

MBO  
*Elektrotechniek*

# Werken met de NEN 1010 Pluspakket

*NEN 1010:2015*

*verder* in technisch vakmanschap

**kenteq**



## COLOFON

©2016 Kenteq, Hilversum

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand dan wel openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opname, of enige andere wijze, zonder voorafgaande toestemming van de uitgever.

Ondanks alle zorg die aan dit lesmateriaal is besteed kunnen auteurs, redacteurs en uitgever geen aansprakelijkheid aanvaarden voor eventuele schade, die zou kunnen voortvloeien uit enige fout, die in dit leermiddel zou kunnen voorkomen.

Overal waar u in dit leermiddel de mannelijke vorm hij aantreft, wordt ook de vrouwelijke vorm zij bedoeld.

Kenteq  
Postbus 81  
1200 AB Hilversum

088 - 444 99 00  
serviceteam@kenteq.nl

[www.kenteq.nl](http://www.kenteq.nl)

## Voorwoord

In de reeks uitgaven voor de NEN 3140 en NEN 1010 is dit de 5e druk van het boek 'Werken met de NEN 1010 Pluspakket'

Voor personen die werken in de elektrotechniek is de NEN 1010, Veiligheidsbepalingen voor laagspanningsinstallaties, een belangrijke norm. Van ontwerp tot en met de realisatiefase van een laagspanningsinstallatie is deze norm de basis en leidraad. Binnen de elektrotechnische beroepsopleiding, richting energietechniek, is deze norm dan ook een onlosmakelijk deel van de opleiding.

Dit informatieboek 'Werken met de NEN 1010 Pluspakket' is speciaal voor niveau 4 als aanvulling op het boek 'Werken met de NEN 1010' geschreven.

Beide boeken geven daar waar de NEN 1010 toelichting en/of verduidelijking nodig heeft, de benodigde informatie en zijn geschreven voor de elektrotechnische beroepsopleidingen.

De boeken zijn gebaseerd op de laatste versie van de NEN 1010, de NEN 1010:2015.

Samen vormen deze boeken een compleet naslagwerk.

Tevens zijn verkrijgbaar NEN 1010 opdrachtenboek 1, 2 en 3 en eveneens 3 delen ontwerpen volgens de NEN 1010, voor woning, utiliteit en industrie.

Voor opmerkingen ter verbetering van de lesstof houden wij ons van harte aanbevolen.

De uitgever.



## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Bescherming tegen elektrische schok</b>	<b>7</b>
1.1	Inleiding	7
1.2	Definities	7
1.3	Aardfoutstromen in TT-stelsels	8
1.4	TN-stelsel	9
1.5	Foutspanning en aanrakingsspanning	12
1.6	Gevolgen voor het ontwerp	18
<b>2</b>	<b>Maximale lengte van leidingen die door smeltveiligheden zijn beveiligd tegen kortsluiting</b>	<b>27</b>
2.1	Algemeen	27
2.2	Maximale lengte van leidingen	29
2.3	Fase- en nulader van verschillende doorsnede	33
2.4	Geen nul aanwezig	34
<b>3</b>	<b>Maximale lengte van leidingen die door automaten zijn beveiligd tegen kortsluiting</b>	<b>35</b>
3.1	Inleiding	35
3.2	Algemeen	35
3.3	Rekenvoorbeelden	37
3.4	Ongelijke doorsneden	44
3.5	Antwoorden van de opdrachten	45
<b>4</b>	<b>Selectiviteit van beveiligingstoestellen</b>	<b>47</b>
4.1	Inleiding	47
4.2	Grootheden	47
4.3	Selectiviteit	48
4.4	Cascadeschakelingen	56
4.5	Voorbeeldsituaties	57
4.6	Afschakelvermogen van automaten	60
4.7	Selectiviteit van aardlekschakelaars	62
4.8	Automaten en TL-armaturen met hoogfrequent voorschakelapparaat	64
<b>5</b>	<b>Leiding berekenen van verdeelinrichtingen, minder dan 3 x 80 A</b>	<b>65</b>
5.1	Inleiding	65
5.2	Plaatsbepaling van beveiligingstoestellen	67
5.3	Het berekenen van de voedingsleiding voor een verdeelinrichting	68
<b>6</b>	<b>Leiding berekenen van verdeelinrichtingen, meer dan 3 x 80 A</b>	<b>77</b>
6.1	Inleiding	77
6.2	Voorbeeldberekeningen krachtverdeelinrichting	80
6.3	Voorbeeldberekening licht- en krachtverdeelinrichting	97
6.4	Parallelschakelen van leidingen	101
<b>7</b>	<b>Invloed van de harmonischen op de nulleiding</b>	<b>105</b>
7.1	Inleiding	105
7.2	Voorbeelden, grondbeginselen en arbeidsfactor	107

