

# Richtlijn voor harmonische stromen en netspannings- asymmetrie bij eenfasige 25 kV-tractievoedingen



EnergieNed



# Richtlijn voor harmonische stromen en netspannings- asymmetrie bij eenfasige 25 kV-tractievoedingen

EnergieNed



maart 1999

## Inhoud

|          |                                                                                                                                     |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b><i>Inleiding</i></b>                                                                                                             | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b><i>Eisen te stellen met betrekking tot spanningsasymmetrie</i></b>                                                               | <b>5</b>  |
| 2.1      | De maximaal toegestane spanningsasymmetrie                                                                                          | 5         |
| 2.2      | Toeslag op de maximaal toegestane spanningsasymmetrie                                                                               | 7         |
| 2.3      | Stroom-asymmetrie in generatoren                                                                                                    | 8         |
| <b>3</b> | <b><i>Eisen te stellen met betrekking tot harmonische stromen</i></b>                                                               | <b>9</b>  |
| 3.1      | Te hanteren eisen als geen rekening wordt gehouden met ongelijktijdigheid en diversiteit                                            | 9         |
| 3.2      | Het hanteren van afwijkende eisen vanwege de invloed van ongelijktijdigheid en diversiteit                                          | 13        |
| 3.3      | Het hanteren van afwijkende eisen omdat de harmonische spanningen in de praktijk (aanzienlijk) kleiner zijn dan de planningsniveaus | 13        |
| <b>4</b> | <b><i>Gebruikte symbolen</i></b>                                                                                                    | <b>15</b> |
| <b>5</b> | <b><i>Referenties</i></b>                                                                                                           | <b>15</b> |

# 1 Inleiding

De Nederlandse Spoorwegen (NS) passen op dit moment tractievoedingen toe met een gelijkspanning van nominaal 1500 V. De gelijkrichterinstallaties van deze tractievoedingen zijn op het openbare elektriciteitsnet (midden-spanningsniveau) aangesloten. Onder meer in verband met capaciteitsproblemen en de verwachte komst van hoge snelheidstreinen overweegt NS eenfasige 25 kVAC-tractievoedingen te gaan toepassen. In deze richtlijn is aangegeven welke eisen er in dit verband door de energiebedrijven kunnen worden gehanteerd met betrekking tot de harmonische stromen en de net-spanningsasymmetrie veroorzaakt door dit soort tractievoedingen.

Deze richtlijn is opgesteld door de Werkgroep Netvervuiling (WGNV) van EnergieNed. Door deze werkgroep is ook opgesteld de "Richtlijnen voor toelaatbare harmonische stromen geproduceerd door apparatuur met een vermogen groter dan 11 kVA" [1], die een statistische basis heeft. Op het moment dat de voorliggende richtlijnen werden opgesteld, was weinig bekend over de aard van de belastingen die door genoemde tractievoedingen zullen worden gevoed; met name voor wat betreft de diversiteit qua fasehoeken en grootte van de harmonische stromen opgenomen door deze belastingen. Bovendien mag worden verwacht, dat bij deze belastingen, die een relatief groot vermogen bezitten, diversiteit grotendeels zal ontbreken. Daarom is er bij het formuleren van eisen met betrekking tot de emissie van harmonische stromen door dit soort tractievoedingen niet hetzelfde statistische uitgangspunt gehanteerd als bij het opstellen van [1] en heeft de WGNV noodgedwongen gekozen voor een andere benadering.

Om te onderzoeken wat de praktische consequenties zullen zijn van deze richtlijn, is in samenwerking met NS Railinfrabeheer een case-studie verricht. De resultaten daarvan zijn weergegeven in een tweetal KEMA-rapporten met kenmerk 80330-KRQ/CAL 98-2480 van 1 december 1998 [2] respectievelijk 80330-KRQ/CAL 98-2240A van 20 oktober 1998 [3]. Het eerste rapport heeft met name betrekking op een onderzoek naar de toelaatbaarheid van de spanningsasymmetrie te veroorzaken door de tractievoedingen van de Havenspoorlijn c.q. van de Hoge Snelheids Lijn Zuid in de betreffende voedende hoogspanningsnetten. Daarnaast wordt in dit rapport voor verschillende netconfiguraties aangegeven hoe groot de harmonische componenten in de tractiestroom van beide lijnen maximaal mogen zijn. In het tweede rapport wordt nagegaan in hoeverre de door de tractievoedingen van de Havenspoorlijn veroorzaakte harmonische stromen in de betreffende hoogspanningsnetten aan de eisen van de richtlijn zullen voldoen. In beide gevallen is gebruik gemaakt van door middel van simulatie verkregen resultaten aangereikt door NS Railinfrabeheer.

