

PHASE TO PHASE

Beveiligingen

02-192 pmo

11 december 2002

Phase to Phase BV
Utrechtseweg 310
Postbus 100
6800 AC Arnhem
T: 026 356 38 00
F: 026 356 36 36
www.phasetophase.nl

© Phase to Phase BV, Arnhem, Nederland. Alle rechten voorbehouden.

Dit document bevat vertrouwelijke informatie. Overdracht van de informatie aan derden zonder schriftelijke toestemming van of namens Phase to Phase BV is verboden. Hetzelfde geldt voor het kopiëren van het document of een gedeelte daarvan.

Phase to Phase BV is niet aansprakelijk voor enige directe, indirecte, bijkomstige of gevolgschade ontstaan door of bij het gebruik van de informatie of gegevens uit dit document, of door de onmogelijkheid die informatie of gegevens te gebruiken.

INHOUD

1	Inleiding.....	4
2	Modellering	5
3	Ontwikkelingen	14
4	Toepassing	19
5	Conclusie.....	25

1 INLEIDING

Typen relais

- Stroom/tijd ✓
- Aardfout ✓
- Over-/onderspanning ✓
- Distantie
 - Impedantie ✓
 - Mho
 - Polygoon
 - Meeneemschakeling
- Kortsluitrichting ingebouwd ✓

Al enige tijd is de maximaal stroom-tijdbeveiliging in Vision aanwezig. Deze was geïntegreerd met de vermogenschakelaar in de zogenaamde "Automatische Schakelaar". De gewone vermogenschakelaar was niet met een beveiliging uitgerust.

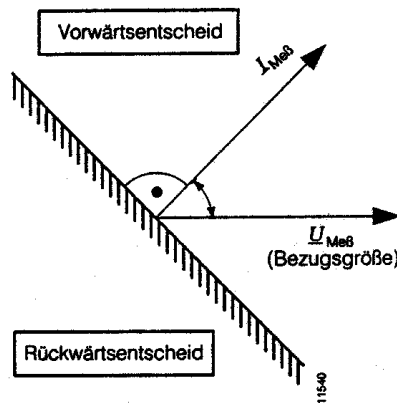
In de nieuwe versie is de automatische schakelaar vervallen. Indien nu een vermogenschakelaar wordt ingevoerd, kunnen daar naar believen diverse beveiligingen aan worden toegevoegd.

In de nieuwe versie zijn nu ook andere beveiligingen gemodelleerd, zoals de aardfoutbeveiliging, de spanningsbeveiliging en de distantiebeveiliging. Van de distantiebeveiliging is tot nu toe alleen nog het meest voorkomende impedantierelais gemodelleerd. In een volgende versie wordt het wat oudere Mho-relais gemodelleerd en het moderne Polygoonrelais. De meeneemschakeling wordt ook in een volgende versie gemodelleerd.

De kortsluitrichting is gemodelleerd voor de maximaal stroom/tijdbeveiliging en het distantierelais.

Kortsluitrichting

- I_{meet} : fasestroom
- U_{meet} : gekoppelde spanning
- Voorwaartse gebied:
 - hoek U_{meet} en I_{meet} tussen -45 en $+135$ graden
 - of: hoek tussen U_{fase} en I_{fase} tussen -135 en $+45$ graden
 - dus: hoek gemeten impedantie tussen $+135$ en -45 graden



Figuur: uit AEG PS 441

Voor het vaststellen van de kortsluitrichting meet het relais de fasestroom en de gekoppelde spanning van de andere twee fasen. Dit is gedaan omdat bij een kortsluiting dichtbij het meetpunt de spanning in de gestoorde fase te laag kan worden voor het zinvol vaststellen van de richting.

Het is gebruikelijk de voorwaartse richting te definiëren als het gebied waar de stroomvector een hoek maakt tussen -45 en $+135$ graden met de gemeten spanningsvector (zie onder andere de beschrijvingen van AEG/Alstom PS441 en SD36). Deze hoek is afgeleid uit de impedantie van het net bij een kortsluiting in de voorwaartse richting.

De vector van de fasespanning van de gestoorde fase staat loodrecht op de vector van de gemeten gekoppelde spanning. Hieruit volgt dat in het gebied van de voorwaartse richting de stroomvector een hoek maakt tussen -135 en $+45$ graden met de fasespanningsvector.

Voor U en I geldt:

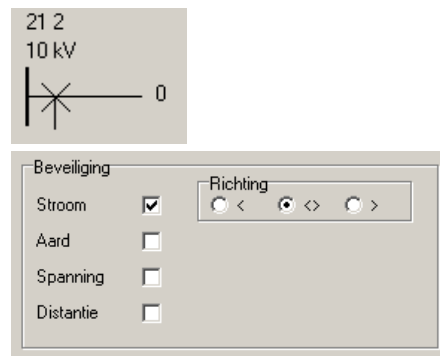
$$Z_m = |U_{meet} / I_{meet}| e^{j(\varphi_u - \varphi_i)} = |U_{meet} / I_{meet}| e^{j\varphi}$$

Dat houdt in dat het relais afschakelt indien de hoek van de impedantie ($-\varphi$) zich bevindt tussen -45 graden en $+135$ graden. Dat houdt in dat de impedantie Z_m zich rechtsboven een schuine lijn met hellingshoek van -45 graden, lopend van het tweede naar het vierde kwadrant, moet bevinden.