7.3	Classificatie en effecten van harmonischen	109
7.4	Invloed van hogere harmonischen op de hoogst toelaatbare stroom	110
<b>8</b>	<b>Berekenen van kortsluitstromen in laagspanningsinstallaties</b>	<b>113</b>
8.1	Algemeen	113
8.2	Kortsluitstromen	113
8.3	Kortsluitvastheid en karakteristieke gegevens van beveiligingsmiddelen	127
<b>9</b>	<b>Vochtige en nauwe geleidende ruimten</b>	<b>131</b>
9.1	Vochtige ruimten (rubriek 754)	131
9.2	Nauwe geleidende ruimten (rubriek 706)	132
<b>10</b>	<b>Badruimten, zwembaden en sauna's</b>	<b>135</b>
10.1	Inleiding	135
10.2	Ruimten met een bad of douche (rubriek 701)	135
10.3	Zwembaden en fonteynen (rubriek 702)	141
10.4	Ruimten met saunakachels (rubriek 703)	144
<b>11</b>	<b>Elektrische installaties in medisch gebruikte ruimten</b>	<b>145</b>
11.1	Algemene toelichting bij rubriek 710 medisch gebruikte ruimten	145
11.2	Voedingssystemen	153
11.3	Beschermingsmaatregelen	160
11.4	Beveiliging tegen overstroom	167
11.5	Keuze en installatie van elektrisch materieel	169
11.6	Gedetailleerde eisen voor elektrische installaties voor veiligheidsvoorzieningen	170
11.7	Inspectie van elektrische installaties in medisch gebruikte ruimten	173

# 1 Bescherming tegen elektrische schok

## 1.1 Inleiding

De karakteristieke eigenschappen van de beveiligingstoestellen moeten volgens de NEN 1010 zijn aangepast aan de wijze van aarding van het stroomstelsel.

Het beveiligingstoestel moet de voeding van het beveiligde deel van de installatie bij het optreden van een fout automatisch uitschakelen. Daarom worden er eisen gesteld aan de kerndoorsnede van beschermingsleidingen en aan de beveiligingstoestellen. Bovendien worden er eisen gesteld aan de impedantie van de stroomketen die tijdens het defect tot stand komt.

### Grootheden en aanduidingen

$E$	toestel
$U_A$	aanrakingsspanning
$U_F$	foutspanning
$U_0$	de spanningsval over het totale aardfoutcircuit
$I_F$	foutstroom
$R_A$	weerstand tussen toestel en aarde
$R_B$	bedrijfsaarding
$R_{\text{circuit}}$	weerstand van het aardfoutcircuit
$R_F$	weerstand bij isolatiefout
$R_L$	lichaamsweerstand
$R_{\text{leid}}$	weerstand van de voedingsleiding
$R_M$	weerstand van een vreemd geleidend metalen deel
$R_{\text{PE}}$	weerstand van de PE-leiding
$R_s$	weerstand van de vloer (inclusief schoeisel)
$R_V$	verspreidingsweerstand van de aardelektrode
$Z_L$	impedantie van de voedingsleiding vanaf het sterpunt van de transformator tot aan toestel E
$Z_{\text{leid}}$	impedantie van de voedingsleiding(en)
$Z_T$	impedantie van de transformator

