

smart grids & e-mobility

lesmodule 7

# overzicht

- 1 storingen op netten: kortsluitingen
  - oorzaken van kortsluitingen
  - types kortsluitingen
  - kortsluitstroomberekeningen
- 2 storingen op netten: overspanningen
  - inleiding
  - soorten overspanningen
  - beveiligingstoestellen tegen overspanningen
- 3 storingen op netten: isolatiecoördinatie

# overzicht

- 1 storingen op netten: kortsluitingen
  - oorzaken van kortsluitingen
  - types kortsluitingen
  - kortsluitstroomberekeningen
- 2 storingen op netten: overspanningen
  - inleiding
  - soorten overspanningen
  - beveiligingstoestellen tegen overspanningen
- 3 storingen op netten: isolatiecoördinatie

# storingen op netten: kortsluitingen

## Oorzaken van kortsluitingen

Voornaamste oorzaken:

- blikseminslag op of nabij een installatie
  - ⇒ spanningsverhoging die voor een overslag zorgt
  - ⇒ ontstaan van boog die zichzelf onderhoudt
  - ⇒ grote spanningsdaling: installatie komt in kortsluiting
- isolatiedefecten in het elektrisch materiaal (typisch bij kabels en transformatoren)
- schakelmanoeuvres:
  - overspanning ten gevolge van schakeling die door- of overslag genereert
  - foutieve schakeling (bijvoorbeeld per vergissing een gearde installatie inschakelen)
- andere atmosferische omstandigheden die tot overslag leiden (regen, wind, aanvriezen, ...)

# storingen op netten: kortsluitingen

## Oorzaken van kortsluitingen ( $V > 150$ kV)

		%	%
atmosferische oorzaken	bliksem	52	70
	condensatie	8	
	mist	6	
	regen	1	
	aanvriezen	2	
	wind	1	
defecten	materieel	4	7
	beveiligingen	3	
schakelingen			8
onbepaald			15

# storingen op netten: kortsluitingen

## types kortsluitingen

eerste onderscheid: betrokken fasen

- éénfasige kortsluitingen
- tweefasige kortsluitingen
- driefasige kortsluitingen

⚠ zéér belangrijk voor kortsluitstroomberekeningen

# storingen op netten: kortsluitingen

## types kortsluitingen

tweede essentieel onderscheid: aard

- *permanente kortsluitingen*  
→ blijven voortbestaan, ook wanneer de installatie buiten dienst gesteld is
- *semi-permanente kortsluitingen*  
→ verdwijnen nadat de installatie meerdere seconden spanningsloos is gesteld
- *kortsluitingen van voorbijgaande aard*  
→ verdwijnen wanneer de installatie een fractie van een seconde spanningsloos gesteld wordt

# storingen op netten: kortsluitingen

types kortsluitingen: betrokken fasen en aard ( $U > 150 \text{ kV}$ )

		%	%
aantal fasen	éénfasig	79	100
	tweefasig	10	
	driefasig	7,5	
	onbepaald	3,5	
aard	permanent	7	100
	van voorbijgaande aard	93	



# storingen op netten: kortsluitingen

## verschil luchtlijnen – kabels

Bij luchtlijnen meer dan 90% van de kortsluitingen van voorbijgaande aard:

- ① overslag in de lucht
- ② de lucht krijgt vanzelf haar isolerend karakter terug nadat de boog gedoofd is

Bij grondkabels komen meer permanente fouten voor, isolatie kan beschadigd raken door:

- veroudering
- overspanning
- grondwerken

# storingen op netten: kortsluitingen

## Berekenen van kortsluitstromen

⚠ niet eenvoudig!

aantal veronderstellingen en benaderingen:

- hoogspanning: meestal verwaarlozen resistieve impedantie
- belastingsstromen verwaarloosd
- net symmetrisch behalve in de kortsluiting
- foutimpedantie =  $0 \Omega$
- alternatoren leveren maximum vermogen
- sinusregime
- slechts gedeelte van het net in detail uitrekenen, rest vereenvoudigen