Deze definitie van de kortsluitrichting wordt gehanteerd bij het maximaal stroom/tijdrelais en bij het (impedantie)distantierelais.

Relais met kortsluitrichtingsgevoeligheid

- Implementatie in het max I/t-relais en in het distantierelais
- Invoer kortsluitrichting:
 - De kabel uit : <
 - Ongericht : <>
 - De kabel in : >



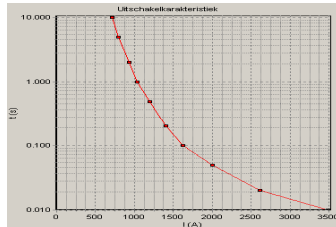
De kortsluitrichting is gemodelleerd voor de maximaal stroom/tijd beveiliging en voor het distantierelais. De werking van de aardfoutbeveiliging is niet van de richting afhankelijk en de werking van de spanningsbeveiliging is niet van een verbinding afhankelijk.

Aangezien de invoer bij Vision zodanig is opgezet dat deze niet altijd hoeft overeen te komen met de energierichting in de normale bedrijfstoestand, kunnen we bij de invoerschermen minder gemakkelijk kiezen uit “voorwaarts” en “achterwaarts”. Zo is in vermaasde netten en netten met decentrale opwekking de voorwaartse energierichting moeilijk te definiëren. Voorwaarts komt voor een beveiliging dan ook meestal overeen met de richting van “de kabel in” kijkend.

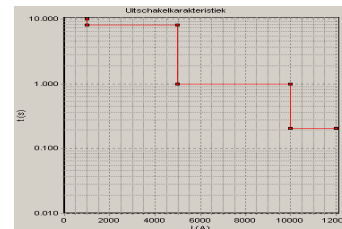
Een beveiligde schakelaar is met bijbehorend knooppunt en verbinding altijd afgebeeld als op bovenstaande afbeelding. Dit geldt dus zowel voor een voedend als voor een ontvangend knooppunt aan het andere eind van de verbinding. Voor de beveiliging is de voorwaartse richting gedefinieerd met het groter dan teken: “de kabel in”. Achterwaarts en ongericht zijn op overeenkomstige wijze gedefinieerd.

Maximaal stroom/tijd

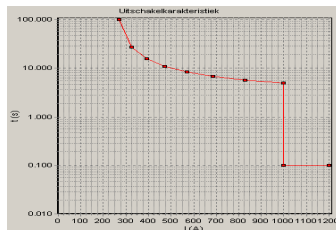
Curve



Vaste tijd



Inverse



Speciaal

$$t = \frac{k \cdot \text{beta}}{c \cdot \left(\frac{I}{I_0}\right)^{\text{alfa}} \cdot d}$$

Het maximaal stroom/tijd relais kan gedefinieerd worden met vier verschillende karakteristieken.

Curve

- Maximaal 10 instelpunten voor stroom en tijd

Vaste tijd

- Maximaal 3 instelpunten voor $I >$, $I >>$, $I >>>$ en $t >$, $t >>$, $t >>>$.

Inverse

- Normal inverse, very inverse, extremely inverse, long time inverse

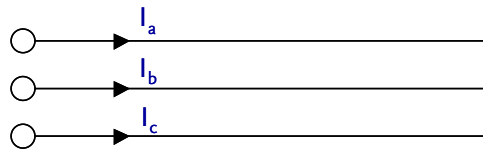
Speciaal

- Volgens formule, zoals aangegeven

Het maximaal stroom-tijd relais is verbeterd ten aanzien van de definitie van de kortsluitrichting.

Aardfout

- Gemeten stroom:
 - som van de drie fasenstromen
- Implementatie en werking gelijk aan max I/t relais



De aardfoutbeveiliging reageert als de som van de drie fasenstromen ($I_a+I_b+I_c$) naar of van een verbinding ongelijk aan nul is. Deze beveiliging is niet richtingsafhankelijk. Voor de instelling van de beveiligingskarakteristiek is dit relais gelijk aan het maximaal stroom/tijdrelais.

