

Binnen de Elektrotechniek worden stroomstelsels (NEN 1010-1) gebruikt. Elk stelsel heeft zijn specifieke eigenschappen en kenmerken en zal in dit hoofdstuk worden behandeld. Voor de indeling van stroomstelsels wordt gebruik gemaakt van twee letters:

1^{ste} letter: Wijze van aarding van de voedingsbron;

2^e letter: Wijze van aarding van het metalen gestel

Voorbeelden:

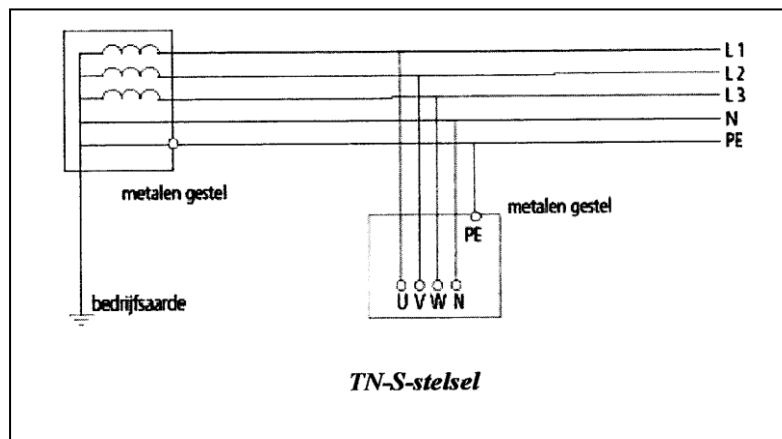
Voedingsbron	Metalengestel	Stelsel
T= 'terra'= aarde	S = 'separated'	TN-S; de Nul en PE zijn gescheiden.
T	C= 'combined'	TN-C; de Nul en PE zijn gecombineerd tot een PEN.
T	T	TT-Stelsel
I = 'Isolated'	T	IT=stelsel

8.2 TN-Stelsel

Een TN-stelsel wordt gekenmerkt door een aarde die wordt afgeleid van het gearde sterpunt van de transformator. Er zijn in totaal drie typen TN-stelsels te onderscheiden:

1. TN-S Door de gehele installatie is een aparte beschermingsleiding gebruikt.
2. TN-C Door de gehele installatie zijn de nul en beschermingsleiding gecombineerd.
3. TN-CS In een deel van de installatie zijn de nul en de beschermingsleiding gecombineerd.

8.2.1 TN-S stelsel

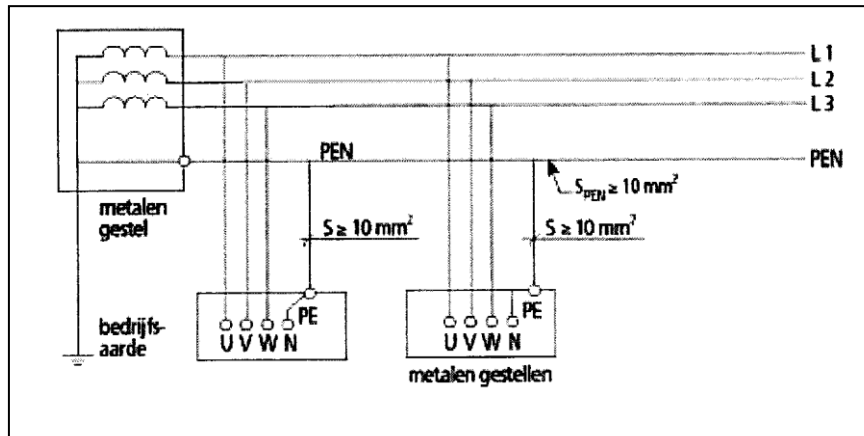


De kenmerken van het TN-S stelsel zijn als volgt

- de aarding voorziening is verkregen door een directe koppeling met het sterpunt van de voedingsbron;
- de aardfoutstroom kan duizenden ampère bedragen;
- bij elke installatie toepasbaar, bij grotere installaties kan geen TT-stelsel worden toegepast dus is alleen TN-stelsel mogelijk;

- de nul- en beschermingsleiding worden afzonderlijk uitgevoerd.
Bij kleinere doorsneden is dit ook vereist (bij doorsneden $<10 \text{ mm}^2$ koper of $<16 \text{ mm}^2$ aluminium);
- bij kleinverbruikers worden door het elektriciteitsbedrijf (naast de fase(n)) de nul en aarde met een afzonderlijke leiding aangeleverd.

8.2.3 TN-CS stelsel



De kenmerken van een TN-CS stelsel zijn:

- de aardingsvoorziening is verkregen door een directe koppeling met het sterpunt van de voedingsbron;
- de aardfoutstroom kan duizenden ampere bedragen;
- bij elke installatie toepasbaar, bij grotere installaties kan geen TT-stelsel worden toegepast, dus is alleen

TN-stelsel mogelijk;

- de nul- en beschermingsleiding worden gedeeltelijk gecombineerd en gedeeltelijk afzonderlijk uitgevoerd.

