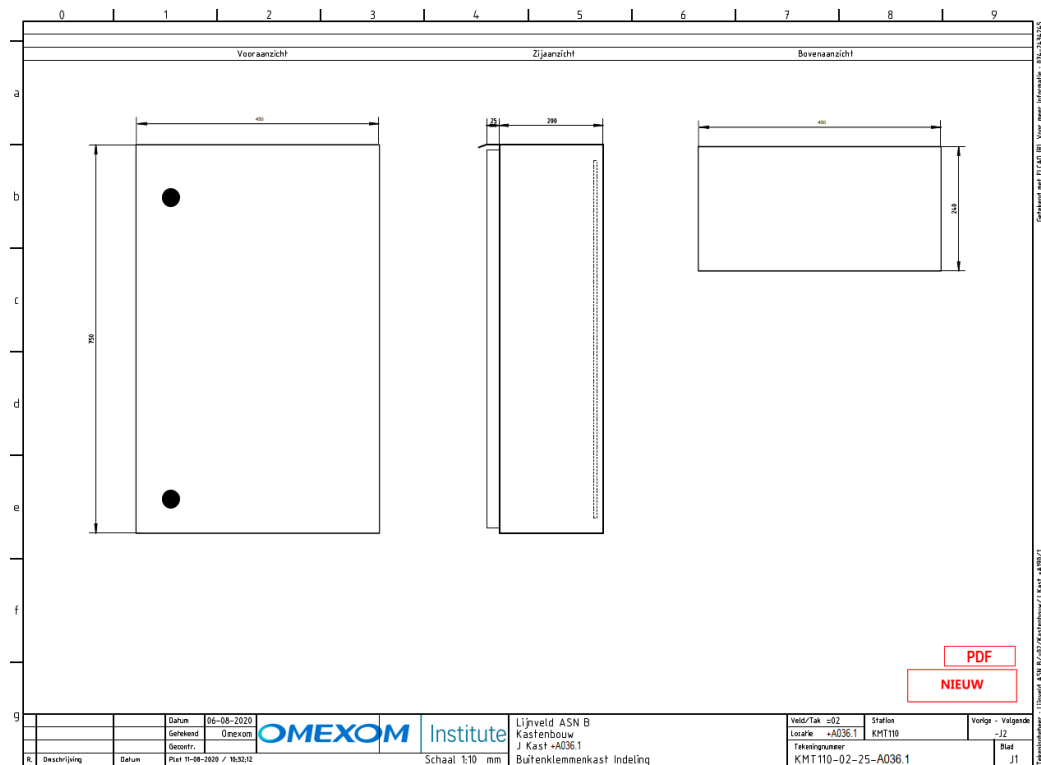
1. Het inkaderen van het risico om de afstudeeropdracht niet tijdig volbrengt wordt tot een minimum beperkt door het houden van PIT-stops. Tijdens deze PIT-stops wordt na iedere fase de voortgang besproken en wordt bekeken of er tegen problemen wordt aangelopen. Aansluitend worden de uitkomsten van een PIT-stop vastgelegd in het projectlogboek, bijgevoegd onder bijlage L.
2. Indien er onvoorziene kosten (dreigen) te ontstaan, wordt dit tijdig aangegeven, zodat Omexom kan handelen en budget kan vrijspelen. Er is reeds een projectbegroting bijgevoegd onder bijlage D, waardoor er een goede indicatie is ontstaan over mogelijke kosten.
3. Uitsluiten tijdens vooronderzoek.

Beheersen van de projectrisico's

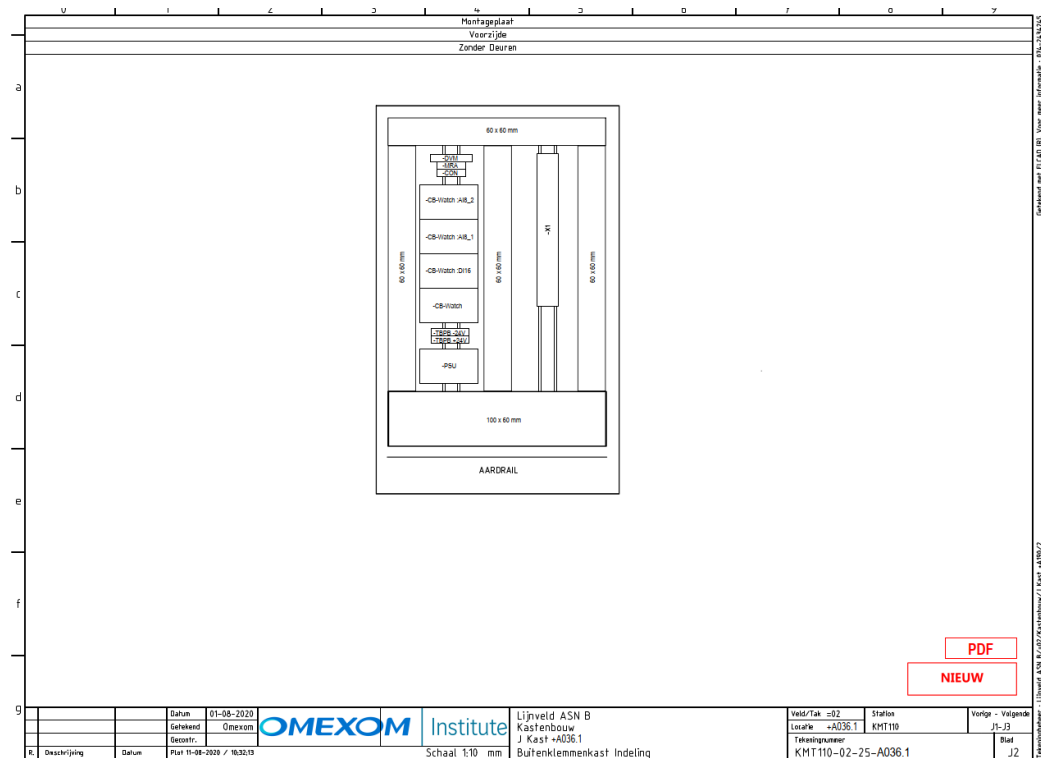
1. Er is speling opgenomen in de doorlooptijd van een projectfase. Tevens dienen er zo min mogelijk collega's op de testlocatie (Omexom Institute) aanwezig te zijn, tijdens de testen.
2. De testen starten om en nabij week 13, vanwege de streefdatum om medio week 6 gereed te zijn. Worden hier tot op heden geen extra risico's verwacht.
3. Voordat er spanning op de het product wordt aangeboden, dient er door middel van het vier ogen principe gecontroleerd te worden of de situatie veilig is. Tevens is het van belang dat er wordt gecontroleerd of het product is aangesloten volgens tekening.

Bijlage I: Het definitieve engineeringspakket

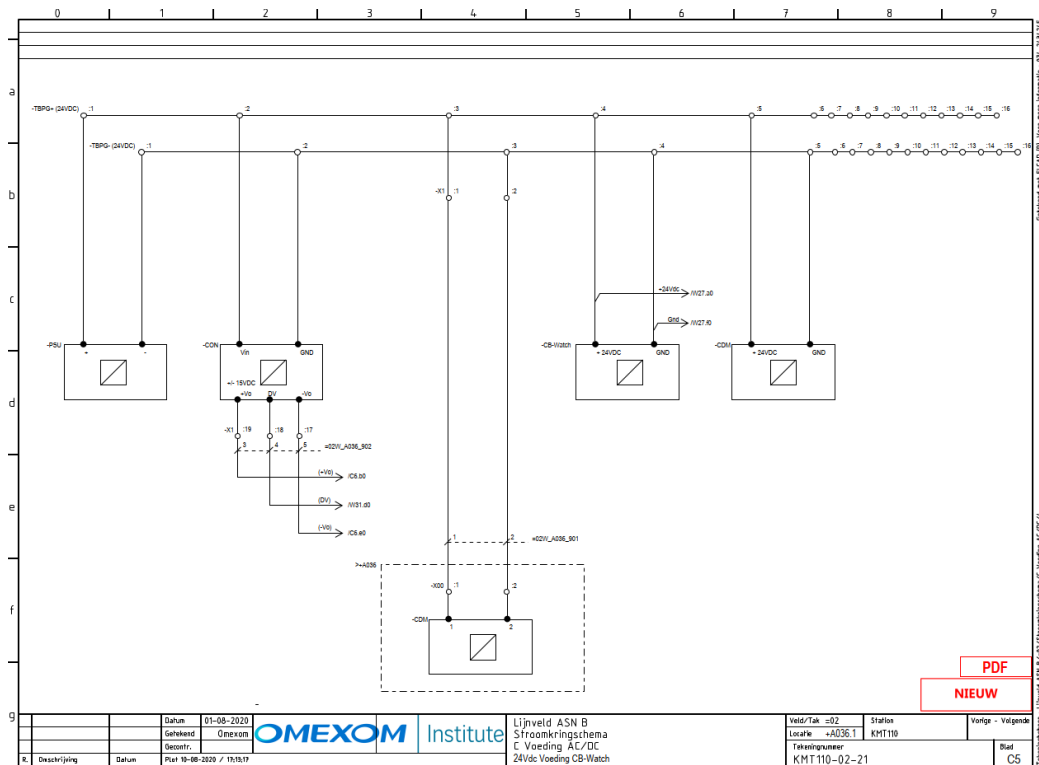
Hierna staat het definitieve engineeringspakket geïllustreerd op afbeelding I.1 t/m I.17. Dit engineeringspakket wordt geïntegreerd in het tekenpakket van het Omexom Institute.



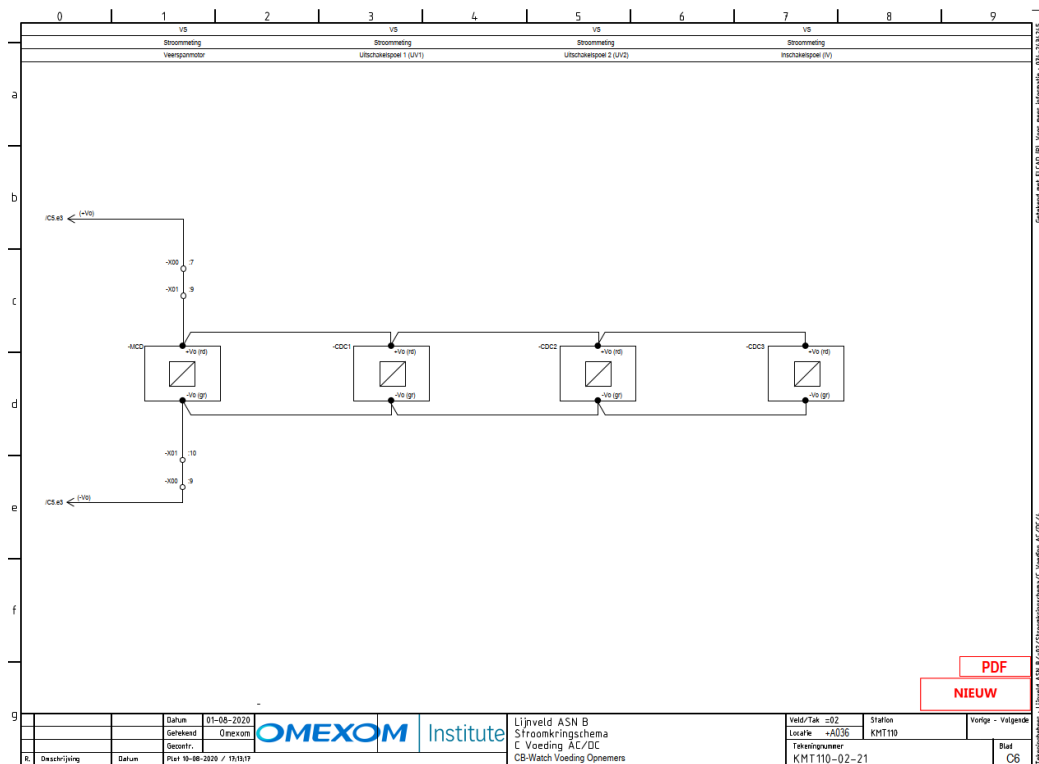
Afbeelding I.1 – Vooraanzicht indeling paneel A036.1 CB-Watch



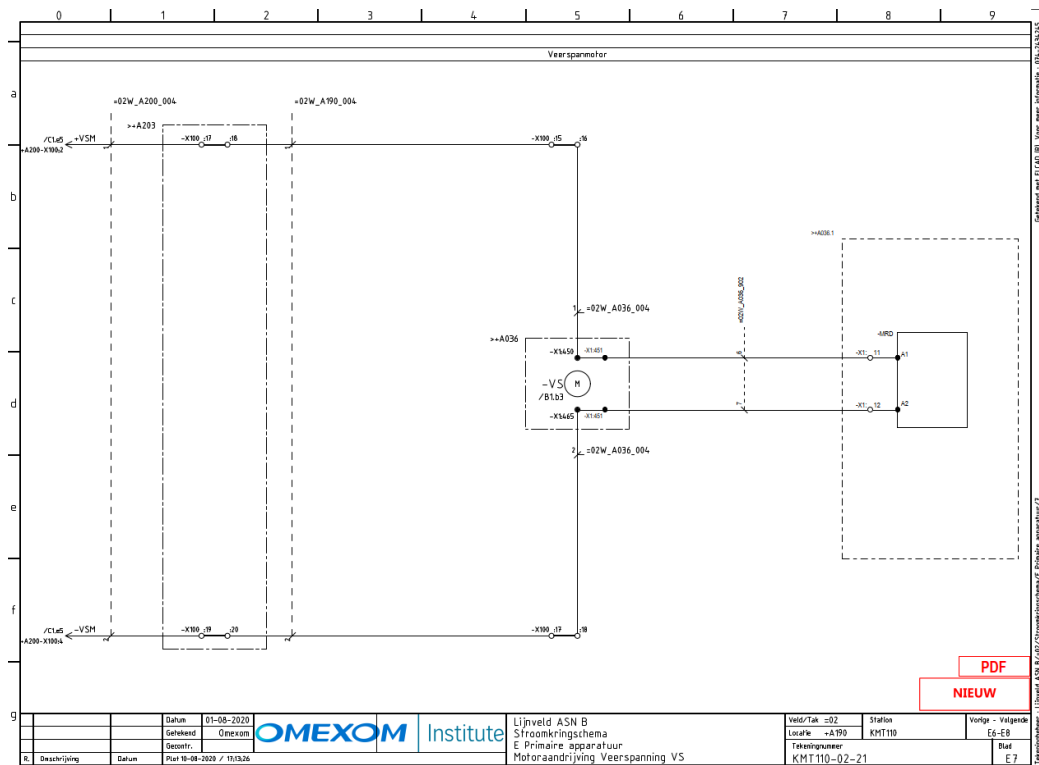
Afbeelding I.2 – Indeling paneel A036.1 CB-Watch



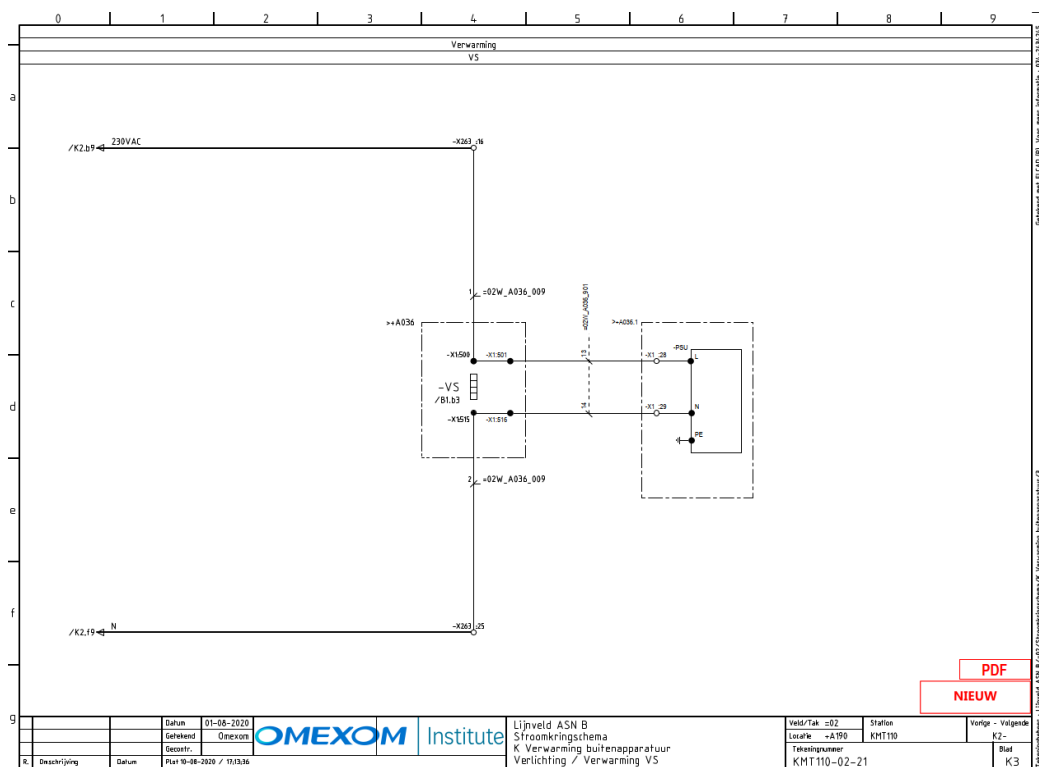
Afbeelding I.3 – Indeling 24 VDC voedingsverdeler



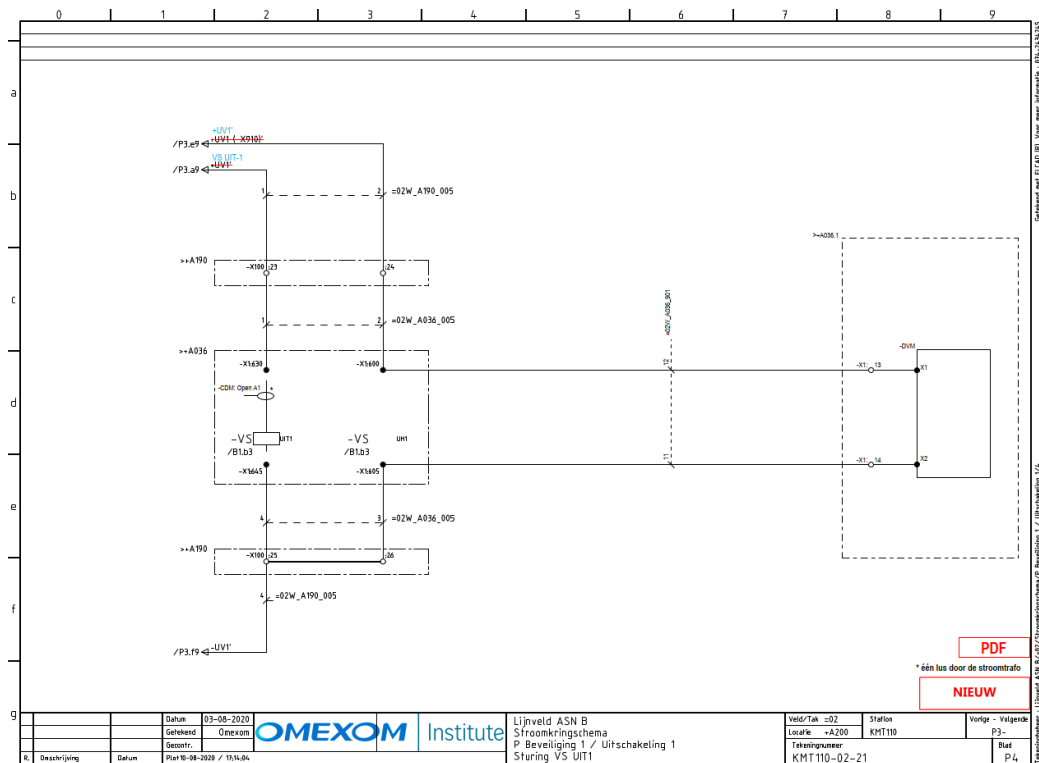
Afbeelding I.4 – Indeling voedings opnemers