## 1.2 Definities

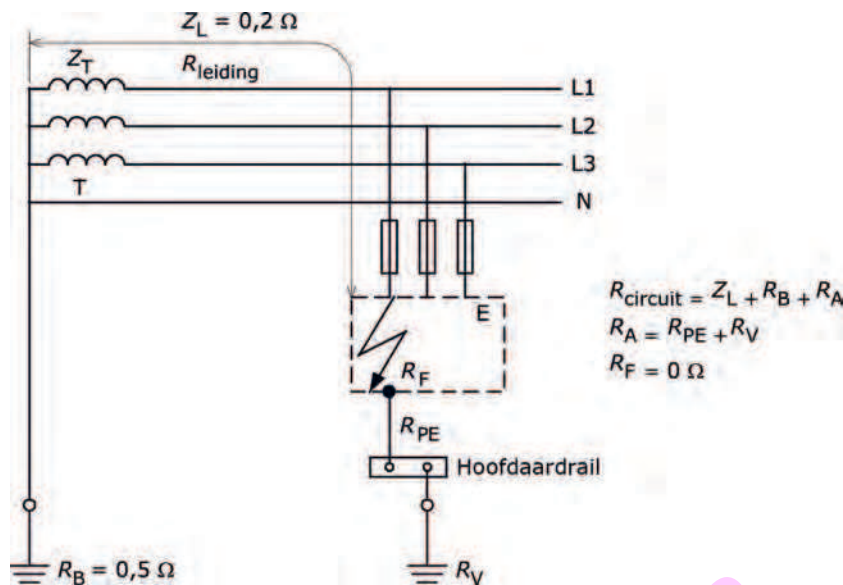
**Foutspanning:** de spanning in geval van een isolatiefout tussen het punt waar de fout optreedt en de referentieaarde (bep. 2.11.02).

**Effectieve aanrakingsspanning:** de spanning in geval van een isolatiedefect tussen geleidende delen die gelijktijdig in aanraking zijn met een mens of dier (bep. 2.11.05).

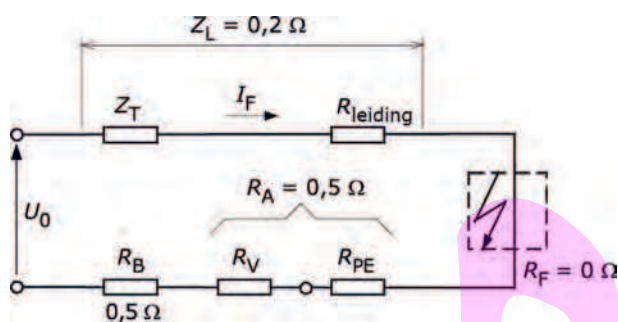
**Foutstroom:** een stroom die als gevolg van een isolatiefout loopt langs het punt waar de fout optreedt (bep. 2.11.11).

**Aardfoutstroom:** een stroom naar aarde ten gevolge van een isolatiedefect of het overbruggen van een isolatie.

### 1.3 Aardfoutstromen in TT-stelsels



Afb.1 Aardfoutstroom in TT-stelsel



Afb.2 Vervangingschema aardfoutstroom in TT-stelsel

In afbeelding 1 en afbeelding 2 is het circuit aangegeven waarin een aardfoutstroom  $I_F$  vloeit bij een isolatiefout in toestel E.

Er wordt geen rekening gehouden met de inductieve weerstand van de leidingen.  $Z_L$  is de impedantie van de transformator  $Z_T$  plus de weerstand van de voedingsleiding  $R_{leid}$ .

De weerstand bij de isolatiefout in het toestel  $R_F = 0 \Omega$ .

De weerstand tussen het toestel en de aarde is  $R_A$ .

De aardfoutstroom is: 
$$I_F = \frac{U_0}{Z_L + R_A + R_B}$$



### Voorbeeld 1

Gegeven:

Netspanning 400/230 V.

$Z_L = 0,2 \Omega$ ,  $R_A = 0,5 \Omega$ ,  $R_B = 0,5 \Omega$ ,  $R_F = 0 \Omega$

Gevraagd:

