

smart grids & e-mobility

lesmodule 4

# overzicht

- 1 Beveiligingen: algemeenheden
- 2 Elementen van beveiligingsinstallaties
- 3 Beveiligingsrelais
- 4 Lijnbeveiligingen
  - Overstroomrelais
  - Tijdvertraagde overstroomrelais
  - Tijdvertraagde richtingsgevoelige overstroomrelais
  - Afstandsrelais
  - Beveiligingen met televerbinding
- 5 Automatische herinschakeling
- 6 Beveiliging van transformatoren
- 7 opdracht 3: luchtleidingen

# overzicht

- 1 Beveiligingen: algemeenheden
- 2 Elementen van beveiligingsinstallaties
- 3 Beveiligingsrelais
- 4 Lijnbeveiligingen
  - Overstroomrelais
  - Tijdvertraagde overstroomrelais
  - Tijdvertraagde richtingsgevoelige overstroomrelais
  - Afstandsrelais
  - Beveiligingen met televerbinding
- 5 Automatische herinschakeling
- 6 Beveiliging van transformatoren
- 7 opdracht 3: luchtleidingen

# Beveiligingen: gemeenheden

## Doel van beveiligingen

Beveiligingen dienen om de nadelige gevolgen van het optreden van een fout zo gering mogelijk te houden.



<https://www.youtube.com/watch?v=D8EQPx-ptKk>

# Beveiligingen: algemeenheden

De belangrijkste vereisten van de beveiligingen om dit doel te bereiken zijn:

- 1 **bedrijfszekerheid**  
→ we willen kunnen vertrouwen op de beveiligingen (testprogramma!)
- 2 **selectiviteit**  
→ enkel het door een fout getroffen deel van het net wordt afgeschakeld
- 3 **snelheid**  
→ gevolgen minder erg als de fout snel afgeschakeld wordt
- 4 **onafhankelijkheid van de bedrijfstoestand**  
→ verschillende vermogenstromen en veranderende netstructuur
- 5 **gevoeligheid**  
→ ook de kleinste kortsluitstroom moet gedetecteerd worden
- 6 **mogelijkheid tot reserve-beveiliging**  
→ bij falen van een beveiliging realiseert een ander toestel de uitschakeling

# overzicht

- 1 Beveiligingen: algemeenheden
- 2 Elementen van beveiligingsinstallaties
- 3 Beveiligingsrelais
- 4 Lijnbeveiligingen
  - Overstroomrelais
  - Tijdvertraagde overstroomrelais
  - Tijdvertraagde richtingsgevoelige overstroomrelais
  - Afstandsrelais
  - Beveiligingen met televerbinding
- 5 Automatische herinschakeling
- 6 Beveiliging van transformatoren
- 7 opdracht 3: luchtleidingen

# Elementen van beveiligingsinstallaties

- 1 detectie van fouten en geven van uitschakelbevel gebeurt door de **beveiligingsrelais**

→ hier ligt de moeilijkheid!

*Treedt er een fout op? Welke vermogenschakelaars moeten bediend worden?*

→ op basis van metingen van stroom en spanning

- 2 de vermogenschakelaars of lastscheiders verzorgen de uitschakeling zelf



# Elementen van beveiligingsinstallaties

## Meetzijde van de beveiligingsrelais

- spanningen en stromen worden aangebracht via *spannings- en stroomtransfo's*  
→ amplitude van de gemeten grootte verlagen, maar met:
  - een zo goed mogelijke evenredigheid
  - een zo klein mogelijke fase-afwijking

## Voeding van de beveiligingsrelais

- voeding van de beveiligingsinstallatie moet uitermate betrouwbaar zijn!
  - gebruik van batterijen
  - beveiligingen die elkaars reserve zijn niet aansluiten op dezelfde voeding



# overzicht

- 1 Beveiligingen: algemeenheden
- 2 Elementen van beveiligingsinstallaties
- 3 Beveiligingsrelais**
- 4 Lijnbeveiligingen
  - Overstroomrelais
  - Tijdvertraagde overstroomrelais
  - Tijdvertraagde richtingsgevoelige overstroomrelais
  - Afstandsrelais
  - Beveiligingen met televerbinding
- 5 Automatische herinschakeling
- 6 Beveiliging van transformatoren
- 7 opdracht 3: luchtleidingen

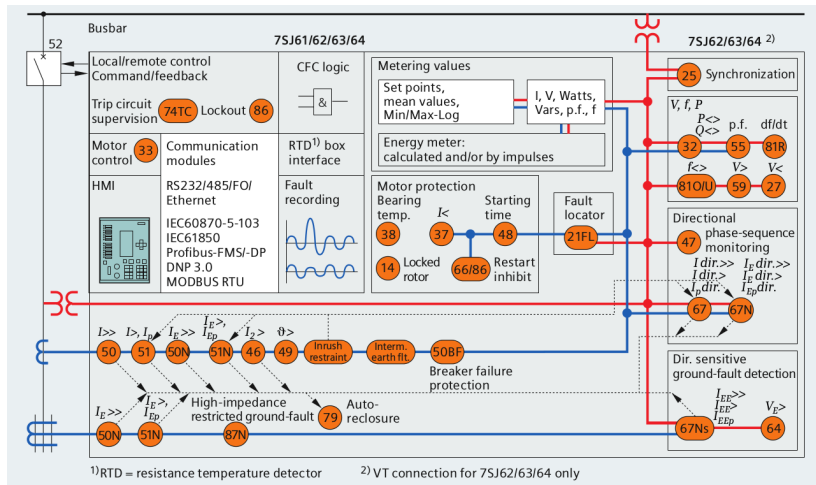
## Indeling van beveiligingsrelais

- verbinding van het relais met het net
  - *primair relais*: netstroom loopt rechtstreeks door relais
  - *secundair relais*: aansluiting via spannings- en/of stroomtransformatoren
- verbinding van het relais met de schakelaar
  - *direct relais*: stroom geleverd door relais zelf doorloopt uitschakelspoel van de schakelaar
  - *indirect relais*: relais sluit contacten, hulprelais levert stroom voor uitschakelspoel