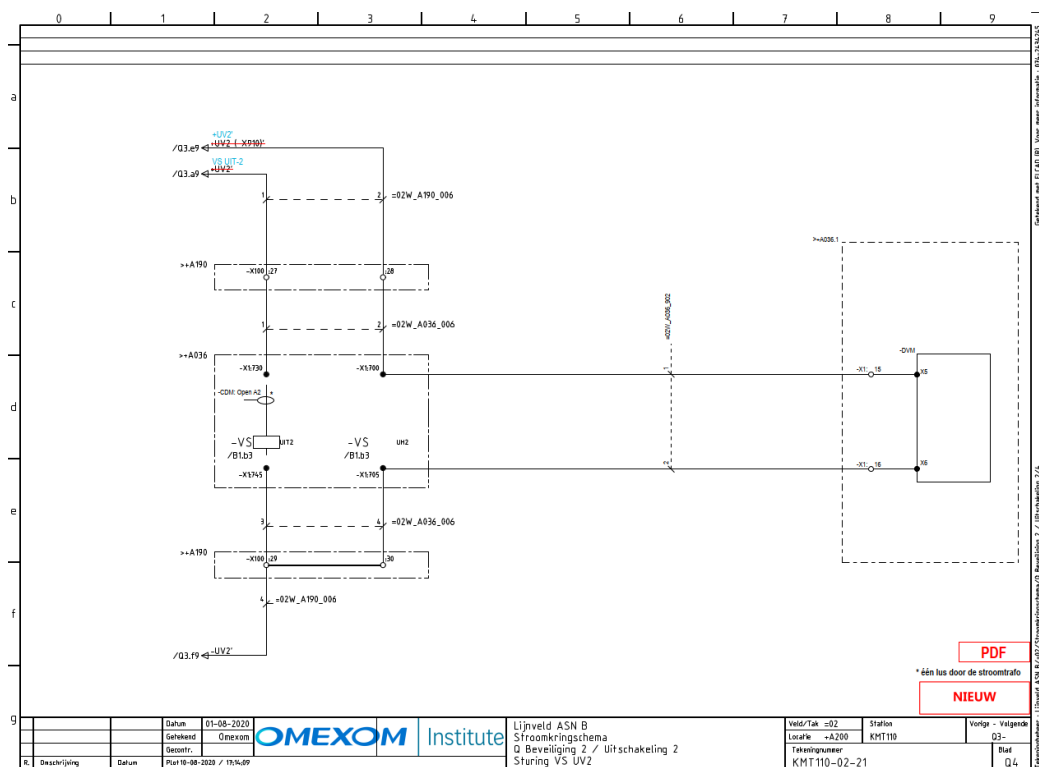
Afbeelding 1.5 – Veerspanningsmeting



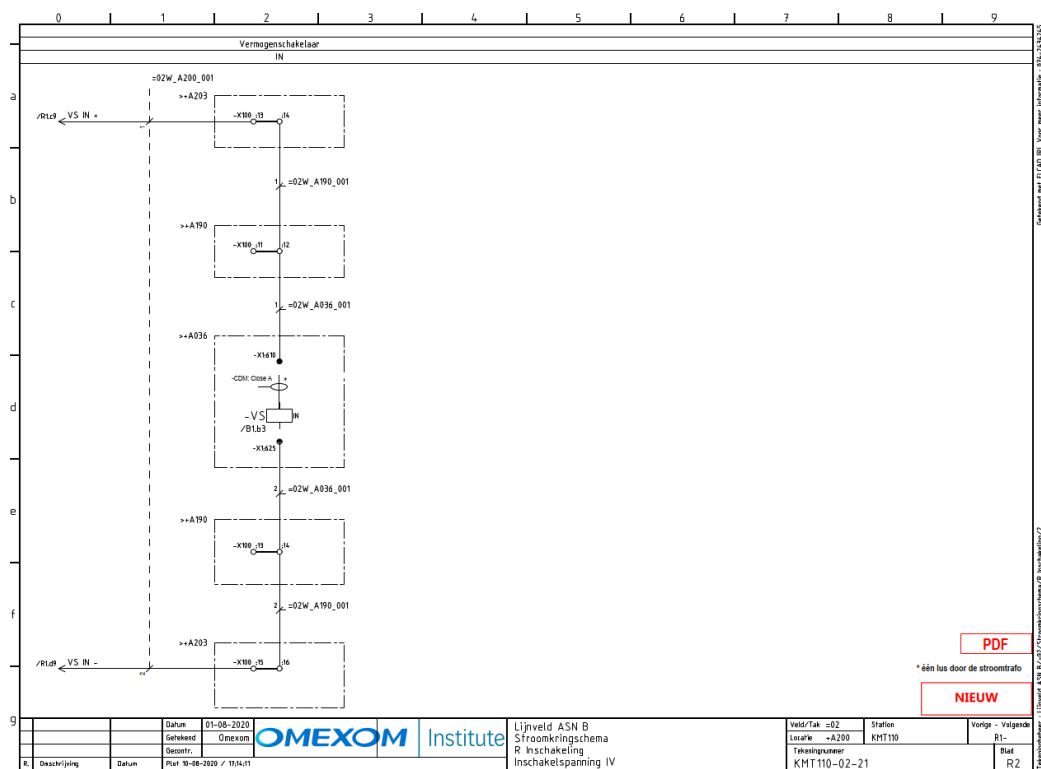
Afbeelding 1.6 – Voeding power supply



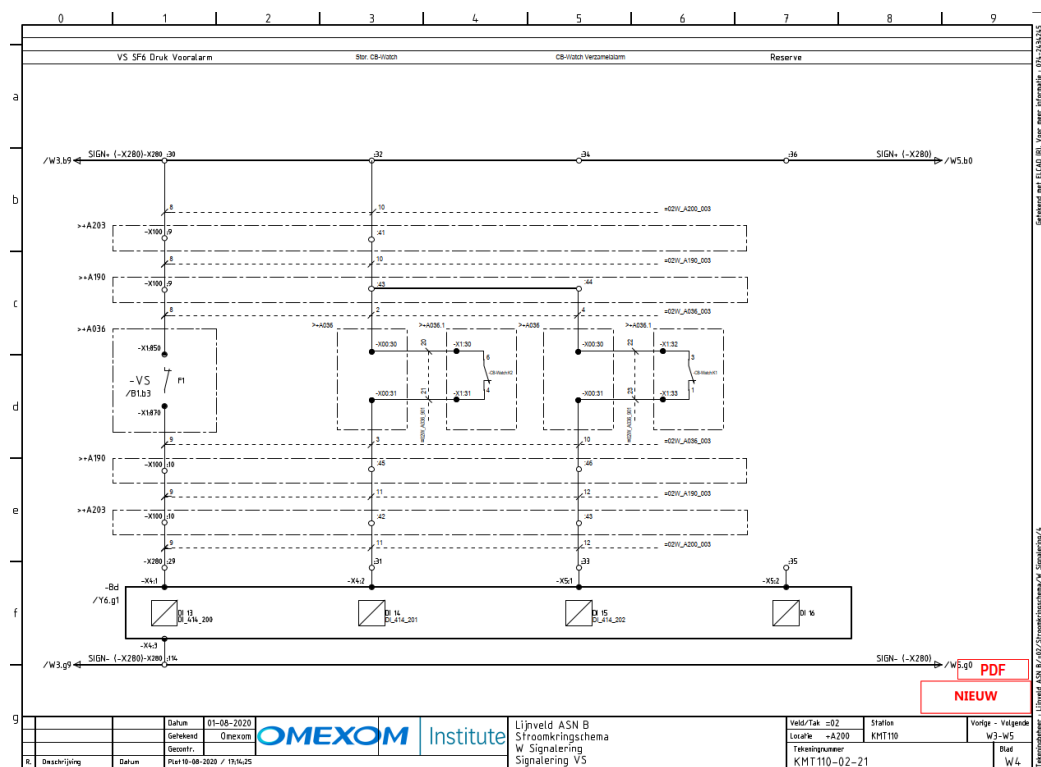
Afbeelding 1.7 – Command Detection module (uitschakeling 1)



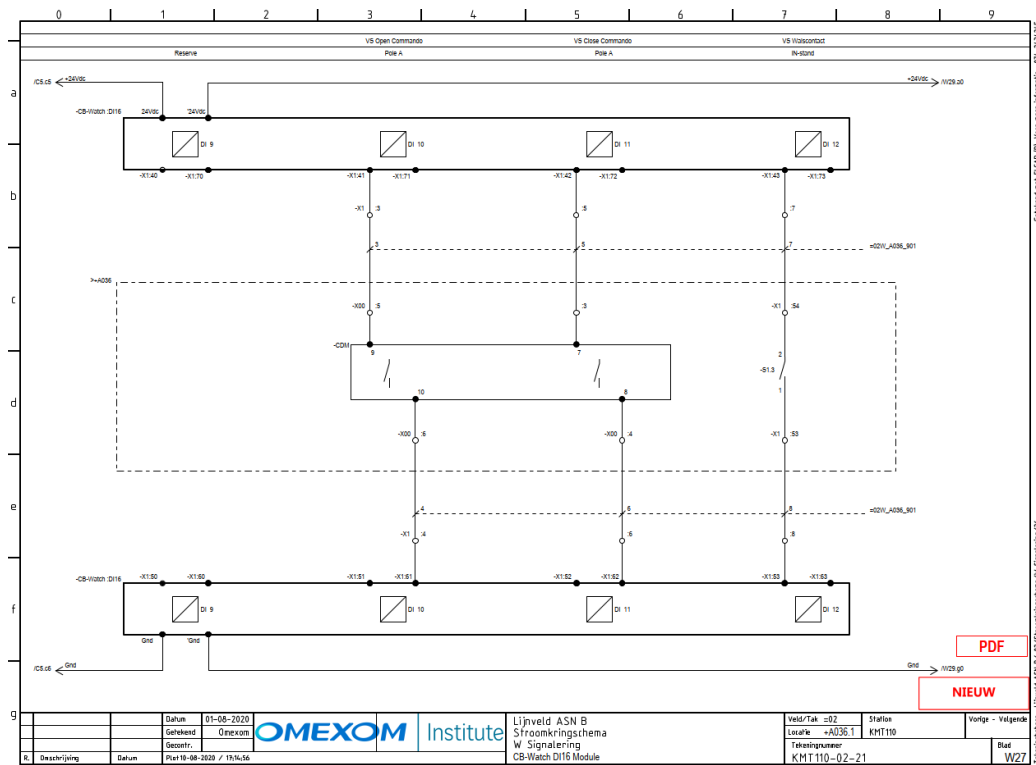
Afbeelding 1.8 – Command Detection Module (uitschakeling 2)



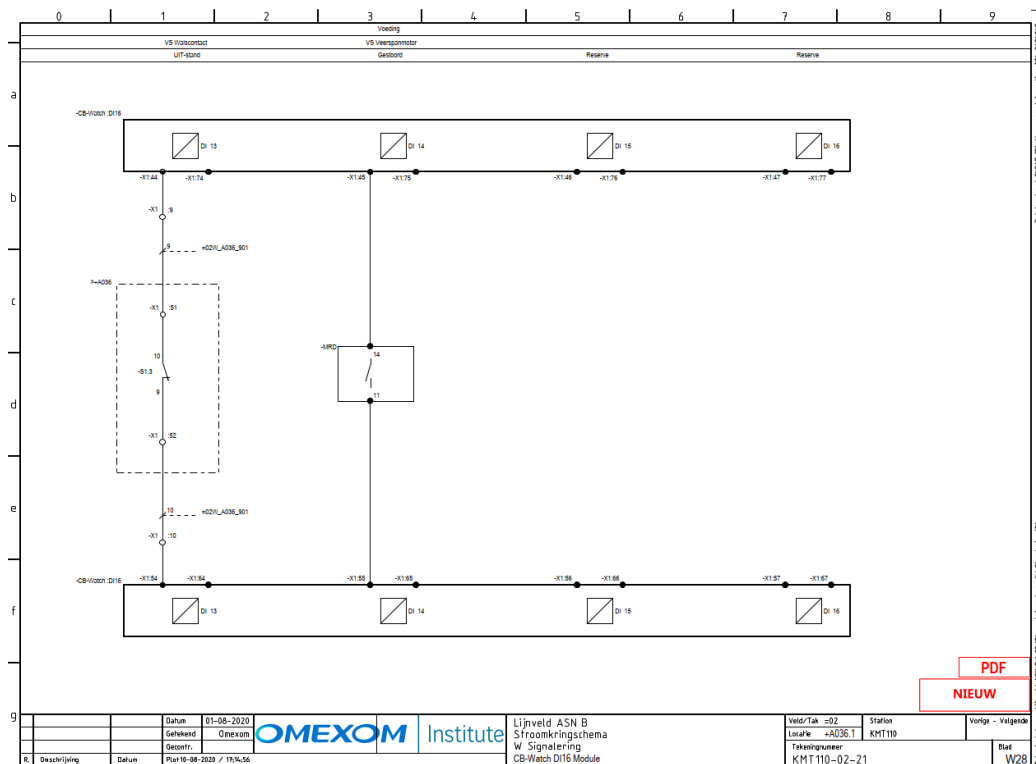
Afbeelding I.9 – Command Detection Module (inschakeling)



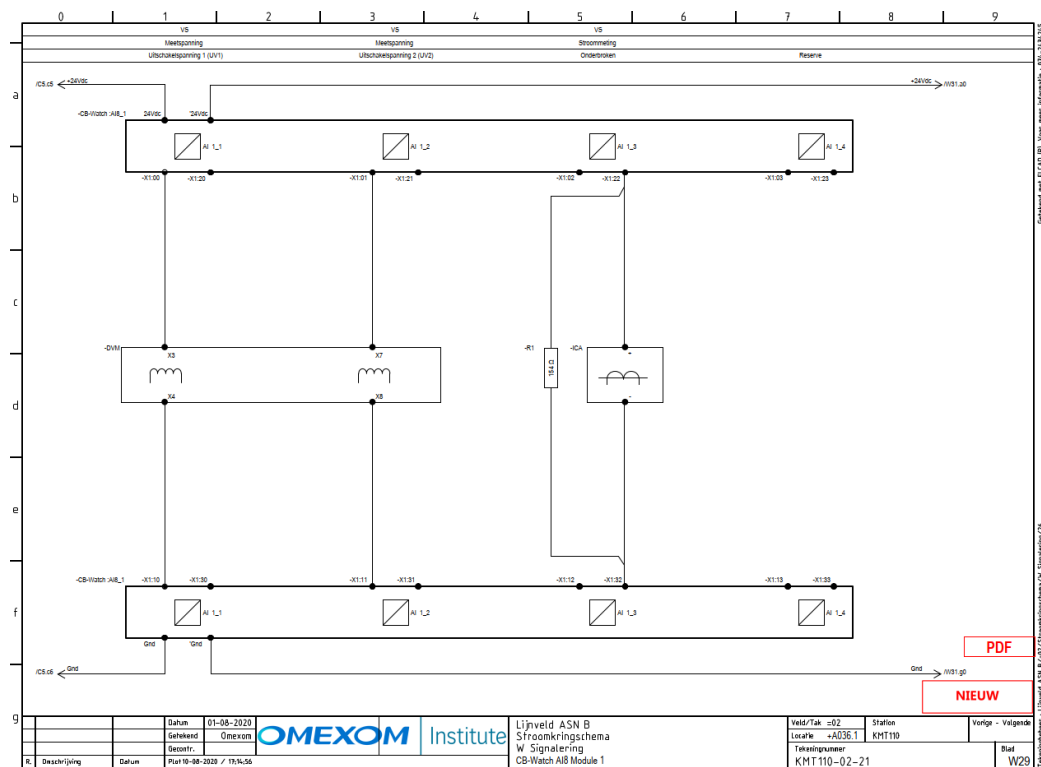
Afbeelding I.10 – Storingsmeldingen CB-Watch



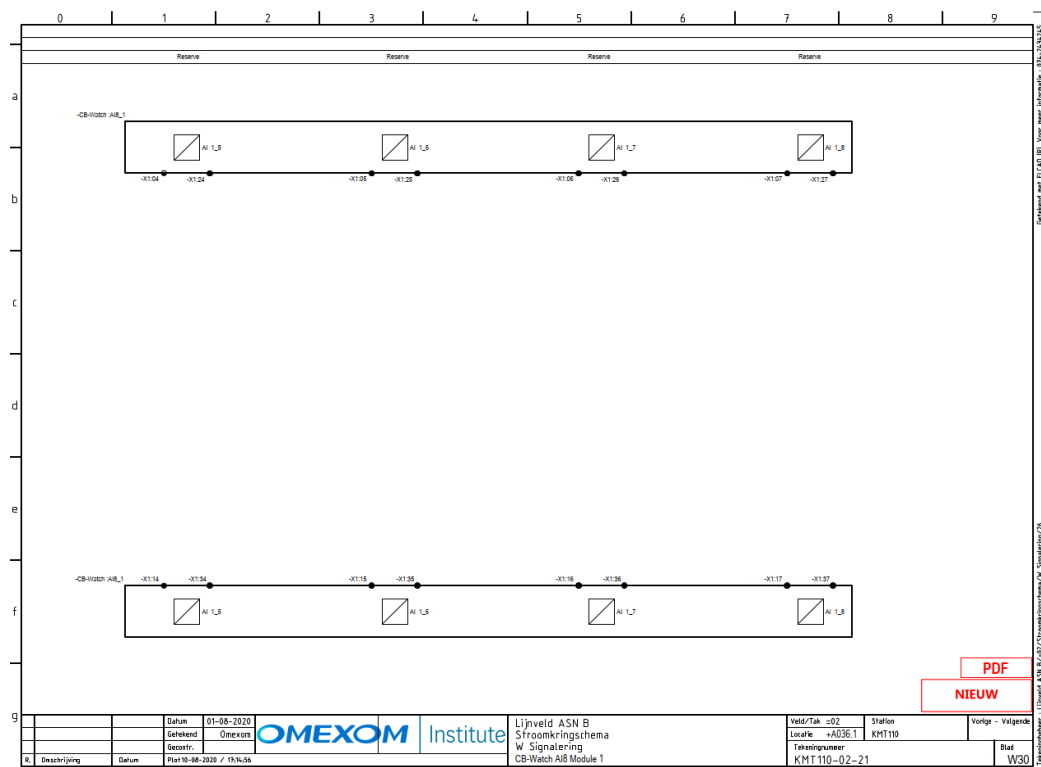
Afbeelding I.11 – DI16 Module storings- en stand meldingen