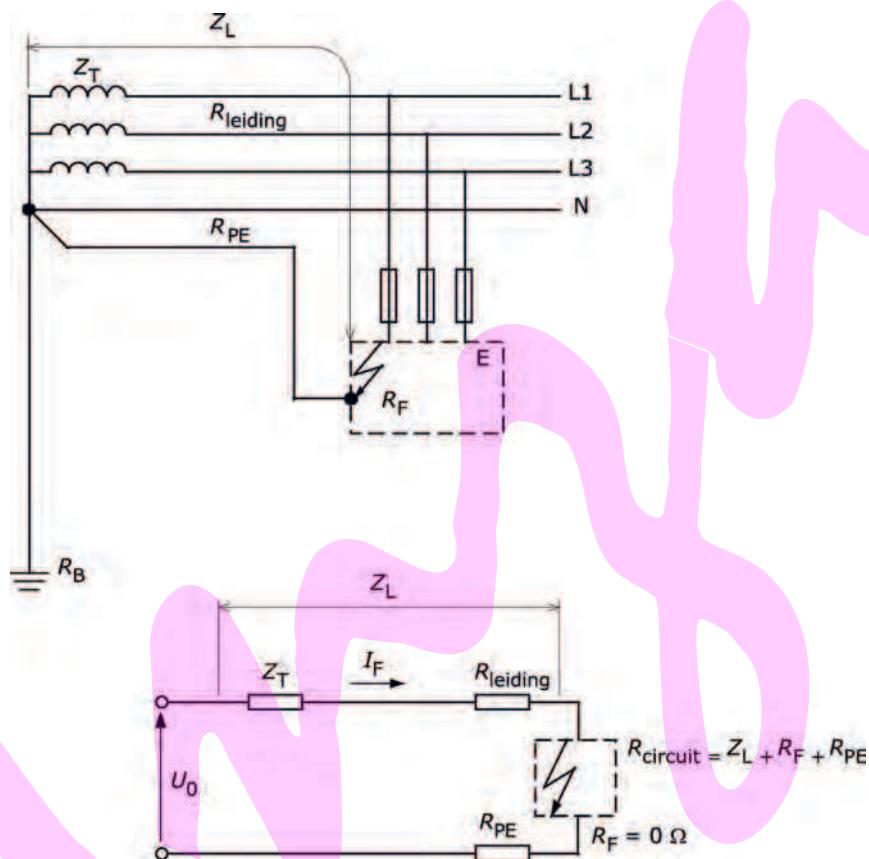
De foutstroom  $I_F$ .

Oplossing:

$$I_F = \frac{U}{Z_L + R_A + R_B} = \frac{230}{0,2 + 0,5 + 0,5} = 191,6 \text{ A}$$

## 1.4 TN-stelsel

### Aardfoutstromen in TN-stelsels



Afb.3 Schema aardfoutstroom in TN-stelsel

De foutstroom  $I_F = \frac{U_0}{Z_L + R_F + R_{PE}} = \frac{U_0}{R_{\text{circuit}}}$

$R_B$  is niet van invloed op de foutstroom.

### Voorbeeld 2

Gegeven:

Netspanning 400/230 V.

$Z_L = 0,2 \Omega$

$R_{PE} = 0,15 \Omega$

$R_F = 0 \Omega$

Gevraagd:

De foutstroom  $I_F$ .

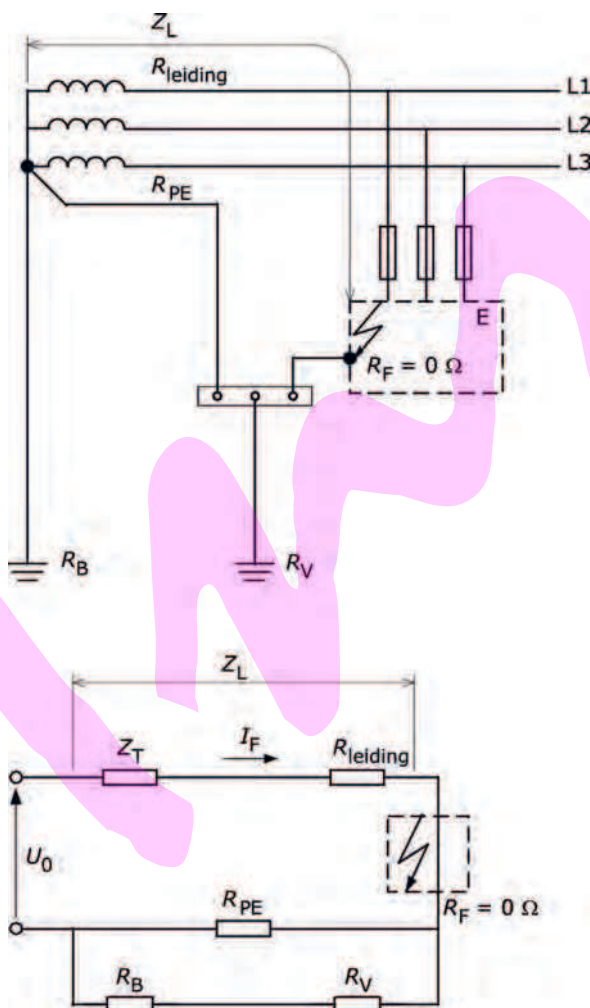
Oplossing:

$$I_F = \frac{U_0}{Z_L + R_F + R_{PE}} = \frac{230}{0,2 + 0 + 0,15} = 657 \text{ A}$$

### Ondersteunende aarde

In de praktijk wordt soms ook nog een aarding van de eigen installatie verlangd.

