

## Hogere harmonischen (2)

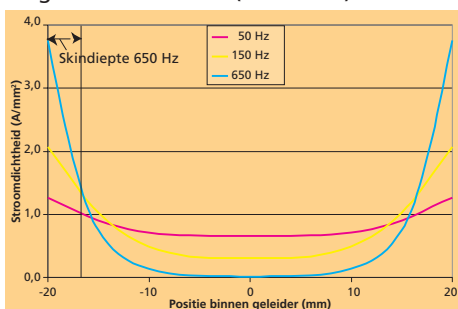
Tegenwoordig wordt steeds meer apparatuur gebruikt die harmonischen genereert. Deze harmonischen kunnen tot problemen leiden als de elektrische installatie daar niet voor ontworpen is. Begrippen als "skineffect" en "150% nul" worden dan regelmatig gebruikt. Holectuur behandelt het omvangrijke gebied van de "hogere harmonischen" in twee deelartikelen waarvan dit het tweede deel is.

Deel één van dit artikel vermeldde dat niet lineaire belastingen hogere harmonische stromen genereren die - als ze te hoog worden - voor problemen kunnen zorgen in de installatie. Dit deel van het artikel staat stil bij de extra warmteontwikkeling, veroorzaakt door de hogere harmonische stromen.

### Oververhitting van geleiders ten gevolge van het skineffect

Ten gevolge van het magnetische veld dat een stroom zelf genereert, heeft de stroom de neiging aan de buitenkant van een geleider te gaan lopen.

Dit zogenaamde "skineffect" heeft tot gevolg dat hogere harmonischen sterker de neiging hebben om aan de buitenkant van een geleider te gaan lopen dan 50 Hz stromen. Figuur 1 toont de stroomdichtheid verdeling in een cirkelvormige geleider voor de 1<sup>e</sup> harmonische (50 Hz), de derde harmonische (150 Hz) en de 13<sup>e</sup> harmonische (650 Hz). De diameter van de geleider is 40 mm (1257 mm<sup>2</sup>).



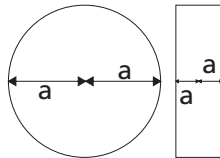
Figuur 1: stroomverdeling in een geleider t.g.v. het skineffect

Heel duidelijk is te zien dat hogere harmonische stromen minder effectief gebruik maken van de aanwezige geleider. Het "skineffect" leidt in de meeste installaties nooit tot problemen omdat dit effect pas merkbaar optreedt bij zeer hoge frequenties of zeer dikke geleiders. Door de zogenaamde "skindiepte" uit te rekenen kan men zeer snel inschatten of

het "skineffect" tot problemen kan leiden. De skindiepte  $\delta$  wordt als volgt berekend:

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{2\pi f\mu}}$$

$\delta$  = skindiepte [m]  
 $\rho$  = soortelijke weerstand geleider materiaal [  $\Omega\text{m}$  ]  
(koper =  $8,3 \cdot 10^{-8}$  / aluminium  $3,08 \cdot 10^{-8}$ )  
 $f$  = frequentiestroom [Hz]  
 $\mu$  = permeabiliteit geleider materiaal [H/m] (koper / aluminium =  $1,26 \cdot 10^{-6}$ )



Figuur 2: voorbeelden straal "a"

Indien de skindiepte significant kleiner is dan "a" en het aandeel van de desbetreffende harmonische aanzienlijk is t.o.v. de totale stroom, zal de stroombelastbaarheid van de geleider gedeclareerd moeten worden.

### Oververhitting van motoren en transformatoren

Motoren en transformatoren kunnen oververhit raken en zelfs uitbranden als het aandeel harmonische stromen te hoog wordt. Deze oververhitting ontstaat door een tweetal en in het geval van transformatoren zelfs door een drietal effecten:

- Extra ijzerverliezen. De ijzerverliezen in motoren en transformatoren zijn evenredig met het kwadraat van de frequentie van de stromen. De derde harmonische genereert dus negen maal zoveel ijzerverliezen als de grondharmonische (mits de stromen even groot zijn natuurlijk).
- Minder effectieve veldopbouw of lokale verzadiging. Zowel motoren als transformatoren zijn voor het leveren van energie afhankelijk van hun interne

magneetvelden. Doordat de hogere harmonische stromen de 50 Hz stromen versterken of verzwakken op verschillende momenten in de tijd is de veldopbouw in motoren en transformatoren minder effectief. Dit betekent dat het rendement van de motor en transformator omlaag gaat.