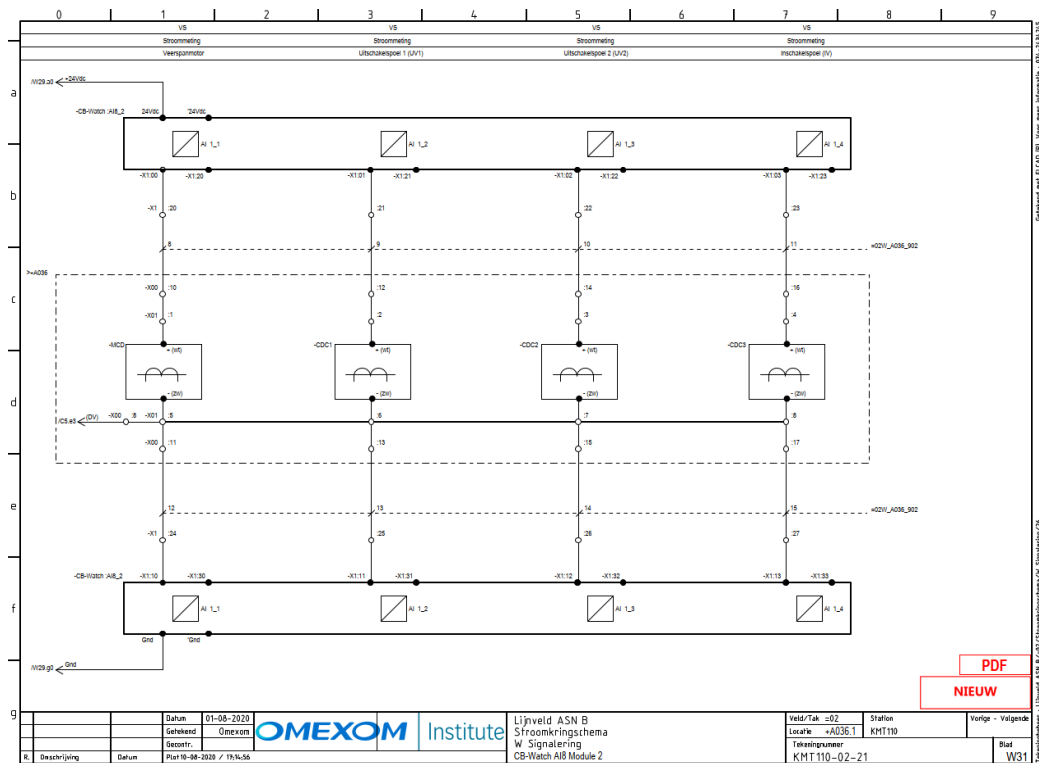
Afbeelding 1.12 – DI16 Module stand- en storingsmelding



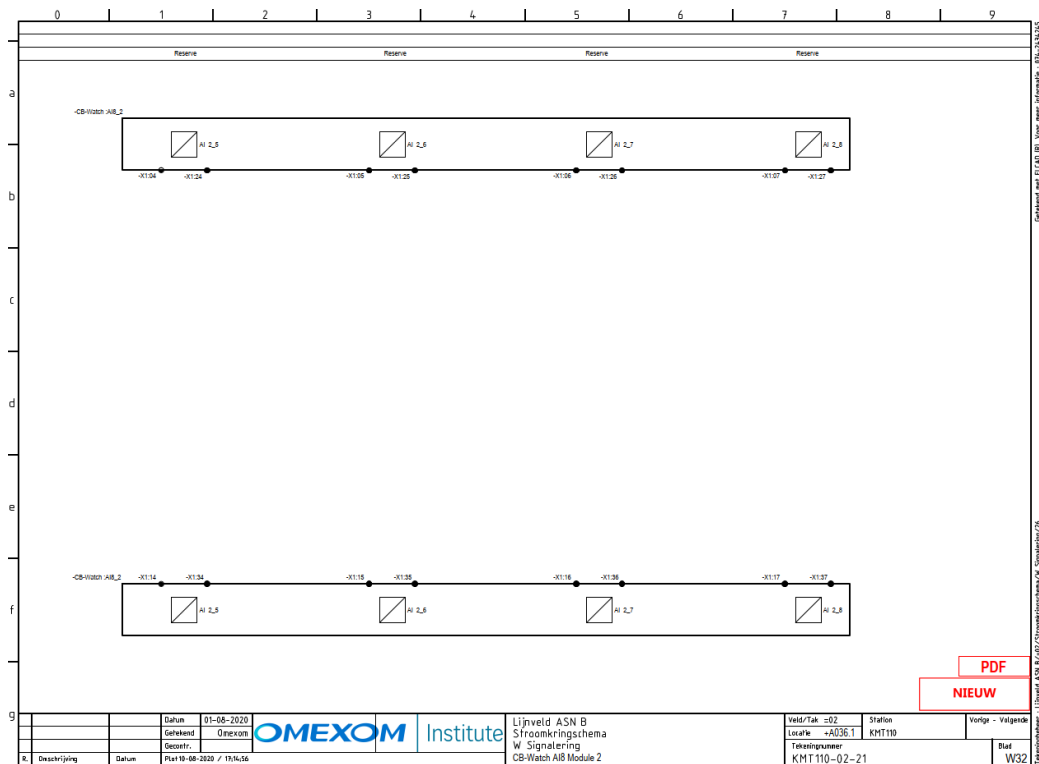
Afbeelding I.13 – AI8 module 1 diverse metingen



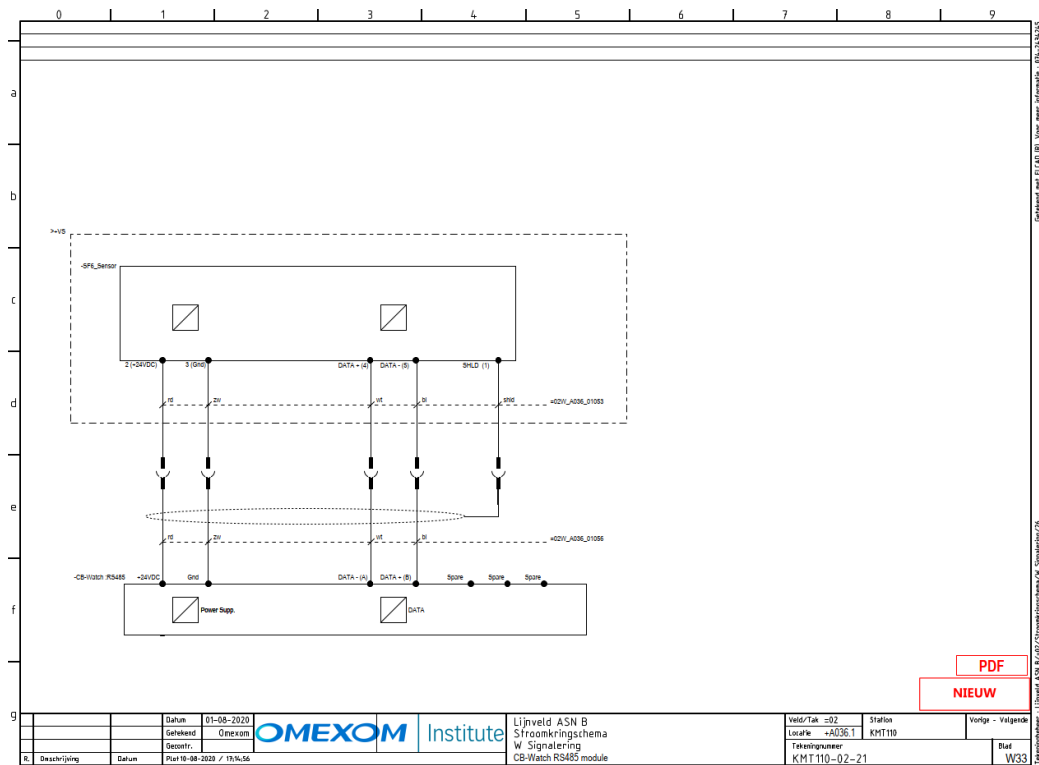
Afbeelding I.14 – AI8 module 1 reserveposities



Afbeelding I.15 – AI8 module diverse metingen



Afbeelding I.16 – AI8 module 2 reserveposities

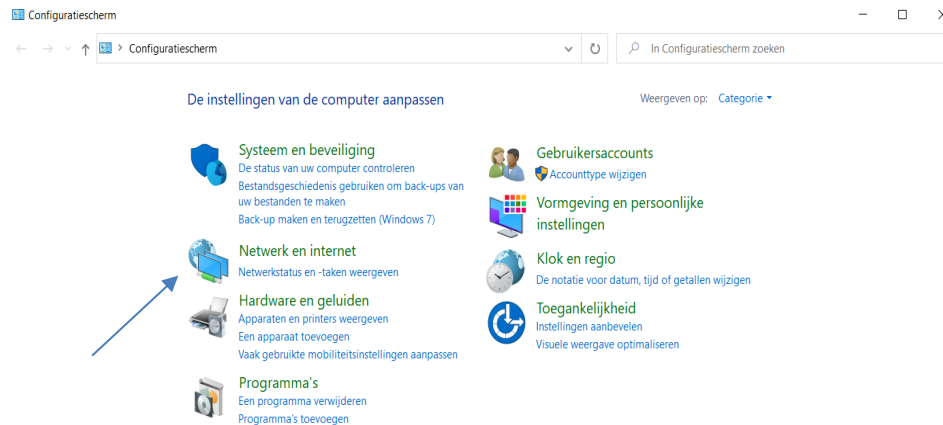


Afbeelding I.17 – SF6-meting vermogensschakelaar

Bijlage J: Benaderen en programmeren van de CB-Watch

Zoals beschreven in hoofdstuk 6, paragraaf 1 wordt er in deze bijlage beschreven hoe er verbinding met de CB-Watch gemaakt kan worden. Tevens wordt er toegelicht hoe grenswaarden ten behoeve van de verschillende sensoren ingesteld dienen te worden.

De eerste stap is om verbinding te maken met de CB-Watch. De CB-Watch heeft een geïntegreerde Human Interface Machine (HMI) die te benaderen is via een webbrowser. Op afbeelding J.1 staat het configuratiescherm weergegeven, er dient te worden geklikt op netwerk en internet.



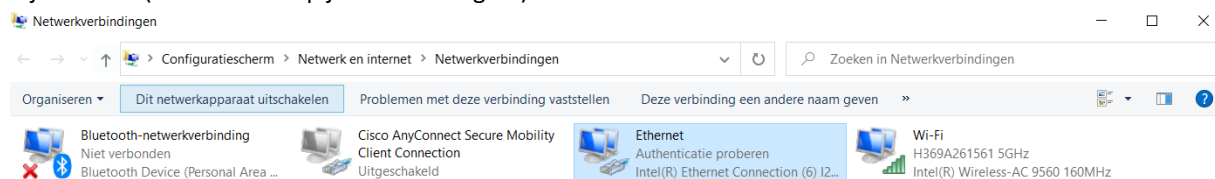
Afbeelding J.1 – Configuratiescherm

De tweede stap is om de adapterinstellingen te gaan wijzigingen. Klik hiervoor op adapterinstellingen, zoals met behulp van de pijl is weergegeven op afbeelding J.2.



Afbeelding J.2 – Netwerkinstellingen

Met behulp van de RJ45 kabel en de SFP-connector in de CB-Watch kan er met behulp van een ethernetverbinding, verbinding gemaakt worden met de CB-Watch. Afbeelding J.3 verschijnt nadat er is gekozen voor adapterinstellingen wijzigen. Kies nu met behulp van de rechtermuisknop voor eigenschappen bij ethernet (zie de blauwe pijl in afbeelding J.3)

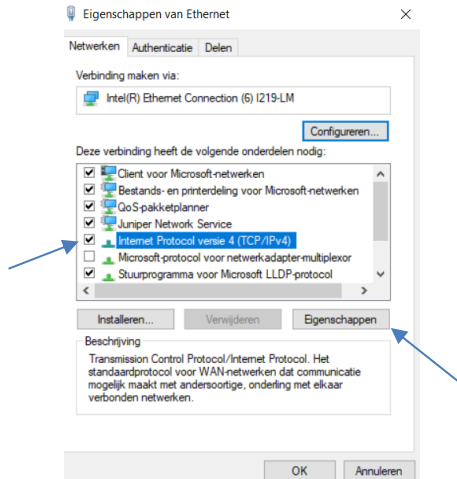


Afbeelding J.3 – Netwerkverbinding

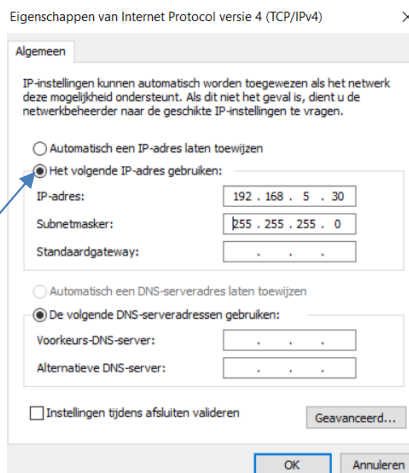
Aansluitend dient er gekozen te worden voor internetprotocol versie 4 (TCP/Ipv4) volgens afbeelding J.4, weergegeven bij de pijl. Vervolgens dient er opnieuw gekozen te worden voor eigenschappen, waarna afbeelding J.5 verschijnt. Hier dient handmatig het IP-adres te worden ingevuld waarmee de CB-Watch benaderd kan worden.

Het IP-adres is: 192.168.5.30

Het sub-net mask is: 255.255.255.0

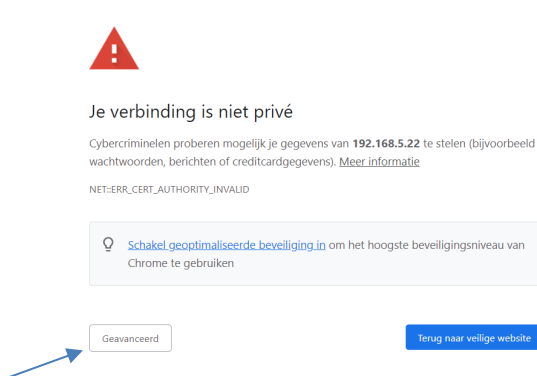


Afbeelding J.4 – Eigenschappen



Afbeelding J.5 – TCP/Ipv4

De volgende stap is om in te loggen in de CB-Watch. In Chrome dient het volgende IP-adres ingegeven te worden: 192.168.5.22. Vervolgens verschijnt de melding dat de verbinding niet privé is, volgens afbeelding J.6. Kies hiervoor geavanceerd zoals aangegeven bij de pijl. Vervolgens dient er volgens afbeelding J.7 te worden gekozen voor 'Doorgaan naar 192.168.5.22'. Nu is er verbinding tot stand gebracht met de CB-Watch.



Afbeelding J.6 – Verbindingsprobleem



Afbeelding J.7 – Doorgaan naar verbinding

Indien er succesvol verbinding is gerealiseerd met de CB-Watch, verschijnt het scherm volgens afbeelding J.8 de HMI-interface.

 CBWATCH3 INTERFACE

Please log in

Username
Password

Afbeelding J.8 – HMI-interface CB-Watch

Om daadwerkelijk in te loggen op de CB-Watch dienen een gebruikersnaam en wachtwoord ingegeven te worden, namelijk:

Gebruikersnaam: specialist

Wachtwoord: specialist

Afbeelding J.9 verschijnt indien er succesvol is ingelogd.

CB WATCH 3 DETAILS		CIRCUIT BREAKER DETAILS	
Serial number	2034320376	Number of operation cycles	49
Host name	CBWatch3	Date/time last operated	Mon Mar 29 14:52:30 2021
CBW3 status	Ok 	Current CB position	Open

Afbeelding J.9 – Hoofdscherm CB-Watch

Nu er verbinding tot stand is gebracht met de CB-Watch, is de volgende stap om de grenswaarden van de sensoren ten behoeve van de metingen te gaan programmeren. Uitgangspunt hierbij is dat deze al zijn geïnstalleerd in de vermogensschakelaar met behulp van de tekeningen uit bijlage G en I.

De eerste sensor die wordt ingesteld is de CDM (Command Detection Module) ten behoeve van het meten van schakeltijden. In afbeelding J.10 is inzichtelijk gemaakt hoe de instellingen zijn ten behoeve van de betreffende meting. Bij de bovenste pijl (aangegeven met '1') dient te worden aangegeven hoe de polen van de vermogensschakelaar worden aangestuurd. De polen van de vermogensschakelaar van het Omexom worden aangestuurd door één veerspanmotor. Bij de tweede pijl (aangegeven met '2') is weergegeven dat er een stroom aanwezig is. Ontbreekt deze, wordt er een alarmmelding gegenereerd.

 CBWATCH3 SPECIALIST INTERFACE

Measurements	Settings	System	Language	Overview	Logout
Gas monitoring	Analogue channels	Operations monitoring	Opening	Closing	Relays
		Risk Index Thresholds			
Stored energy system	Spring drive	Number of drives	1 ("ganged")		
	Pneumatic/Hydraulic		3 ("IPO")		
Pole discrepancy timeout	1.0 s	Maximum overtravel threshold	8.0 mm		
Coil continuity relay setup	NO	Interrupted current measurement	Yes	No	
Travel sensor presence	Yes				
	Set				

Afbeelding J.10 – Instellingen CDM

Vervolgens dienen de grenswaarden van Command Detection Module te worden ingegeven. De grenswaarden hebben betrekking op het meten van de schakeltijden van de vermogensschakelaar. Op afbeelding J.11 staan de grenswaarden ingegeven met betrekking op het uitschakelen en op afbeelding J.12 de grenswaarden voor het inschakelen van de vermogensschakelaar. De grenswaarden zijn bepaald aan de hand van het handboek van de vermogensschakelaar en zullen in de praktijk afhankelijk zijn van het type vermogensschakelaar die wordt toegepast.