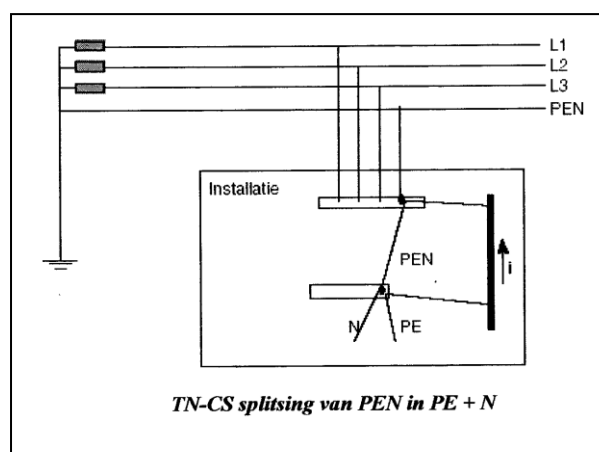
Bij kleinere doorsneden is scheiding vereist

(bij doorsneden $<10 \text{ mm}^2$ koper of $<16 \text{ mm}^2$ aluminium).

De opbouw van een TN-CS-stelsel is nooit eenduidig. In afbeelding is bij een tweede onderverdeelinrichting een splitsing gemaakt van de PEN-leiding in een afzonderlijke PE- en N-leiding. Daarnaast is zowel bij de hoofd- als de onderverdeelinrichting een verbinding gemaakt door middel van een potentiaal vereffening leiding met een metalen leidingstelsel. Dit zou echter ook een kabelgoot kunnen zijn of onderdelen van een metalen constructiewerk.

Een groot nadeel van dit systeem is dat de nulstroom nu niet alleen via de gebruikelijke voedingskabels (PEN-leiding) terug loopt naar de bron maar ook gedeeltelijk via het pad gecreëerd door de potentiaal vereffening leidingen en het metalen leidingstelsel.

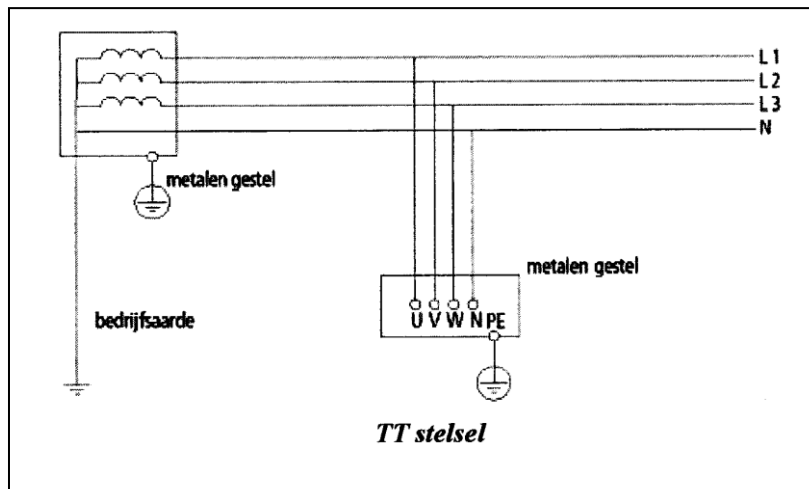
Rondom al deze leidingen ontstaat nu een magnetisch veld wat voor verstoring kan zorgen. Dus een uitermate slecht stelsel wat betreft EMC- aspecten.



Ten aanzien van persoonsbeveiliging gelden dezelfde voordelen als bij een TN-S stelsel. Een nadeel is wel dat bij een breuk in de PEN- leiding er spanning op de toestellen komt te staan. Om deze reden is aan de toepassing van een PEN- leiding ook een minimale doorsnede verbonden. Ten aanzien van de aspecten bescherming van apparatuur en betrouwbaarheid gelden dezelfde punten als bij het TN-S stelsel.

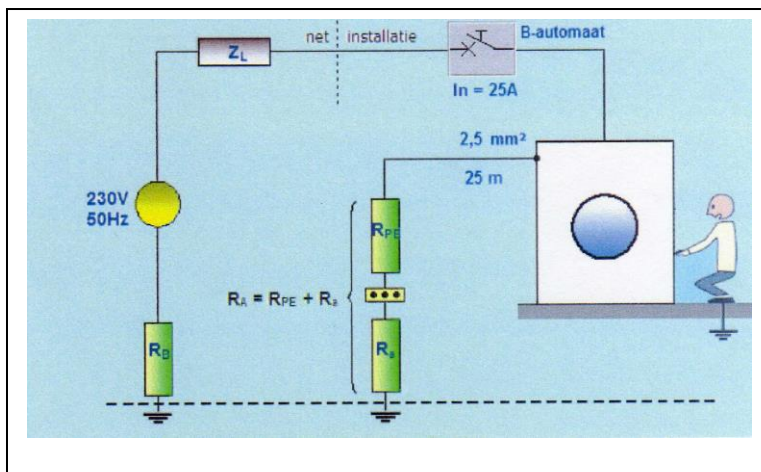
Toepassing van een TN-CS stelsel spaart enig koperwerk maar dit zal niet opwegen tegen de EMC problemen die kunnen optreden.