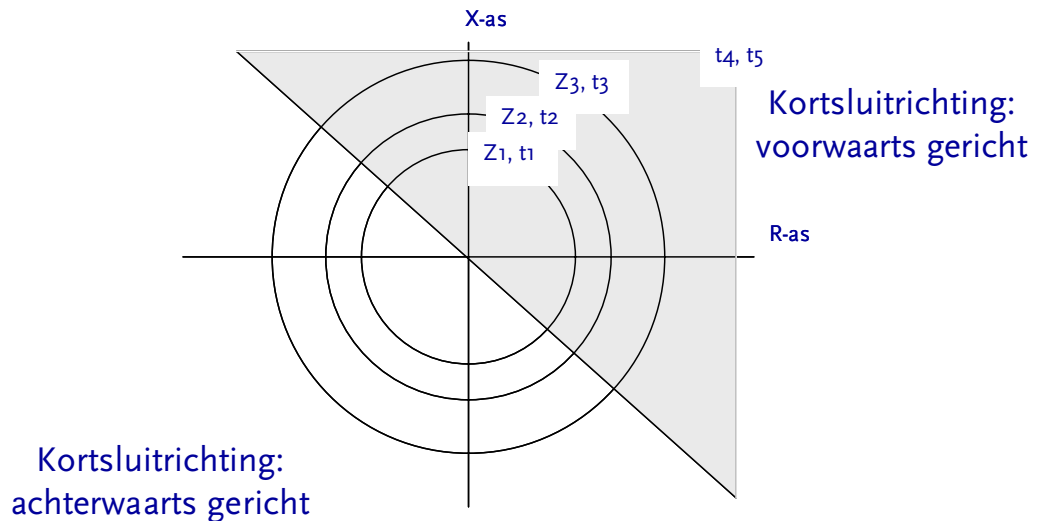
Over-/onderspanning

- Meting: knooppuntspanning
- Vaste tijd voor:
 - $U \gg$ $t \gg$
 - $U >$ $t >$
 - $U <$ $t <$
 - $U \ll$ $t \ll$

Het relais reageert indien de spanning op het bijbehorende knooppunt een bepaalde waarde over- of onderschrijdt. Voor het aanspreken van dit relais speelt de stroom door de aangesloten kabelverbinding geen enkele rol. In geval van een trip wordt de aangesloten kabelrichting afgeschakeld.

Dit relais is gemodelleerd met een vaste tijd karakteristiek.

Distantie: impedantierelais



Het distantierelais is gemodelleerd als een impedantierelais. Dat wil zeggen dat de gemeten impedantie bepalend is voor het aanspreken en afschakelen. De richtingsgevoeligheid is zodanig gemodelleerd dat het relais in de meeste gevallen alleen kan aanspreken indien de gemeten impedantie zich in het gearceerde gebied bevindt.

In de normale bedrijfssituatie is de stroom kleiner dan de aanspreekwaarde en kan de gemeten impedantie zich in principe overal in het R/X-vlak bevinden. Op het moment dat de stroom groter wordt dan de aanspreekwaarde ($I > I_{aanspreek}$) wordt uit de spanning en stroom de impedantie bepaald. Indien de impedantie zich in het gearceerde gebied en binnen een van de cirkels Z_1 , Z_2 of Z_3 bevindt, zal een afschakeling plaatsvinden na de bijbehorende ingestelde tijden.

De cirkels Z_1 , Z_2 en Z_3 worden de zones van het relais genoemd. Indien de impedantie zich buiten de grootste zone bevindt, vindt afschakeling plaats door de gerichte eindtrap, met tijdstelling t_4 seconden. Er is met de ongerichte eindtrap een opvangmogelijkheid gemodelleerd voor het geval dat er niet selectief wordt afgeschakeld. In dat geval wordt na t_5 seconden afgeschakeld indien de impedantie zich in het niet gearceerde gebied bevindt.

Relaisinstelling

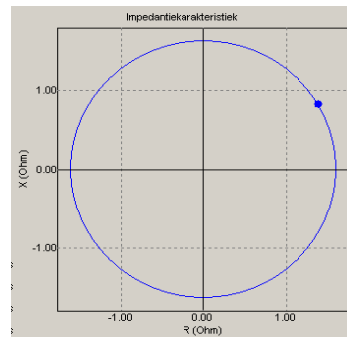
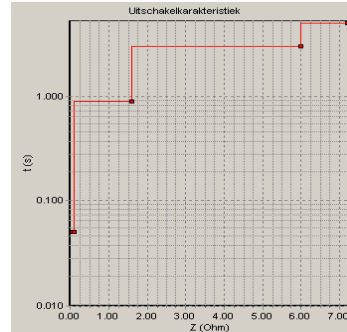
- Instelling spanningen, stromen en impedanties
 - op basis van primaire grootheden (vóór de meettransformatoren)
 - volgende versie op basis van secundaire grootheden
 - Extra invoer: overzetverhouding meettransformatoren

In de huidige versie kunnen de relais ingesteld worden aan de hand van de werkelijke spanningen en stromen. De instelling van de impedanties vindt dus ook in netwerkgrootheden plaats.

In een volgende versie worden de overzetverhoudingen van de meettransformatoren bij de invoergegevens van het relais opgenomen, zodat het dan ook mogelijk is het relais in te stellen op basis van de secundaire spanningen en stromen, dus achter de meettransformatoren. De impedanties zijn dan ook die van het secundaire systeem.