GE CBWATCH3 SPECIALIST INTERFACE

Measurements Settings **System** Language Overview Logout

Gas monitoring Analogue channels Operations monitoring **Opening** Closing Relays Risk Index Thresholds

End of open position 15.000 mm

Time from 52a to contact separation A 1.0 ms B 1.0 ms C 1.0 ms

OPENING OPERATION TIMES

	max t1	min t1	
Opening reaction time t1	23.4 ms	8.0 ms	Max opening reaction time t1 discordance 1.0 ms
	max t2	min t2	
Opening operation time t2	34.1 ms	15.0 ms	Max opening operation time t2 discordance 5.0 ms
	max t2-t1	min t2-t1	
Opening travel time t2-t1	14.0 ms	10.0 ms	Max opening travel time t2-t1 discordance 5.0 ms
Minimum contact separation speed	2.50 m/s		

Afbeelding J.11 – Grenswaarden uitschakelen vermogensschakelaar

GE CBWATCH3 SPECIALIST INTERFACE

Measurements Settings **System** Language Overview Logout

Gas monitoring Analogue channels Operations monitoring **Opening** Closing Relays Risk Index Thresholds

End of closed position 120.00 mm

OPERATIONS TIME

	max	min	
Closing reaction time t1	60.0 ms	20.0 ms	Max closing reaction time t1 discordance 5.0 ms
	max	min	
Closing operation time t2	81.0 ms	65.0 ms	Max closing operation time t2 discordance 5.0 ms
	max	min	
Closing travel time t2-t1	17.0 ms	8.0 ms	Max closing travel time t2-t1 discordance 5.0 ms
	max	min	
Spring rewinding time	15.0 s	5.0 s	Max cumulative motor run time 0.0 min

Afbeelding J.12 – Grenswaarden inschakelen vermogensschakelaar

De tweede sensor die wordt ingesteld is de stand melding van de vermogensschakelaar. Met behulp van hulpcontacten (52a/52b) uit de vermogensschakelaar is voor de CB-Watch bekend of deze zich in 'uit' of inpositie bevindt. Indien deze functie van toepassing is, laat de CB-Watch zien in welke stand de vermogensschakelaar zich bevindt aan de hand van afbeelding J.13.

POSITION 52A/52B CONTACTS

Previous operation type	Opening	Opening	Opening
52a (ON=CB Closed, OFF=CB Open)	OFF	OFF	OFF
52b (OFF= CB Closed, ON=CB Open)	ON	ON	ON

Afbeelding J.13 – Stand melding vermogensschakelaar

De vermogensschakelaar wordt gevoed door twee gelijkspanningsbronnen (UV1 – uitschakeling 1 en UV2 – uitschakeling 2), deze twee spanningen worden aangeboden op analoge ingangen van de CB-Watch. De twee spanningen worden met behulp van de DVM (DC Voltage Measurement) om getransformeerd naar een spanning van 0-10 volt. Deze instellingen dienen dan ook te worden geprogrammeerd en zijn weergegeven in afbeelding J.14. Wanneer de spanning buiten de ingegeven range valt, wordt er een melding gegenereerd.

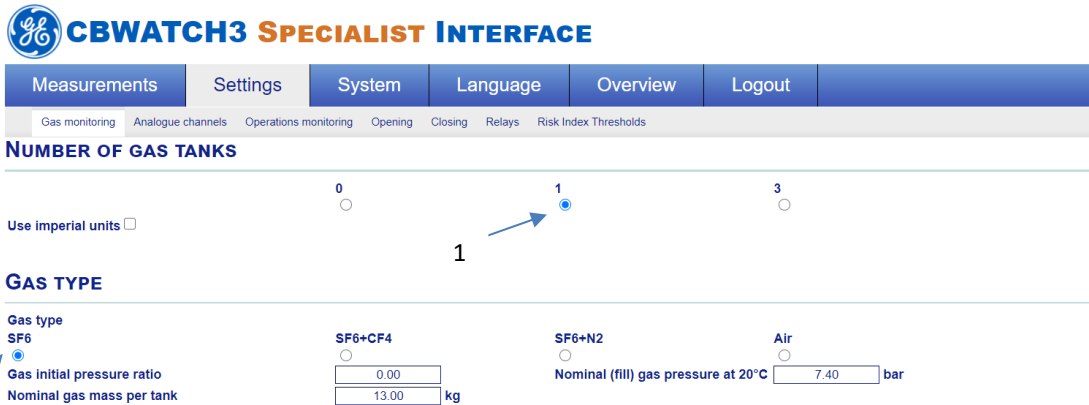
type low value high value DC min threshold DC max threshold

DC voltage source (X2) 0-10V 0.00 280.00 100.00 130.00

Afbeelding J.14 – Instellingen DVM

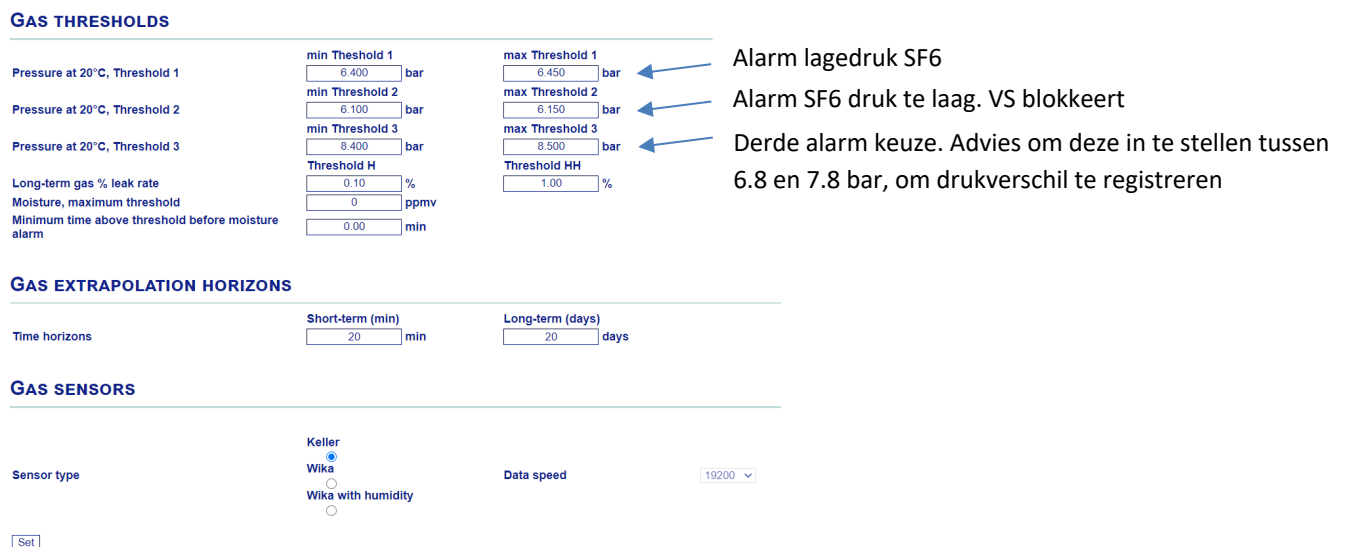
Ten behoeve van het meten van SF6-gas dienen er ook een aantal instellingen te worden geprogrammeerd, weergegeven in afbeelding J.15. Bij de eerste pijl genummerd als '1' dient te worden aangegeven hoeveel SF6-

tanken er zijn. De vermogensschakelaar van het Omexom Institute bezit één gas tank voor drie polen. Bij de tweede instellingen is het aangeven welk type SF6-gas wordt toegepast (aangeven met de pijl genummerd als twee). De vermogensschakelaar van het Omexom Institute beschikt over "schoon" SF6-gas, zonder dat hier mengsels aan zijn toegevoegd.



Afbeelding J.15 – Instellingen meting SF6-gas

Op afbeelding J.16 staan weergegeven welk type sensor wordt toegepast ten behoeve van de gasmeting en wat de grenswaarden zijn waarbij er een storingsmelding dient te worden gegenereerd, deze zijn afhankelijk van de wensen van de klant. Zie toelichting middels de drie pijlen bij de grenswaarden.



Afbeelding J.16 – instellingen grenswaarden SF6-sensor

De volgende meting die dient te worden geprogrammeerd is die van de motorstroom met behulp van een stroomtransformator. Afbeelding J.17 illustreert welke instellingen ingegeven dienen te worden.



Afbeelding J.17 – Instellingen meting motorstroom

De volgende meting die wordt uitgevoerd met de CB-Watch zijn de stroommetingen van de in- en uitschakel spoelen. Het betreft de twee spoelen ten behoeve van het uitschakelen van de vermogensschakelaar en de

spoel ten behoeve van het inschakelen van de vermogensschakelaar. De waarden die betrekking hebben op deze meting zijn ingegeven bij afbeelding J.18.

	type	low value	high value	min charge open (A.ms)	max charge open (A.ms)	min charge close (A.ms)	max charge close (A.ms)
Coil current (X9)	+/-5V	-25.00	25.00	0.00	100.00	0.00	250.00

Afbeelding J.18 – Instellingen stroommeting in- en uitschakelspoel

De laatste instellingen die ingesteld dienen te worden, zijn welke meldingen daadwerkelijk als alarm gemeld dienen te worden door de CB-Watch. Zoals in de product- en functieanalyse van bijlage D is uitgezocht, zijn er twee alarmmeldingen te registreren met de CB-Watch (K1 & K2). K1 is een verzamel melding voor het alarmeren van overschrijding van een grenswaarde en K2 voor een interne fout in de CB-Watch, bijvoorbeeld spanningsuitval of een defecte I/O-kaart. Afhankelijk van de wensen van de klant kunnen er instellingen worden gedaan voor welke grenswaarden er gemeld dienen te worden. Afbeelding J.19 t/m J.22 illustreren de mogelijkheid met betrekking tot het aanvinken van alarmen.

GE CBWATCH3 SPECIALIST INTERFACE

Measurements Settings System Language Over

Gas monitoring Analogue channels Operations monitoring Opening Closing Relays Risk Index Threshold

Gas Opening Closing Operations

GAS

	K1
Gas pressure in pole A < threshold 1	☒
Gas pressure in pole A < threshold 2	☒
Not [Gas pressure in pole A < threshold 2]	☐
Gas pressure in pole A > threshold 3	☒
Gas pressure in pole B < threshold 1	☐
Gas pressure in pole B < threshold 2	☐
Not [Gas pressure in pole B < threshold 2]	☐
Gas pressure in pole B > threshold 3	☐
Gas pressure in pole C < threshold 1	☐
Gas pressure in pole C < threshold 2	☐
Not [Gas pressure in pole C < threshold 2]	☐
Gas pressure in pole C > threshold 3	☐
Short-term extrapolated pressure < threshold 2	☐
Long-term extrapolated pressure < threshold 1	☐
Gas liquefaction risk	☐
Gas sensor issue	☐
Long-term % leak rate < max H (warning)	☐
Long-term % leak rate < max HH (alarm)	☐
GLRI (Gas Level RI) > threshold	☐
CLEAR ALARMS	☐

Afbeelding J.19 – Mogelijke instellingen alarmering SF6-gas

Measurements Settings System Language

Gas monitoring Analogue channels Operations monitoring Opening Closing Relays Risk Index

Gas Opening Closing Operations

OPENING

	K1
Opening reaction time (t1) outside of limits	☐
Opening operation time (t2) outside of limits	☐
Opening travel time (t2-t1) outside of limits	☐
Opening reaction time discordance > max	☐
Opening operating time discordance > max	☐
Opening travel time discordance > max	☐
Cumulative electrical contact wear	☐
Opening operation number > max	☐
Opening contact separation speed < min	☐
Opening overtravel > max	☐
Open (tor2) coil actuation charge > max	☐
Open (tor2) coil actuation charge < min	☐
Arcling time > max	☐
Mean open1 coil current > max	☐
Mean open2 coil current > max	☐

Set

Afbeelding J.20 – Instellingen alarmering uitschakeling

Measurements Settings System Language

Gas monitoring Analogue channels Operations monitoring Opening Closing Relays Risk Index

Gas Opening Closing Operations

CLOSING

	K1
Closing reaction time (t1) outside of limits	☐
Closing operation time (t2) outside of limits	☐
Closing travel time (t2-t1) outside of limits	☐
Closing reaction time discordance > max	☐
Closing operating time discordance > max	☐
Closing travel time discordance > max	☐
Closing operation number > max	☐
Closing overtravel > max	☐
Closing coil actuation charge > max	☐
Closing coil actuation charge < min	☐
Mean closing coil current > max	☐

Set

Afbeelding J.21- instellingen alarmering inschakeling

Measurements

Settings

System

Language

Gas monitoring

Analogue channels

Operations monitoring

Opening

Closing

Relays

Risk Index

Gas

Opening

Closing

Operations

OPERATIONS

	K1
Rest position is outside travel sensor limits	☐
Status discrepancy for one pole or across 3 poles	☐
52a/b contacts did not change after operation order	☐
Spring rewind time > max	☐
Continuity issue with one of the coils	☐
Spring rewind motor inrush current > max	☐
Cumulative motor operation time > threshold	☐
DC voltage source 1 outside limits	☐
DC voltage source 2 outside limits	☐
OTRI > threshold	☐
SERI > threshold	☐
CWRI > threshold	☐
CCRI > threshold	☐
Overall CBRI > threshold	☐
Maintenance required	☐
CLEAR ALARMS	☐

Set

Afbeelding J.22 – Instellingen overige alarmering

Bijlage K: De resultaten

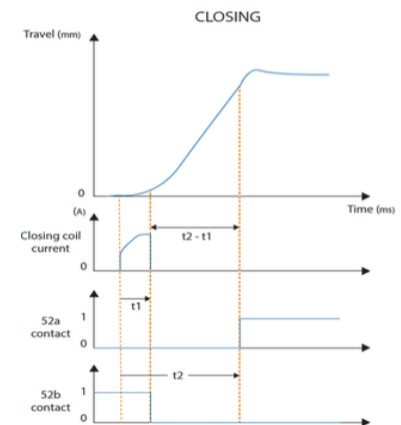
In hoofdstuk 7, paragraaf 1 staan in tabel 7.1.1 alle resultaten uit de CB-Watch, fabrikanttesten (routinetesten) en het timen van de vermogensschakelaar weergegeven. In deze bijlage staan de resultaten van de testen weergegeven. Alle data en meetgegevens die met behulp van de CB-Watch zijn uitgelezen uit de vermogensschakelaar en van belang zijn worden hierna voorzien van onderbouwing. Zoals reeds beschreven in hoofdstuk 6, paragraaf 2 worden als referentiewaarden de fabrikanttesten en de resultaten van het timen van de vermogensschakelaar toegepast. De fabrikanttesten en het rapport van het timen zijn volledig bijgevoegd achter in deze bijlage.

Resultaten vanuit CB-Watch bij inschakelen vermogensschakelaar:

De eerste meting die wordt geanalyseerd is die van het inschakelen van de vermogensschakelaar. Op afbeelding K.1 staan de resultaten die zijn uitgelezen uit de CB-Watch weergegeven.

LAST CLOSING OPERATION DATA	
	Pole A
Last operation date and time	Thu Mar 25 14:45:27 2021
Closing operation counter	18
52b contact switching time	58.8 ms
Closing reaction time (t1)	58.8 ms
52a contact switching time	72.8 ms
Closing operation time (t2)	72.8 ms
Closing travel time (t2-t1)	14.0 ms
Closing contact touching speed	7.5 m/s
Coil circuit DC voltage source 1	123.0 V
Outside ambient temperature	14.5 °C
COIL CURRENT	
Mean coil current - Closing	3.0 A

Afbeelding K.1 – Schakeltijden inschakeling vermogensschakelaar



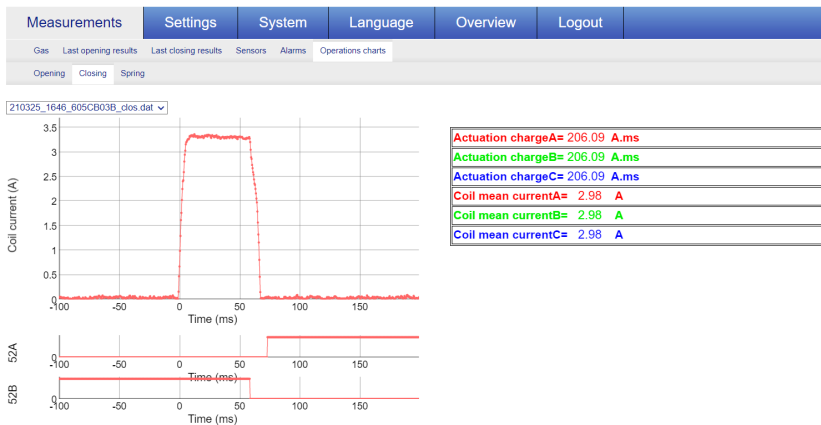
Afbeelding K.2 – Werkingsprincipe

1. Tijd van schakelen van 'uit' (open) naar 'in' (close) stand (schakeltijd)
2. T1 betreft de tijd die benodigd is om de spoel te voorzien van stroom om te gaan sluiten (reactietijd) en T2 is de tijd die hij er daadwerkelijk over doet. Dit signaal wordt gemeten vanaf de wals contacten van de vermogensschakelaar (52a en 52b). Op tijdstip T2 is de spoel gesloten en is de totaal benodigde tijd bekend.
3. De daadwerkelijke schakeltijd, T2-T1.
4. De spanning van de spoel.
5. De stroom die vloeit tijdens het inschakelen van de vermogensschakelaar.

Op afbeelding K.2, het werkingsprincipe zijn de wals contacten 52a en 52b (ten behoeve van uit- en in stand) van de vermogensschakelaar geïllustreerd. Zodra het commando wordt gegeven om de vermogensschakelaar in te schakelen, start tijdstip T1 en begint er een spoelstroom (Closing coil current) te lopen. Parallel hieraan start de meting van T2. Zodra het wals contact van de vermogensschakelaar meldt dat deze zich in de 'in' positie bevindt, stopt de meting en worden de meetgegevens gegenereerd volgens afbeelding K.1. Zodra de spoelstroom aanwezig is (einde T1) begint de meting van de schakeltijden totdat deze zich in de 'in' positie bevindt (einde T2). Tot slot wordt de stroom gemeten van de inschakelspoel, deze wordt geïllustreerd in de grafiek op afbeelding K.3.

Grafiek met spoelstroom tijdens inschakeling:

Op afbeelding K.3 is de grafiek ten behoeve van het inschakelen van de vermogensschakelaar geïllustreerd. Tevens staan hier de wals contacten weergegeven. Hier is duidelijk te zien dat wanneer de vermogensschakelaar is ingeschakeld, de stroom geleidelijk wegvloeit.



Afbeelding K.3 – Spoelstroom bij inschakelen vermogensschakelaar

Referentiewaarde fabrikanttest schakeltijden vermogensschakelaar:

Op afbeelding K.4 staan de schakeltijden van de fabrikanttesten weergegeven tijdens het inschakelen van de vermogensschakelaar. Vanuit het handboek van de leverancier staat een tolerantie van +/- 10% op de minimale en maximale in- en uitschakeltijd. Door de resultaten van afbeelding K.1 en K.4 met elkaar te vergelijken kan de conclusie worden getrokken dat de schakeltijden behorende bij het inschakelen van de vermogensschakelaar binnen de marges vallen.