8.2.4. TT-stelsel



De kenmerken van een TT-stelsel zijn:

- installatie heeft eigen aarding voorziening of gemeenschappelijke voorziening met meerdere installaties;
- aardfout stroom bedraagt maximaal twee- a driehonderd ampère;
- alleen geschikt voor installaties waarbij de aarding voorziening gebaseerd kan worden op beveiliging toestellen met een nominale waarde tot circa 40 A. (afgezien van aardlekbeveiliging);
- kan niet worden toegepast bij industriële installaties;
- wordt merendeel gebruikt voor tot bewoning bestemde gebouwen of plaatsen.



$$R_A \leq 166 \Omega$$

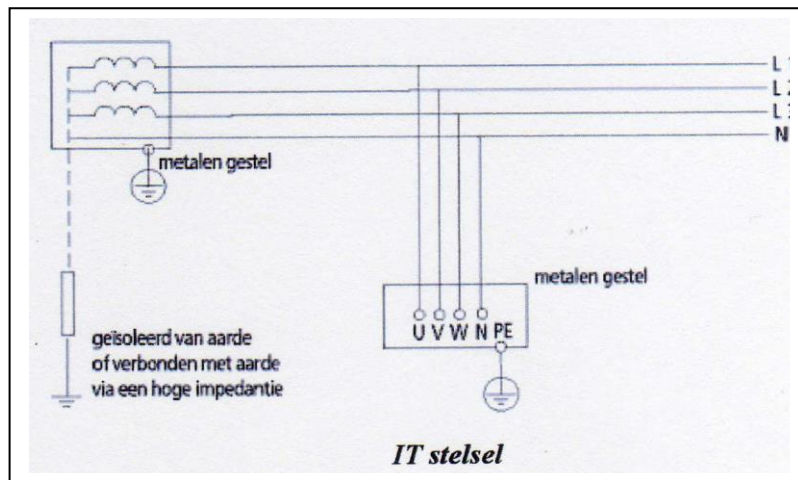
$$R_a = R_A - R_{PE}$$

$$R_{PE} = 0.22 \Omega$$

$$R_a = 166 - 0.2 = 165.8 \Omega$$

Praktische voorbeelden TT-stelsel

8.2.5 IT-stelsel



De kenmerken van een IT-stelsel zijn als volgt:

- de voedingsbron is zwevend;
- bij een eerste defect wordt de foutstroom alleen bepaald door een mogelijke capacatieve koppeling van actieve delen met aarde en zal de aardfoutstroom dus zeer klein zijn;
- bij een eerste defect hoeft nog geen uitschakeling plaats te vinden, wat het grote voordeel is van een IT-stelsel;
- de gestellen in de installatie zijn door middel van een eigen aardingsvoorziening met aarde verbonden.

8.3 Te schakelen en te beveiligen polen bij de verschillende stelsels:

Stroomstelsel	schakelen		beveiligen	
	1-fase	3-fasen	1-fase	3-fasen
TN-S	L, N ¹⁾	L1, L2, L3, N ¹⁾	L	L1, L2, L3
TN-C ²⁾	L	L1, L2, L3	L	L1, L2, L3
TT	L, N	L1, L2, L3, N	L	L1, L2, L3
IT	L, N	L1, L2, L3, N	L, N	L1, L2, L3, N

Tabel schakelen en beveiligen van de polen

1) In TN-S en TN-CS stelsels hoeft de nulleiding (N) niet te worden geschakeld of gescheiden indien de

netbeheerder verklaart dat de PEN of de N van de voeding op betrouwbare wijze via een voldoende lage weerstand is verbonden met aarde.

2) In een TN-C stelsel mag de gecombineerde PE en N (PEN-geleider) nooit worden geschakeld

8.4 Wetenswaardigheden PEN-verbindingen

Splitsing PEN-leiding in nul en beschermingsleiding

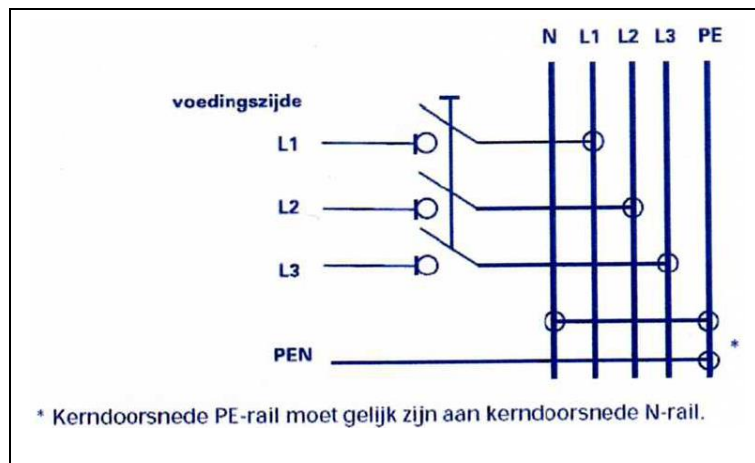
Er wordt gesteld (Bepaling 546.2.3) dat op de plaats van overgang van PEN-leiding naar gescheiden nul en beschermingsleiding voor deze leidingen afzonderlijke klemmen of rails aanwezig moeten zijn. De PEN-leiding moet zijn aangesloten op de klem of rail voor de beschermingsleiding. Hiermee wordt de maximale bedrijfszekerheid van de aarding voorziening verkregen (minimaal aantal verbindingen). Na de plaats van overgang mogen nul en beschermingsleiding niet meer met elkaar zijn verbonden.