Distantierelais: diagrammen

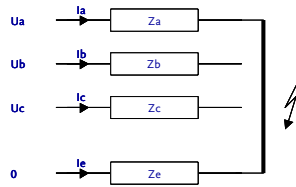
- Invoer:
uitschakelkarakteristiek
 $t = f(Z_f)$
- Of:
impedantiekarakteristiek
(R/X-vlak)



Naast de invoergegevens van het distantierelais is de uitschakelkarakteristiek afgebeeld. Deze karakteristiek geeft de afschakeltijd aan als functie van de gemeten impedantie. Bij het invullen van de relaisgegevens wordt deze karakteristiek automatisch aangepast.

In een volgende versie van Vision wordt de mogelijkheid geboden om te schakelen tussen de uitschakelkarakteristiek en de impedantiekarakteristiek. Deze laatste is voor het impedantierelais altijd een of meer (voor meer zones) concentrische cirkels. De markering op de cirkel geeft de complexe waarde van de ingestelde impedantie weer.

Distantierelais: aardfouten



$$U_m = U_a$$

$$Z_m = \frac{U_m}{I_a + k \cdot 3I_0}$$

$$k = \frac{Z_e}{Z_{fase}}$$

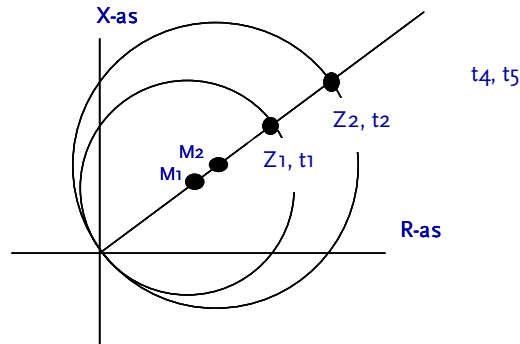
$$k = \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1}$$

In het geval van een driefasensluiting is de impedantie van het relais tot aan de foutplaats eenvoudig te bepalen uit het quotiënt van de fasespanning en de fasestroom. In het geval van een éénfasekortsluiting loopt de retourstroom echter via het nul- en aardcircuit, zodat de totale impedantie niet meer rechtstreeks is vast te stellen. De gemeten fasestroom wordt daartoe gecorrigeerd met het product van de homopolaire stroom en de k-factor.

De k-factor is een ervaringsgetal, dat sterk afhangt van het te beveiligen net. Deze factor kan uitgedrukt worden in de retourimpedantie Z_e en de faseimpedantie Z_a of in de homopolaire en de normale impedantie. De waarde van Z_e is alleen aan de hand van een meting vast te stellen. Indien geen meetgegevens voorhanden zijn, kan de tweede formule voor k worden gebruikt. De waarde van de homopolaire impedantie kan vaak redelijk geschat worden. Het beste blijft echter een meting. Een algemene formule voor de homopolaire impedantie bestaat niet, vanwege de invloed van de omgeving en de directe en indirecte koppelingen naar de aarde.

Een gebruikelijke initiële waarde voor de k-factor is 3.

Distantie: Mho-relais



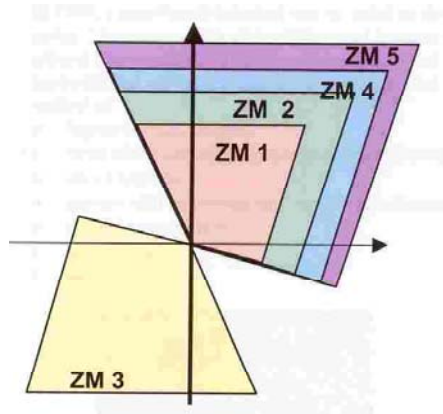
- Invoer: Z_1, Z_2, \dots met hoek $\varphi_1, \varphi_2, \dots$
- Afschakelcommando als Z_m binnen een gespecificeerde cirkel ligt

Het Mho-relais is wat ouder en wordt tegenwoordig minder vaak toegepast. Met name in bestaande netten is dit relais nog talrijk aanwezig. De werking is vergelijkbaar met die van het impedantierelais, maar de zones zijn op een andere wijze gemodelleerd.

De zones zijn beschreven met cirkels, waarvan de middellijn door de oorsprong en door een punt op het R/X-vlak loopt. Dat punt tegenover de oorsprong is de impedantie-waarde voor de begrenzing van de zone. Voor de eerste zone komt deze waarde doorgaans overeen met ongeveer 90 procent van de impedantie van de eerste kabel in de voorwaartse richting. Deze waarde is in het complexe vlak beschreven met R en X of met de grootte van de impedantie en een argument.

Op deze manier is het bewerkstelligd dat de afschakeling altijd in de voorwaartse richting plaatsvindt indien in het geval van een storing de impedantie zich binnen een van de cirkels gaat bevinden. Dit relais zal in een volgende versie worden geïmplementeerd.