Design and visual checks according IEC 62271-100 cl. 7.5		
Measured values at routine test	Tolerance	Pole A
Closing time	min 62 - max 74	70

Afbeelding K.4 – Schakeltijden inschakelen vermogensschakelaar fabrikanttest

Referentiewaarden timen vermogensschakelaar, inschakeling:

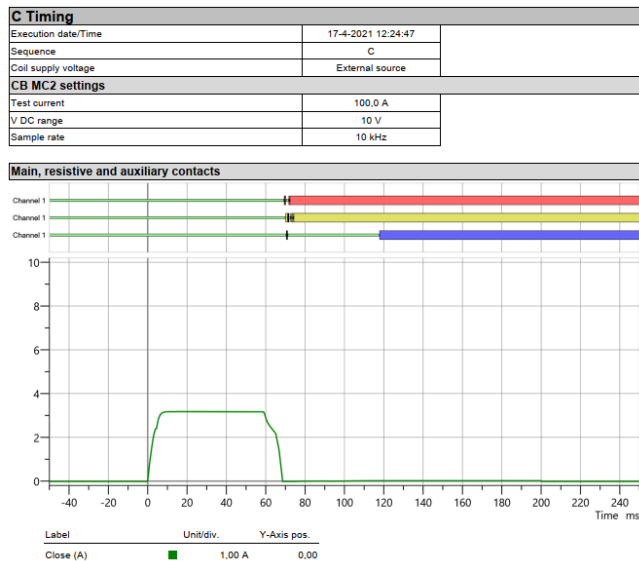
Tijdens het timen van de vermogensschakelaar worden dezelfde testen gedaan en data verzameld, als die de CB-Watch registreert. Het verschil hierbij is dat tijdens het timen de primaire schakeltijd wordt bepaald en dat de CB-Watch dit doet aan de hand van de wals contacten ten behoeve van in- en uitstand van de vermogensschakelaar. Hierdoor is er een kleine afwijking van de schakeltijden, die te verklaren is vanwege de manier van meten. Op afbeelding K.5 is de meetopstelling weergegeven tijdens het timen van de vermogensschakelaar. De schakeltijden worden primair worden gemeten, zie de twee pijlen bij de afbeelding ter verduidelijking.



Meetsnoeren ten behoeve
van primair meten
schakeltijden

Afbeelding K.5 – Meetopstelling tijdens timen vermogensschakelaar in Omexom Institute

Op afbeelding K.6 is de grafiek geïllustreerd tijdens het inschakelen van de vermogensschakelaar. Deze grafiek en de bijbehorende stroom komen overeen met de gegevens van afbeelding K.3 wat bevestigt dat de meting uit de CB-Watch overeenkomt met de data die wordt verzameld tijdens het timen van de vermogensschakelaar.



Afbeelding K.6 – Grafiek ten behoeve van inschakeling vermogensschakelaar tijdens timen

Op afbeelding K.7 staan de schakeltijden en inschakelstroom van de inschakelspoel weergegeven. Wanneer de schakeltijden worden vergeleken met afbeelding K.1 is te zien dat deze nagenoeg overeenkomen. Er is een kleine afwijking van een aantal milliseconden zichtbaar, dit heeft te maken met de manier van meten. Tijdens het timen worden de schakeltijden bij de primaire polen van de vermogensschakelaar gemeten en bij de CB-Watch wordt dit gedaan aan de hand van de wals contacten van de in- en uitstand. De gemiddelde spoelstromen van het timen en van de meting van de CB-Watch komen overeen.

Operating times			
Meas.	Closing time (ms)	Closing sync. (ms)	Assessment
Breaker	70,40	1,10	Man. pass
A	69,30		Man. pass
Channel 1	69,30		Man. pass
B	70,00		Man. pass
Channel 1	70,00		Man. pass
C	70,40		Man. pass
Channel 1	70,40		Man. pass

Main contact characteristics							
Main contact	Travel data	Contact wipe	Reaction time	PIR close time	Bounce time	Bounce count	Assessment
Channel 1	No data		ms	ms	2,90 ms	3	Man. pass
Channel 1	No data		ms	ms	4,20 ms	5	Man. pass
Channel 1	No data		ms	ms	47,40 ms	2	Man. pass

Coil characteristics					
	Peak current (A)	Average current (A)	Average voltage (V)	Resistance (Ω)	Assessment
Close	3,18	3,09	116,73	37,77	Man. pass

Afbeelding K.7 - Schakeltijden en spoelstroom tijdens inschakeling vermogensschakelaar

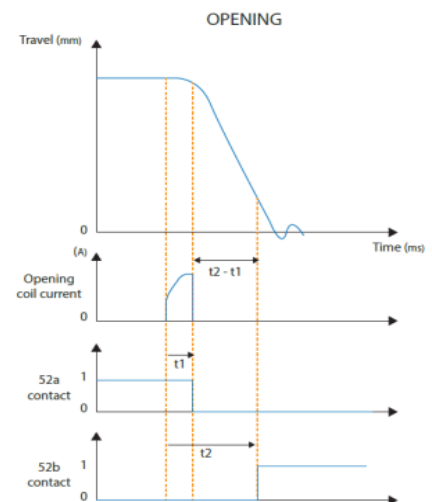
De tweede stap is om de data van het uitschakelen van de vermogensschakelaar te vergelijken met die van de fabrikanttesten en van het timen van de vermogensschakelaar.

Resultaten vanuit CB-Watch bij uitschakelen vermogensschakelaar:

Op afbeelding K.8 staan de resultaten van het uitschakelen van de vermogensschakelaar. Met behulp van een aantal pijlen voorzien van nummer is wederom uitleg gegeven bij de afbeelding ter verduidelijking.

LAST OPENING OPERATION DATA	
	Pole A
Last operation date and time	Thu Mar 25 16:46:09 2021
Opening operation counter	21
52a contact switching time	20.0 ms
Opening reaction time (t1)	20.0 ms
Opening contact separation time (ts)	21.0 ms
52b contact switching time	32.8 ms
Opening operation time (t2)	32.8 ms
Opening travel time (t2-t1)	12.8 ms
Contact separation speed	8.2 m/s
Coil circuit DC voltage source 1	123.0 V
Coil circuit DC voltage source 2	123.0 V
Outside ambient temperature	15.1 °C

COIL CURRENT	
Mean coil current - Open 1	2.7 A



Afbeelding K.8 – Schakeltijden uitschakeling vermogensschakelaar

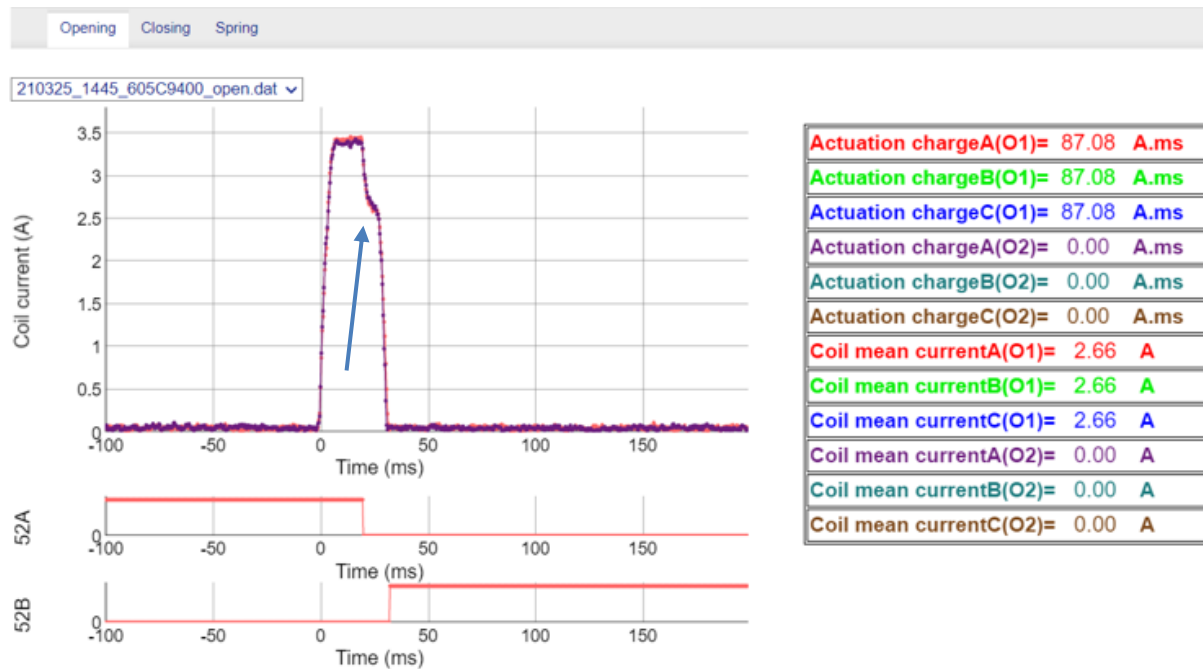
Afbeelding K.9 - Werkingsprincipe

1. Tijd van schakelen van 'in' (close) naar 'uit' (open) stand (schakeltijd)
2. T1 betreft de tijd die benodigd is om de spoel te voorzien van stroom om te gaan open (reactietijd) en T2 is de tijd die hij er daadwerkelijk over doet. Dit signaal wordt gemeten vanaf de wals contacten van de vermogensschakelaar (52a en 52b). Op tijdstip T2 is de spoel geopend en is de totaal benodigde tijd bekend.
3. De daadwerkelijke schakeltijd, T2-T1.
4. De spanning van de spoel. (In het uitschakelcircuit zijn twee uitschakelspoelen aanwezig, vanwege redundantie).
5. De stroom die vloeit tijdens het uitschakelen van de vermogensschakelaar.

Op afbeelding K.9, het werkingsprincipe zijn de wals contacten 52a en 52b (ten behoeve van uit- en in stand) van de vermogensschakelaar geïllustreerd. Zodra het commando wordt gegeven om de vermogensschakelaar 'uit' te schakelen, start tijdstip T1 en begint er een spoelstroom (Opening coil current) te lopen. Parallel hieraan start de meting van T2. Zodra het wals contact van de vermogensschakelaar meldt dat deze zich in de 'uit' positie bevindt, stopt de meting en worden de meetgegevens gegenereerd volgens afbeelding K.5. Zodra de spoelstroom aanwezig is (einde T1) begint de meting van de schakeltijden totdat deze zich in de 'uit' positie bevindt (einde T2). Tot slot wordt de stroom gemeten van de inschakelspoel, deze wordt geïllustreerd in de grafiek op afbeelding K.10.

Grafiek met spoelstroom tijdens uitschakeling:

Op afbeelding K.10 is de grafiek ten behoeve van het uitschakelen van de vermogensschakelaar geïllustreerd. Tevens staan hier de wals contacten op de afbeelding weergegeven. Hier is duidelijk te zien dat wanneer de vermogensschakelaar is uitgeschakeld, de stroom geleidelijk wegvloeit. Er is een kleine piekstroom van ongeveer 30 milliseconden aanwezig om de uitschakelspoel te bekrachtigen. Zodra wals contract 52a is ontkracht, zakt de stroom in zoals weergegeven met behulp van de pijl. Zodra wals contact 52b is bekrachtigd en de 'uit' positie is bereikt, vloeit de stroom weg.



Afbeelding K.10 – Spoelstroom bij uitschakelen van vermogensschakelaar

Referentiewaarde fabrikanttest schakeltijden vermogensschakelaar

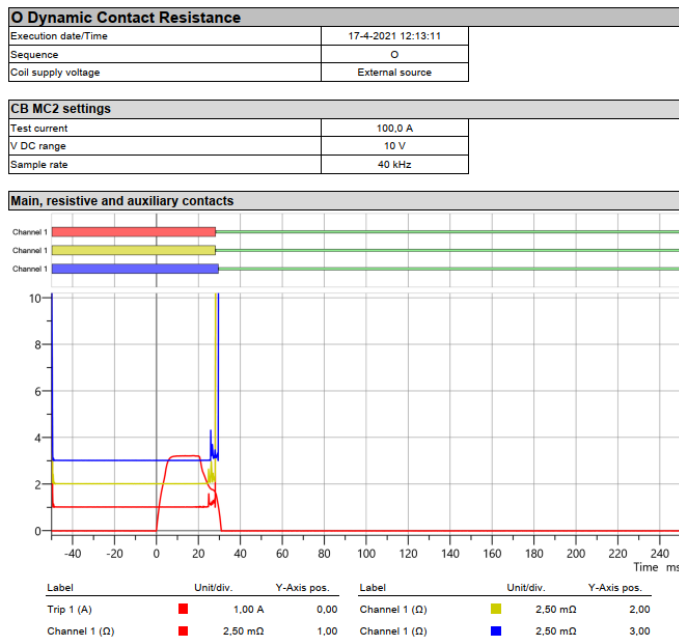
Op afbeelding K.11 (bij de pijl) staan de schakeltijden van de fabrikanttesten weergegeven tijdens het uitschakelen van de vermogensschakelaar. Vanuit het handboek van de leverancier staat een tolerantie van +/- 10% op de minimale en maximale in- en uitschakeltijd. Door de resultaten van afbeelding K.8 en K.11 met elkaar te vergelijken kan de conclusie worden getrokken dat de schakeltijden behorende bij het inschakelen van de vermogensschakelaar binnen de marges vallen.

Design and visual checks according IEC 62271-100 cl. 7.5		
Measured values at routine test	Tolerance	Pole A
Closing time	min 62 - max 74	70
Opening time	min 26 - max 31	28,9

Afbeelding K.11 - Schakeltijden uitschakelen vermogensschakelaar fabrikanttest

Referentiewaarden timen vermogensschakelaar, uitschakeling:

Op afbeelding K.12 is de grafiek bijgevoegd met de resultaten van het uitschakelen van de vermogensschakelaar aan de hand van het timen. De rode grafiek is de daadwerkelijke schakeltijd. Wanneer afbeelding K.12 wordt vergeleken met afbeelding K.10 is te zien dat de grafieken overeenkomen. Beide grafieken hebben een piek, waarna de vermogensschakelaar wordt uitgeschakeld.



Afbeelding K.12 – Grafiek ten behoeve van uitschakeling vermogensschakelaar

Op afbeelding K.13 staan de schakeltijden en uitschakelstroom van de uitschakelspoel weergegeven. Wanneer de schakeltijden worden vergeleken met afbeelding K.8 is te zien dat de schakeltijden nagenoeg overeenkomen. Er is een kleine afwijking van een aantal milliseconden zichtbaar, dit heeft te maken met de manier van meten. Tijdens het timen worden de schakeltijden bij de primaire polen van de vermogensschakelaar gemeten en bij de CB-Watch wordt dit gedaan aan de hand van de wals contacten van de in- en uitstand. De gemiddelde spoelstromen van het timen en van de meting van de CB-Watch komen overeen.

Operating times			
Meas.	Opening time (ms)	Opening sync. (ms)	Assessment
Breaker	29.60	1.43	Man. pass
A	28.27		Man. pass
Channel 1	28.27		Man. pass
B	28.17		Man. pass
Channel 1	28.17		Man. pass
C	29.60		Man. pass
Channel 1	29.60		Man. pass

Main contact characteristics							
Main contact	Travel data	Contact wipe	Reaction time	PIR close time	Bounce time	Bounce count	Assessment
Channel 1	No data		ms	ms	0.00 ms	0	Man. pass
Channel 1	No data		ms	ms	0.00 ms	0	Man. pass
Channel 1	No data		ms	ms	0.00 ms	0	Man. pass

Coil characteristics					
	Peak current (A)	Average current (A)	Average voltage (V)	Resistance (Ω)	Assessment
Trip 1	3.22	2.71	117.71	43.42	Man. pass

Afbeelding K.13 – Schakeltijden en spoelstroom tijdens uitschakeling vermogensschakelaar

Meting tweede uitschakelspoel:

In de vermogensschakelaar zijn twee uitschakelspoelen aanwezig. In de praktijk wordt iedere uitschakelspoel gevoed door een eigen gelijkrichter. In het Omexom Institute is echter maar één gelijkrichter aanwezig. Om toch een meting van uitschakelspoel twee te presenteren, is de bekabeling van uitschakelspoel één losgenomen en is de meting uitgevoerd, zodat ook deze data vergeleken kan worden met de data uit de CB-Watch. Op afbeelding K.14 zijn de schakeltijden van uitschakelspoel twee van de CB-Watch geïllustreerd.

GE CBWATCH3 SPECIALIST INTERFACE

Measurements	Settings	System	Language	Overview	Logout
Gas	Last opening results	Last closing results	Sensors	Alarms	Operations charts

LAST OPENING OPERATION DATA			
	Pole A	Pole B	Pole C
Last operation date and time	Sat Apr 17 12:21:15 2021		
Opening operation counter	62	62	62
52a contact switching time	19.6 ms	19.6 ms	19.6 ms
Opening reaction time (t1)	19.6 ms	19.6 ms	19.6 ms
Opening contact separation time (ts)	20.6 ms	20.6 ms	20.6 ms
52b contact switching time	32.4 ms	32.4 ms	32.4 ms
Opening operation time (t2)	32.4 ms	32.4 ms	32.4 ms
Opening travel time (t2-t1)	12.8 ms	12.8 ms	12.8 ms
Contact separation speed	8.2 m/s	8.2 m/s	8.2 m/s
Coil circuit DC voltage source 1	123.0 V		
Coil circuit DC voltage source 2	123.0 V		
Outside ambient temperature	18.6 °C		

COIL CURRENT

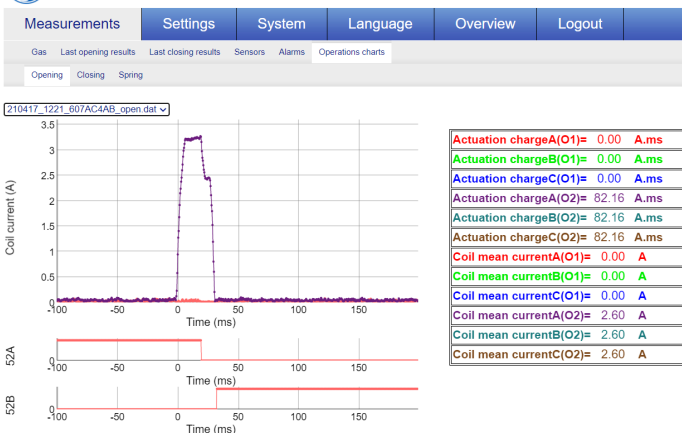
Mean coil current - Open 1	0.0 A	0.0 A	0.0 A
Mean coil current - Open 2	2.6 A	2.6 A	2.6 A
Coil actuation charge - Open 1	0.0 A.ms	0.0 A.ms	0.0 A.ms
Coil actuation charge - Open 2	82.2 A.ms	82.2 A.ms	82.2 A.ms
Coil resistance - Open 1	0.0 ohm	0.0 ohm	0.0 ohm
Coil resistance - Open 2	47.3 ohm	47.3 ohm	47.3 ohm

Stroom
uitschakelspoel
twee

Afbeelding K.14 – Schakeltijden uitschakelspoel twee

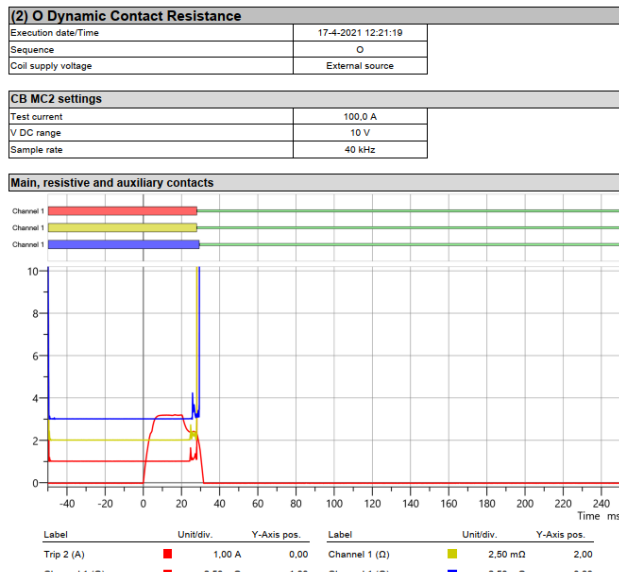
Op afbeelding K.15 is de bijbehorende grafiek met de spoelstroom geïllustreerd. Hierop is te zien dat alleen de blauwe grafiek een meting geeft en dat de rode grafiek geen stroom meet. Zoals beschreven komt dit doordat de bekabeling van uitschakelspoel één is losgenomen.