In de praktijk wordt nog wel eens "gezondigd" tegen dit voorschrift. Hierna worden voorbeelden aangegeven hoe het splitsen van de PEN-leiding correct kan worden uitgevoerd, afhankelijk van het aantal polen van de hoofdschakelaar en rail opbouw in de hoofdverdeler. De voorkeur gaat uit naar het minimaal aantal verbindingen. Ook worden enkele fouten getoond.

8.4.1 Splitsing PE en N bij driepolige hoofdschakelaar en hoofdverdeler [HVD] met PE- en N-rail

Voorkeur

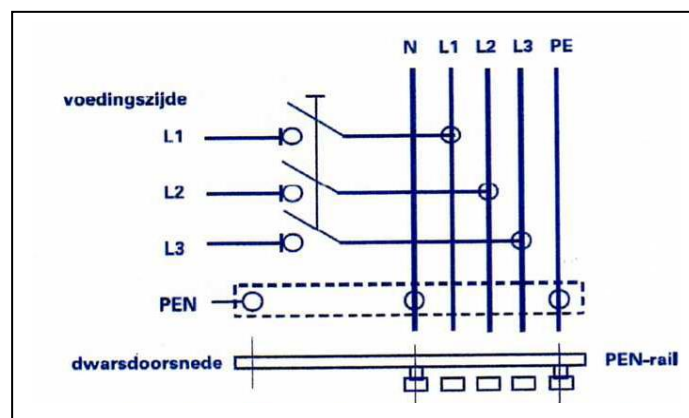
PEN-leiding aansluiten op PE-rail. Verbinding maken tussen PE-rail en N-rail van hoofdverdeler. (zie afbeelding)



Splitsing PE en N by 3-polige hoofdschakelaar en HVD met PE- en N-rail

Alternatief 1:

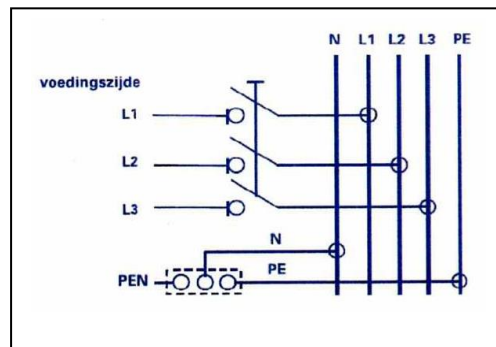
PEN-leiding aansluiten op de PEN-rail naast de hoofdschakelaar. Vanaf de PEN-rail een doorverbinding maken naar de N-rail en de PE-rail, (zie afbeelding)



Alternatief 1: splitsing PE en N bij 3-polige hoofdschakelaar en HVD met PE- en N-rail

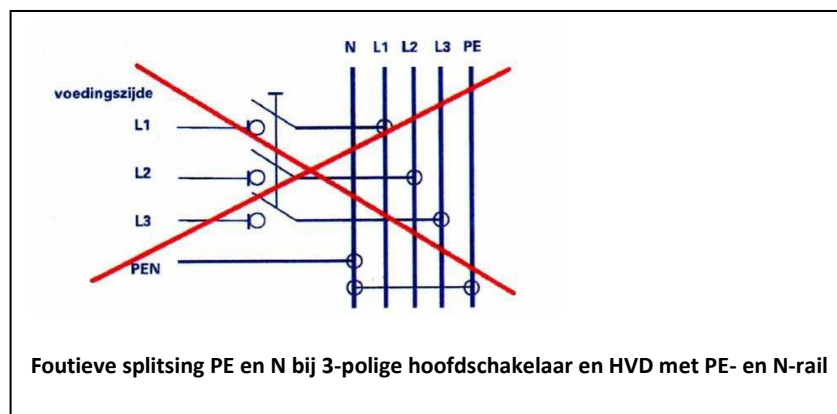
Alternatief 2 :

PEN-leiding aansluiten op PEN-railtje naast hoofdschakelaar. Nul aansluiten op PEN-railtje en N-rail van hoofdverdeler. PE-leiding aansluiten op PEN-railtje en PE-rail van hoofdverdeler, (zie afbeelding)



Foutieve splitsing PE en N bij 3-polige hoofdschakelaar en HVD met PE- en N-rail

Foutieve splitsing PEN-leiding bij 3-polige hoofdschakelaar en HVD met PE- en N-rail
Hierbij wordt de PEN-leiding aangesloten op N-rail van de hoofdverdeler. Vanaf de N-rail wordt verbinding gemaakt met de PE-rail van de hoofdverdeler, zie afbeelding. Dit is in strijd met bepaling 546.2.3. De PEN-leiding moet zijn aangesloten op de klem of rail voor de beschermingsleiding.
(Zie afbeelding)

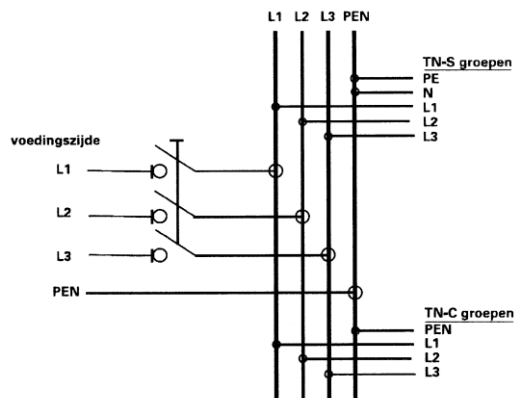


In de praktijk schijnt het ook voor te komen dat de PE-rail en de N-rail beide als PEN-rail gebruikt worden. Behalve dat dit in strijd is met bepaling 546.2.3, wordt dit ook uit oogpunt van overzichtelijkheid van de installatie ontraden.