*Vastgesteld in de Ledenvergadering van EnergieNed,  
Vereniging van Energiedistributiebedrijven in Nederland op 4 maart 1999.*

## 2 Eisen te stellen m.b.t. spanningsasymmetrie

Bij het stellen van eisen ten aanzien van de maximaal door eenfasige 25 kVAC-tractievoedingen in een (HS-)voedingspunt te veroorzaken spanningsasymmetrie is overwogen te kiezen voor een benadering waarbij deze eisen afhankelijk zijn van de belastingsduurkromme voor dat punt. Probleem bij deze benadering is echter, dat de belastingsduurkrommes (nog) niet bekend zijn in de situatie die zal ontstaan als NS overgaat op dergelijke tractievoedingen. Bovendien kan nu al worden gesteld, dat deze belastingsduurkrommes per te beschouwen periode zullen variëren. Het is daarom niet zo praktisch en niet raadzaam landelijk geldende richtlijnen te geven voor de maximaal toelaatbare spanningsasymmetrie veroorzaakt in een HS-net door een eenfasige 25 kV-tractievoeding, als daarbij het verloop van de belastingsduurkromme ter plaatse een belangrijke parameter is. Daarom zijn hierna richtlijnen geformuleerd gebaseerd op het maximale schijnbare vermogen van de betreffende tractievoeding. In de praktijk kan voor de kwantificering van dat vermogen worden uitgegaan van het maximale transformatorvermogen (HS/25 kV, eenfasig); maar ook een andere, hierna (in 2.1) aan te geven benadering, gebaseerd op het maximum van de 10 minuten-gemiddelden van het tractievermogen, is mogelijk.

### *Opmerking:*

In het vervolg van deze richtlijn is de aanduiding schijnbare in relatie tot het begrip *vermogen* verder weggelaten. Daar waar over tractievermogen wordt gesproken, wordt dus het schijnbare tractievermogen bedoeld.

### 2.1 De maximaal toegestane spanningsasymmetrie

Voor de eenfasige belastingen die het hier betreft, geldt bij zeer goede benadering voor de door deze belastingen veroorzaakte asymmetrie van de spanningsdriehoek gevormd door de 50 Hz-spanningen ( $A_{U,50\text{Hz}}$ ):

$$A_{U,50\text{Hz}} = \frac{\text{eenfasig schijnbaar tractievermogen (50 Hz)}}{\text{driefasig kortsluitvermogen in bedrijfsvoeringssituatie}} \cdot 100\%$$

De Europese norm EN 50160 [4], die de kwaliteit van de netspanningen in de Europese MS- en LS-netten beschrijft, noemt 2% als maximale waarde voor de in de praktijk optredende asymmetrie. Voor HS-netten worden in deze norm geen waarden vermeld. In het "Report on EMC Co-ordination in Electricity Supply Systems" van UNIPED [5] is wel een planningsniveau voor de spanningsasymmetrie in HS-netten genoemd, nl. 1%. Voor de maximaal toegestane asymmetrie in HS-netten veroorzaakt door een eenfasige 25 kV-tractievoeding is door de WGNV daarom uitgegaan van het planningsniveau volgens genoemd UNIPED-rapport [5].