# storingen op netten: kortsluitingen

## Berekenen van kortsluitstromen

⇒ berekende kortsluitstroom  $>$  werkelijke kortsluitstroom

berekende kortsluitstroom gebruikt voor:

- vereiste onderbrekingsvermogen van de vermogensschakelaars
- ontwerp van beveiligingen
- berekenen geleidersectie
- ontwerp verzamelrails (thermisch en mechanisch)
- schakelschema bepalen (bij normale exploitatie)
- al of niet aarden van sterpunten van transformatoren

# overzicht

- 1 storingen op netten: kortsluitingen
  - oorzaken van kortsluitingen
  - types kortsluitingen
  - kortsluitstroomberekeningen
- 2 storingen op netten: overspanningen
  - inleiding
  - soorten overspanningen
  - beveiligingstoestellen tegen overspanningen
- 3 storingen op netten: isolatiecoördinatie

# storingen op netten: overspanningen

## normale spanning

- normale spanning tussen fasen  
= lijnspanning  $U_l$
- normale spanning van een fase t.o.v. de aarde  
= fasespanning  $U_f = \frac{U_l}{\sqrt{3}}$

# storingen op netten: overspanningen

## Overspanningen: verschillende types

- 1 overspanningen bij netfrequentie
- 2 overspanningen bij schakelingen
- 3 overspanningen door atmosferische invloeden

# storingen op netten: overspanningen

## (1) Overspanningen bij netfrequentie

- geopende schakelaar tussen twee niet-synchrone netten  
 $U_{max} = 2U_f$
- wegvallen van de belasting van alternatoren
- onder spanning houden van lange lijnen zonder belasting  
(lengte  $> 300$  km)
- onder spanning houden van kabelnetten op lage belasting
- overspanning bij éénfasige aardsluiting
- grote spanningsverandering tussen uiteinden lange lijn  
(tot 10%)

# storingen op netten: overspanningen

## (2) Overspanningen bij schakelingen

frequentie van de overspanning = eigenfrequentie van het net  
(resonantieverschijnsel tussen zelfinductanties en capaciteiten)

- uitdoven en terug ontsteken van een elektrische boog  
(2,5 tot 3 keer  $U_f$ )
- in- of uitschakelen van transformatoren (vooral wanneer de drie polen van de schakelaar niet gelijktijdig openen of sluiten)
- onder spanning stellen van lange lijnen  
(golfvoorplanting met weerkaatsingen, overspanning tot  $3U_f$ )



## **(3) Overspanningen door atmosferische invloeden**

- ① directe overspanning door rechtstreekse blikseminslag
- ② indirecte overspanning door inductie

# storingen op netten: overspanningen

overspanningen door atmosferische invloeden:

(1) directe overspanning door rechtstreekse blikseminslag

→ een geladen wolk ontlaadt zich op de lijn zelf (=ladinginjectie)

- stroomsterkte tussen 10 000 en 150 000 A
- spanning tussen geleider en aarde op plaats van inslag: 3 000 tot 5 000 kV
- spanning kan toenemen met een snelheid tot 1 000 kV per microseconde

# storingen op netten: overspanningen

overspanningen door atmosferische invloeden:


(2) indirecte overspanning door inductie

- ① geladen wolk nabij hoogspanningslijn  $\Rightarrow$  geïnduceerde lading op lijn (tegengesteld van teken)
- ② dit opladen gebeurt langzaam en zonder enige storing in de werking van de lijn
- ③ wolk ontlaadt zich naar de grond of naar andere wolk
- ④  $\Rightarrow$  opgestapelde lading op de lijn wordt plots vrijgemaakt
- ⑤  $\Rightarrow$  lading zal afvloeien door een spannings- en stroomgolf in beide richtingen
  - spanning geleider-aarde meestal minder dan 50 000 kV
  - spanningsverandering varieert tussen 40 en 100 kV per microseconde