## Indeling van beveiligingsrelais

- werkingsprincipe van het relais
  - elektromechanisch relais (verouderd)
  - analoge (elektronische) relais (verouderd)
  - digitale of numerieke relais
- meetprincipe van het relais
  - overstroomrelais: stromen ingelezen op één plaats
  - afstandsrelais: stromen én spanningen ingelezen zodat de afstand tot de fout kan geschat worden
  - differentieelrelais: meetwaarden op verschillende plaatsen en deze onderling vergelijken

## voorbeeld functionaliteiten van een digitaal relais



# overzicht

- 1 Beveiligingen: algemeenheden
- 2 Elementen van beveiligingsinstallaties
- 3 Beveiligingsrelais
- 4 Lijnbeveiligingen**
  - Overstroomrelais
  - Tijdvertraagde overstroomrelais
  - Tijdvertraagde richtingsgevoelige overstroomrelais
  - Afstandsrelais
  - Beveiligingen met televerbinding
- 5 Automatische herinschakeling
- 6 Beveiliging van transformatoren
- 7 opdracht 3: luchtleidingen

# Lijnbeveiligingen

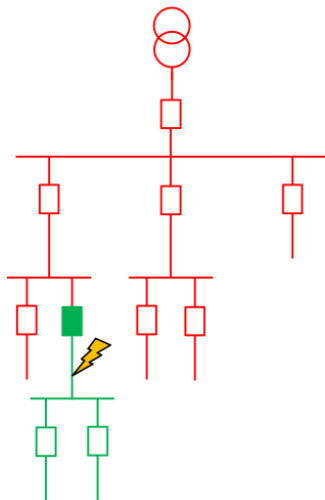
## Lijn

Lijnen zijn de netelementen die als verbinding dienen tussen geografisch gescheiden netelementen. Er zijn twee types: luchtlijnen en kabels.



# Lijnbeveiligingen

radiaal net gevoed vanuit één punt

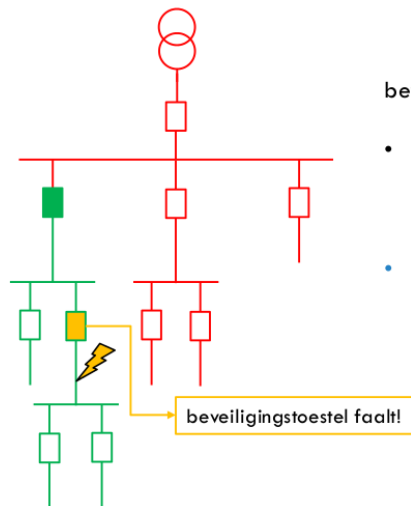


beveiligingsprincipes (algemeen):

- **selectiviteit:** enkel en alleen het door een fout getroffen deel van de installatie wordt afgeschakeld
- **redundantie:** bij falen van een beveiligingstoestel moet een ander toestel de uitschakeling realiseren

# Lijnbeveiligingen

## radiaal net gevoed vanuit één punt beveiligen



beveiligingsprincipes (algemeen):

- selectiviteit: enkel en alleen het door een fout getroffen deel van de installatie wordt afgeschakeld
- **redundantie**: bij falen van een beveiligingstoestel moet een ander toestel de uitschakeling realiseren



# overzicht

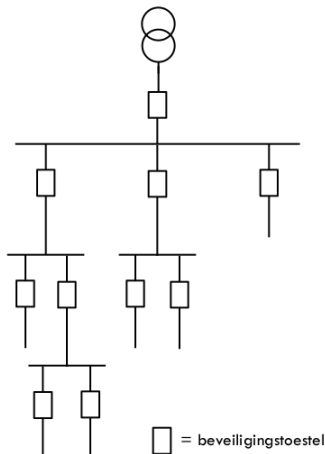
- 1 Beveiligingen: algemeenheden
- 2 Elementen van beveiligingsinstallaties
- 3 Beveiligingsrelais
- 4 Lijnbeveiligingen
  - Overstroomrelais
  - Tijdvertraagde overstroomrelais
  - Tijdvertraagde richtingsgevoelige overstroomrelais
  - Afstandsrelais
  - Beveiligingen met televerbinding
- 5 Automatische herinschakeling
- 6 Beveiliging van transformatoren
- 7 opdracht 3: luchtleidingen

# Lijnbeveiligingen

## Overstroomrelais

*radiaal net gevoed vanuit één punt: grootte van de kortsluitstroom afhankelijk van de plaats van de kortsluiting*