Voor de spanningsasymmetrie die bij maximaal tractievermogen optreedt, zal dus moeten gelden:

$$A_{U,50\text{Hz},\text{max}} = \frac{S_{T,50\text{Hz},\text{max}}}{S_K} \cdot 100 \leq 1\% \dots\dots\dots (1)$$

Daarbij geldt het volgende:

- $S_K$  is het (driefasige) kortsluitvermogen in bedrijfsvoeringssituatie van het HS-net op de plaats waar de tractietransformator (HS/25 kV) is aangesloten.
- $S_{T,50\text{Hz},\text{max}}$  is het maximale eenfasige schijnbare 25 kV-tractievermogen (50 Hz). Dat is of het maximale vermogen van de op te stellen tractietransformator of het (door simulatie bepaalde) maximale 10 minuten-gemiddelde van het tractievermogen (zie hierna gegeven toelichting).

#### **Toelichting:**

Reeds in de ontwerpfase zal moet worden beslist of een tractievoeding, met het oog op de te veroorzaken spanningsasymmetrie, al of niet mag worden aangesloten op een bepaald hoogspanningsnet. Om die beslissing te kunnen nemen, dient een goede inschatting te worden gemaakt van het maximaal te verwachten tractievermogen ( $S_{T,50\text{Hz},\text{max}}$ ). Dat kan gebeuren op basis van het (door NS) gewenste maximale vermogen van de op te stellen tractietransformator of aan de hand van een door simulatie vastgestelde waarde van het tractievermogen dat maximaal mag worden verwacht.

De gevoeligheid voor asymmetrie in de netspanning hangt met name samen met de extra thermische belasting die deze componenten veroorzaken bij bepaalde apparatuur. Daarom en in verband met de grootte van de in de praktijk optredende thermische tijdconstanten van de betreffende apparatuur mag, als voor de tweede mogelijkheid wordt gekozen, het (door simulatie bepaalde) maximale 10 minuten-gemiddelde van het tractievermogen worden gehanteerd.

Bij het vastleggen van de maximaal toelaatbare waarde voor de spanningsasymmetrie kan onder bepaalde voorwaarden een toeslag worden gehanteerd, omdat het afgenomen tractievermogen slechts gedurende een beperkte tijd gelijk zal zijn aan het maximale vermogen van de tractievoeding (zie 2.2).

Indien de belastingsduurkromme bekend is, kan uiteraard aan de hand daarvan worden bepaald of wordt voldaan aan de eis met betrekking tot de spanningsasymmetrie. Om de hiervoor reeds aangegeven reden kan daarbij uitgegaan worden van de duurkromme van de 10 minuten-gemiddelden van het tractievermogen.

In de praktijk zal een lijnspanning in een HS-net doorgaans slechts met één eenfasige tractievoeding zijn belast. In deze richtlijn is hiervan uitgegaan. In het geval dat in een HS-net daarentegen meerdere eenfasige tractievoedingen op dezelfde lijnspanning zijn aangesloten, dient onder het eenfasige tractievermogen te worden verstaan de som van de tractievermogens van de afzonderlijke tractievoedingen, en onder het maximale eenfasige tractievermogen de som van de maximale tractievermogens daarvan.

## 2.2 Toeslag op de maximaal toegestane spanningsasymmetrie

Door middel van de Monte Carlo-methode is via computer-simulatie afgeleid welke toeslag kan worden gegeven op de in 2.1 (formule 1) vermelde maximaal toegestane spanningsasymmetrie. Onder bepaalde voorwaarden mag een toeslag worden gehanteerd, omdat het afgenomen tractievermogen slechts gedurende een beperkt deel van de tijd gelijk zal zijn aan het maximale vermogen van de tractievoeding.

In die situaties waarin de kansdichtheidsverdeling van het tractievermogen (bij benadering) log-normaal is, kan zowel voor de eenfasige, voor de tweefasige, als voor de driefasige situatie een toeslag van ruim 50% worden gehanteerd op de in 2.1 vermelde eis. Met andere woorden in plaats van (1) kan in dat geval als eis met betrekking tot de spanningsasymmetrie worden gehanteerd:

$$A_{U,50Hz,max} = \frac{S_{T,50Hz,max}}{S_K} \cdot 100 \leq 1,5\% \dots \dots \dots (2)$$

De computersimulatie is ook uitgevoerd voor de situatie, dat er tractievermogen wordt gerecupereerd. De conclusie die uit de resultaten daarvan kan worden getrokken, is, dat ook in het geval recuperatie van het tractievermogen plaats vindt, eenzelfde toeslag (dus van 50%) op de in 2.1 gegeven waarde voor de maximaal toegestane spanningsasymmetrie gerechtvaardigd is. Met andere woorden ook in dat geval mag (2) als eis met betrekking tot de maximaal toegestane spanningsasymmetrie worden gehanteerd.

