

Invloed blikseminslag bij een magnetisch ankerpunt

Document: 14 01 04 Blikseminslag ankerpunt v02.docx
Datum: 2 juli 2014
Door: B. Gravendeel
Versie: 0.2

Blikseminslag magnetisch ankerpunt

Versie beheer

Versie	Wijzigingen	Datum	Door
01	Initiële versie	26 mei 2014	B. Gravendeel
02	Aanpassen na review TU Delft	2 juli 2014	B. Gravendeel

Blikseminslag magnetisch ankerpunt

Inleiding

Steigerankerpunten kunnen in een buitenopstelling toegepast worden. Dat betekent dat blikseminslag op kan treden. De vraag is hoe de magneet daarop zal reageren. In dit document zal worden bepaald wat de te verwachten invloed is in een te bepalen worst case situatie.

Situatieschets

Een steiger wordt altijd naast een metalen object zoals een tank toegepast. Dit object is vanwege de veiligheid altijd met de lokale elektrische aarde verbonden via een PE aardverbinding van voldoende lage impedantie.

De steiger wordt ook met de aarde verbonden met een eigen verbinding naar de aarde. Dit is een standaard procedure. Er zijn geen problemen bekend met deze opzet. Als de bliksem inslaat, blijft alles heel.

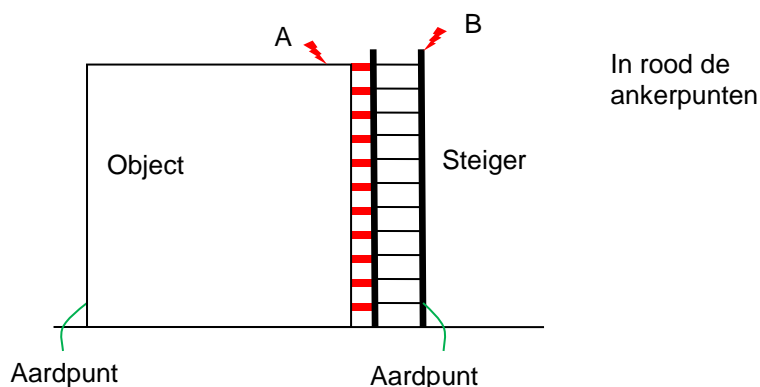
De ankermagneten zijn niet opzettelijk elektrisch verbonden met het object of met de steiger. Als er een coating op het object is aangebracht zal de elektrische impedantie tussen steigerpijp en object relatief hoog zijn: enkele ohms is niet onwaarschijnlijk. Ook kan de coating van dien aard en kwaliteit zijn dat er sprake is van een isolerende laag. Deze zal een spanningsvastheid hebben die niet hoger zal zijn enkele kV/mm (let op veldverhoging ten gevolge van punten en oneffenheden).

Als het magnetisch ankerpunt op een onbewerkt object staat zal de elektrische verbinding tussen object en magneet relatief goed zijn.

Een aangedraaide boutverbinding die twee kale metalen strippen aan elkaar verbindt heeft een elektrische impedantie van tenminste enkele $\mu\Omega$.

De verbinding van een magneet en een object zal dus een impedantie hebben die varieert van enkele $\mu\Omega$ tot isolatorwaarden met een doorslagvastheid van enkele kV/mm.

Schets:



Figuur 1: steiger met ankerpunten aan een object bevestigd

In de situatie dat de bliksem in de steiger inslaat kan er (een deel van) de stroom via een magneet naar het object lopen.

Karakterisering van de bliksem

We gaan voor de gedachte uit van een gestandaardiseerde bliksempuls van 1 μs stijgtijd en 250 μs staarttijd (e-macht). Dit betekent een frequentie inhoud van minimaal 4 kHz.

Bliksemstroomgrootte bij zeer goede geleiding: 40 kA.

Bliksemspanningen zijn typisch rond de 5 MV.