Distantie: Polygoon-relais

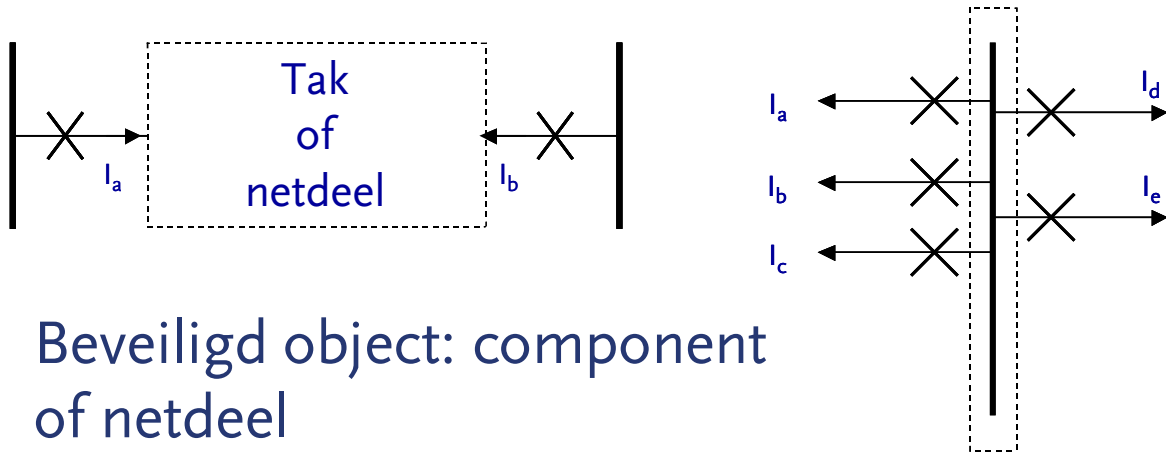


Een modern relais is tegenwoordig een polygoonrelais. Door de toepassing van elektronica in de moderne beveiligingssystemen wordt afgestapt van de traditionele manier van werken met cirkeldiagrammen, die konden worden geconstrueerd door optel- en fasebewerkingen van de oorspronkelijke meetsignalen.

De moderne beveiligingssystemen bewerken de gemeten signalen digitaal, waardoor de zones een hoekig verloop krijgen in het R/X-vlak. Hierdoor ontstaan nieuwe mogelijkheden in de beveiligingen.

Deze relais worden in een volgende versie geïmplementeerd.

Differentiaalbeveiliging



- Beveiligd object: component of netdeel
- Meting: som van alle stromen
- Actie: meting ongelijk aan nul

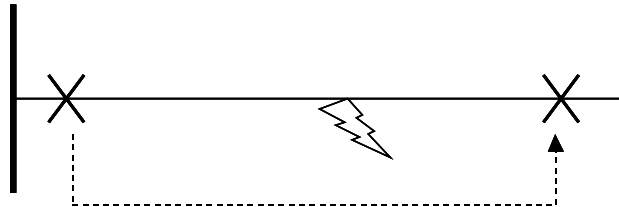
De differentiaalbeveiliging beveiligt een component (knooppunt of tak) of een netdeel, waarvoor bekend is dat alle stroom die erin vloeit er ook aan een andere kant uit moet vloeien.

Meestal zijn transformatoren voorzien van een langsdifferentiaal-beveiliging. Maar ook belangrijke verbindingen kunnen op deze manier beveiligd worden voor het geval van een “stroomlekkage”.

Als het te beveiligen object een rail is, spreken we van een raildifferentiaal-beveiliging. Ook voor een rail geldt dat de som van de stromen van alle aangesloten velden normaliter gelijk aan nul is. Behalve in geval van een railsluiting, want dan lekt er een hoeveelheid stroom buiten de velden om weg.

Deze beveiliging wordt opgenomen in een volgende versie van Vision. De instelling (curve, vaste tijd, etc.) wordt op vergelijkbare manier als bij de maximaal stroom/tijdbeveiliging geïmplementeerd.

Meeneemschakeling



- Beide beveiligingen spreken aan
- Een beveiliging schakelt eerst af
- De andere beveiliging ontvangt een meeneemsignaal van de eerste afschakelende beveiliging

De meeneemschakeling is bedoeld om nog sneller en selectiever een kortsluiting in een vermaasd net af te schakelen. Indien een relais een kortsluiting detecteert en daardoor snel afschakelt, zal in een vermaasd net de kortsluiting nog steeds vanaf een andere kant gevoed kunnen worden. Voor het relais in die andere voedende richting gold een lagere stroomsterkte, waardoor pas op een later tijdstip afgeschakeld zou worden. Mogelijk zelfs zou niet selectief afgeschakeld kunnen worden door een andere beveiliging.

Bij de meeneemschakeling ontvangt een andere beveiliging, bijvoorbeeld het relais aan de andere zijde van de gestoorde verbinding, een signaal, waardoor deze onverwijld afschakelt.

De meeneemschakeling wordt in een volgende versie geïmplementeerd.