GE CBWATCH3 SPECIALIST INTERFACE



Afbeelding K.15 – Grafiek uitschakelspoel twee

Afbeelding K.16 illustreert de grafiek tijdens het timen van de vermogensschakelaar met de gegevens van uitschakelspoel twee. Het betreft de rode grafiek.



Afbeelding K.16 – Grafiek ten behoeve van uitschakeling via uitschakelspoel twee

Tot slot staan op afbeelding K.17 de schakeltijden weergegeven die zijn gemeten tijdens het uitschakelen van de vermogensschakelaar via uitschakelspoel twee. Wederom is een kleine afwijking zichtbaar van een aantal milliseconden, wat te maken heeft met de manier van meten.

Operating times					
Meas.	Opening time (ms)	Opening sync. (ms)	Assessment		
Breaker	29.40	1.35	Man. pass		
A	28.12		Man. pass		
Channel 1	28.12		Man. pass		
B	28.06		Man. pass		
Channel 1	28.05		Man. pass		
C	29.40		Man. pass		
Channel 1	29.40		Man. pass		

Main contact characteristics							
Main contact	Travel data	Contact wipe	Reaction time	PIR close time	Bounce time	Bounce count	Assessment
Channel 1	No data		ms	ms	0.00 ms	0	Man. pass
Channel 1	No data		ms	ms	0.00 ms	0	Man. pass
Channel 1	No data		ms	ms	0.00 ms	0	Man. pass

Coil characteristics					
	Peak current (A)	Average current (A)	Average voltage (V)	Resistance (Ω)	Assessment
Trip 2	3.20	2.80	118.53	42.39	Man. pass

Afbeelding K.17 – Schakeltijden en uitschakelstroom via uitschakelspoel twee

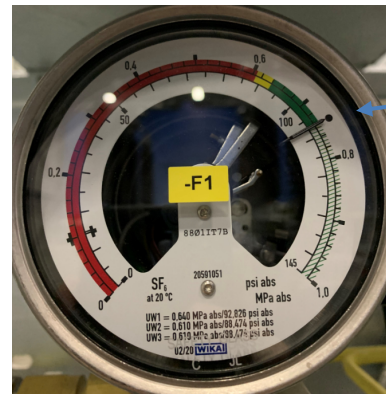
Ook wordt zoals reeds beschreven in hoofdstuk 6, paragraaf 1 de druk bewaakt van het SF6-gas. Door het aflezen van de drukwachter van de vermogensschakelaar en het meten van de kwaliteit van het SF6-gas tijdens het timen, is gebleken dat ook deze meting correct functioneert.

Resultaten monitoren SF6-gas uit CB-Watch:

GAS

	Pole A
Gas pressure measured	7.31 bar
Gas temperature measured	18.4 °C
Gas density	48.52 g/l
Gas pressure at 20°C	7.37 bar
Gas liquefaction pressure at 20°C	-

Afbeelding K.18 – SF6-waarden uit CB-Watch

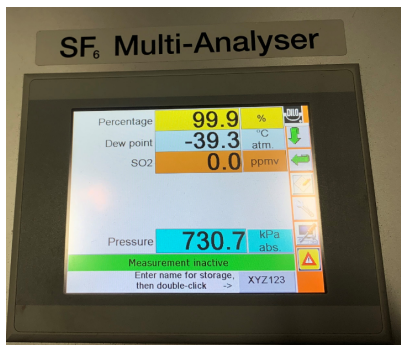


De druk
± 7.4 Bar

Afbeelding K.19 – Gegevens drukwachter VS

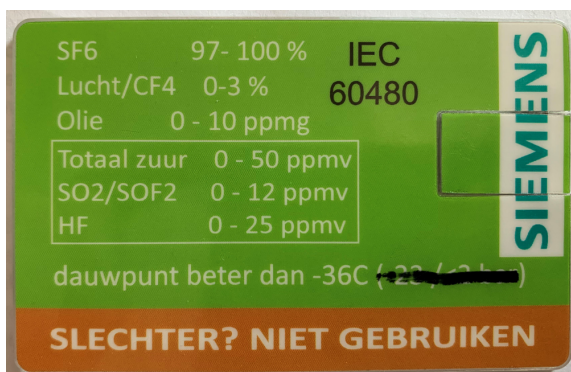
Op afbeelding K.18 staan de waarden van het SF6-gas geïllustreerd. De waarden worden gemeten bij atmosferische druk, op afbeelding K.19 is de drukwachter van de vermogensschakelaar bijgevoegd. Hierop is te zien dat de druk nagenoeg gelijk is aan de waarden die de CB-Watch weergeeft.

Op afbeelding K.20 staan de resultaten van de kwaliteitsanalyse van het SF6-gas geïllustreerd. Hier zijn de druk, kwaliteit en dauwpunt (temperatuur waarbij vocht in het gas gaat condenseren) geanalyseerd. Deze waarden dienen te voldoen aan de richtlijnen van IEC 60480. De druk is weergegeven in kPa (kilo Pascal) volgens het SI-stelsel. Omgerekend geeft dit een druk van 7.31 Bar, wat overeenkomt met de gegevens uit de CB-Watch op afbeelding K.18.



Afbeelding K.20 – Gegevens SF6-gas tijdens kwaliteitsmeting

Zoals benoemd dient het SF6-gas te voldoen aan een aantal criteria, deze staan weergegeven op afbeelding K.21 waarmee is aangetoond dat het SF6-gas voldoet aan de norm IEC 60480.



Afbeelding K.21 – Norm IEC 60480 SF6-gas

Hierna is het volledige testrapport van de fabrikant bijgevoegd met de routinetesten:



Certificate of routine test

SF6 -circuit-breaker with spring operating mechanism

Main characteristics					
Customer	GE Netherlands		Operating mechanism No. A-Pole 296602 101000-02/81507		
SAP Nr.:	3025670010		Operating mechanism No. B-Pole		
Serial-No.	3025670010001		Operating mechanism No. C-Pole		
Type	GL - 311 F1				
Year of manufacture	2020		Gas pressure at +20°C		
			Charging pressure	0,74 abs.	MPa
			Low pressure alarm	0,64 abs.	MPa
			Function lockout	0,61 abs.	MPa
Rated voltage	123	kV	Rated voltage 1.Close/2.Close	110 /	V
Rated normal current	3150	A	Rated voltage 1.Trip/2.Trip/3.Trip	110 / 110	V
Rated frequency	50	Hz	Rated voltage of spring motor	110	V
Rated short-circuit breaking current	40	kA	Frequency		Hz
			Rated voltage of anti condensate heater	230	V

Mechanical operating tests according to IEC 62271-100 cl. 7.101					
5° C / 5° O at maximum voltage	Close	121	V	Trip	121 V
5° C / 5° O at minimum voltage	Close	93,5	V	Trip	77 V
5° CO at rated voltage	Close	110	V	Trip	110 V
5° O- 0.3s- CO at rated voltage	Close	110	V	Trip	110 V

Design and visual checks according IEC 62271-100 cl. 7.5					
Measured values at routine test	Tolerance	Pole A	Pole B	Pole C	
Closing time	min 62 - max 74	70	70,3	70,5	ms
Opening time	min 26 - max 31	28,9	29	30,7	ms
Contact resistance		38	34	36	µOhm
Close - open time	<=	80			ms
Dead time	<=	300			ms

Electrical tests		
Resistance 1st closing circuit	36	Ohm
Resistance 2st closing circuit		Ohm
Resistance 1st tripping circuit	36	Ohm
Resistance 2st tripping circuit	36	Ohm
Resistance 3rd tripping circuit		Ohm
Motor current at rated voltage	8,44	A
Charging time of closing spring	3,43	s
Heating resistor	674	Ohm

Voltage withstand test according IEC 62271-100 cl. 7.2 50Hz/1 sec		
Test voltage control wire, auxiliary switch	2.0	kV

SF6 tightness check according IEC 62271-100 cl. 7.4		
Gas leakage	< 0,2	%/ year

Power frequency voltage withstand dry test according Design and visual checks according IEC 62271-100 cl. 7.1		
Power frequency withstand voltage, 50 Hz/1 min	230	kV
with lower SF6 operating pressure +20°C	0,61 abs.	MPa

All measured values are within the tolerances given by GE

GE Grid GmbH
Lilienthalstraße 150, 34123 Kassel, Germany

Date	23.04.2020 07:51:51
Tested by	Elsebach <i>Elsebach</i>
Approved	

Hierna is het volledige testrapport bijgevoegd van het timen van de vermogensschakelaar:

KMT110 =02 ASN B - 20210417

OMEXOM

Client		KMT110 =02 ASN B	
Execution date	17-4-2021	Reason of the job	Commission
Tested by	RWo	Location	KMT110
Approved by	SNi	Asset	Circuit breaker
Report ID	3	Asset type	Live tank SF6 breaker
Report issue date	17-4-2021 13:35:55	Asset serial number	3025870010001
Work order		Manufacturer	General Electric

Summary

Commissioning
 - Overgangsweerstanden
 - Schakeltijden
 - SF6 gas
 Percentage 99,9%
 Dauwpunt -39,3 °C atm.
 SO2 0,0 ppm
 Pressure 7,31 bar abs

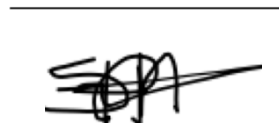
Performed tests	Assessment
Motor Current	Manual partial pass 
Contact Resistance	Manual pass 
O Dynamic Contact Resistance	Manual pass 
C Dynamic Contact Resistance	Manual pass 
O-CO Dynamic Contact Resistance	Manual pass 
(2) O Dynamic Contact Resistance	Manual pass 
C Timing	Manual pass 

Overall Assessment	No faults
--------------------	-----------

Tested by:



Approved by:



Location & company information			
Location		Company	
Name	KMT110	Company	OMEXOM
Region	Noord	Department	Noord
Division	Noord	Address	Korenmaat 4
Area	Noord	City	Assen
Plant	Korenmaat 110kV	State/Province	Drenthe
Address	Korenmaat 4	Postal code	9405TJ
City	ASSEN	Country	Holland
State/Province	Drenthe	Phone No.	+31(0)88-8319625
Postal code	9405TJ	Fax No.	
Country	Nederland	E-mail	

Geo coordinates	
-----------------	--

Contact person	
Name	Omexom Institute
Phone No. 1	
Phone No. 2	
Fax No.	
E-mail	

Comment

Live tank SF6 breaker nameplate data			
Serial number	3025670010001	No. of interrupters p. phase	1
Manufacturer	General Electric	Pole operation	Ganged
Manufacturing year	2020	Pre-insertion resistors	No
Manufacturer type	GL311 F1/4031P	PIR value	Ω
Asset system code	=02+A036	Grading capacitors	No
Apparatus ID		Capacitor value	pF
Feeder		Interrupting medium	SF6
No. of phases	3	Tank type	Live tank

Comment

Ratings		
Rated frequency		50,00 Hz
Rated voltage L-L		132,0 kV
Rated current		3150,0 A
Rated SC breaking current		40,0 kA
Short-circuit nominal duration		3,0 s
Rated insul. level L-G (BIL)		550,0 kV
Rated interrupting time		45,0 ms
Interrupting duty cycle		
Rated power at closing		325,0 W
Rated power at opening		325,0 W
Rated power at motor charge		1000,0 W

Contact system		
Total travel	mm	
Damping time	ms	
Nozzle length	m	

Others		
Total weight with gas	776 kg	
Weight of gas	13 kg	
Volume of gas	l	
Rated gas pressure	Pa @ 20 °C	

Spring Operating mechanism nameplate data		
Serial No.		
Manufacturer	General Electric	
Manufacturer type	GL311 F1/4031P	
Manufacturing year	2020	
Asset system code		

Component	Rated voltage	Rated current	Frequency	
Trip coil 1	110,0 V	A	Hz	DC
Trip coil 2	110,0 V	A	Hz	DC
Close coil 1	110,0 V	A	Hz	DC
Auxiliary circuits	V	A	Hz	DC
Motor	110,0 V	A	Hz	DC

Test set information			
Model	Serial number	Calibration date	Charge status
CIBANO 500	GA722J	2021-03-18	-
CB MC2	FM820Q	2021-03-16	90 %
CB MC2	GB841Q	2021-03-16	90 %
CB MC2	FM811Q	2021-03-18	90 %
IOB1	BG150K	2021-03-23	-

Global test conditions			
Weather	Clear	Humidity	60 %

Unit location	Enclosed	Ambient temperature	15 °C
---------------	----------	---------------------	-------

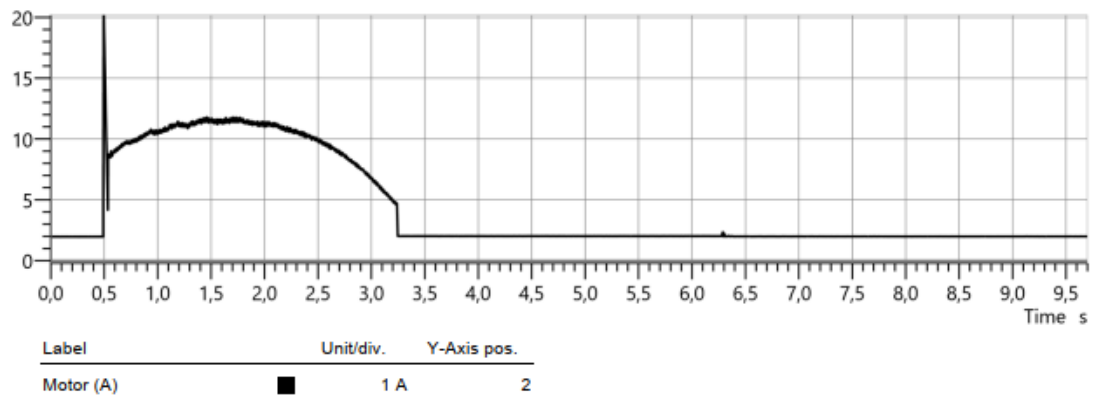
Operations counter	
Counter reading found	141
Counter reading left	

Test set information

Model	Serial number	Calibration date	Charge status
CIBANO 500	GA722J	2021-03-18	-
CB MC2	FM820Q	2021-03-18	90 %
CB MC2	GB841Q	2021-03-18	90 %
CB MC2	FM811Q	2021-03-18	90 %
IOB1	BG150K	2021-03-23	-

Motor Current

Execution date/Time	17-4-2021 13:20:15
Motor supply voltage	110,0 V DC
Sample rate	1 kHz



Motor characteristics

	Inrush current	Charging time	Charging current	Minimum voltage	Assessment
Motor	21,03 A	2,76 s	8,91 A	V	Man. pass

Comments

Test set information			
Model	Serial number	Calibration date	Charge status
CIBANO 500	GA722J	2021-03-18	-
CB MC2	FM811Q	2021-03-18	97 %
CB MC2	GB841Q	2021-03-16	98 %
CB MC2	FM820Q	2021-03-16	97 %
IOB1	BG150K	2021-03-23	-

Contact Resistance	
Execution date/Time	17-4-2021 12:09:57
Test current	100,0 A
Ambient temperature	°C

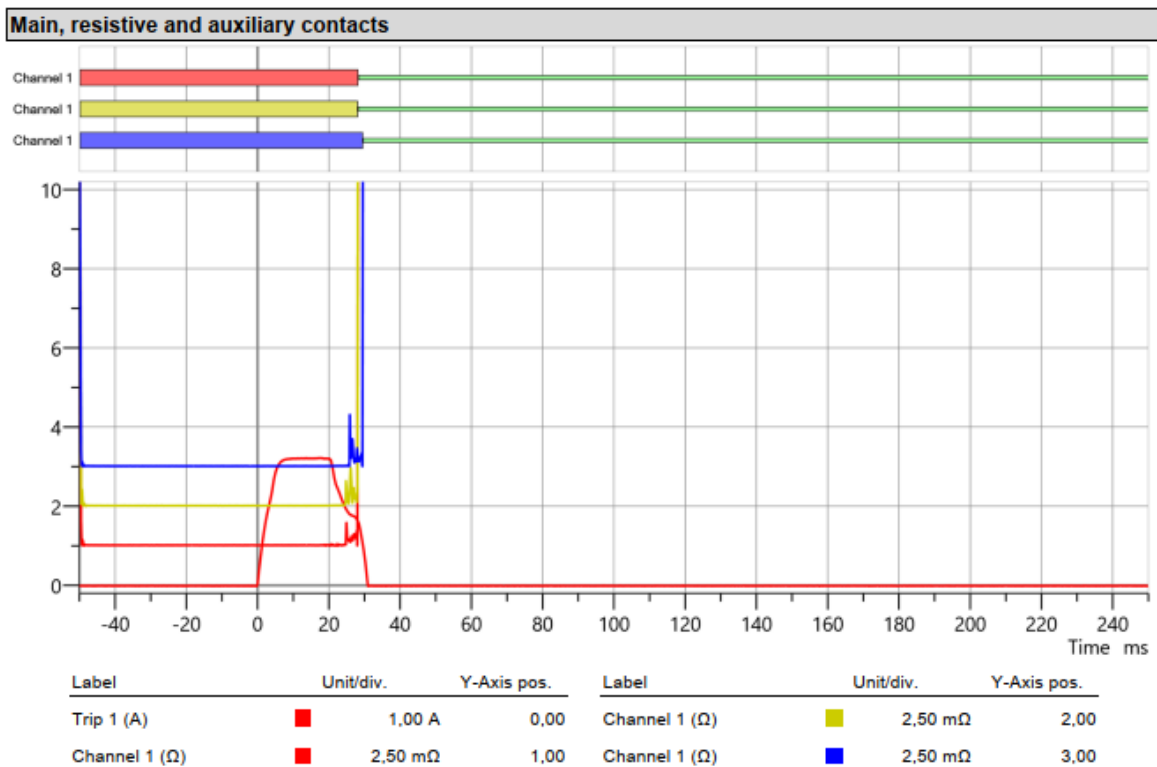
Channel	I DC	V DC	R meas	Assessment
Channel 1	99,94 A	3,428 mV	34,30 $\mu\Omega$	Man. pass
Channel 1	99,18 A	3,303 mV	33,30 $\mu\Omega$	Man. pass
Channel 1	100,28 A	3,521 mV	35,11 $\mu\Omega$	Man. pass