→ hoe dicht bij de voeding, hoe groter de kortsluitstroom

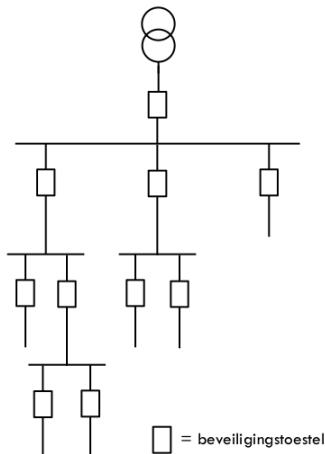


# Lijnbeveiligingen

## Overstroomrelais

*hoe dichterbij de voeding, hoe groter de kortsluitstroom*

→ selectieve beveiliging realiseren d.m.v. niet-vertraagde overstroomrelais (met verschillende instelwaarden)

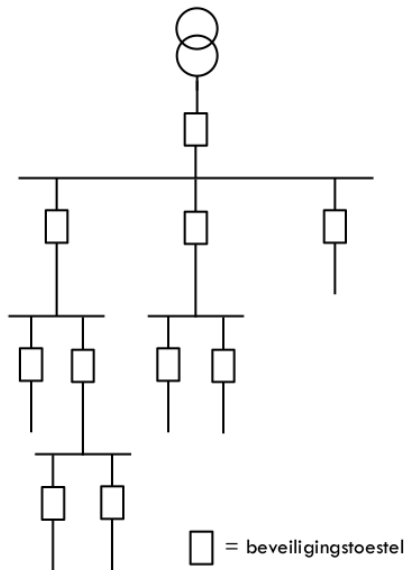


# Lijnbeveiligingen

## Overstroomrelais

bezwaren bij dit principe:

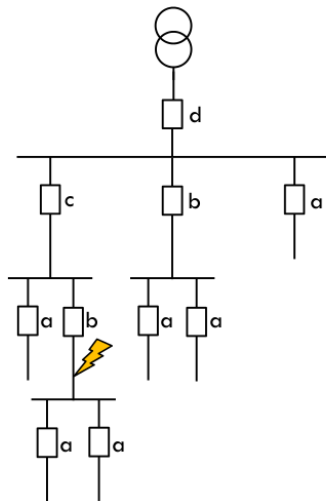
- 1 grootte van de kortsluitstroom is meestal afhankelijk van de exploitatieomstandigheden
- 2 moeilijk onderscheid te maken tussen een kortsluiting op het einde van een sectie en een kortsluiting in het begin van de volgende sectie
- 3 foutimpedantie kan de bepaling van de foutplaats vervalsen



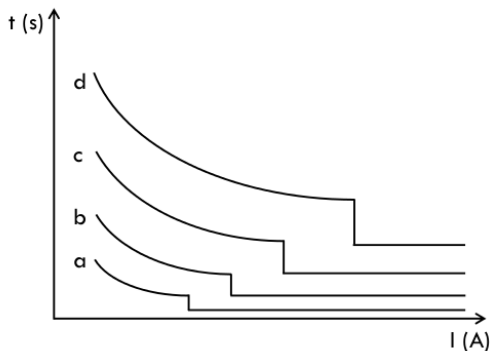
# overzicht

- 1 Beveiligingen: algemeenheden
- 2 Elementen van beveiligingsinstallaties
- 3 Beveiligingsrelais
- 4 Lijnbeveiligingen
  - Overstroomrelais
  - Tijdvertraagde overstroomrelais
  - Tijdvertraagde richtingsgevoelige overstroomrelais
  - Afstandsrelais
  - Beveiligingen met televerbinding
- 5 Automatische herinschakeling
- 6 Beveiliging van transformatoren
- 7 opdracht 3: luchtleidingen

## Tijdvertraagde overstroomrelais

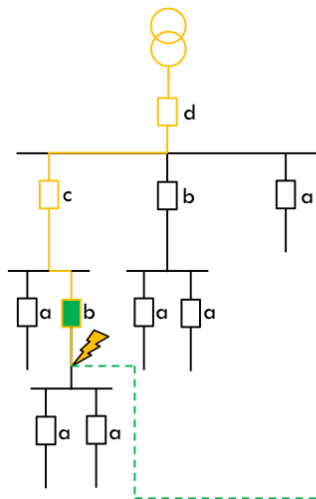


realiseren van selectiviteit én redundantie via  
**tijdvertraagde overstroombeveiligingen**

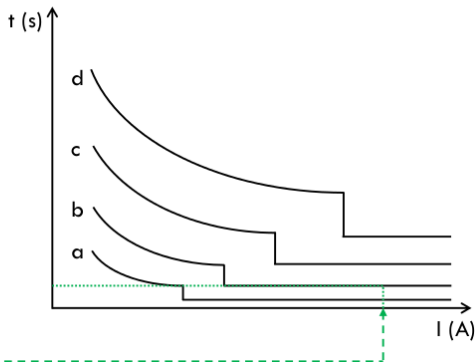


# Lijnbeveiligingen

radiaal net gevoed vanuit één punt beveiligen  
met tijdvertraagde overstroomrelais



realiseren van selectiviteit én redundantie via  
**tijdvertraagde overstroombeveiligingen**