Selectiviteit: definitie

- Huidige snelle methode
 - Kortsluiting: afschakeltijden van alle beveiligingen worden berekend
 - Selectief als grootste afschakeltijd van de om de gestoorde groep liggende beveiligingen kleiner is dan kleinste afschakeltijd van alle andere beveiligingen
- Toekomstige sequentie methode
 - Na een afschakelactie worden de afschakeltijden van alle relais opnieuw bepaald, totdat de kortsluiting is geïsoleerd
 - Selectief als alleen de om de gestoorde groep liggende beveiligingen uitschakelen

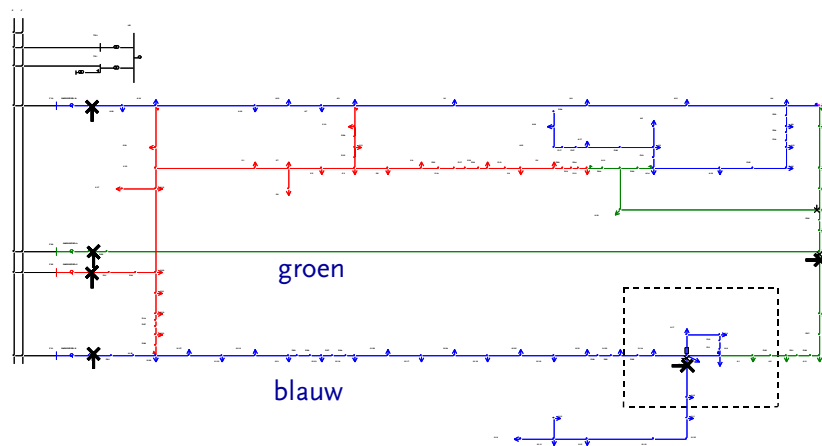
In de huidige versie van Vision is de selectiviteit zodanig geïmplementeerd dat met een zeer snelle berekening de selectiviteit kan worden vastgesteld. Hiertoe worden voor een specifiek beschouwde kortsluiting de mogelijke afschakeltijden van alle beveiligingen in het hele netwerk berekend. Een aantal beveiligingen zal reageren. Het kan zijn dat veel beveiligingen in het net niet eens reageren op de beschouwde storing, omdat zij zich in een ander netdeel bevinden.

In de huidige definitie is de beveiliging voor een netdeel selectief als de grootste afschakeltijd van alle om de gestoorde groep liggende beveiligingen kleiner is dan de kleinste afschakeltijd van alle andere beveiligingen in het netwerk. Voor de meeste situaties is deze benadering voldoende. In het geval van vermaasde netten verandert de netsituatie na een afschakeling en moet in verband met eventuele cascade effecten nauwkeuriger worden gewerkt.

In de toekomstige sequentie methode, die in een volgende versie van Vision wordt geïmplementeerd, wordt in de simulatie en in de selectiviteitsberekening in geval van een kortsluiting bepaald welke beveiliging het eerst afschakelt. Vervolgens wordt daadwerkelijk afgeschakeld en wordt bekeken of ook de fout is afgeschakeld. Indien dat niet het geval is, wordt het proces herhaald, net zolang totdat de fout is afgeschakeld. De beveiliging werkt dan selectief als alleen de om de gestoorde groep liggende beveiligingen afschakelen.

4 TOEPASSING

Voorbeeld selectiviteit (1)



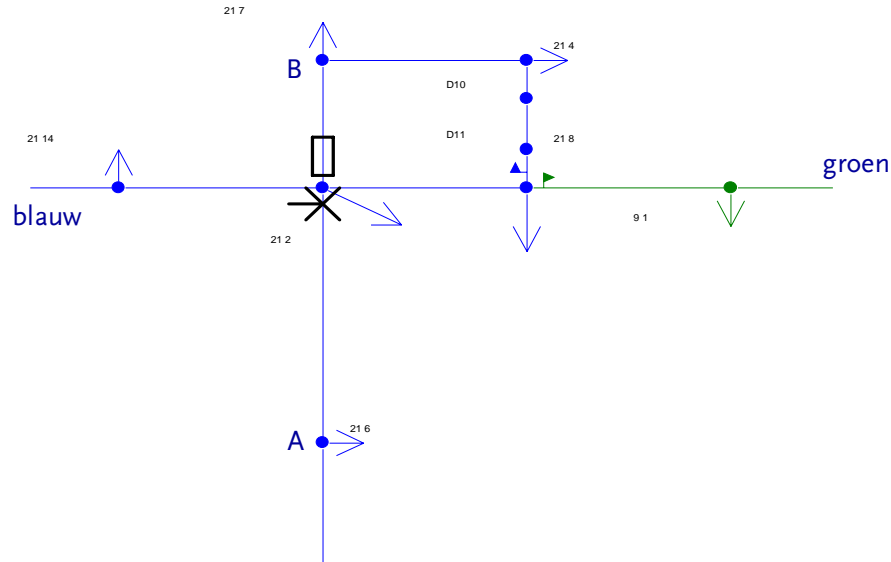
Als voorbeeld voor de werking van de selectiviteitsberekening tonen we een deel van een fictief 10 kV-distributienet. Alle richtingen zijn beveiligd bij het onderstation.

De groene richting in het midden splitst zich rechts in het schema, waarbij in de aftakking naar de blauwe richting onderaan in het schema een beveiliging is opgenomen.

In de blauwe richting onderaan het schema is binnen het gestippelde vierkant een splitsing aanwezig en een koppelmogelijkheid met de groene richting.