8.4.2 Splitsing PE en N bij 3-polige hoofdschakelaar en HVD met PEN-rail

De splitsing tussen PE en N ten behoeve van afgaande groepen met TN-S vindt plaats op de hoofdverdeler of bij de Trafo.

Voor TN-C groepen kan de splitsing "verderop" plaatsvinden bij onderverdelers, (zie afbeelding)

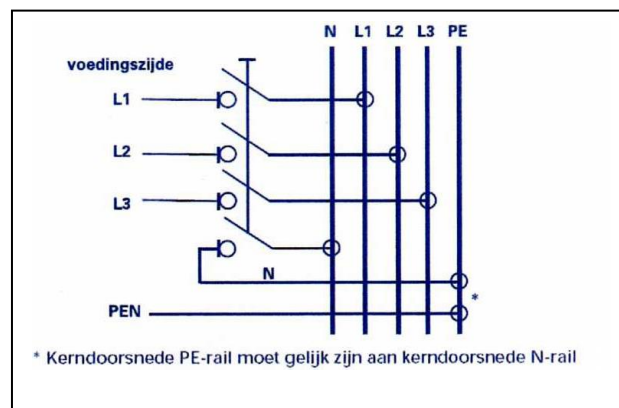


Splitsing PE en N bij 3-polige hoofdschakelaar en HVD met PEN-rail

8.4.3 Splitsing PE en N bij 4-polige hoofdschakelaar en HVD met PE- en N-

Voorkeur :

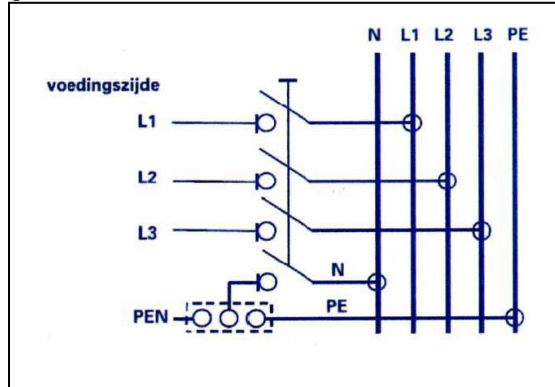
PEN-leidung aansluiten op PE-rail hoofdverdeler. Nul aansluiten op PE-rail HVD en nulaansluiting hoofdschakelaar PEN-leiding aansluiten op PEN-railtje naast hoofdschakelaar. zie afbeelding.



Voorkeur splitsing PE en N bij 4-polige hoofdschakelaar en HVD met PE en N-rail.

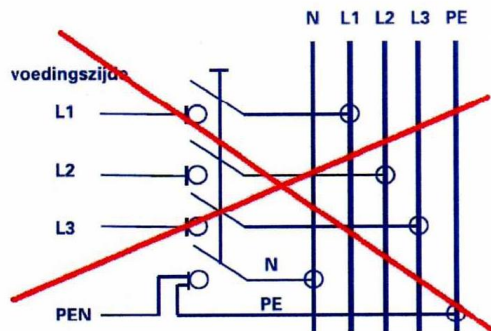
Alternatief

Nul aansluiten op PEN-railtje en hoofdschakelaar. PE-leiding aansluiten op PEN-rail en PE-rail van hoofdverdeler. zie afbeelding



Alternatief splitsing PE en N bij 4-polige hoofdschakelaar en HVD met PE en rail

Foutieve splitsing PEN-leiding bij 4-polige hoofdschakelaar en HVD met PE en N-rail
Hierbij wordt de PEN-leiding aangesloten op nulaansluiting van de hoofdschakelaar. Vanaf de nulaansluiting wordt een aansluiting gemaakt met de PE-rail van hoofdverdeler, zie afbeelding Dit is in strijd met bepaling 546.2.3. Er ontstaat hierdoor een extra verbinding in de PEN-leiding, wat ten koste gaat van de betrouwbaarheid. Bij het vervangen van de hoofdschakelaar wordt de PEN-leiding onderbroken.



Foutieve splitsing PE en N bij 4-polige hoofdschakelaar en HVD met PE en N-rail

Brongegevens: Stroomlijn januari 2004

8.5. Veiligheidsketens (NEN1010-4: rubriek 411)

8.5.1 Algemeen

SELV- en PELV-keten

SELV en PELV staat voor:

- SELV (Safe Extra Low Voltage) - keten
- PELV (Protected Extra Low Voltage) -keten

Er is een beschermingsmaatregel die werkt als bescherming tegen zowel directe als indirecte aanraking. Die bestaat uit het toepassen van een Veilige Zeer lage spanning, de SELV- of PELV-keten.