Comments

Test set information			
Model	Serial number	Calibration date	Charge status
CIBANO 500	GA722J	2021-03-18	-
CB MC2	FM811Q	2021-03-18	97 %
CB MC2	GB841Q	2021-03-18	97 %
CB MC2	FM820Q	2021-03-18	97 %
IOB1	BG150K	2021-03-23	-

O Dynamic Contact Resistance	
Execution date/Time	17-4-2021 12:13:11
Sequence	O
Coil supply voltage	External source

CB MC2 settings	
Test current	100,0 A
V DC range	10 V
Sample rate	40 kHz



Operating times

Meas.	Opening time (ms)	Opening sync. (ms)	Assessment
Breaker	29,60	1,43	Man. pass
A	28,27		Man. pass
Channel 1	28,27		Man. pass
B	28,17		Man. pass
Channel 1	28,17		Man. pass
C	29,60		Man. pass
Channel 1	29,60		Man. pass

Main contact characteristics

Main contact	Travel data	Contact wipe	Reaction time	PIR close time	Bounce time	Bounce count	Assessment
Channel 1	No data		ms	ms	0,00 ms	0	Man. pass
Channel 1	No data		ms	ms	0,00 ms	0	Man. pass
Channel 1	No data		ms	ms	0,00 ms	0	Man. pass

Coil characteristics

	Peak current (A)	Average current (A)	Average voltage (V)	Resistance (Ω)	Assessment
Trip 1	3,22	2,71	117,71	43,42	Man. pass

Comments

Test set information

Model	Serial number	Calibration date	Charge status
CIBANO 500	GA722J	2021-03-18	-
CB MC2	FM811Q	2021-03-18	95 %
CB MC2	GB841Q	2021-03-16	95 %
CB MC2	FM820Q	2021-03-16	95 %
IOB1	BG150K	2021-03-23	-

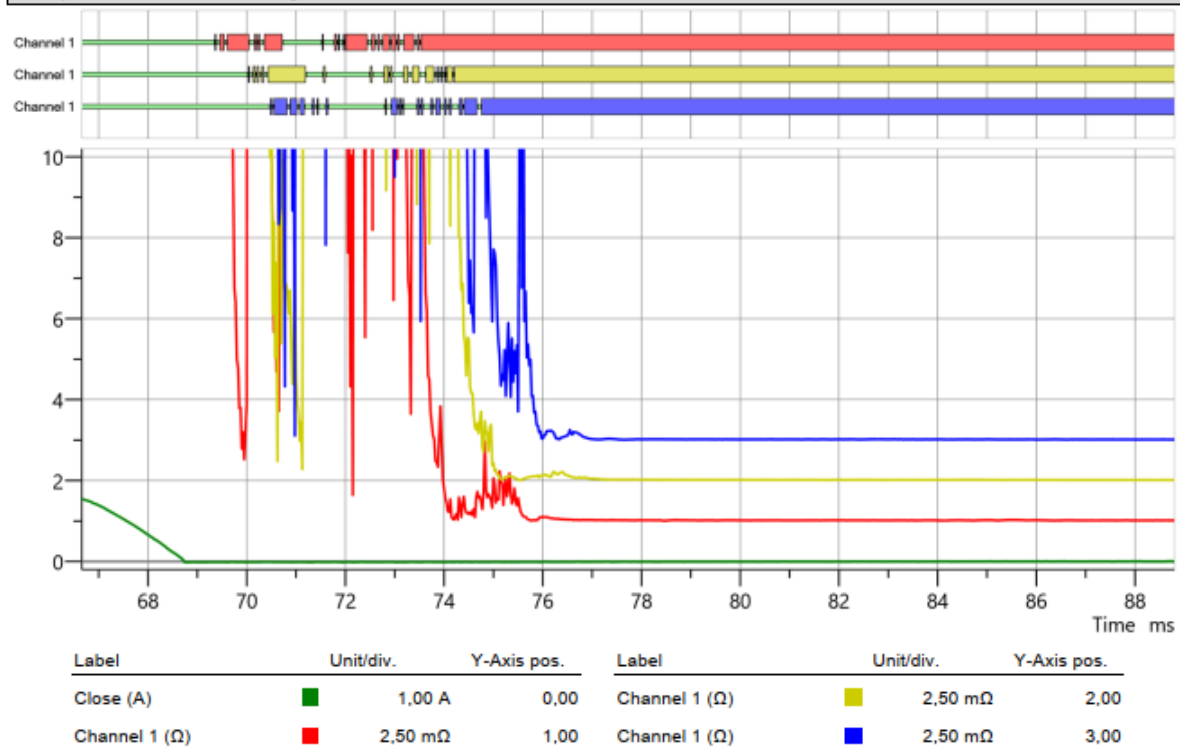
C Dynamic Contact Resistance

Execution date/Time	17-4-2021 12:16:10
Sequence	C
Coil supply voltage	External source

CB MC2 settings

Test current	100,0 A
V DC range	10 V
Sample rate	40 kHz

Main, resistive and auxiliary contacts



Operating times

Meas.	Closing time (ms)	Closing sync. (ms)	Assessment
Breaker	70,48	1,13	Man. pass
A	69,35		Man. pass
Channel 1	69,35		Man. pass
B	70,02		Man. pass
Channel 1	70,02		Man. pass
C	70,48		Man. pass
Channel 1	70,48		Man. pass

Main contact characteristics

Main contact	Travel data	Contact wipe	Reaction time	PIR close time	Bounce time	Bounce count	Assessment
Channel 1	No data		ms	ms	4,18 ms	18	Man. pass
Channel 1	No data		ms	ms	4,18 ms	16	Man. pass
Channel 1	No data		ms	ms	4,28 ms	19	Man. pass

Coil characteristics

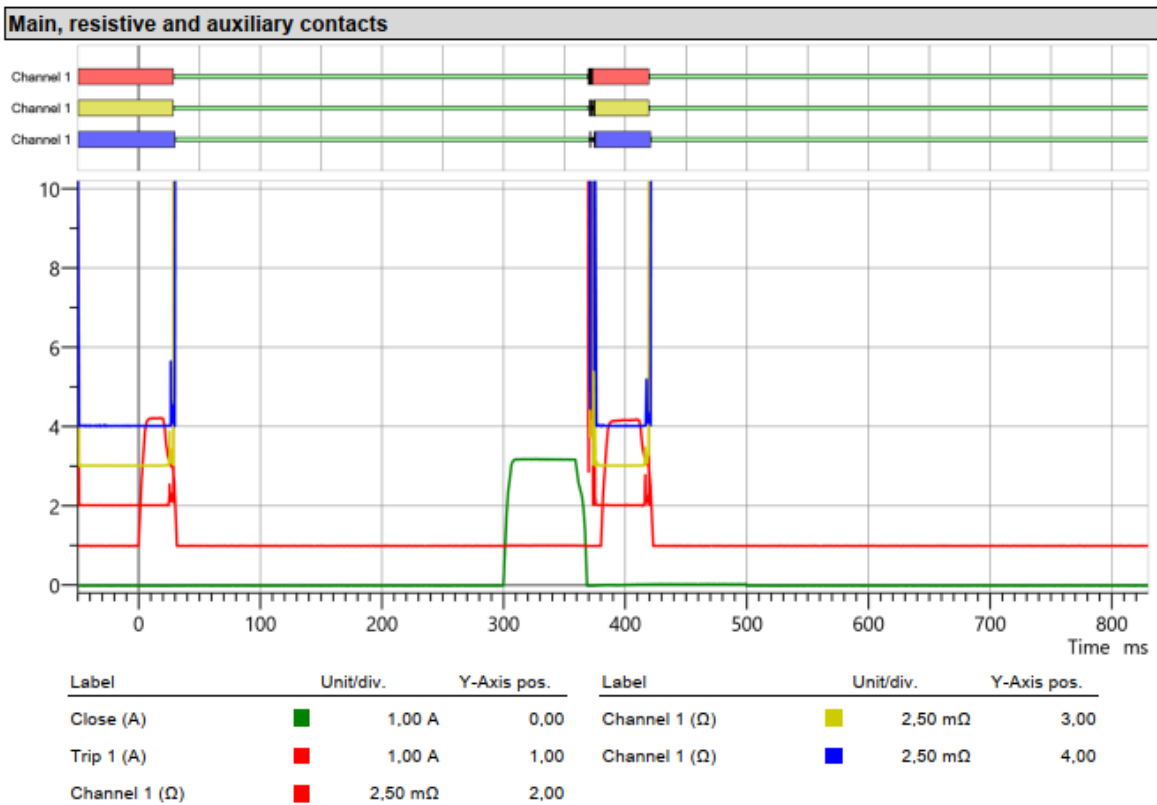
	Peak current (A)	Average current (A)	Average voltage (V)	Resistance (Ω)	Assessment
Close	3,19	3,09	116,73	37,75	Man. pass

Comments

Test set information			
Model	Serial number	Calibration date	Charge status
CIBANO 500	GA722J	2021-03-18	-
CB MC2	FM811Q	2021-03-18	94 %
CB MC2	GB841Q	2021-03-18	94 %
CB MC2	FM820Q	2021-03-18	93 %
IOB1	BG150K	2021-03-23	-

O-CO Dynamic Contact Resistance	
Execution date/Time	17-4-2021 12:18:29
Sequence	O-CO
Coil supply voltage	External source

CB MC2 settings	
Test current	100,0 A
V DC range	10 V
Sample rate	40 kHz



Operating times

Meas.	Opening time (ms)	Opening sync. (ms)	Closing time (ms)	Closing sync. (ms)	Open-Close time (ms)	Close-Open time 1 (ms)	Assessment
Breaker	30,05	1,40	70,38	1,13	339,20	51,95	Man. pass
A	28,75		69,25		340,50	50,52	Man. pass
Channel 1	28,75		69,25		340,50	50,52	Man. pass
B	28,65		69,90		341,25	49,80	Man. pass
Channel 1	28,65		69,90		341,25	49,80	Man. pass
C	30,05		70,38		340,32	50,83	Man. pass
Channel 1	30,05		70,38		340,32	50,83	Man. pass

Coil characteristics

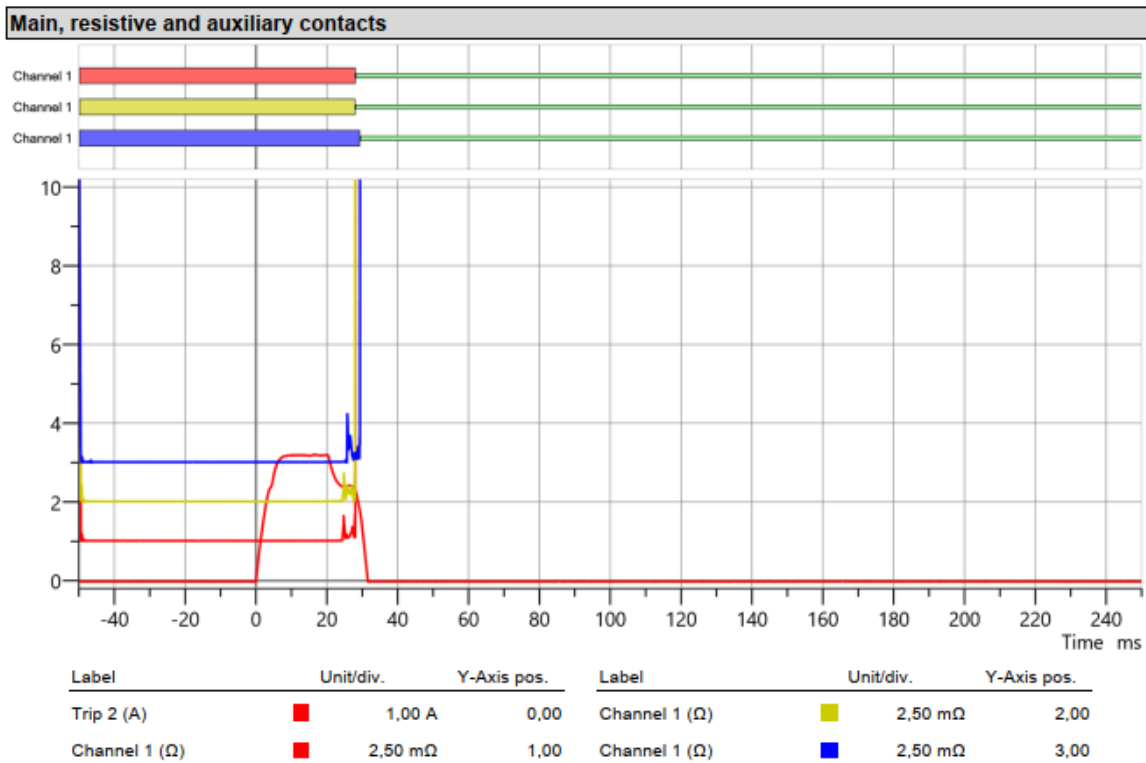
	Peak current (A)	Average current (A)	Average voltage (V)	Resistance (Ω)	Assessment
Close	3,18				Man. pass
Trip 1	3,22				Man. pass

Comments

Test set information			
Model	Serial number	Calibration date	Charge status
CIBANO 500	GA722J	2021-03-18	-
CB MC2	FM811Q	2021-03-18	93 %
CB MC2	GB841Q	2021-03-18	93 %
CB MC2	FM820Q	2021-03-18	92 %
IOB1	BG150K	2021-03-23	-

(2) O Dynamic Contact Resistance	
Execution date/Time	17-4-2021 12:21:19
Sequence	O
Coil supply voltage	External source

CB MC2 settings	
Test current	100,0 A
V DC range	10 V
Sample rate	40 kHz



Operating times

Meas.	Opening time (ms)	Opening sync. (ms)	Assessment
Breaker	29,40	1,35	Man. pass
A	28,12		Man. pass
Channel 1	28,12		Man. pass
B	28,05		Man. pass
Channel 1	28,05		Man. pass
C	29,40		Man. pass
Channel 1	29,40		Man. pass

Main contact characteristics

Main contact	Travel data	Contact wipe	Reaction time	PIR close time	Bounce time	Bounce count	Assessment
Channel 1	No data		ms	ms	0,00 ms	0	Man. pass
Channel 1	No data		ms	ms	0,00 ms	0	Man. pass
Channel 1	No data		ms	ms	0,00 ms	0	Man. pass

Coil characteristics

	Peak current (A)	Average current (A)	Average voltage (V)	Resistance (Ω)	Assessment
Trip 2	3,20	2,80	118,53	42,39	Man. pass

Comments

Test set information

Model	Serial number	Calibration date	Charge status
CIBANO 500	GA722J	2021-03-18	-
CB MC2	FM820Q	2021-03-16	91 %
CB MC2	GB841Q	2021-03-16	91 %
CB MC2	FM811Q	2021-03-18	92 %
IOB1	BG150K	2021-03-23	-

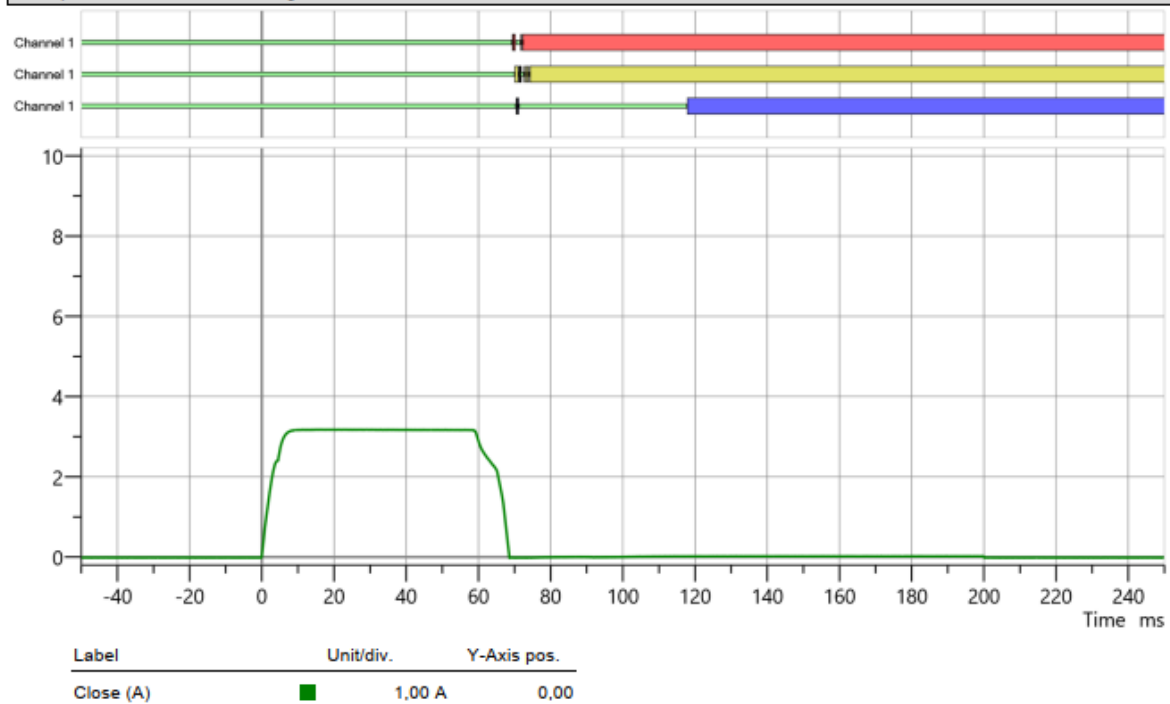
C Timing

Execution date/Time	17-4-2021 12:24:47
Sequence	C
Coil supply voltage	External source

CB MC2 settings

Test current	100,0 A
V DC range	10 V
Sample rate	10 kHz

Main, resistive and auxiliary contacts



Operating times

Meas.	Closing time (ms)	Closing sync. (ms)	Assessment
Breaker	70,40	1,10	Man. pass
A	69,30		Man. pass
Channel 1	69,30		Man. pass
B	70,00		Man. pass
Channel 1	70,00		Man. pass
C	70,40		Man. pass
Channel 1	70,40		Man. pass

Main contact characteristics

Main contact	Travel data	Contact wipe	Reaction time	PIR close time	Bounce time	Bounce count	Assessment
Channel 1	No data		ms	ms	2,90 ms	3	Man. pass
Channel 1	No data		ms	ms	4,20 ms	5	Man. pass
Channel 1	No data		ms	ms	47,40 ms	2	Man. pass

Coil characteristics

	Peak current (A)	Average current (A)	Average voltage (V)	Resistance (Ω)	Assessment
Close	3,18	3,09	116,73	37,77	Man. pass

Comments

Wijzigingen tijdens uitvoering

Wijziging 1: programmeren VBS Omexom Institute

Aanwezig:

- Andre Timmermans - Werkbegeleider
 - Mateusz van Strien - Werkbegeleider
 - Stefan Nieuwenhuis - Afstudeerder
-

Datum:

01-04-2021, week 13.