Aan het toepassen van eis (2) in plaats van (1) zijn dus de volgende beperkingen verbonden:

- Eis (2) mag niet worden gehanteerd als het tractievermogen geen (bij benadering) log-normale of vergelijkbare kansdichtheidsverdeling bezit, maar als deze verdeling bijvoorbeeld (bij benadering) rechthoekig of normaal is. Als in plaats van met de momentane waarde van het tractievermogen wordt gewerkt met de gemiddelde waarde van dat vermogen gedurende een bepaalde periode, neemt de kans dat niet aan de

met betrekking tot het toepassen van (2) te stellen voorwaarde wordt voldaan, toe met de lengte van die periode. Als de 10 minuten-gemiddelden van het tractievermogen worden gehanteerd, dient dan ook eis (1) in plaats van eis (2) te worden toegepast, tenzij kan worden aangetoond dat deze 10 minutengemiddelden bij goede benadering een lognormale verdeling vertonen en (zie volgende opmerking) er geen clustering van hoge waarden van de spanningsasymmetrie ( $A_{U,50\text{Hz}} > 1$ ) optreedt gedurende een aaneengesloten periode langer dan twee keer 10 minuten.

- Aan bedoelde voorwaarde voor wat betreft de kansdichtheidsverdeling zal ook niet worden voldaan in het geval dat een tractievoeding aan maximaal één trein vermogen zal leveren. Ook dan blijft eis (1) gelden. Dit betreft overigens een situatie waarvoor door NS is aangegeven, dat deze in de praktijk niet zal voorkomen in Nederland.
- Ook al is de kansdichtheidsverdeling (bij benadering) log-normaal, dan nog geldt een beperking. De verdeling van de tractievermogens over de tijd moet nl. redelijk willekeurig zijn. Er mag geen clustering van hoge waarden van de spanningsasymmetrie ( $A_{U,50\text{Hz}} > 1$ ) optreden gedurende een aaneengesloten periode langer dan twee keer 10 minuten.

### **2.3 Stroom-asymmetrie in generatoren**

Als bij het aansluiten van eenfasige 25 kV-tractievoedingen de met betrekking tot de spanningsasymmetrie te stellen eis in acht wordt genomen, blijft de stroomasymmetrie in de generatoren gekoppeld met het betreffende HS-net in alle gevallen onder de limiet zoals die in NEN 3173 [7] is gesteld (zie [6], 2.3). Aan de door genoemde tractievoedingen veroorzaakte stroomasymmetrie in generatoren hoeft dus, als aan genoemde spanningsasymmetrie-eis wordt voldaan, geen extra aandacht meer te worden besteed.

### 3 Eisen te stellen m.b.t. harmonische stromen

#### 3.1 *Te hanteren eisen als geen rekening wordt gehouden met ongelijktijdigheid en diversiteit*

Bij de berekening van de in deze paragraaf vermelde waarden voor de maximaal toegestane harmonische stromen is geen rekening gehouden met de eventuele invloed van ongelijktijdigheid (van het ingeschakeld zijn van diverse niet-lineaire belastingen) en van diversiteit (van de fasehoeken van de door verschillende niet-lineaire belastingen veroorzaakte bijdragen aan de harmonische componenten in de spanning op HS-niveau). In paragraaf 3.2 zijn aanwijzingen gegeven hoe moet worden gehandeld in het geval men genoemde invloeden wel in de beschouwing over de toelaatbaarheid van de door de betreffende tractievoedingen veroorzaakte harmonische stromen wil betrekken.