De maximale spanning die op deze ketens mag komen te staan, bedraagt 50 volt voor

wisselspanning en 120 volt voor gelijkspanning. Deze beschermingsmaatregel wordt niet veelvuldig toegepast, omdat de lage spanning vanzelfsprekend leidt tot hogere stromen. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat er eenzelfde vermogen moet worden geleverd. Alleen in bijzonder ongunstige situaties wordt een SELV- of PELV-keten toegepast. Hierbij kan gedacht worden aan:

- situaties waarbij een lage lichaamsweerstand en veel contact met aardpotentiaal optreden;
- situaties waarbij ondeskundig met elektriciteit kan worden omgegaan, denk bijvoorbeeld aan kinderspeelgoed.

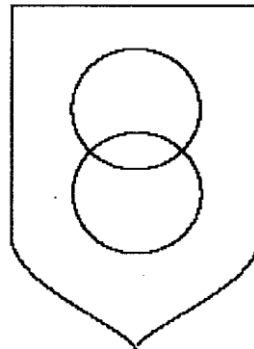
Om er verzekerd van te zijn dat op de SELV- of PELV-keten geen hogere spanning komt te staan dan de genoemde veilige spanning, moeten er eisen worden gesteld aan de voedingsbron en aan de secundaire aanleg.

De voedingsbron

Voor wisselspanning moet gebruik worden gemaakt van een veiligheidstransformator. Deze transformator bestaat uit twee gescheiden wikkelingen met een geaard scherm tussen de wikkelingen. Door deze opbouw is de kans op een sluiting tussen het primaire en secundaire deel uitgesloten. Deze veiligheidstransformator moet zijn voorzien van het symbool zoals afgebeeld

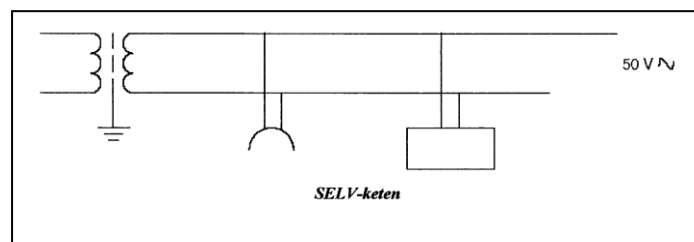
Deze voedingsbron wordt het meest toegepast voor een SELV- of PELV- keten. In de NEN 1010 worden nog een aantal andere mogelijkheden genoemd.

Symbool voor veiligheidstransformator



8.5.2

SELV



8.5.2.1 De secundaire aanleg

Het is nu van belang om de veiligheid, dat is verkregen door het toepassen van een goede voedingsbron, niet teniet te doen door een slechte aanleg van de rest van de SELV-keten. Dit betekent in de praktijk dat er een duidelijke scheiding moet zijn in de aanleg van de SELV-keten en stroomketens van andere stelsels.

Dit houdt onder andere in:

- De SELV-keten moet vrij van aarde blijven;
- Wandcontactdozen, aangesloten op een SELV-keten mogen geen beschermingscontact hebben;
- Toestellen, aangesloten op een SELV-keten, moeten geïsoleerd ten opzichte van aarde worden geplaatst;
- Er moet een deugdelijke isolatie zijn tussen de SELV-keten en andere stroomketens;
- Wandcontactdozen van een SELV-keten moeten onverwisselbaar worden uitgevoerd ten opzichte van contactdozen van andere stroomketens.

Ook al gaat het dan om een veilige spanning, toch moeten actieve delen van een SELV-keten tegen directe aanraking worden afgeschermd. Hiervoor kunnen afschermingen of omhulsels worden gebruikt (minimaal IP 2X) of isolatiemateriaal.

De SELV-keten wordt namelijk toegepast in ongunstige situaties waarbij het niet gegarandeerd is dat bijvoorbeeld 50 V wisselspanning voldoende laag is om te spreken van een veilige spanning. De afscherming kan wel achterwege blijven als de spanning wordt teruggebracht tot 25 volt wisselspanning of 25 volt gelijkspanning met rimpel of 60 V gelijkspanning zonder rimpel.

8.5.2.2 Het gebruik van SELV-ketens

SELV- ketens hebben o. a. de volgende toepassingen:

Kinderspeelgoed

Deurbel

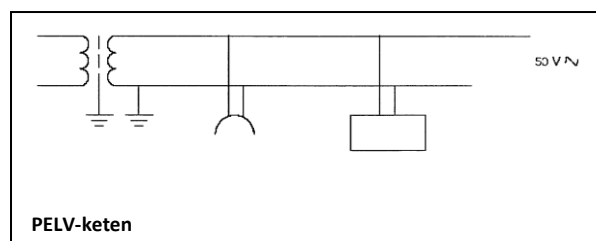
Practica op scholen;

Veiligheidsstrafo's voor nauw geleidende ruimtes b.v. kruipgaten, trommels, tanks enzovoort;

Specifieke verlichting in zone 0 van een badkamer.