Deze 'ondersteunende' aarde moet dan vaak een  $R_V$  van  $\leq 2 \Omega$  hebben (zie afbeelding 4).



Afb.4 TN-stelsel met 'ondersteunende' aarde

De weerstand van het aardfoutcircuit is opgebouwd uit  $Z_L$ ,  $R_{PE}$ ,  $R_B$  en  $R_V$ .

De vervangingsweerstand  $R_V'$  van  $R_{PE}$  en  $(R_B + R_V)$ :

$$R_V' = \frac{R_{PE} \times (R_B + R_V)}{R_{PE} + R_B + R_V}$$

De totale circuitweerstand:

$$R_{\text{circuit}} = Z_L + \frac{R_{PE} \times (R_B + R_V)}{R_{PE} + R_B + R_V}$$

### Voorbeeld 3

*Gegeven:*

TN-stelsel 400/230 V met ondersteunende aarde, zie afbeelding 4.

$$Z_L = 0,2 \Omega$$

$$R_{PE} = 0,3 \Omega$$

$$R_B = 0,4 \Omega$$

$$R_V = 2 \Omega$$

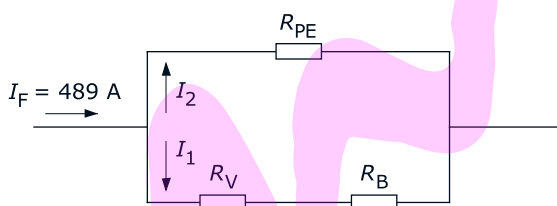
*Gevraagd:*

Bereken de foutstroom  $I_F$ .

*Oplossing:*

$$I_F = \frac{U_0}{R_{\text{circuit}}} = \frac{U_0}{Z_L + \frac{R_{PE} \times (R_B + R_V)}{R_{PE} + R_B + R_V}} = \frac{230}{0,2 + \frac{0,3 \times (0,4 + 2)}{0,3 + 0,4 + 2}} = \frac{230}{0,2 + 0,27} = 489 \text{ A}$$

De stroom door de aarde (via  $R_V$  en  $R_B$ ) is ook te berekenen. De stroom verhoudt zich omgekeerd ten opzichte van de weerstanden (zie afbeelding 5).



Afb.5 Stroom

Uit de berekening volgt de stroom door  $R_V$  en  $R_B$ .

$$\frac{R_{PE}}{(R_V + R_B)} = \frac{0,3}{2,4}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{0,3}{2,4}$$

$$I_2 = \frac{2,4}{2,7} \times 489 = 434,6 \text{ A}$$

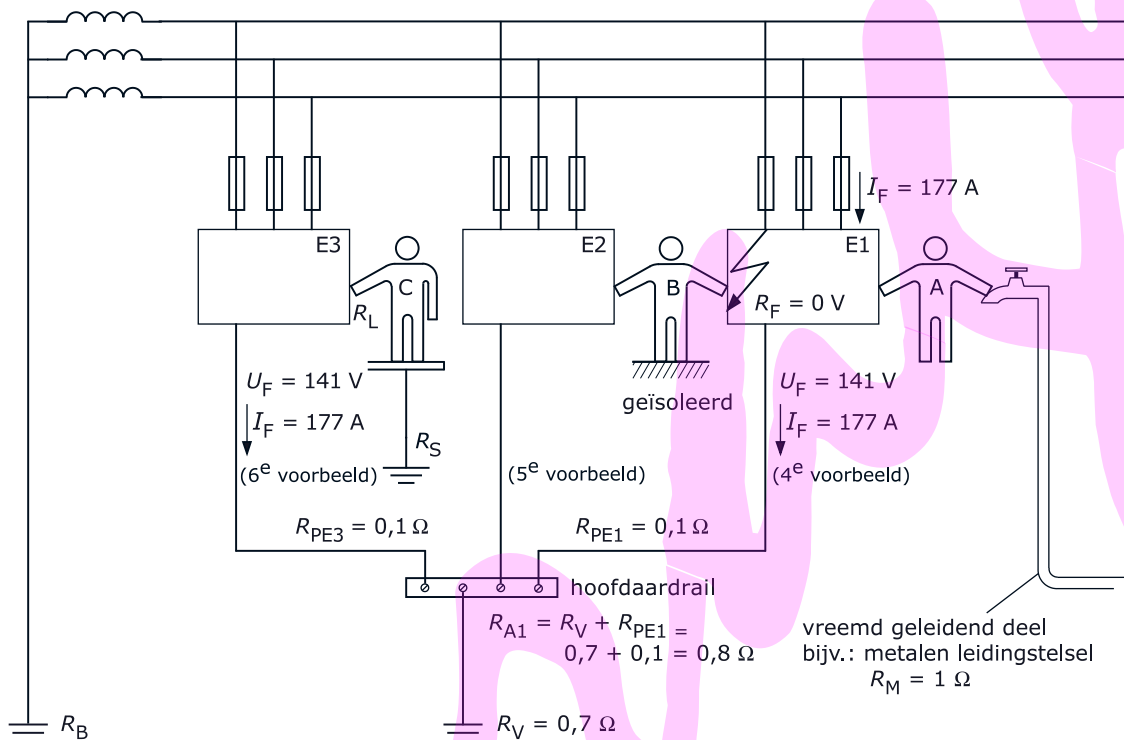
$$\left( I_1 = \frac{0,3}{2,7} \times 489 = 54,3 \text{ A} \right)$$