Omschrijving wijziging:

Het aanpassen van de programmering van de VBS van het Omexom Institute met betrekking tot de alarmmeldingen uit de CB-Watch. De twee alarmmeldingen vanuit de CB-Watch worden in combinatie met een aantal andere softwarematige wijzigingen gelijktijdig uitgevoerd. In eerste instantie was het aanpassen van de programmering onderdeel van het afstudeerproject. Nu worden alleen alle voorbereidingen getroffen, zoals het aanpassen van de I/O-lijst en het aanpassen van het tekenpakket.

Gevolgen van wijziging (planning, project en eventuele kosten)

Het heeft geen gevolgen. Kosten die door Sprecher Automation Nederland (verantwoordelijk voor programmering) vallen nu buiten het afstudeerproject.

Wijziging doorgevoerd?

Ja, in overleg met de werkbegeleiders wordt het omprogrammeren van het VBS buiten de scope van het afstudeerproject gehaald.

Akkoord werkbegeleider(s):

Andre Timmermans: Ja, 01-04-2021.

Mateusz van Strien: Ja, 01-04-2021.

Wijziging 2: Issue uitlezen motorstromen*Aanwezig:*

- Andre Timmermans - Werkbegeleider
- Mateusz van Strien - Werkbegeleider
- Stefan Nieuwenhuis - Afstudeerder

Datum:

20-04-2021, week 16.

Omschrijving wijziging:

De meting van motorstromen functioneert tot op heden niet op de CB-Watch. Alle mogelijke testen zijn uitgevoerd en het lijkt erop dat of de stroomtrafo defect is, of de analoge input van de CB-Watch defect is. GE Nederland, heeft de vraag bij GE Ierland neergelegd om dit probleem nader te onderzoeken.

Gevolgen van wijziging (planning, project en eventuele kosten)

Het heeft geen directe gevolgen. De belangrijkste metingen functioneren. De planning is om de meting functioneel te hebben voor de afstudeerpresentatie, zodat de resultaten hiervan gepresenteerd kunnen worden.

Wijziging doorgevoerd?

Ja, in overleg met de werkbegeleiders wordt het uitlezen van de motorstromen buiten het afstudeerproject gehaald. Mocht dit probleem in de komende weken nog worden opgelost, wordt het alsnog meegenomen in het afstudeerrapport. De verwachting is dat er begin Juni een oplossing is voor het probleem, dit betekent dat de resultaten ervan gepresenteerd zullen worden tijdens de afstudeerpresentatie.

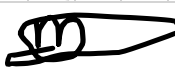
Akkoord werkbegeleider(s):

Andre Timmermans: Ja, 20-04-2021.

Mateusz van Strien: Ja, 20-04-2021.

Bijlage M: De gebruikerstest

In hoofdstuk 7, paragraaf 2 is een deel van de gebruikerstest bijgevoegd. In deze bijlage is de volledige gebruikerstest bijgevoegd evenals de foutsimulaties. Op afbeelding M.1 is de gebruikerstest weergegeven. Alle testen en controles die zijn uitgevoerd zijn hierin vastgelegd.

OMEXOM		Gebruikerstest CB-Watch Omexom Institute	
Opdrachtgever:	Omexom Assen	Locatie:	Korenmaat 110V
Project:	Afstudeerproject S. Nieuwenhuis	Station:	KMT110
Projectnummer:	N.v.t. i.v.m. afstuderen	Veld:	=02 Assen Blauw
Gegevens CB-Watch			
Fabrikant	GE	Bouwjaar	2020
Serienummer	2034320376	Klokgetal	2 / 6 / 10
Type	CB-Watch	Component codering	A036.1
OK = goed		1 = kritisch restpunt	
N.V.T. = niet van toepassing		2 = niet kritisch restpunt	
Item	Omschrijving	Controle	Opmerkingen
1	Algemene inspectie CB-Watch		
1.1	Tekenpakket aanwezig	OK	
1.2	Koppeling SF6-sensor aanwezig	OK	DN8, dichtheid gecontroleerd met lektester
1.3	Kast/behuizing geaard	OK	
1.4	Kabels, bedrading, klemmenstrook aangesloten en gecodeerd	OK	
1.5	Aansluitingen correct conform tekeningenpakket	OK	
1.6	Interne bedrading correct en netjes	OK	
1.7	Externe en interne aarding correct en vast	OK	
1.8	Polariteit motor correct	OK	
1.9	Handleiding en gebruiksaanwijzing aanwezig	OK	
2	Functionele testen CB-Watch		
2.1	Motorspanning en inschakelspanning aanwezig	OK	
2.2	Uitschakelspanning 1 en 2 aanwezig	OK	Fysiek 1 gelijkrichter en dus 1 UV spanning
2.3	Voedingsspanning power supply aanwezig (230VAC en 24 VDC)	OK	
2.4	+/- 15 VDC aanwezig	OK	
2.5	Uit-stand VS functioneert op CB-Watch (m.b.v. contact 52a)	OK	
2.6	In-stand VS functioneert op CB-Watch (m.b.v. contact 52b)	OK	
2.7	CDM registreert schakeltijden tijdens schakelhandelingen	OK	Zie bijlage I voor resultaten
2.8	Stroommeting inschakeling VS functioneert	OK	Zie bijlage I voor resultaten
2.9	Stroommetingen uitschakeling VS functioneren	OK	Zie bijlage I voor resultaten
2.10	Motorstroom functioneert tijdens schakelhandelingen	NOK	Actie ligt bij GE, mogelijk is stroomtrafo defect
2.11	SF6-gasmeting functioneert	OK	Zie bijlage I voor resultaten
2.12	Storing SF6-meting	OK	Zie bijlage K en paragraaf 7.2 voor de test
2.13	Storing meten schakeltijden	OK	Zie bijlage K voor de test
2.14	Storing meten in en uitschakelstroom	OK	Zie bijlage K voor de test
2.15	Storing meting motorstroom	OK	Zie bijlage K voor de test
2.16	Algemene storing CB-Watch voedingsspanning afwezig	OK	Zie bijlage K voor de test
3	Meetresultaten CB-Watch/Timen vermogensschakelaar. Schakeltijden CB-Watch genoteerd		
3.1	Kwaliteit SF6 m.b.v. analyser		
Fase A	Druk	7.31 Bar(A)	S02
		0,00 ppm	Zuiverheid SF6
		99.9%	Dauwpunt SF6
			-39.1 °C
3.2	Overgangsweerstanden	Toegepaste stroom 100 A	
	A1	B1	C1
	A2	B2	C2
		34.3 μΩ	33.3 μΩ
			35.11 μΩ
3.3	Inschakeltijd	72,8 ms	Uitschakeltijd
	Motorstroom	8.9 A	Spoelstroom
			32,8 ms
			3.0 A
3.4	Teller beginstand	130	
	Teller eindstand	141	
Functie	Naam	Datum	Akkoord / Paraaf
Werkbegeleider Omexom	A. Timmermans	07-05-2021	
Werkbegeleider Omexom	M. van Strien	07-05-2021	
Afstudeerder Omexom	S. Nieuwenhuis	07-05-2021	

Afbeelding M.1 – De gebruikerstest

Zoals benoemd in bovenstaande gebruikerstest, zijn er een aantal fouten gesimuleerd. Met behulp van afbeeldingen van het vanuit het HMI-scherm van de CB-Watch en het interne alarmscherm worden deze hieronder gesimuleerd. De eerste storing die is gesimuleerd, is de gezonde en de gestoorde situatie van de SF6-gassensor. Afbeelding M.2 illustreert de gezonde situatie indien de SF6-sensor waarden registreert. Indien de verbinding met de sensor is verbroken worden er geen waarden geregistreerd zoals is geïllustreerd op afbeelding M.3. Afbeelding M.4 geeft de 'gezonde' situatie weer in een normale bedrijfssituatie. Wanneer er geen data wordt verkregen door de CB-Watch vanuit de SF6-sensor geeft deze een alarmmelding (wordt als verzamelalarm opgestuurd), zoals geïllustreerd op afbeelding M.5.

GAS

	Pole A
Gas pressure measured	7.23 bar
Gas temperature measured	15.3 °C
Gas density	48.59 g/l
Gas pressure at 20°C	7.38 bar

Afbeelding M.2 – Gezonde situatie SF6-sensor

GAS

	Pole A
Gas pressure measured	-1000.00 bar
Gas temperature measured	-1000.0 °C
Gas density	-1000.00 g/l
Gas pressure at 20°C	-1000.00 bar

Afbeelding M.3 – Gestoorde situatie SF6-sensor

ALARMS RELATED TO GAS

	Pole A
Gas pressure < threshold 1	OK
Gas pressure < threshold 2	OK
Gas pressure > threshold 3	OK
Gas pressure < liquefaction pressure	OK
Short-term extrapolated pressure < threshold 2	OK
Long-term extrapolated pressure < threshold 1	OK
Gas sensor not present	OK
Invalid data from gas sensor	OK

Afbeelding M.4 – Gezonde situatie alarmscherm

ALARMS RELATED TO GAS

	Pole A
Gas pressure < threshold 1	OK
Gas pressure < threshold 2	OK
Gas pressure > threshold 3	OK
Gas pressure < liquefaction pressure	OK
Short-term extrapolated pressure < threshold 2	OK
Long-term extrapolated pressure < threshold 1	OK
Gas sensor not present	Alarm
Invalid data from gas sensor	Alarm

Afbeelding M.5 - Gestoorde situatie alarmscherm

De tweede storing die is gesimuleerd voor de gebruikerstest is die van de schakeltijden meting. De CDM (Command Detection Module) is verantwoordelijk voor deze meting. Indien bedrading foutief wordt aangesloten registreert de CDM geen nieuwe meting. Om toch een fout te simuleren, is ervoor gekozen om de instellingen van de grenswaarden aan te passen, zodat de CB-Watch aangeeft dat de schakeltijden buiten de gestelde grenzen valt. Afbeelding M.6 illustreert nogmaals de grenswaarden van de CB-Watch in geval van het uitschakelen van de vermogensschakelaar, indien hier of bij het inschakelen van de vermogensschakelaar grenswaarden worden aangepast naar kleinere marges zal de CB-Watch storingsmeldingen genereren.

CBWATCH3 SPECIALIST INTERFACE

Measurements	Settings	System	Language	Overview	Logout
Gas monitoring	Analogue channels	Operations monitoring	Opening	Closing	Relays
End of open position	15.000 mm				
Time from 52a to contact separation	1.0 ms	1.0 ms	1.0 ms		
OPENING OPERATION TIMES					
Opening reaction time t1	max t1 23.4 ms	min t1 8.0 ms	Max opening reaction time t1 discordance	1.0 ms	
Opening operation time t2	max t2 34.1 ms	min t2 15.0 ms	Max opening operation time t2 discordance	5.0 ms	
Opening travel time t2-t1	max t2-t1 14.0 ms	min t2-t1 10.0 ms	Max opening travel time t2-t1 discordance	5.0 ms	
Minimum contact separation speed	2.50 m/s				

Afbeelding M.6 – Gezonde instellingen t.b.v. meten schakeltijden

Op afbeelding M.7 is de gezonde situatie inzichtelijk gemaakt tijdens schakelhandelingen, hier zijn de grenswaarden dan ook correct ingesteld.

ALARMS RELATED TO OPERATIONS

	Pole A	Pole B	Pole C
Opening reaction time (t1) outside of limits	OK	OK	OK
Opening operation time (t2) outside of limits	OK	OK	OK
Closing reaction time (t1) outside of limits	OK	OK	OK
Closing operation time (t2) outside of limits	OK	OK	OK
Opening travel time (t2-t1) outside of limits	OK	OK	OK
Closing travel time (t2-t1) outside of limits	OK	OK	OK
Opening contact separation speed < min	OK	OK	OK
52a contact did not change after operation	OK	OK	OK
52b contact did not change after operation	OK	OK	OK
Cumulative contact wear > max H (warning)	OK	OK	OK
Cumulative contact wear > max HH (alarm)	OK	OK	OK
Opening operation number > max	OK	OK	OK
Closing operation number > max	OK	OK	OK
Arcing time > max	OK	OK	OK

Afbeelding M.7 – Gezonde situatie in- en uitschakelen vermogensschakelaar

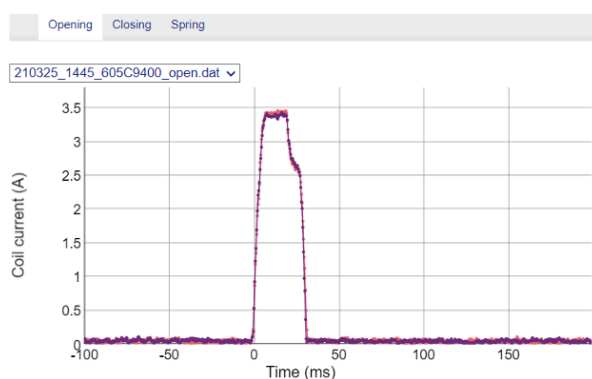
Indien de grenswaarden van de schakeltijden nu worden aangepast, zal dit grote gevolgen hebben voor de resultaten van schakeltijden, zoals is weergegeven op afbeelding M.8. Indien er een dergelijke situatie optreedt, zal de CB-Watch een alarm genereren en deze melden als “Storing CB-Watch Verzamelalarm”.

ALARMS RELATED TO OPERATIONS

	Pole A	Pole B	Pole C
Opening reaction time (t1) outside of limits	Alarm	Alarm	Alarm
Opening operation time (t2) outside of limits	Alarm	Alarm	Alarm
Closing reaction time (t1) outside of limits	Alarm	Alarm	Alarm
Closing operation time (t2) outside of limits	OK	OK	OK
Opening travel time (t2-t1) outside of limits	Alarm	Alarm	Alarm
Closing travel time (t2-t1) outside of limits	Alarm	Alarm	Alarm
Opening contact separation speed < min	OK	OK	OK
52a contact did not change after operation	OK	OK	OK
52b contact did not change after operation	OK	OK	OK
Cumulative contact wear > max H (warning)	OK	OK	OK
Cumulative contact wear > max HH (alarm)	OK	OK	OK
Opening operation number > max	OK	OK	OK
Closing operation number > max	OK	OK	OK
Arcing time > max	OK	OK	OK

Afbeelding M.8 – Storingssituatie tijdens in- en uitschakelen vermogensschakelaar

De derde storing die is gesimuleerd voor de gebruikerstest is die van de uitschakelspoel. Omdat het hier gaat om twee circuits en twee uitschakelspoelen, is ervoor gekozen om 1 van de twee stroomtransformatoren los te nemen en de vermogensschakelaar uit te schakelen. Op afbeelding M.9 is de grafiek van het uitschakelen van de vermogensschakelaar geïllustreerd van de gezonde situatie. Op afbeelding M.10 de gestoorde situatie, hier is duidelijk te zien dat er nu slechts 1 grafiek een stroom meet (de rode). De blauwe grafiek blijft 0 Ampère, ondanks de uitschakeling. Door het instellen van de grenswaarden, zal de CB-Watch in de situatie van afbeelding M.10 een alarm genereren in het alarmscherm.

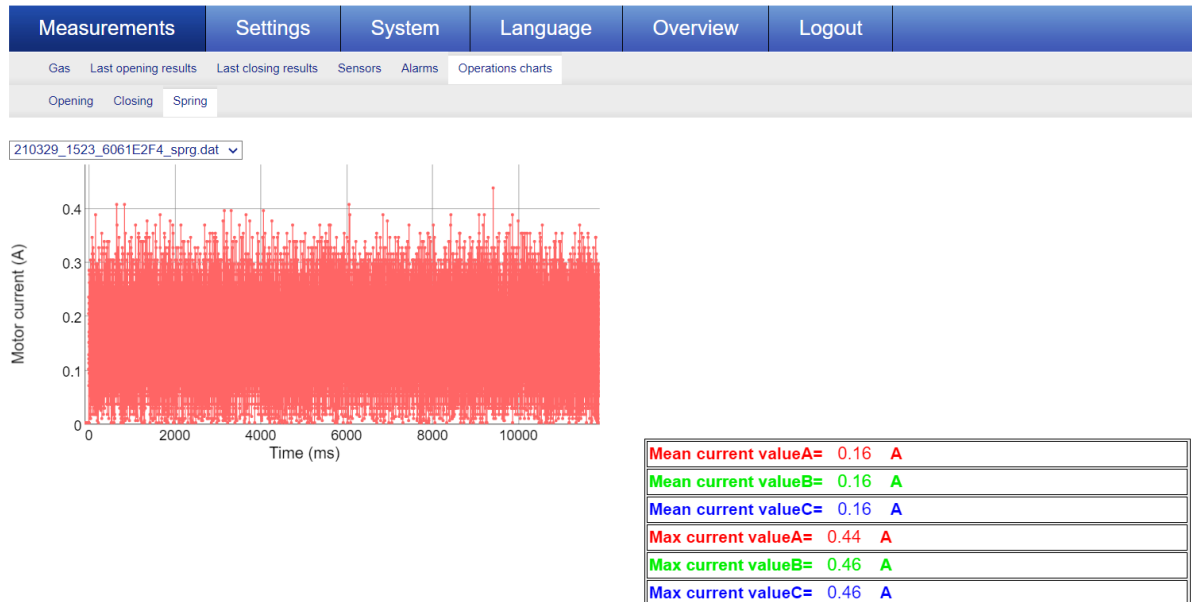


Afbeelding M.9 – Gezonde situatie uitschakeling VS



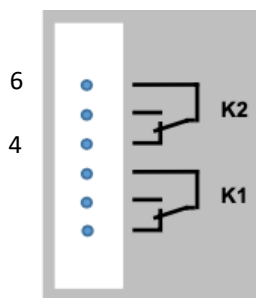
Afbeelding M.10 – Gestoorde situatie uitschakeling VS

De vierde meting is die van de motorstroom. Zoals eerder beschreven werkt het uitlezen van de motorstroom met de CB-Watch tot op heden niet naar behoren. GE is bezig met hun fabriek in Ierland om te onderzoeken of het geleverde type stroomtransformator geschikt is voor de gewenste meting. Op afbeelding M.11 is de grafiek bijgevoegd van de meting hoe deze nu wordt geregistreerd door de CB-Watch. De motorstroom wordt nu tijdelijk met een separate ampèretang gemeten, totdat het probleem is verholpen.



Afbeelding M.11 – niet werkende motorstroom meting

De laatste storing die gesimuleerd is voor de gebruikerstest, is de algemene storing: “Storing CB-Watch”. Deze is getest door met een multimeter over relais contact K2 te meten en de voedingsspanning te verbreken. Na het verbreken van de voedingsspanning valt het contact van het relais af, waarmee de functie is getest. Zie afbeelding M.12 voor het relais K2, de verbinding tussen contact 6 en 4 valt weg nadat de voedingsspanning is verbroken.



Afbeelding M.12 – Relais melding onderbreking voedingsspanning