De volgende sheet geeft de situatie in detail weer.

Voorbeeld selectiviteit (2)



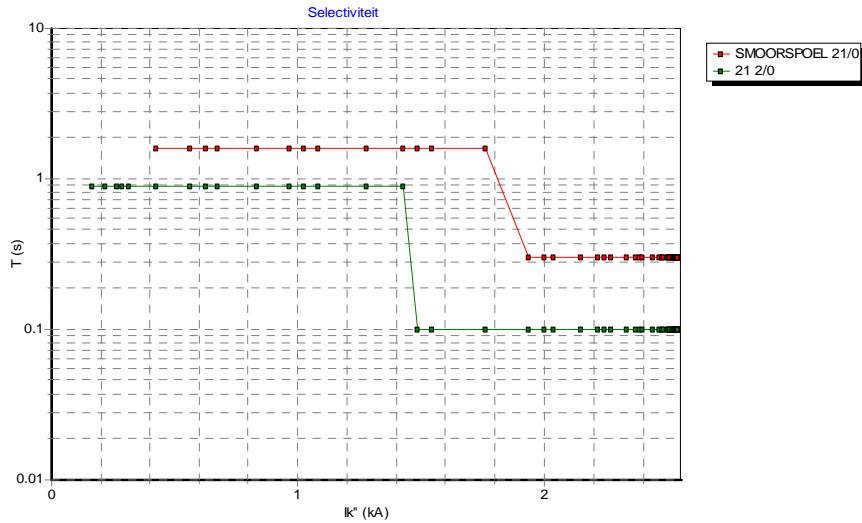
De blauwe richting wordt gevoed vanaf de linkerzijde in het schema en loopt rechtdoor tot aan de netopening met de groene richting, die het schema aan de rechterzijde verlaat.

Op de splitsing is een subeiland gemodelleerd, beveiligd met een smeltpatroon. Eveneens op de splitsing is een doodlopend stuk gemodelleerd, onderaan het schema, beveiligd met een vermogenschakelaar.

De volgende sheets illustreert de selectiviteit in de normale situatie voor het eerste knooppunt van de doodlopende richting (A).

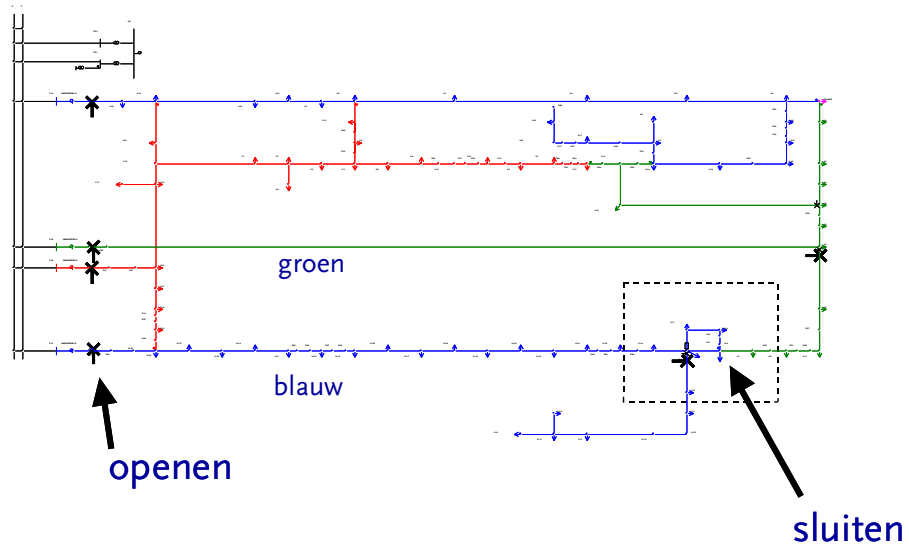
Vervolgens wordt de blauwe richting bij de voeding geopend en wordt de netopening naar de groene richting gesloten. De dan volgende sheets presenteren de selectiviteit voor het eerste knooppunt in de doodlopende richting (A) en voor het eerste knooppunt in het subeiland (B).

Voorbeeld selectiviteit (3)



In de normale bedrijfssituatie is het eerste knooppunt in de doodlopende richting selectief beveiligd. De eerste beveiliging die aanspreekt is die van de doodlopende richting zelf, op de splitsing (bij knooppunt 21 2). Pas als die beveiliging faalt zal de beveiliging in het onderstation aan het begin van de voedende richting afschakelen.