# storingen op netten: overspanningen

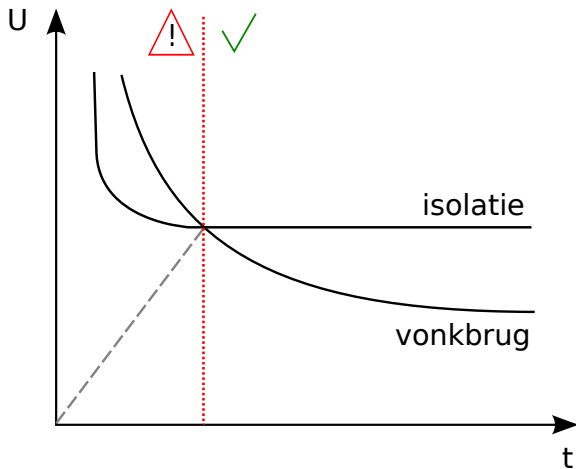
## Beveiligingstoestellen tegen overspanningen

### Inleiding

- elke isolatie van elektrisch materiaal heeft een bepaald spanningsniveau waartegen het bestand is
- overspanningsbeveiliging moet ervoor zorgen dat de “doorslagspanning” van de isolatie niet bereikt wordt
- $\Rightarrow$  toestel moet snel grote hoeveelheden lading afvoeren naar de aarde
-  doorslagspanning is afhankelijk van de tijd

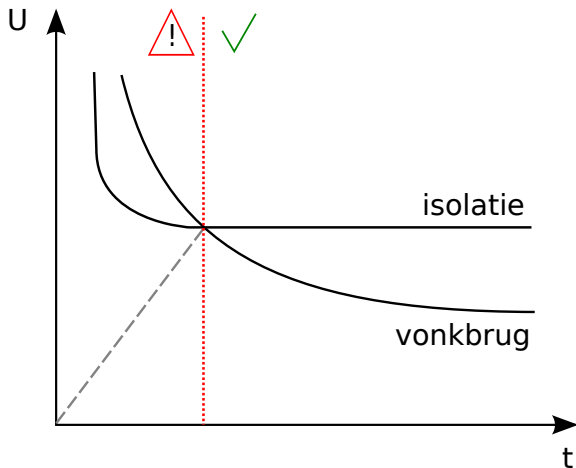
# storingen op netten: overspanningen

## Beveiligingstoestellen tegen overspanningen



volt-tijd-karakteristieken van isolatie en overspanningsbeveiliging

## storingen op netten: overspanningen



[ - - ]: maximale steilheid van de spanningsstoot waartegen de isolatie beschermd is door de vonkbrug

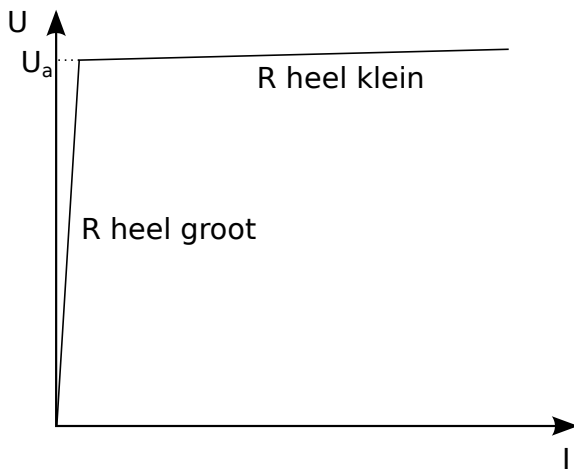
# storingen op netten: overspanningen

## de ideale overspanningsbeveiliging

- 1 geen noemenswaardige stroom naar de aarde zolang de **aanspreekspanning**  $U_a$  van de overspanningsbeveiliging niet bereikt wordt
- 2 wordt  $U_a$  bereikt, dan vloeit er een grote stroom naar de aarde zodat een nagenoeg onmiddellijke ontlading optreedt
- 3 als de spanning afneemt naar de natuurlijke nuldoorgang moet de ontlading ophouden