## 1.5 Foutspanning en aanrakingsspanning

Wanneer er een aardfoutstroom vloeit, zal door de weerstand van beschermingsleidingen en aardverspreidingsweerstand een spanningsverschil ontstaan. Het berekenen van deze spanningsverschillen in TT- en TN-stelsels wordt in deze paragraaf nader toegelicht.

De begrippen foutspanning en aanrakingsspanning worden in de praktijk vaak met elkaar verward. Daarom volgen enkele voorbeelden, zie afbeelding 6 van het TT-stelsel met de personen A, B en C.

### TT-stelsel



Afb.6 Foutspanning en aanrakingsspanning in TT-stelsel

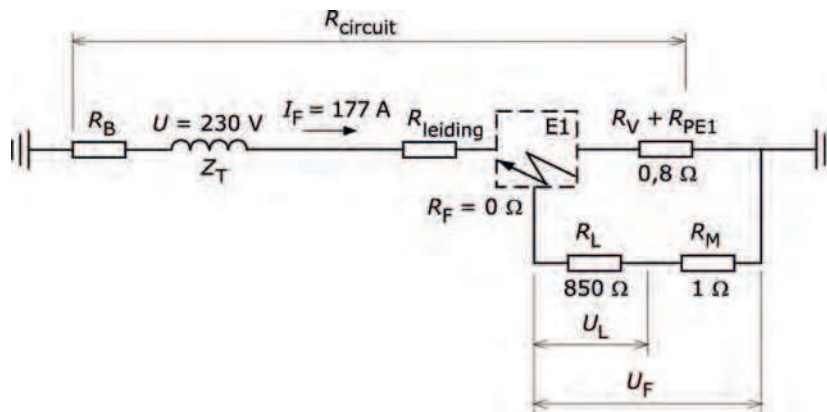
#### Voorbeeld 4

Persoon A raakt tegelijk toestel E1 en een vreemd geleidend deel (metalen leidingstelsel) aan. Toestel E1 is via een beschermingsleiding verbonden met de aardelektrode (zie afbeelding 6).

De metalen leiding heeft geen verbinding met de genoemde aardelektrode. De metalen leiding heeft een weerstand ( $R_M$ ) ten opzichte van de aarde van  $1 \Omega$ .

Bij een isolatiedefect in toestel E1 ( $R_F = 0 \Omega$ ) staat tussen het toestel en aarde een spanningsverschil. Deze spanning is de foutspanning ( $U_F$ ). Stel  $Z_L + R_B = 0,5 \Omega$ .

Let erop dat de potentiaal van de metalen leiding niet verandert.



Afb.7 Vervangingschema van persoon A

$$\text{De foutstroom } I_F = \frac{U_0}{(R_B + Z_L) + R_F + (R_V + R_{PE1})} = \frac{230}{1,3} = 177 \text{ A}$$