Bij deze stijgtijden treedt geen geleiding door het volle materiaal op. De stroom blijft beperkt tot het oppervlak. Dit wordt de indringdiepte genoemd. Bij snellere verschijnselen (hogere frequenties) is de indringdiepte kleiner. De indringdiepte wordt bepaald via:

$$d = 1/\sqrt{(\pi \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \sigma \cdot f)}$$

Blikseminslag magnetisch ankerpunt

met:

- d - indringdiepte in m
- μ_0 - absolute permeabiliteit in H/m
- μ_r - relatieve permeabiliteit
- σ - geleidbaarheid (= 1/soortelijke weerstand) in S/m
- f - frequentie in Hz

Voor koolstofstaal en 4 kHz is de indringdiepte ongeveer 0,1 mm.

Uitwerking

De bliksem kan op twee principieel verschillende plaatsen in slaan;

- punt A – het object
- punt B – de steiger

Elektrisch gezien is er een parallelschakeling van de weerstand van het object parallel aan de weerstand van de steiger. Eerst wordt de DC weerstand bepaald. Daarna de HF impedantie. Dit wordt eerst voor het object gedaan en daarna voor de steiger. Er wordt geen rekening gehouden met faseverschuiving.

Weerstand en impedantie object

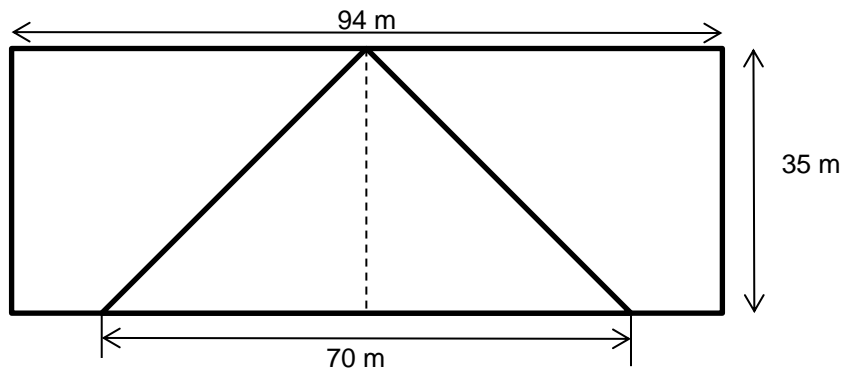
Kies als voorbeeld een stalen tank van 7 mm dik staal, 35 m hoog en 30 meter diameter. In wezen een korte buis met een grote diameter.

De soortelijke weerstand van koolstofstaal is: $0.18 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot m$ (DC waarde). Voor de bliksem inslag moet rekening gehouden worden met 0,1 mm indringdiepte.

Deze tank zal een DC weerstand hebben van ongeveer $5 \cdot 10^{-6} \Omega$. Bij een DC stroom van 40 kA wanneer de volledige diameter meedoet ontstaat een spanning van $U = I \times R = 40 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-6} = 200 \text{ mV}$.

Voor een bliksem puls doet echter alleen de buitenste 0,1 mm mee aan de geleiding (buitenwand en binnenwand elk 0,1 mm). Verder doet niet de gehele tankomtrek mee bij de inslag, die op één punt plaats vindt. De afschatting is dat de tijd die nodig is om de spanningsgolf van boven van de tankrand naar beneden te gaan ook gemoeid is met in de breedte uit te breiden.

In een plat vlak uitgeslagen ziet het er als onderstaand uit.



Figuur 2: uitslag tankwand met blikseminslag traject

Het HF gedrag zorgt voor een impedantie die 35 maal hoger dan de DC weerstand. Omdat een deel van de tankwand meedoet wordt de weerstand verhoogd met de verhouding van de oppervlakken: $3290/1225 = 2.7$ maal zo hoog. De DC weerstand wordt in totaal $35 \times 2.7 = 94.5$ maal verhoogd van $5 \cdot 10^{-6}$ naar $472.5 \cdot 10^{-6} \Omega$. De spanning wordt ook 94.5 maal hoger. Dat geeft maximaal 18.9 V tussen de bovenkant en de onderkant van de tank. Dit leidt niet tot problemen.

Weerstand en impedantie steiger

De elektrische impedantie bestaat uit vier steigerpijpen parallel met een hoogte van 35 meter.

Steigerpijp van 4 meter weegt 19,1 kg. Bij een sg van $7.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ is de staaldoorsnede van de steigerpijp $0,6 \times 10^{-3} \text{ m}^2 = 0,6 \times 10^3 \text{ mm}^2$. Dit leidt tot een wanddikte van 3 mm.