# storingen op netten: overspanningen

optimale U/I-karakteristiek van een overspanningsbeveiliging





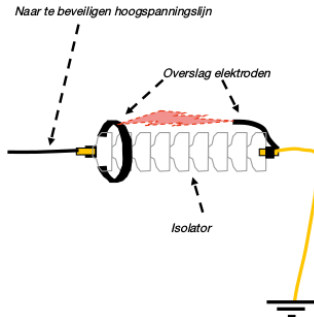
# storingen op netten: overspanningen

## types overspanningsbeveiligingen

- 1 vonkafleider
- 2 ventielafleider
- 3 metaaloxide-overspanningsbeveiliging

# storingen op netten: overspanningen

## vonkafleider



- oudste en meest eenvoudige spanningsafleiders
- meest gebruikte type: hoornafleider
- er ontstaat een boog als  $U_a$  overschreden wordt
- boog dooft automatisch door verlenging o.i.v. de warmte en *Bli*-regel

# storingen op netten: overspanningen

## vonkafleider



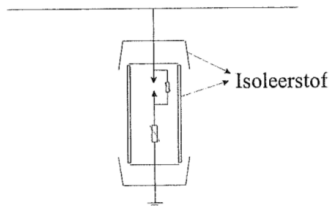
## nadelen:

- ontstaan van de boog gebeurt met enige vertraging ( $1-10\mu s$ ) omdat het ioniseren van de lucht tussen de hoornen tijd kost  
⇒ de piek van de overspanning wordt doorgelaten
- onderbreking van de boog duurt een tijdje omdat de lucht traag deïoniseert  
⇒ stroom op netfrequentie loopt naar de grond: **volgstroom**  
⇒ mogelijk worden de overstroombeveiligingen aangesproken

# storingen op netten: overspanningen

## ventielaflaider

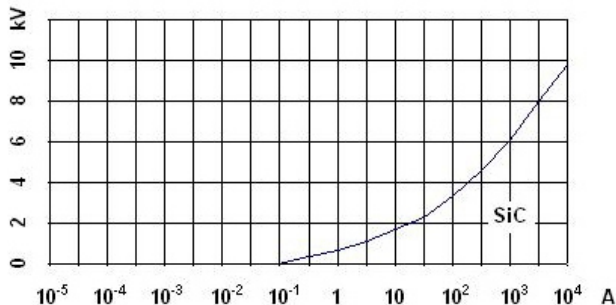
holle porseleinen cilindrische isolator waarin een reeks vonkenkamers zitten in serie met een reeks niet-lineaire afleiderweerstand (typisch SiC: siliciumcarbide)



# storingen op netten: overspanningen

## ventielafleider

Stroom/spanningskarakteristiek van een  
SiC-weerstand

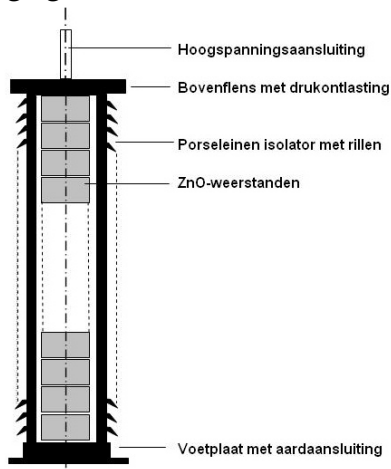


⚠ herken: hoge weerstand bij lage spanning, lage weerstand bij hoge spanning

# storingen op netten: overspanningen

## metaaloxide-overspanningsbeveiliging

- samengeperste ZnO (zinkoxide) schijven
- géén vonkenkamers meer
- eenvoudige constructie
- hoge betrouwbaarheid