De foutspanning is dan  $I_F \cdot (R_V + R_{PE1}) = 177 \text{ A} \times 0,8 \Omega = 141 \text{ V}$ . Stel de lichaamsweerstand van *Persoon A* is  $850 \Omega$ , de stroom door het lichaam is dan:

$$\frac{U_F}{R_L + R_M} = \frac{141}{850 + 1} = 166 \text{ mA}$$

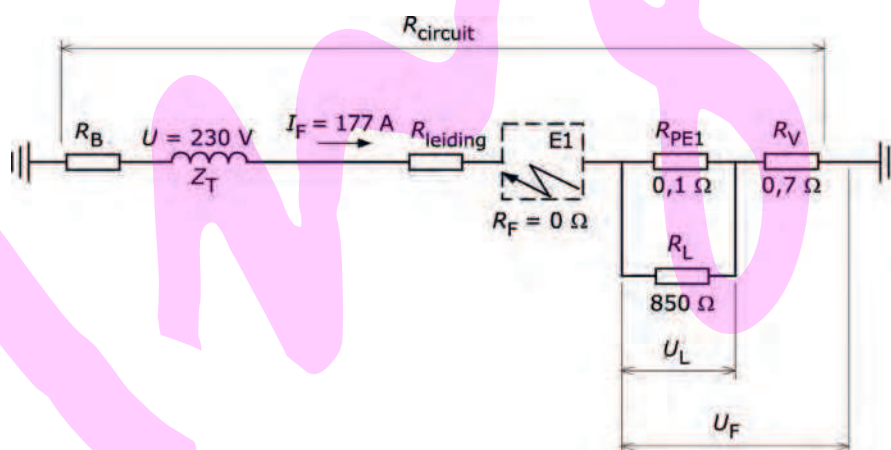
### Voorbeeld 5

*Persoon B* staat geïsoleerd opgesteld en raakt de metalen gestellen van toestellen E1 en E2 aan. Het spanningsverschil tussen E1 en E2 is de aanrakingsspanning.

De foutstroom door toestel E1  $I_F = 177 \text{ A}$ .

De foutspanning  $U_F = I_F \cdot R_{A1} = 177 \times 0,8 = 141 \text{ V}$ .

De aanrakingsspanning  $U_L = I_F \cdot R_{PE1} = 177 \times 0,1 = 17,7 \text{ V}$  is de spanning die over de beschermingsleiding PE1 staat.



Afb.8 Vervangingschema van persoon B

### Conclusie:

Bij persoon A is de foutspanning  $U_F =$  aanrakingsspanning  $U_L = 141 \text{ V}$ .

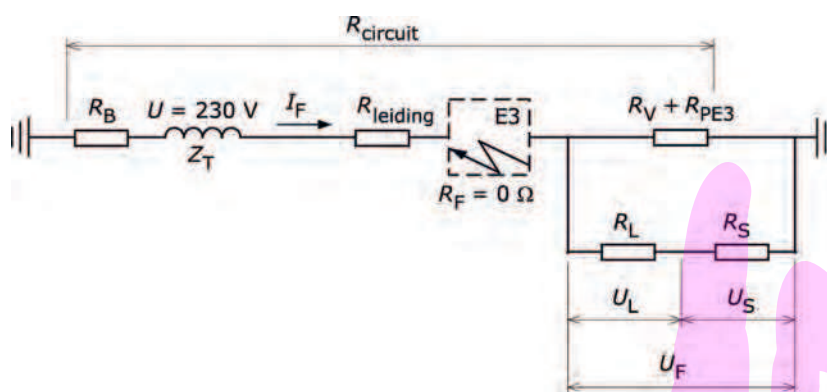
Bij persoon B is de foutspanning ook  $141 \text{ V}$  en de aanrakingsspanning  $U_L = 17,7 \text{ V}$ .

Zou de metalen leiding volgens bepaling 411.3.1.2 door middel van een beschermende vereffeningsleiding zijn verbonden met de hoofdaardrail, dan was de aanrakingsspanning van persoon A gelijk geweest aan de aanrakingsspanning van persoon B (er van uitgaande dat de weerstand van de vereffeningsleiding ook  $0,1 \Omega$  is). Het doorverbinden van vreemde geleidende delen met de hoofdaardrail van een TT-stelsel verlaagt dus de kans op het optreden van een gevaarlijke aanrakingsspanning.

### Voorbeeld 6

*Persoon C.* In plaats van in toestel E1 ontstaat een isolatiefout in toestel E3. Persoon C is in aanraking met het metalen gestel. Hij staat met zijn benen op de vloer die niet volledig geïsoleerd is.

We krijgen de situatie die schematisch in afbeelding 9 is weergegeven.



Afb.9 Vervangingschema van persoon C

De lichaamsweerstand ( $R_L$ ) van een mens is afhankelijk van de aanrakingsspanning en varieert meestal, gemeten tussen hand-hand, tussen  $1.450 \Omega$  (bij  $50 \text{ V}$ ) en  $1.000 \Omega$  (bij  $230 \text{ V}$ ).