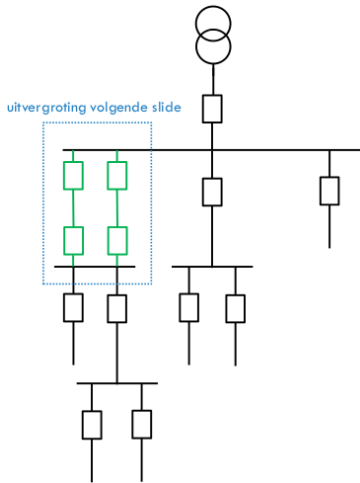
# overzicht

- 1 Beveiligingen: algemeenheden
- 2 Elementen van beveiligingsinstallaties
- 3 Beveiligingsrelais
- 4 Lijnbeveiligingen
  - Overstroomrelais
  - Tijdvertraagde overstroomrelais
  - Tijdvertraagde richtingsgevoelige overstroomrelais
  - Afstandsrelais
  - Beveiligingen met televerbinding
- 5 Automatische herinschakeling
- 6 Beveiliging van transformatoren
- 7 opdracht 3: luchtleidingen



## Lijnbeveiligingen

### overgang naar ring met éézijdige voeding: parallelle feeders

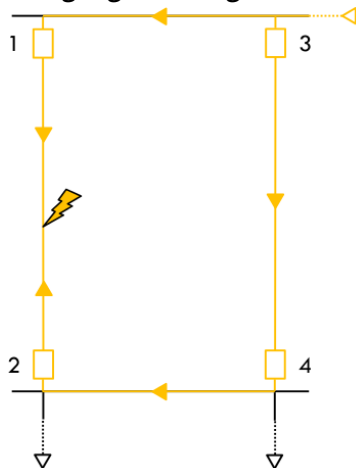


selectiviteit gewenst: elke parallelle kabel moet apart ontkoppeld kunnen worden

→ beveiligingstoestellen aan begin én einde van beide kabels

# Lijnbeveiligingen

## overgang naar ring met ééNZijdige voeding: parallelle feeders



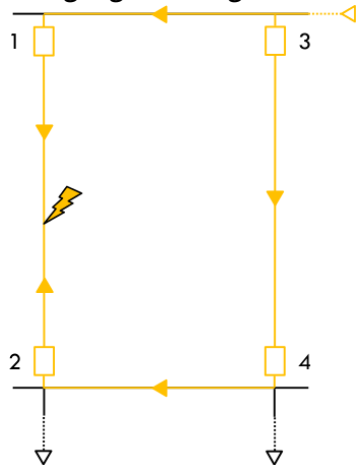
selectiviteit gewenst: elke parallelle kabel moet apart ontkoppeld kunnen worden

→ beveiligingstoestellen aan begin én einde van beide kabels

→ **bij fout in één van beide kabels vloeit er foutstroom door elk van de vier beveiligingen!**

# Lijnbeveiligingen

## overgang naar ring met éézijdige voeding: parallelle feeders



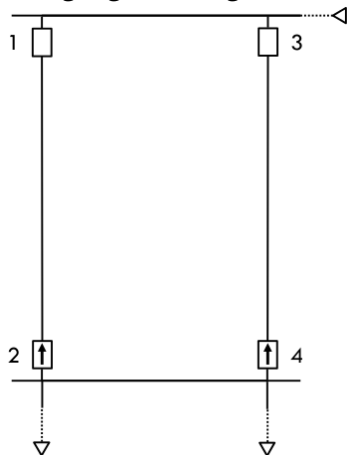
selectiviteit gewenst: elke parallelle kabel moet apart ontkoppeld kunnen worden

→ bij fout in één van beide kabels vloeit er foutstroom door elk van de vier beveiligingen

→ **selectiviteit kan niet gegarandeerd worden!**

→ onmogelijk (met zekerheid) de niet-getroffen kabel in dienst te houden.

## overgang naar ring met éézijdige voeding: parallelle feeders



selectiviteit gewenst: elke parallelle kabel moet apart ontkoppeld kunnen worden

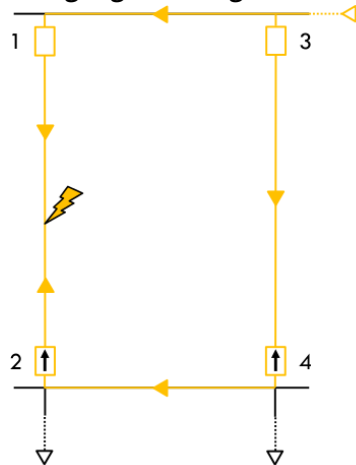
→ selectiviteit kan niet gegarandeerd worden met enkel tijdvertraagde overstroombeveiligingen

→ oplossing: beveiligingstoestellen 2 en 4 **richtingsgevoelige overstroombeveiligingen** maken

→ deze reageren enkel wanneer de vermogenstroom naar één specifieke kant gaat (aangeduid met pijlen)

# Lijnbeveiligingen

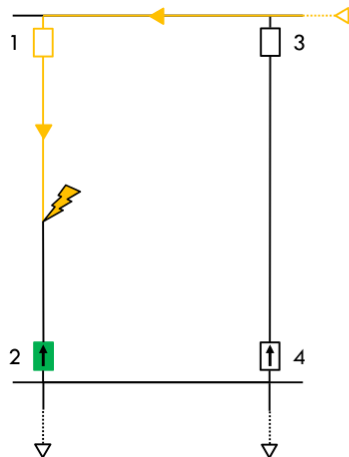
overgang naar ring met éézijdige voeding: parallelle feeders



→ oplossing: beveiligingstoestellen 2 en 4  
**richtingsgevoelige overstroombeveiligingen**  
*met kleinere tijdsvertraging dan 1 en 3*