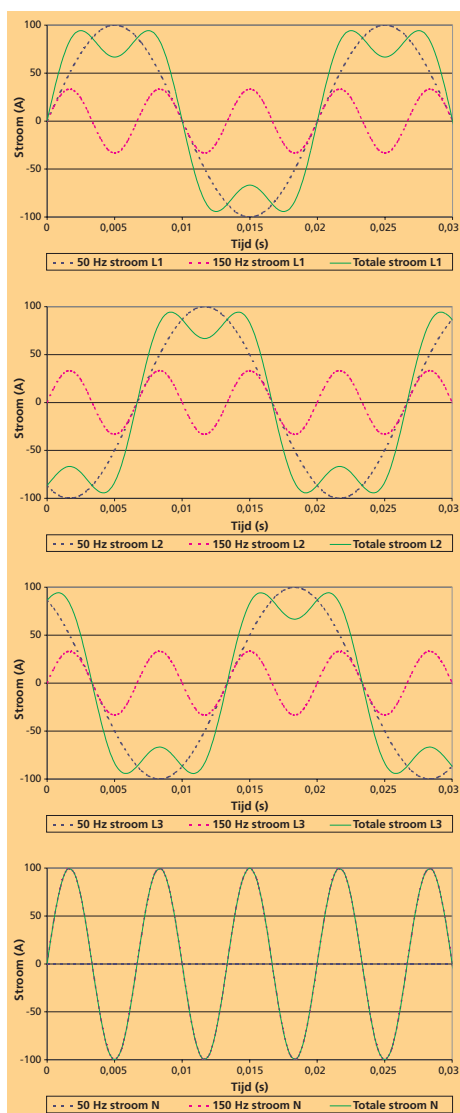
- De driehoekswikkeling in transformatoren raakt overbelast. In de volgende alinea wordt uitgelegd dat de derde en veelvoud van de derde harmonische stroom optellen in de nul. Deze zogenaamde homopolaire stromen kunnen niet uit een driehoekswikkeling van een transformator "ontsnappen" en zullen dus de driehoekswikkeling extra zwaar belasten.

### Oververhitting van de nul ten gevolge van hogere harmonische stromen

In deel 1 van dit artikel werd getoond hoe de 50 Hz stromen van de verschillende fasen 120° verschoven waren t.o.v. elkaar. Ook werd getoond dat dit tot gevolg heeft dat de fasestromen elkaar in de nul gedeeltelijk of geheel opheffen al naar gelang van de symmetrie van de belasting. Dit effect treedt echter niet op bij de derde harmonische en veelvoud daarvan.

De derde harmonische en veelvoud daarvan hebben een dusdanige hoekverschuiving in de verschillende fasen dat deze harmonische stromen optellen in de nul. Indien er dus in elke fase een derde harmonische stroom met een amplitude van 1 A loopt, loopt er in de nul een derde harmonische stroom met een amplitude van 3 A. ▶

# -gesproken



Figuur 3: voorbeeld optelling van 30% 3<sup>e</sup> harmonische stromen in de nul

Indien de derde harmonische en veelvouden daarvan een redelijke amplitude hebben kan de nul niet langer op 50% uitgelegd worden. Dit is in overeenstemming met de IEC 60439-1 die in artikel 7.1.3.4 stelt dat de nul alleen op 50% mag worden uitgelegd indien er geen hoge stroomwaarden in de nul te verwachten zijn.