Voor het afleiden van de in deze paragraaf vermelde eisen te stellen met betrekking tot de grootte van de harmonische stromen veroorzaakt door eenfasige tractievoedingen, is het volgende verondersteld:

- alle niet-lineaire belastingen die mogelijk kunnen worden ingeschakeld, zijn gelijktijdig in werking en de door deze belastingen veroorzaakte harmonische stromen worden algebraïsch gesommeerd (dit betekent, zoals in paragraaf 3.2 wordt aangegeven, dat de zogenaamde gelijktijdigheidsfactor en de sommeer-exponent beiden gelijk zijn aan 1)
- het nominale (driefasige) vermogen dat door het betreffende HS-net kan worden geleverd, is:  $S_{nom}$
- iedere op het HS-net aangesloten gebruiker c.q. ieder aangesloten MS-net mag naar evenredigheid met zijn aansluitvermogen c.q. het transformatorvermogen bijdragen aan de maximaal toegestane waarde van een harmonische in de netspanning.

Deze benadering komt overeen met die in IEC 1000-3-6 ("Electromagnetic compatibility (EMC) - Assessment of emission limits for distorting loads in MV and HV power systems - Basic EMC publication" [8]) en wijkt dus wezenlijk af van de gevolgde filosofie bij het opstellen van de "Richtlijnen voor toelaatbare harmonische stromen geproduceerd door apparatuur met een vermogen groter dan 11 kVA" [1]. Deze filosofie is gebaseerd op een statistische benadering waarbij wordt uitgegaan van de aanwezigheid van een diversiteit aan niet-lineaire belastingen; een uitgangspunt waarvan mag worden verondersteld dat hieraan niet zal zijn voldaan bij de betreffende 25 kV-tractievoedingen met een groot nominaal vermogen aangesloten op HS-niveau (zie hoofdstuk 1).

Voor de maximaal toegestane waarde van de  $n$ -de harmonische wordt het planningsniveau van die harmonische ( $a_{n,c.l.}$ ) volgens "Report on EMC Co-ordination in Electricity Supply Systems" van UNIPED [5] gehanteerd. De hierin genoemde planningsniveaus verschillen slechts

voor een tweetal (minder relevante) harmonischen van de planningsniveaus volgens [67]; nl. voor de 8e- en de 10e-harmonische waarvoor in [8] in beide gevallen 0,4% is aangegeven, in plaats van 0,2% in [5]

- de n-de harmonische component in de stroom van een eenfasige belasting, gevormd door één of meerdere eenfasige tractievoedingen, in % van de grondharmonische van de tractiestroom  $I_{T,50\text{Hz}}$  is:  $h_n$
- de netimpedantie is inductief, dus evenredig met de frequentie, en wordt afgeleid uit het kortsluitvermogen in bedrijfsvoeringssituatie (SK) ter plaatse

De zuiver inductief veronderstelde netimpedantie, afgeleid uit het kortsluitvermogen, dient als benadering voor de werkelijke netimpedantie bij de verschillende harmonische frequenties. Het hanteren van de werkelijke netimpedanties bij de berekening van de maximaal toegestane harmonische stromen heeft echter de voorkeur, maar is alleen mogelijk als het betreffende energiebedrijf beschikt over de benodigde netgegevens en software voor het berekenen van die netimpedanties.

In het algemeen zal dat tot andere eisen leiden dan in het geval dat er wordt uitgegaan van een zuiver inductieve netimpedantie. De zo afgeleide eisen zullen meestal milder zijn, behalve waarschijnlijk voor die harmonische-frequenties waarbij sprake is van resonantie.

- het eenfasige tractievermogen gerepresenteerd door de 50 Hz-componenten in de lijn-spanning  $U$  en tractiestroom  $I_T$  is  $S_{T,50\text{Hz}}$  en de maximale waarde daarvan  $S_{T,50\text{Hz},\text{max}}$ .