8.5.3 PELV

De PELV-keten is de geaarde versie van de SELV-keten

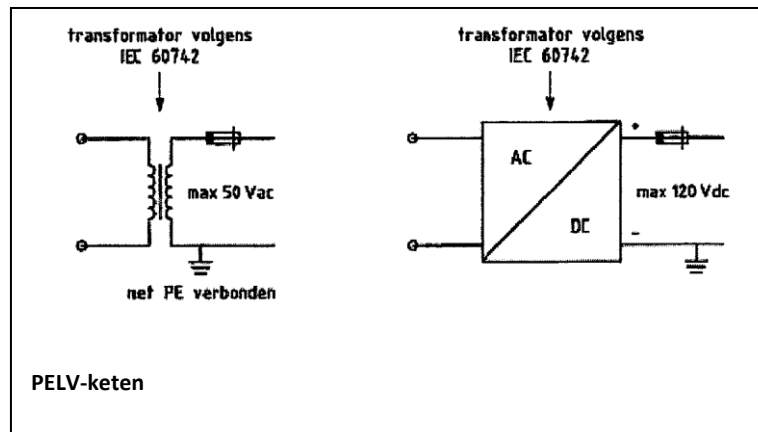


8.5.3.1 Het gebruik van PELV-ketens

PELV staat voor 'Protected Extra Low Voltage'. De term 'protected' betekent dat één van de beide aansluitingen van de ELV-keten met aarde (PE) verbonden is, zodat de spanning ten opzichte van aarde nooit hoger kan zijn dan de bron-spanning van de ELV-keten.

Door de stroom te laten werken op een spanning van 24 VAC maken we zinnig gebruik van een PELV-keten. Dit geeft dan tevens een beveiliging tegen indirecte aanraking, omdat de foutspanning nooit groter kan worden dan de toch al veilige voedingsspanning. NEN-EN-IEC 60204-1 (machine richtlijn) stelt een aantal eisen, dat aan de realisatie van een PELV-keten moeten worden gesteld.

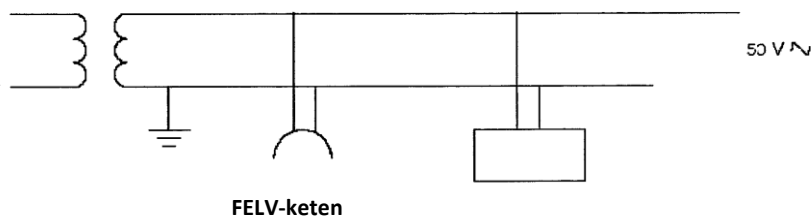
In afbeelding zijn een aantal belangrijke eisen schematisch weergegeven.



8.5.4 FELV

In FELV-ketens hoeft de spanning met onder alle omstandigheden (zoals bij een storing) onder de grenswaarde van 50 V AC of 120 V DC te blijven. Nog afgezien van de omgevingsomstandigheden waardoor deze spanning bijvoorbeeld bij vocht teruggebracht wordt tot 25 V AC en 60 V DC zoals in de machinebouw of zelfs tot 12 V AC en 30 V DC in het water.

Ook worden er geen specifieke eisen gesteld aan galvanische scheiding tussen de voedingsbron en de secundaire aanleg. FELV staat voor 'Functional Protected Extra Low Voltage'.



In FELV-ketens hoeft de spanning niet onder alle omstandigheden (zoals bij een storing) onder de grenswaarde van 50 V AC of 120 V DC te blijven. Nog afgezien van de omgevingsomstandigheden waardoor deze spanning bijvoorbeeld bij vocht teruggebracht wordt tot 25 V AC en 60 V DC zoals in de machinebouw of zelfs tot 12 V AC en 30 V DC in het water.

De NEN 3140 laat daarom alleen werkzaamheden in FELV-ketens toe als voorafgaand de spanningen ten opzichte van aarde en tussen de actieve delen onderling zijn gemeten en deze de ontwerpwaarde niet te boven gaan.

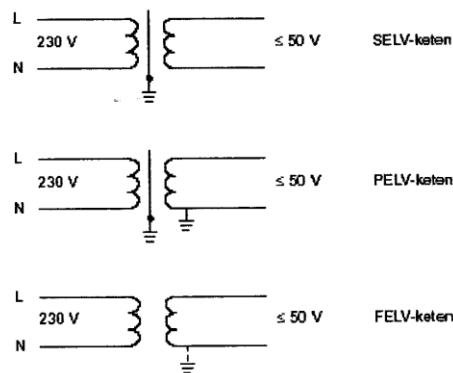
8.6 Specifieke eisen voor installaties met zeer lage spanning

In aanvulling op de NEN EN 50110-1 (NEN3140) zijn werkzaamheden aan SELV-, PELV- en FELV-ketens alleen toegelaten voor ketens;
met een beveiliging tegen overstroom van 25 A en een vermogen van ten hoogste 1250 VA

Praktisch betekent dit voor AC geen belemmering met het product van spanning en stroom. Immers een ELV-keten mag ten hoogste een spanning voeren van 50 V AC. Het product van 50 V en 25 A levert het maximaal toelaatbare vermogen op van 1250 VA. Voor gelijkspanningssystemen ligt dit anders. Hierbij mag de spanning hooguit 120 V DC bedragen. In de praktijk kan dit dat i.v.m. vermogen een begrenzing in stroom betekenen van bijvoorbeeld een noodvoeding van 110 V DC. (10 A)

8.7 overzicht tekenwijze

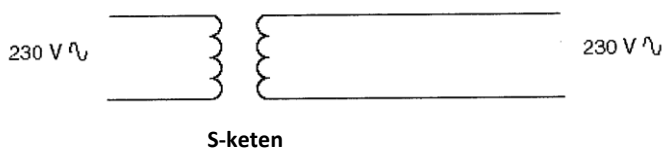
In de afbeelding is het verschil tussen SELV-, PELV- en een FELV-keten schematisch weergegeven.