## Wat kan men aan harmonische stromen verwachten?

Het antwoord op deze vraag is moeilijk te geven daar het antwoord afhangt van de belasting die de gebruiker op het verdeelstelsel aansluit. Er zijn echter wel twee IEC normen die richtlijnen geven t.a.v. de emissie van harmonische stromen van bepaalde apparatuur:

- IEC 61000-3-2: limits for harmonic current emissions (equipment input current  $\leq 16$  A per phase).
- IEC 61000-3-4: limitation of emission of harmonic currents in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A.

De IEC 61000-3-2 onderscheidt een viertal typen belasting:

- **Class A:** symmetrische driefasen apparatuur en alle andere apparatuur die niet in een van de drie andere klassen valt;
- **Class B:** handgereedschap en niet professionele lasapparaten;
- **Class C:** verlichting inclusief dimmers;
- **Class D:** apparatuur met bepaalde blokvormige stroomvormen en een vermogen  $\leq 600$ W.

Tabel 2 geeft een voorbeeld van een aantal limieten zoals de IEC 61000-3-2 deze vaststelt. Zoals Tabel 2 laat zien, kan de nul voor de meeste klassen gewoon uitgelegd worden op 50% van de nominaalstroom van de fasen mits de verschillende belastingen gelijkmatig over de fasen verdeeld zijn. Uitzondering hierop is de apparatuur van klasse C. Voor apparatuur van klasse C dient de nul op minimaal 100% van de fasestroom uitgelegd te worden.

Harmonische	Class A [A]	Class B [A]	Class C [% van 50Hz]	Class D [mA/W] Max [A]	
2	1.08	1.62	2	-	-
3	2.30	3.45	$\lambda \cdot 30$	3.4	2.3
5	1.14	1.71	10	1.9	1.14
7	0.77	1.16	7	1.0	0.77
9	0.40	0.6	5	0.5	0.40

$\lambda = \cos \varphi$  van de belasting

Tabel 2: voorbeelden van maximale harmonische stromen volgens IEC 61000-3-2

Apparatuur met een nominaalstroom groter dan 16 A vallen onder de IEC 61000-3-4. Deze norm kent in tegenstelling tot de IEC 61000-3-2 geen klassen voor de verschillende apparatuur maar gaat uit van de verhouding  $R_{scc}$ :

$$R_{scc} = \frac{\text{kortsluitvermogen net ter plaatse van aansluiting}}{\text{nominaal vermogen apparatuur}}$$

De IEC 61000-3-4 kent nu drie "stages":

- **Stage 1:** apparatuur die gewoon op het net kan worden aangesloten indien  $R_{scc} \geq 33$
- **Stage 2:** apparatuur die niet voldoet aan stage 1 mag worden aangesloten indien  $R_{scc}$  hoog genoeg is
- **Stage 3:** apparatuur die niet voldoet aan stage 1 of stage 2. Of deze apparatuur aangesloten mag worden en hoe, gebeurt in overleg met het desbetreffende energiebedrijf.

Tabel 3 geeft een aantal voorbeelden van de maximale harmonische stromen zoals die in de IEC 61000-3-4 worden gedefinieerd.

## Samenvattend

Het is voor een installateur/paneelbouwer/adviseur noodzakelijk overleg te hebben met de gebruiker van de installatie. Door dit overleg krijgt de installateur inzicht in de belastingen die op de installatie aangesloten worden en de harmonischen die daarbij op kunnen treden. De IEC 61000 reeks kan vervolgens helpen bij het bepalen van de maximaal optredende harmonischen. ▲

Minimale $R_{scc}$	THD / PWHD [%]	Maximale harmonische stromen [% van I1]			
		Even	3 <sup>e</sup>	5 <sup>e</sup>	7 <sup>e</sup>
33 (stage 1)	-	8/n	-	10,7	7,2
66 (stage 2)	25	16/n	25	11	8
120 (stage 2)	29	16/n	29	12	10
175 (stage 2)	33	16/n	33	14	11
250 (stage 2)	39	16/n	39	18	12

Tabel 3: voorbeelden van maximale harmonische stromen volgens IEC 61000-3-4