# Lijnbeveiligingen

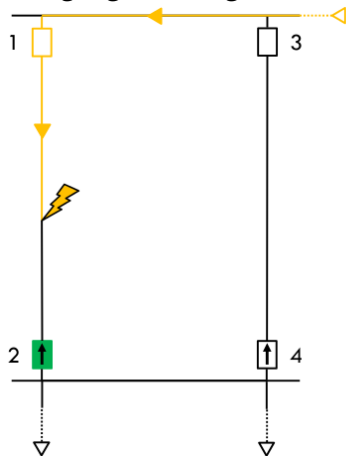
## overgang naar ring met éézijdige voeding: parallelle feeders



→ oplossing: beveiligingstoestellen 2 en 4  
**richtingsgevoelige overstroombeveiligingen**  
met *kleinere tijdsvertraging* dan 1 en 3

1. toestel 2 detecteert een foutstroom in de richting waarvoor deze gevoelig is en schakelt uit

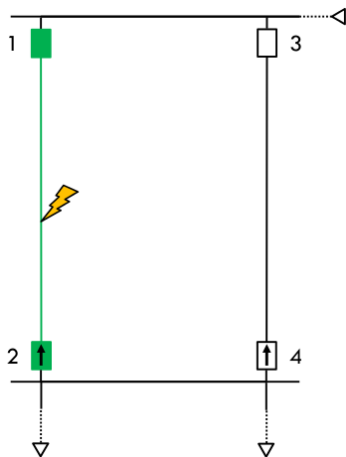
## overgang naar ring met éézijdige voeding: parallelle feeders



→ oplossing: beveiligingstoestellen 2 en 4  
**richtingsgevoelige overstroombeveiligingen**  
*met kleinere tijdsvertraging dan 1 en 3*

1. toestel 2 detecteert een foutstroom in de richting waarvoor deze gevoelig is en schakelt uit
2. er vloeit geen foutstroom meer door toestellen 3 en 4 (dus zij onderbreken niet)

## overgang naar ring met éézijdige voeding: parallelle feeders



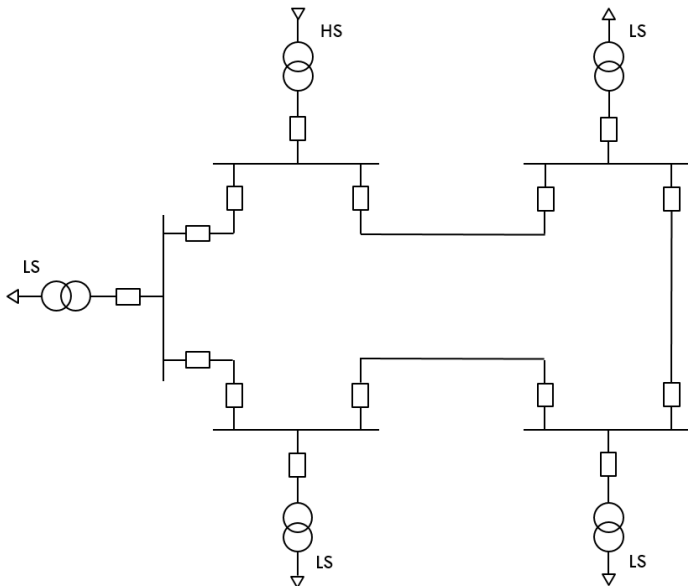
→ oplossing: beveiligingstoestellen 2 en 4  
**richtingsgevoelige overstroombeveiligingen**  
met *kleinere tijdsvertraging* dan 1 en 3

1. toestel 2 detecteert een foutstroom in de richting waarvoor deze gevoelig is en schakelt uit
2. er vloeit geen foutstroom meer door toestellen 3 en 4 (dus zij onderbreken niet)
3. toestel 1 onderbreekt de resterende foutstroom
4. de voeding van het onderliggende net is niet onderbroken geweest!

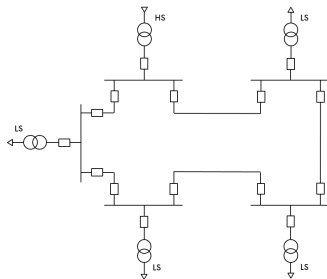


# Lijnbeveiligingen

## Oefening: middenspanningsring met eenzijdige voeding



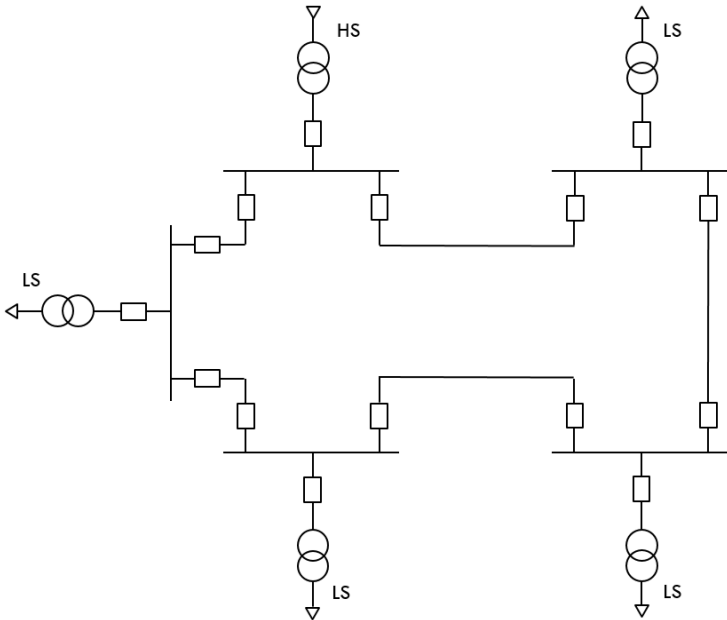
## Oefening: middenspanningsring met eenzijdige voeding



Zorg ervoor dat elke fout op een lijn selectief afgeschakeld wordt!