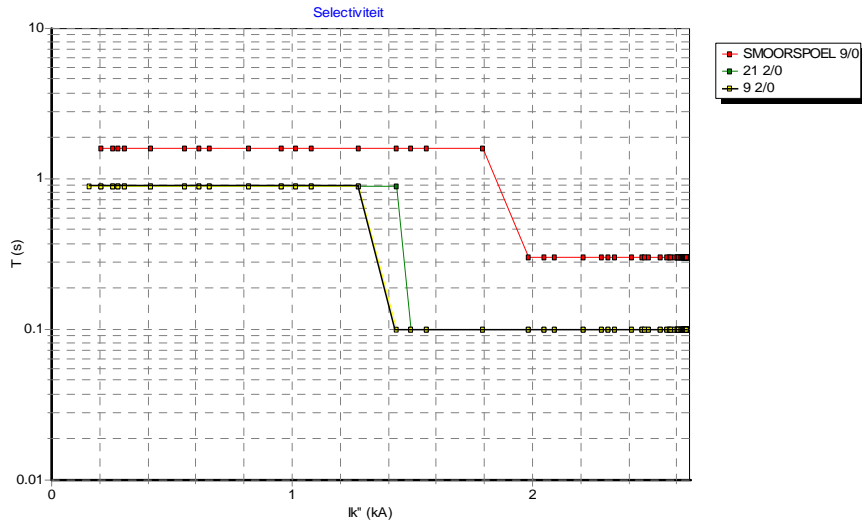
Voorbeeld selectiviteit (4)



Vervolgens wordt de vermogenschakelaar van de blauwe richting bij de voeding geopend en wordt de netopening naar de groene richting gesloten.

Nu wordt de gehele blauwe richting gevoed vanuit de groene richting in het midden van het schema.

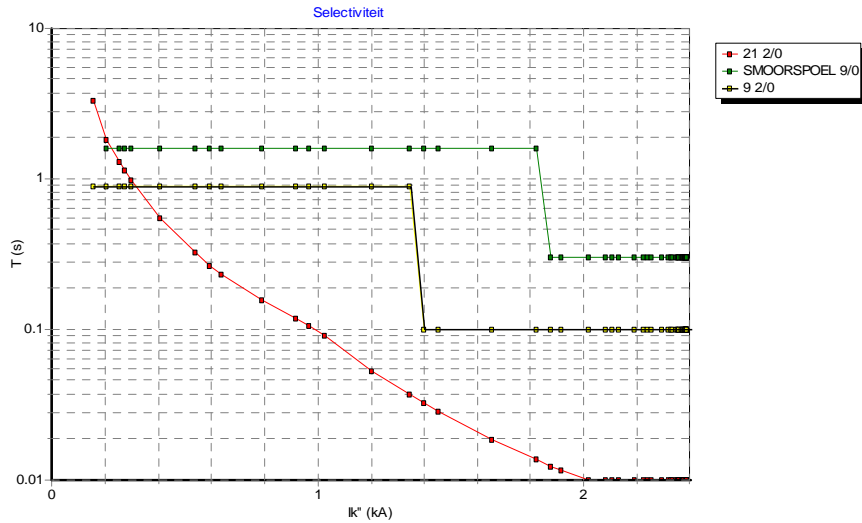
Voorbeeld selectiviteit (5)



Deze sheet presenteert de selectiviteit voor het eerste knooppunt in de doodlopende richting. Duidelijk te zien is dat dit knooppunt niet selectief beveiligd is. In de meeste gevallen zal namelijk tegelijk met de eigen beveiliging op de splitsing (bij knooppunt 21 2) ook de beveiliging op de splitsing van de voedende groene richting (bij knooppunt 9 2) aanspreken.

Een oplossing kan gevonden worden door van de doodlopende richting de eigen beveiliging sneller te laten afschakelen.

Voorbeeld selectiviteit (6)



Nog steeds is de blauwe richting bij de voeding geopend en is de netopening naar de groene richting gesloten. Deze sheet toont de selectiviteit voor het eerste knooppunt in het subeiland. Duidelijk te zien is dat ook dit knooppunt niet selectief beveiligd is. Voor kleine kortsluitstromen zal namelijk niet de smeltpatroon (bij knooppunt 21 2) afschakelen, maar de beveiliging op de splitsing van de voedende groene richting (bij knooppunt 9 2).

Een oplossing kan gevonden worden door voor het subeiland een snellere patroon te kiezen of door de aanspreekwaarde van de overige beveiligingen te vergroten.

Conclusie

- Beveiligingen verbeterd ten aanzien van:
 - Kortsluitrichting
 - Onderscheid automatische / gewone vermogenschakelaar
- Beveiligingen uitgebreid met:
 - Aardfout-, spannings- en distantiebeveiligingen
- In de volgende versies komen:
 - Overzetverhoudingen van de meettransformatoren
 - Impedantiekarakteristiek
 - Mho-relais
 - Polygoonrelais
 - Differentiaalbeveiliging
 - Meeneemschakeling
 - Verbetering selectiviteit

In de huidige versie van Vision zijn de beveiligingen verbeterd ten aanzien van de kortsluitrichting. Met het verdwijnen van de automatische schakelaar vervalt het vroegere onderscheid tussen deze en de vermogenschakelaar. Nu kunnen de schakelaars worden uitgerust met maximaal stroom/tijd-, aardfout-, spannings- en distantiebeveiligingen.

In de volgende versies komen voorts nog beschikbaar:

- Overzetverhoudingen van de meettransformatoren
- Impedantiekarakteristiek
- Mho-relais
- Polygoonrelais
- Meeneemschakeling
- Verbetering selectiviteit