Er moet gelden:

$$h_n \leq \frac{1,5}{n} \cdot \frac{S_K [\text{MVA}]}{S_{\text{nom}} [\text{MVA}]} \cdot \frac{S_{T,50\text{Hz},\text{max}} [\text{MVA}]}{S_{T,50\text{Hz}} [\text{MVA}]} \cdot a_{n,c.l.} \dots\dots\dots (3)$$

of met  $h'_n$  uitgedrukt in % van de **maximale** tractiestroom:

$$h'_n \leq \frac{1,5}{n} \cdot \frac{S_K [\text{MVA}]}{S_{\text{nom}} [\text{MVA}]} \cdot a_{n,c.l.} \dots\dots\dots (4)$$

De maximaal toegestane waarde van de n-de harmonische component in de stroom wordt gevonden als het gelijktteken geldt in (3) c.q. (4).

Uitgaande van de planningsniveaus gegeven in [5] kunnen dan de in de volgende tabel maximaal toegestane harmonische stromen geëmitteerd door een eenfasige 25 kV-tractievoeding worden berekend. Zoals aangegeven zijn deze maximaal toegestane harmonische stromen uitgedrukt in % van de maximaal door de betreffende tractievoeding af te nemen tractiestroom en dienen de vermelde waarden nog te worden vermenigvuldigd

met een bepaalde factor (SK/Snom.10-2) waarvan de grootte afhankelijk is van de betreffende situatie.

De gevoeligheid voor harmonische componenten hangt met name samen met de extra thermische belasting die deze componenten veroorzaken bij bepaalde apparatuur. In verband hiermee en met de grootte van de in de praktijk optredende thermische tijdconstanten van de betreffende apparatuur kan voor  $h_n$  en  $h'_n$  de gemiddelde waarde over 10 minuten van de betreffende harmonische worden gehanteerd.

**Opmerking:**

Als in plaats van de zuiver inductief veronderstelde netimpedantie, afgeleid uit het kortsluitvermogen, bij de berekening van de maximaal toegestane waarden van de harmonische stromen wordt uitgegaan van de werkelijke (harmonische) netimpedanties, dan moeten andere formules dan (3) en (4) worden gebruikt. Deze zijn vermeld in hoofdstuk 3 van [6] (formule 14 c.q. 15).

| <i>Rangnummer n</i>                      | <i>Compatibiliteits-<br/>niveau an,c.l.(%)</i> | <i>Maximaal toegestane harmonische<br/>stroom (10 min.-gemiddelde)<br/>in % van de maximale tractiestroom<br/>(nog te vermenigvuldigen<br/>met SK/Snom.10-2)</i> |
|------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2                                        | 1,5                                            | 112,5                                                                                                                                                            |
| 3                                        | 2                                              | 100,0                                                                                                                                                            |
| 4                                        | 1                                              | 37,5                                                                                                                                                             |
| 5                                        | 2                                              | 60,0                                                                                                                                                             |
| 6                                        | 0,5                                            | 12,5                                                                                                                                                             |
| 7                                        | 2                                              | 42,9                                                                                                                                                             |
| 8                                        | 0,2                                            | 3,8                                                                                                                                                              |
| 9                                        | 1                                              | 16,7                                                                                                                                                             |
| 10                                       | 0,2                                            | 3,0                                                                                                                                                              |
| 11                                       | 1,5                                            | 20,5                                                                                                                                                             |
| 12                                       | 0,2                                            | 2,5                                                                                                                                                              |
| 13                                       | 1,5                                            | 17,3                                                                                                                                                             |
| 14                                       | 0,2                                            | 2,1                                                                                                                                                              |
| 15                                       | 0,3                                            | 3,0                                                                                                                                                              |
| 16                                       | 0,2                                            | 1,9                                                                                                                                                              |
| 17                                       | 1                                              | 8,8                                                                                                                                                              |
| 18                                       | 0,2                                            | 1,7                                                                                                                                                              |
| 19                                       | 1                                              | 7,9                                                                                                                                                              |
| 20                                       | 0,2                                            | 1,5                                                                                                                                                              |
| 21                                       | 0,2                                            | 1,4                                                                                                                                                              |
| 22                                       | 0,2                                            | 1,4                                                                                                                                                              |
| 23                                       | 0,7                                            | 4,6                                                                                                                                                              |
| 24                                       | 0,2                                            | 1,3                                                                                                                                                              |
| 25                                       | 0,7                                            | 4,2                                                                                                                                                              |
| rest even                                | 0,2                                            | 30/n                                                                                                                                                             |
| rest oneven,<br>geheel veelvoud<br>van 3 | 0,2                                            | 30/n                                                                                                                                                             |
| rest oneven                              | 0,2+12,5/n                                     | 30/n(1+62,5/n)                                                                                                                                                   |

Voorbeeld van het berekenen van een maximaal toegestane harmonische stroom met behulp van deze tabel.