- duid de eventuele richtingsgevoeligheid van de beveiligingstoestellen aan
- plaats tijdvertragingen bij de beveiligingstoestellen:

$$t_a < t_b < t_c < \dots$$



## andere types lijnbeveiligingen

⚠ het stapelen van de tijdvertragingen kan voor onaanvaardbaar lange uitschakeltijden zorgen!

er zijn alternatieven ontwikkeld waarbij men niet (of minder lang) moet wachten:

- ① afstandsrelais
- ② beveiligingen met televerbinding
  - afstandsbeveiligingen met televerbinding
  - differentieelbeveiliging
  - communicerende richtingsrelais
  - fasevergelijkingsbeveiliging

# overzicht

- 1 Beveiligingen: algemeenheden
- 2 Elementen van beveiligingsinstallaties
- 3 Beveiligingsrelais
- 4 Lijnbeveiligingen
  - Overstroomrelais
  - Tijdvertraagde overstroomrelais
  - Tijdvertraagde richtingsgevoelige overstroomrelais
  - Afstandsrelais**
  - Beveiligingen met televerbinding
- 5 Automatische herinschakeling
- 6 Beveiliging van transformatoren
- 7 opdracht 3: luchtleidingen

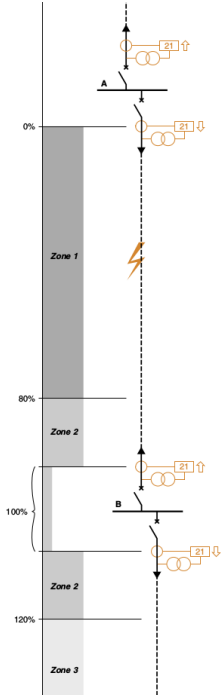
# Lijnbeveiligingen

## afstandsrelais

⚠️ zowel stroom- als spanningsmeting!

basisidee:

- de impedantie kan bepaald worden ( $\frac{\bar{V}}{\bar{I}}$ )
- de gemeten impedantie wordt vergeleken met de “normale” lijnimpedantie
- gemeten impedantie < normale lijnimpedantie  
⇒ fout ligt in de te beveiligen zone
- naarmate fout dichterbij is:  $V \downarrow$  en  $I \uparrow$
- een afstandsrelais hoeft niet te wachten!
- redundantie voor andere lijnen via tijdsvertraging



- **zone 1:**  $\leq 80\%$  van de normale lijnimpedantie  
 $\Rightarrow$  onmiddellijk uitschakelen
- **zone 2:** 80% tot 120% normale lijnimpedantie  
 $\Rightarrow \approx 0,2$  s wachten om zeker te zijn dat de fout niet net in de volgende zone (onder B) ligt!
- **zone 3:** backup voor als onderste afstandsrelais in B faalt
- ⚠ afstandsrelais kan richtingsgevoelig gemaakt worden

# overzicht

- 1 Beveiligingen: algemeenheden
- 2 Elementen van beveiligingsinstallaties
- 3 Beveiligingsrelais
- 4 Lijnbeveiligingen
  - Overstroomrelais
  - Tijdvertraagde overstroomrelais
  - Tijdvertraagde richtingsgevoelige overstroomrelais
  - Afstandsrelais
  - Beveiligingen met televerbinding
- 5 Automatische herinschakeling
- 6 Beveiliging van transformatoren
- 7 opdracht 3: luchtleidingen



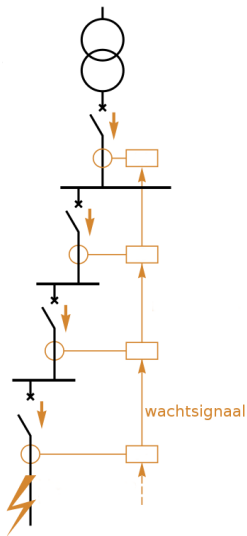
## beveiligingen met televerbinding

doel van televerbindingen: informatie van beide uiteinden van de lijn kunnen combineren om selectiviteit én snelheid te kunnen verbeteren

- afstandsbeveiligingen met televerbinding  
→ fout tot 100% kan sneller uitgeschakeld worden
- differentieelbeveiliging  
→ fase per fase de stromen aan begin en einde van de lijn met elkaar vergelijken
- communicerende richtingsrelais  
→ gebruik maken van *logische selectiviteit*