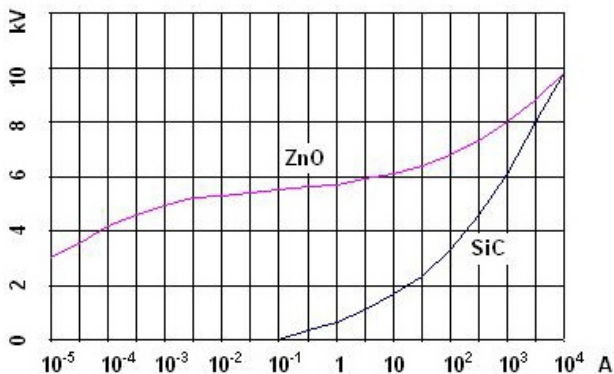


Doorsnede van een ZnO-afleider

# storingen op netten: overspanningen

## metaaloxide-overspanningsbeveiliging

Stroom/spanningskarakteristiek van een  
ZnO-weerstand en een SiC-weerstand



# overzicht

- 1 storingen op netten: kortsluitingen
  - oorzaken van kortsluitingen
  - types kortsluitingen
  - kortsluitstroomberekeningen
- 2 storingen op netten: overspanningen
  - inleiding
  - soorten overspanningen
  - beveiligingstoestellen tegen overspanningen
- 3 storingen op netten: isolatiecoördinatie



# storingen op netten: isolatiecoördinatie

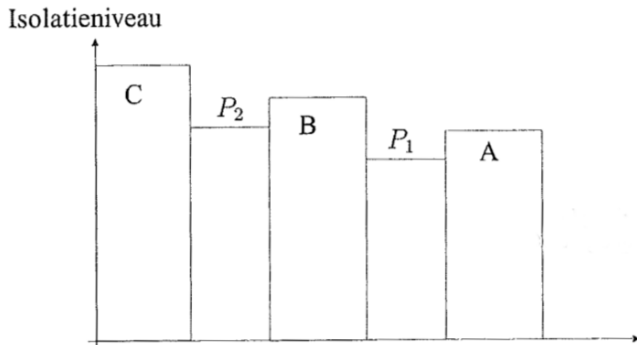
## Inleiding

- Enerzijds: overspanningen van atmosferische oorsprong zijn zodanig hoog dat het praktisch onmogelijk is de isolatie daartegen te beschermen.
- Anderzijds: ernst van de gevolgen van een door- of overslag:
  - doorslag in een alternator of transformator  
→ meerdere maanden hersteltijd
  - doorslag in een kabel  
→ enkele tientallen uren hersteltijd
  - overslag in de lucht  
→ enkele milliseconden later heeft de lucht haar diëlektrische eigenschappen terug
  - overslag op één netelement zoals een lijn of een kabel die alleen de buitendienststelling van dit element als gevolg heeft
  - overslag op een railstel die leidt tot de buitendienststelling van alle erop aangesloten netelementen

# storingen op netten: isolatiecoördinatie

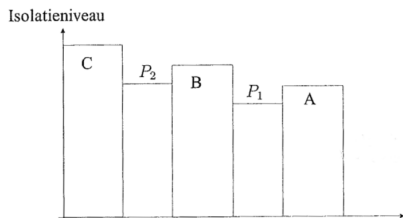
## Praktische coördinatieregels

door- of overslag sneller later gebeuren op die plaatsen waar de gevolgen minder ernstig zijn en sneller hersteld kunnen worden!



# storingen op netten: isolatiecoördinatie

## Praktische coördinatieregels



A: isolatieniveau van de luchtlijnen

B: isolatieniveau van posten en onderstations

C: isolatieniveau van alternatoren en transformatoren

P<sub>1</sub>: instelniveau van de overspanningsbeveiliging op lijnaankomsten

P<sub>2</sub>: instelniveau van de overspanningsbeveiliging op alternatoren en transformatoren

# storingen op netten: isolatiecoördinatie

## Dienstspanning en atmosferische storingen

de isolatieniveaus stijgen naarmate de dienstspanning stijgt

⇒ naarmate de dienstspanning stijgt wordt het systeem meer en meer ongevoelig voor atmosferische storingen

- netten op 380 kV: schokspanningsdoorslagvastheid 1200 kV  
→ enkel gevoelig voor zware, rechtstreekse blikseminslagen
- netten op 10 kV: schokspanningsdoorslagvastheid 30 à 50 kV  
→ gevoelig voor praktisch alle atmosferische storingen