De lichaamsweerstand bij aanraking tussen twee handen en twee voeten is de helft van de eerder genoemde waarden. De weerstand van de vloer, inclusief het schoeisel ( $R_S$ ) kan in normale gevallen op  $1.000 \Omega$  worden gesteld. Stel de circuitweerstand  $R_{\text{circuit}}$  is hier  $1,3 \Omega$ .

De foutstroom bij  $230 \text{ V}$  is dan:

$$I_F = \frac{U_0}{R_{\text{circuit}}} = \frac{230}{1,3} = 177 \text{ A}$$

Als  $R_V + R_{PE3}$   $0,8 \Omega$  is, dan is de foutspanning

$$U_F = I_F \cdot (R_V + R_{PE3}) = 177 \times 0,8 = 141 \text{ V.}$$

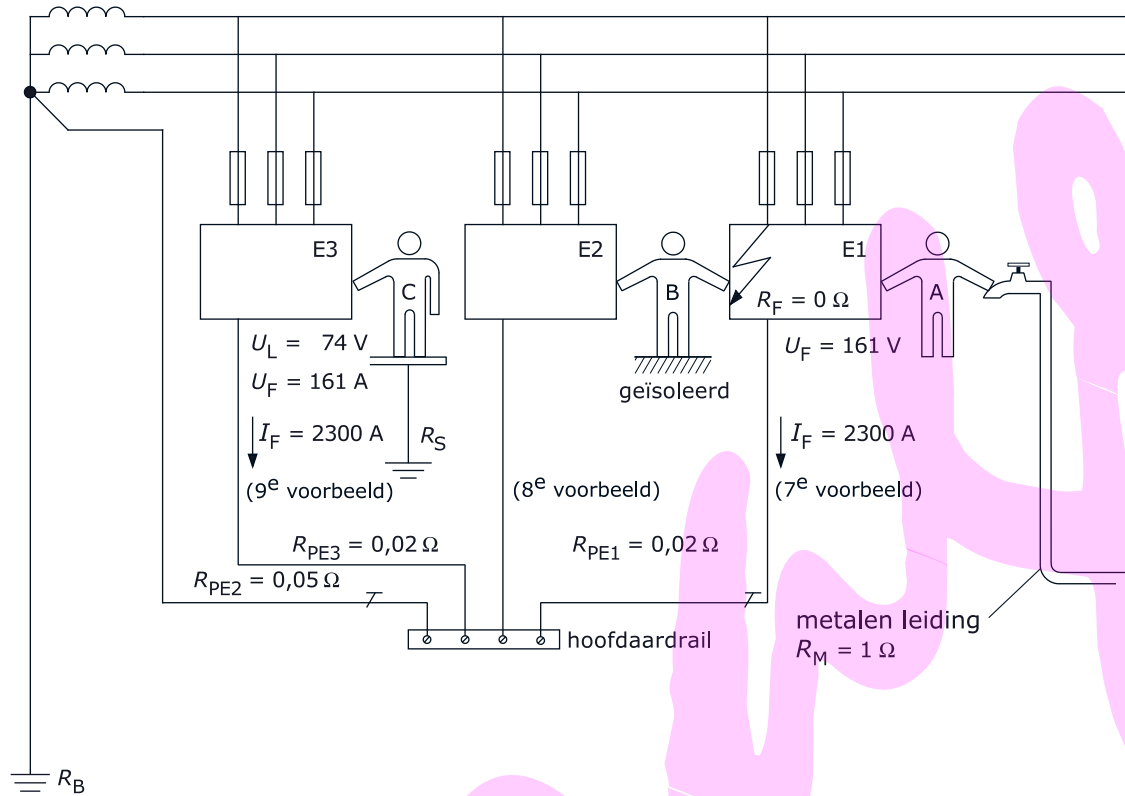
Als persoon C in deze situatie een lichaamsweerstand  $R_L$  van  $850 \Omega$  heeft en de vloerweerstand inclusief schoeisel ( $R_S$ )  $1.000 \Omega$  bedraagt, dan is de aanrakingsspanning maar een deel van de foutspanning.

Hiervoor geldt:

$$U_L = \frac{R_L}{R_L + R_S} \times U_F \Rightarrow U_L = \frac{850}{1.850} \times 141 \approx 65 \text{ V}$$

## TN-stelsel

Indien identieke situaties zich in een TN-stelsel voordoen dan geldt het volgende (zie afbeelding 10).



Afb.10 Foutspanning en aanrakingsspanning in TN-stelsel