# Lijnbeveiligingen

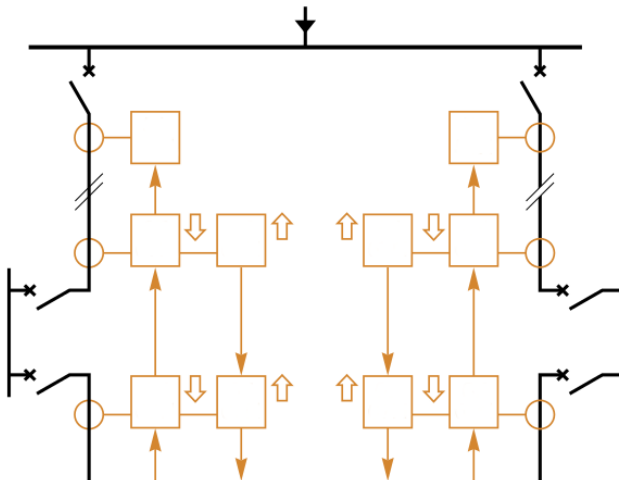
## logische selectiviteit



- elke beveiliging die een foutstroom ziet stuurt een **wachtsignaal** naar de meteen stroomopwaarts gelegen beveiliging
- elke beveiliging die geen wachtsignaal ontvangt schakelt snel uit

# Lijnbeveiligingen

voorbeeld: gesloten lus met communicerende richtingsrelais: veel sneller! (tijdvertraging wordt behouden als backup)



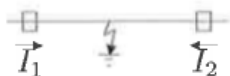
# Lijnbeveiligingen

## beveiligingen met televerbinding

- fasevergelijkingsbeveiliging
  - normaal bedrijf: fasehoek van de stromen aan beide uiteinden van de lijn is dezelfde
  - fout op de lijn: stromen aan beide uiteinden van de lijn zijn in tegenfase
  - fout buiten de lijn: fasehoek van de stromen aan beide uiteinden van de lijn is dezelfde



Geen fout



Fout op de lijn



Fout buiten de lijn

# overzicht

- 1 Beveiligingen: algemeenheden
- 2 Elementen van beveiligingsinstallaties
- 3 Beveiligingsrelais
- 4 Lijnbeveiligingen
  - Overstroomrelais
  - Tijdvertraagde overstroomrelais
  - Tijdvertraagde richtingsgevoelige overstroomrelais
  - Afstandsrelais
  - Beveiligingen met televerbinding
- 5 Automatische herinschakeling
- 6 Beveiliging van transformatoren
- 7 opdracht 3: luchtleidingen

# Automatische herinschakeling

## Algemeenheden

een groot gedeelte van de storingen op het transmissienet is van voorbijgaande aard (> 90% bij luchtlijnen)

⇒ we kunnen (na automatisch uitschakelen) automatisch herinschakelen overwegen

voowaarden:

- 1 uitschakeling moet zo snel mogelijk gebeuren  
(zo weinig mogelijk ionisatie van de lucht creëren)
- 2 herinschakeling mag niet te snel gebeuren  
(tijd nodig voor deïonisatie)
- 3 onderbrekingstijd mag niet te lang zijn  
(stabiliteit van het net bewaren + verbruikers niet spanningsloos plaatsen)

# Automatische herinschakeling

## Snelle enkelfasige herinschakeling

schakelaars in hoogspanningsnetten: afzonderlijke bediening van de polen mogelijk

⇒ indien enkelfasige fout:

- getroffen fase wordt gedurende  $\sim 0,3$  s onderbroken
- twee niet-getroffen fasen worden niet onderbroken!

aan beide uiteinden van de lijn zelfde uitschakeltijd nodig

→ opletten bij afstandsrelais, 2 mogelijkheden:

- snelle uitschakeling voor 100% lijnlengte i.p.v. tot 80% (enkel bij enkelfasige fout, geen wijziging bij meerfasige fout)  
⚠ verlies van selectiviteit mogelijk
- tele-verbinding gebruiken

# Automatische herinschakeling

## Snelle driedfasige herinschakeling

meerdere fasen bestrooken bij de fout  $\Rightarrow$  driedfasige uitschakeling

voor automatische herinschakeling moet er gelijktijdigheid zijn aan beide uiteinden!

$\Rightarrow$  televerbinding is dus noodzakelijk

$\triangle$  gevaar op verlies van synchronisme

$\Rightarrow$  snellere herinschakeling (0,15 à 0,2s)



# Automatische herinschakeling

## Schakelcyclus

- 1 Bij éénfasige fout is er een éénpolige uitschakeling; bij meerfasige fout is er een driefasige uitschakeling.
- 2 De uitgeschakelde polen sluiten na een ingestelde tijd (max 0,3s).
- 3 De eerste 15 à 30 seconden na een fout is het herinschakel-automatisme geblokkeerd; elke fout die door de beveiliging in deze periode wordt geïdentificeerd als op de lijn zijnde, wordt driefasig en definitief uitgeschakeld.

# overzicht

- 1 Beveiligingen: algemeenheden
- 2 Elementen van beveiligingsinstallaties
- 3 Beveiligingsrelais
- 4 Lijnbeveiligingen
  - Overstroomrelais
  - Tijdvertraagde overstroomrelais
  - Tijdvertraagde richtingsgevoelige overstroomrelais
  - Afstandsrelais
  - Beveiligingen met televerbinding
- 5 Automatische herinschakeling
- 6 Beveiliging van transformatoren
- 7 opdracht 3: luchtleidingen

# Beveiliging van transformatoren

- transformator is een belangrijk en duur netelement
- vermogenschakelaars aan hoogspannings- en laagspanningszijde zijn dichtbij opgesteld  
→ geen televerbinding nodig voor differentieelbeveiliging
- zeer grote transformatoren ( $> 15$  MVA) zijn uitgerust met het volledige gamma beveiligingen
- kleinere transformatoren hebben sterk vereenvoudigde beveiligingen