Het verschil tussen SELV-, PELV en FELV

8.8 S-keten

De S-keten is een keten met een beschermingstransformator, waarbij de secundaire keten, de S-keten, geïsoleerd is ten opzichte van aarde. De S staat voor 'separate' bij een S-keten.



Voordeel van deze keten is dat bij een defect in de keten er geen stroom door het menselijke lichaam kan gaan lopen. Er is immers geen gesloten circuit. Er kan hooguit sprake zijn van een kleine lekstroom, omdat er ook een zekere capaciteit tussen de leidingen en aarde aanwezig is. Om deze lekstroom te beperken worden aan de S-keten bepaalde eisen gesteld:

- een maximale spanning van 500 V;
- een maximale lengte van 500 m.

Verder worden er aan de S-keten nog de volgende eisen gesteld:

- actieve delen van een S-keten moeten geïsoleerd zijn van aarde, beschermingsleidingen en actieve delen
- van andere stroomketens; (isolatie bewaking toepassen)
- een voedingsbron mag maar één toestel voeden.

Als aan deze laatste voorwaarde niet kan worden voldaan, dan moet er voor worden gezorgd dat bij toestellen klasse I (of wandcontactdozen met beschermingscontact) er een onderlinge verbinding wordt gemaakt tussen deze onderdelen door middel van een PU-leiding. Een PU-leiding is een niet met de aarde verbonden beschermingsleiding.

8.9 Overzichtstabel SELV, PELV, FELV en S-ketens

Type keten	Kenmerken	Toepassing
De S-keten is een keten met een beschermingstransformator, waarbij de secundaire keten, de S-keten, geïsoleerd is ten opzichte van aarde. De S van een S-keten staat voor 'separated'. Zie figuur 33 hoofdstuk 3 map NEN1010	1. De maximale wisselspanning bedraagt 500V-AC.	1. Voeding voor dubbel geïsoleerd handgereedschap voor nauw geleidende ruimtes.
SELV = Safe Extra Low Voltage Zie figuur 35 hoofdstuk 3 map NEN1010	2. De maximale wisselspanning bedraagt 50V-AC of 120V-DC. 3. Een SELV-keten wordt ook een veiligheidstrafo genoemd. 4. De SELV-keten moet vrij van aarde blijven. De Nul is dus niet verbonden met aarde. 5. Wandcontactdozen aangesloten op een SELV-keten mogen geen beschermingscontact hebben. 6. Wandcontactdozen van een SELV-keten moeten onwisselbaar worden uitgevoerd t.o.v. contactdozen van andere stroomketens. Neem bijvoorbeeld een WCD die geschikt is voor een stekker met 3-pennen. 7. Er moet een deugdelijke isolatie zijn tussen de SELV-keten en andere stroomketens. 8. Door de opbouw van een SELV-keten is de kans op sluiting tussen het primaire en secundaire deel uitgesloten. Daartoe wordt een aardscherm geaard en extra isolatie toegepast.	2. kinderspeelgoed 3. deurbel 4. practica op scholen 5. veiligheidstrafo's voor nauwgeleidende ruimtes b.v. kruipgaten, trommels, tanks enzovoort.
PELV = Protective Extra Low Voltage Zie figuur 37 hoofdstuk 3 map NEN1010	1. Een PELV-keten is de geaarde versie van de SELV-keten. De Nul is wel met aarde (PE) verbonden.	1. In machinebesturingen. Als voorbeeld nemen we een machine waaraan een 3fasen-voeding wordt aangeboden zonder Nul geleider. Men heeft een spanning nodig van 24V-AC. Men neemt nu een trafo die aan de primaire zijde op bijvoorbeeld de fasen L1 en L2 wordt aangesloten. Aan de secundaire hebben we een spanning van 24V-A waarvan de Nul wordt geaard. 2. Als bronspanning met gelijkrichter en afvlakking voor in- en uitgangskarten van een PLC besturing.
FELV = Functional Extra Low Voltage Zie figuur 38 hoofdstuk 3 map NEN1010	1. Van een FELV-keten is de secundaire zijde niet van de primaire zijde gescheiden. Dit kan gevaarlijke situaties tot gevolg hebben. Uw docent is geen fan van een FELV-keten. Het is zelfs zo dat hij er een grondige hekel aan heeft!	2. Vaak is een regelbare trafo een FELV-keten. Als je een dergelijke trafo zou voeden door een S-keten dan krijg je in zekere zin weer een veilige situatie.