Een tractievoeding met een maximaal vermogen van 30 MVA wordt gevoed vanuit een HS-net (110 kV) met een kortsluitvermogen van 3600 MVA. Het nominale (beschikbare) vermogen van dat net is 240 MVA. Als

voorwaarde voor de door de betreffende tractievoeding te veroorzaken 5e harmonische stroom (uitgedrukt in procenten van de maximale tractiestroom) wordt in dat geval uitgaande van (4) gevonden:

$$h'_5 \leq 60,0 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{S_K [\text{MVA}]}{S_{\text{nom}} [\text{MVA}]} = 60,0 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{3600}{240} = 9,0 \%$$

Bij een afgenomen tractievermogen van 15 MVA (= 50% van het maximale tractievermogen) geldt voor de 5e harmonische in de tractiestroom, uitgedrukt in % van de grondharmonische (50 Hz), dus  $h_5 \leq 18\%$  [zie (3)].

### 3.2 Het hanteren van afwijkende eisen vanwege de invloed van ongelijktijdigheid en diversiteit

Zoals in 3.1 is aangegeven, is bij de berekening van de in die paragraaf vermelde waarden voor de maximaal toegestane harmonische stromen geen rekening gehouden met de eventuele invloed van ongelijktijdigheid (van het ingeschakeld zijn van diverse niet-lineaire belastingen) en van diversiteit (van de fasehoeken van de door verschillende niet-lineaire belastingen veroorzaakte bijdragen aan de harmonische componenten in de spanning op HS-niveau). Genoemde begrippen, dus ongelijktijdigheid en diversiteit, kunnen worden gerepresenteerd door de zogenaamde gelijktijdfactor FHS c.q. de sommeer-exponent (a). In het ongunstigste geval, waarvan dus is uitgegaan bij de berekening van de in paragraaf 3.1 vermelde eisen, zijn beiden gelijk aan 1. Dat betekent, dat alle niet-lineaire belastingen die mogelijk kunnen worden ingeschakeld, gelijktijdig in werking zijn, en dat de harmonische stromen opgenomen door de diverse niet-lineaire belastingen, algebraïsch worden gesommeerd. Als, goed beargumenteerd, kan worden aangetoond dat er een zekere mate van ongelijktijdigheid en diversiteit is, dan kan een grotere waarde worden gehanteerd voor de maximaal toegestane harmonische stromen veroorzaakt door een eenfasige 25 kV-tractievoeding. Met andere woorden, dan kunnen er mildere eisen op dat punt worden gesteld. Voor de wijze waarop deze kunnen worden berekend, wordt verwezen naar paragraaf 3.2 van [6].

### 3.3 Het hanteren van afwijkende eisen omdat de harmonische spanningen in de praktijk (aanzienlijk) kleiner zijn dan de planningsniveaus

Zoals aangegeven is de berekening van de in 3.1 vermelde eisen gebaseerd op het principe dat iedere op het HS-net aangesloten gebruiker naar evenredigheid met zijn aansluitvermogen mag bijdragen aan de maximaal toegestane waarde van de harmonische componenten in de netspanning. Waarbij dus voor die maximaal toegestane waarden de voor de verschillende harmonische componenten in de spanning geldende planningsniveaus worden gehanteerd.