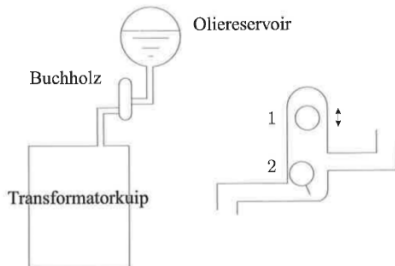
verschillende types beveiligingen:

- 1 beveiligingen tegen interne fouten
- 2 beveiligingen tegen overbelasting
- 3 reservebeveiliging tegen externe fouten

# Beveiliging van transformatoren

## beveiligingen tegen interne fouten

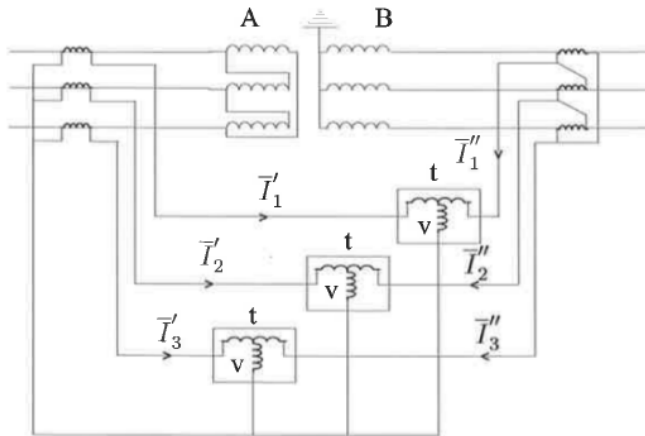
- koeling: ventilatoren, waterpompen op oliekoelers, circulatiepompen, ...worden bewaakt
- Buchholz-beveiliging: gasvorming in koelolie detecteren



- differentieelbeveiliging: kortsluiting tussen fasen, kortsluiting tussen windingen, enkelfasige aardsluitingen, isolatiefouten tussen primaire en secundaire

# Beveiliging van transformatoren

## beveiligingen tegen interne fouten



schematische voorstelling van een differentieelbeveiliging van een ster-driehoektransformator

# Beveiliging van transformatoren

## beveiligingen tegen overbelasting

- transformatoren hebben een grote thermische traagheid
- overbelastingen zijn dus gedurende beperkte tijd toelaatbaar
- maar elke overtemperatuur versnelt de de veroudering van de papierisolatie
- → overstroombeveiliging met verschillende vertragingen
- → thermisch beeldrelais

# Beveiliging van transformatoren

## beveiligingen tegen uitwendige fouten

- uitwendige fouten moeten normaal onderbroken worden door andere beveiligingen
- eventueel toch extra backup voorzien
- → relais dat trager reageert dan de traagste normale beveiliging voor uitwendige fouten:
  - overstroomrelais met instelstroom iets lager dan de laagst mogelijke kortsluitstroom die niet door een andere beveiliging met zekerheid wordt uitgeschakeld
  - afstandsrelais met één enkele afstandsinstelling

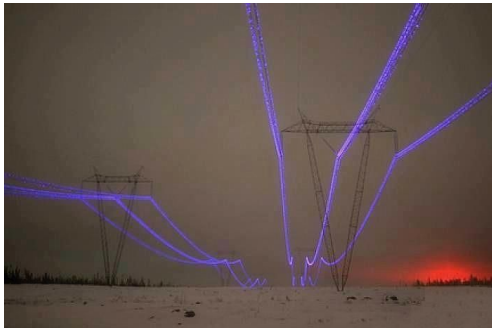
# overzicht

- 1 Beveiligingen: algemeenheden
- 2 Elementen van beveiligingsinstallaties
- 3 Beveiligingsrelais
- 4 Lijnbeveiligingen
  - Overstroomrelais
  - Tijdvertraagde overstroomrelais
  - Tijdvertraagde richtingsgevoelige overstroomrelais
  - Afstandsrelais
  - Beveiligingen met televerbinding
- 5 Automatische herinschakeling
- 6 Beveiliging van transformatoren
- 7 opdracht 3: luchtleidingen



## opdracht 3: luchtleidingen [1/2]

- 1 lees de tekst *Van Dommelen - hfdst 7 - Openluchtleidingen.pdf* (beschikbaar op Toledo).
- 2 Beantwoord de vragen op de volgende slide.
- 3 Dien een pdf-bestand met je antwoorden (“opdracht 3 - voornaam naam.pdf”) in via Toledo.



## opdracht 3: luchtleidingen [2/2]

- 1 Waarom worden er voor secties boven  $10 \text{ mm}^2$  enkel gevlochten geleiders gebruikt?
- 2 Welke materialen en bijhorende constructiewijzen worden gebruikt voor openluchtlijnen?
- 3 Wat is de gangbare materiaalkeuze in België?
- 4 Welke *technische* aspecten spelen mee bij het bepalen van de geleidersectie?
- 5 Welke *economische* aspecten spelen mee bij het bepalen van de geleidersectie?
- 6 Welke voordelen bieden bundelgeleiders of meerdere draadstellen ten opzichte van één enkele geleider (met een equivalente sectie)?
- 7 Wat is het corona-effect?
- 8 Waarom is het corona-effect ongewenst?
- 9 Hoe kan het corona-effect, bij een bepaalde spanning, vermeden worden?
- 10 Welke *positief* effect kan het corona-effect hebben bij luchtlijnen?