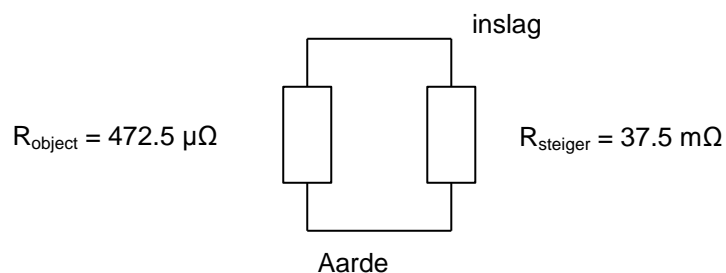
Blikseminslag magnetisch ankerpunt

De elektrische weerstand bij 35 meter hoogte is dan ongeveer $10 \text{ m } \Omega$ (DC waarde) per pijp. Vier pijpen parallel hebben een DC weerstand van $2.5 \text{ m } \Omega$. Wanneer hier een stroom van 40 kA loopt ontstaat een spanning van 100 V .

Voor een bliksem stroom die alleen door de buitenste $0,1 \text{ mm}$ gaat (buitenkant en binnenkant buis) wordt de impedantie 15 maal zo groot: $37.5 \text{ m}\Omega$. Hierbij ontstaat ook een 15 voudige spanning: 1500 V . Ook dit leidt op zich nog niet tot problemen.

Stroomverdeling bij blikseminslag

Belangrijk om te bepalen hoe groot de stroom via een ankerpunt worst case kan worden bij een bliksem inslag in B. Hierbij zal de worst case situatie optreden wanneer één van de bovenste ankerpunten elektrisch goed is doorverbonden met het object en alle andere ankerpunten niet. Dit is een zeer onwaarschijnlijke situatie. Bij een spanningsverschil tussen de steiger en het object van $1500 - 18.9 \text{ V}$ zal bij meer dan één magneet een doorslag optreden van magneetzool naar object. We rekenen nu echter zeer worst case. Het elektrische schema ziet er in die situatie als volgt uit:



Figuur 3: elektrische weergave steiger met één geleidend ankerpunt aan een object

Elektrisch gezien zal de verhouding van de stromen bij een inslag in B de omgekeerde verhouding van de weerstanden zijn. Dat betekent dat de verhouding stroom door object en stroom door steiger $79:1$ zal zijn. Vrijwel de volledige bliksemstroom die bij B inslaat zal via het ankerpunt naar het object gaan.

Deze stroom zal aan de buitenzijde van het ankerpunt gaan lopen en zich daar verdelen over het buitenoppervlak. Ook het bijbehorende magnetische veld zal aan de buitenzijde van de magneet blijven. Ruwweg zal na elke indringdiepte een factor e (grondtal natuurlijke logaritme) demping van het magneetveld geven. Voor een karakteristieke afstand van 10 mm tussen stroompad en magneet zal ongeveer een factor $e^{10} = 22.000$ demping optreden.

Voor demagnetiseren van Neodymium is een veld nodig van ongeveer 1 MA/m . Wanneer de permanente magneten 1 cm verwijderd zijn van het stroompad van de bliksem en er massief staal tussen zit, de stroom aan de buitenkant een veld moet genereren dat 22.000 maal zo groot is.

Uit Maxwell volgt dat $H = I / (2 \cdot \pi \cdot d)$ waarin d de afstand is tussen stroompad en magneet.

Een bliksemstroom geconcentreerd op 1 lijn maakt een veld op 1 cm afstand van:

$H = 40 \text{ kA} / (2 \times 3.14 \times 0,01) = 640 \text{ kA/m} = 0,64 \text{ MA/m}$. Dat is een factor 34000 te klein om te kunnen demagnetiseren. Hierbij is het gedrag van het staal volledig verwaarloosd.

Praktisch zal de stroom niet één lijn volgen maar zich verdelen over het gehele magneetoppervlak. Dit leidt tot lagere stroomdichtheden en dientengevolge ook lagere velden ter plaatse van de permanent magneten in de magneet.

Conclusie

Zelfs in een worst case situatie waarbij één ankerpunt de volledige bliksemstroom van 40 kA zou voeren is er geen demagnetisatie van de Neodymium magneten in het ankerpunt te verwachten.