Als in de praktijk (uit meetresultaten) blijkt, dat de harmonische componenten in aanzienlijk mate onder genoemde planningsniveaus blijven en als bovendien mag worden verwacht dat dit ook niet significant zal veranderen, dan kunnen mildere eisen dan die vermeld in 3.1 worden gehanteerd. De toeslag op de in 3.1 vermelde eisen kan worden berekend aan de hand van het extra deel van het planningsniveau van de meest relevante harmonische (doorgaans de 5e) dat door de betreffende tractievoeding mag worden ingevuld

## 4 Gebruikte symbolen

|                  |                                                                                                                                                                                                  |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $a_{n,c.l.}$     | het planningsniveau van de n-de harmonische voor het HS-net                                                                                                                                      |
| $A_{u,50Hz}$     | de spanningsasymmetrie (50 Hz-componenten)                                                                                                                                                       |
| $A_{u,50Hz,max}$ | de spanningsasymmetrie (50 Hz-componenten) bij maximaal tractievermogen                                                                                                                          |
| $\alpha$         | sommeer-exponent. Deze representeert, per harmonische component, de diversiteit van de fase-hoeken van de door de verschillende niet-lineaire belastingen geleverde bijdrage aan die harmonische |
| $F_{HS}$         | gelijktijdigheidsfactor. Deze representeert de mate waarin diverse niet-lineaire belastingen gelijktijdig zijn ingeschakeld                                                                      |
| $h_n$            | de n-de harmonische component in de tractiestroom in % van de grondharmonische (10 minuten-gemiddelde)                                                                                           |
| $h'_n$           | de n-de harmonische component in de tractiestroom in % van de grondharmonische van maximale tractiestroom (10 minuten-gemiddelde)                                                                |
| $I_T$            | de tractiestroom (op 25 kV-niveau)                                                                                                                                                               |
| $I_{T,50Hz}$     | de grondharmonische van de tractiestroom                                                                                                                                                         |
| $n$              | het rangnummer van de harmonische component                                                                                                                                                      |
| $S_K$            | het kortsluitvermogen (HS-niveau) in de bedrijfsvoerings situatie                                                                                                                                |
| $S_{nom}$        | het nominale (3-fasige) vermogen van het HS-net waarop de tractievoeding is aangesloten                                                                                                          |
| $S_{T,50Hz}$     | het eenfasige schijnbare 25 kV-tractievermogen (50 Hz)                                                                                                                                           |
| $S_{T,50Hz,max}$ | het maximale eenfasige schijnbare 25 kV-tractievermogen (50 Hz)                                                                                                                                  |
| $U$              | de lijnspanning (25 kV)                                                                                                                                                                          |

## 5 Referenties

- [1] EnergieNed; "Richtlijnen voor toelaatbare harmonische stromen geproduceerd door apparatuur met een vermogen groter dan 11 kVA"; januari 1996.
- [2] "Case-studie betreffende de consequenties van het toepassen van de 'Richtlijn voor harmonische stromen en netspannings-asymmetrie bij eenfasige 25 kV-voedingen' van EnergieNed"; KEMA-rapport met kenmerk 80330-KRQ/CAL 98-2480; 1 december 1998
- [3] "Case-studie 25 kV-tractievoeding NS. Toetsing van de door NS aangeleverde gegevens van door simulatie bepaalde harmonische stromen veroorzaakt door de 25 kV-tractievoedingen van de Havenspoorlijn aan de richtlijn van EnergieNed"; KEMA-rapport met kenmerk 80330-KRQ/CAL 98-2240; 20 oktober 1998
- [4] EN 50160: "Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems"; september 1993.
- [5] UNIPED: "Report on EMC Co-ordination in Electricity Supply Systems"; oktober 1994.
- [6] EnergieNed: "Uitgebreide versie met toelichtingen van de Richtlijn voor harmonische stromen en netspanningsasymmetrie bij eenfasige 25 kV-voedingen"; november 1998.
- [7] NEN 3173: "Roterende machines. Kengegevens en eigenschappen"; mei 1991
- [8] IEC 1000-3-6: "Assessment of emission limits for distorting loads in MV and HV power systems"; 1996.

**Vereniging van Energie-  
distributiebedrijven  
in Nederland**

Utrechtseweg 310  
6812 AR Arnhem  
Postbus 9042  
6800 GD Arnhem  
Telefoon 026 - 356 9444  
Fax 026 - 446 0146

**EnergieNed**



Groep Techniek  
Telefoon 026 - 356 2446  
Telefax 026 - 445 6781