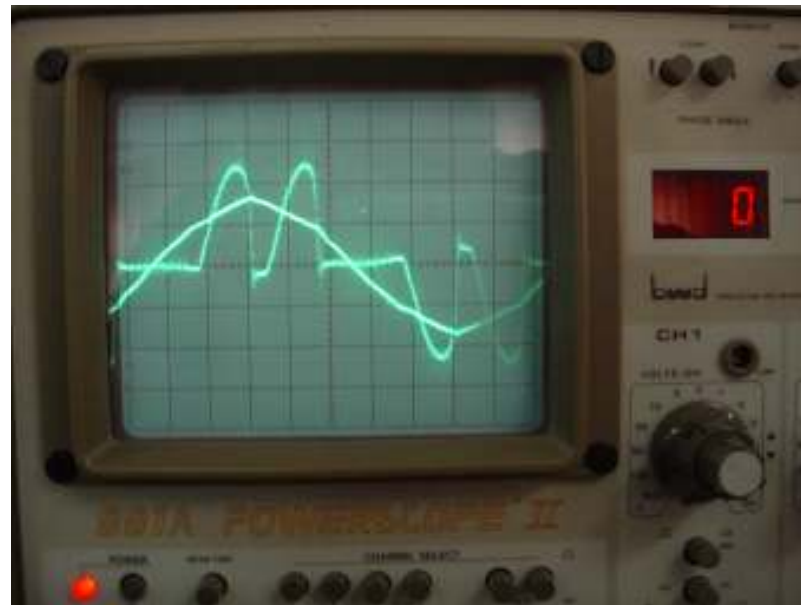




Power quality: een breed domein



Power quality: een breed domein

- Inleiding
- Harmonischen in stroom en spanning
- Amplitude van de netspanningen
- Driefasige netspanningen
- De netfrequentie
- Alles behandeld?

Inleiding

Beschouw een driefasig net. Wat willen we?

- drie sinusvormige spanningen
- drie spanningen met zelfde constante amplitude
- drie spanningen perfect 120° verschoven t.o.v. elkaar
- frequentie is constant, 50 Hz

Inleiding

Wat kan er mis lopen? **ALLES!**

- spanningen slechts bij benadering sinusvormig
- spanningen variëren qua amplitude
- spanningen hebben verschillende amplitude
- spanningen geen 120° verschoven t.o.v. elkaar
- frequentie is geen 50 Hz, frequentie varieert

Inleiding

Welke aanpak hanteren we?

- wat is het probleem precies?
- wat is de oorzaak van het probleem?
- wat zijn de gevolgen?
- hoe kunnen we remediëren?

Power quality: een breed domein

- Inleiding
- Harmonischen in stroom en spanning
- Amplitude van de netspanningen
- Driefasige netspanningen
- De netfrequentie
- Alles behandeld?

Harmonischen in stroom en spanning

De **Fourieranalyse** leert dat elk periodiek signaal beschouwd kan worden als de som van:

- een sinusvormige grondharmonische,
- sinusvormige hogere harmonischen.

De grondharmonische heeft dezelfde frequentie als het originele periodieke signaal.

De m-de harmonische is een sinus met m keer de frequentie van het originele signaal.

Harmonischen in stroom en spanning

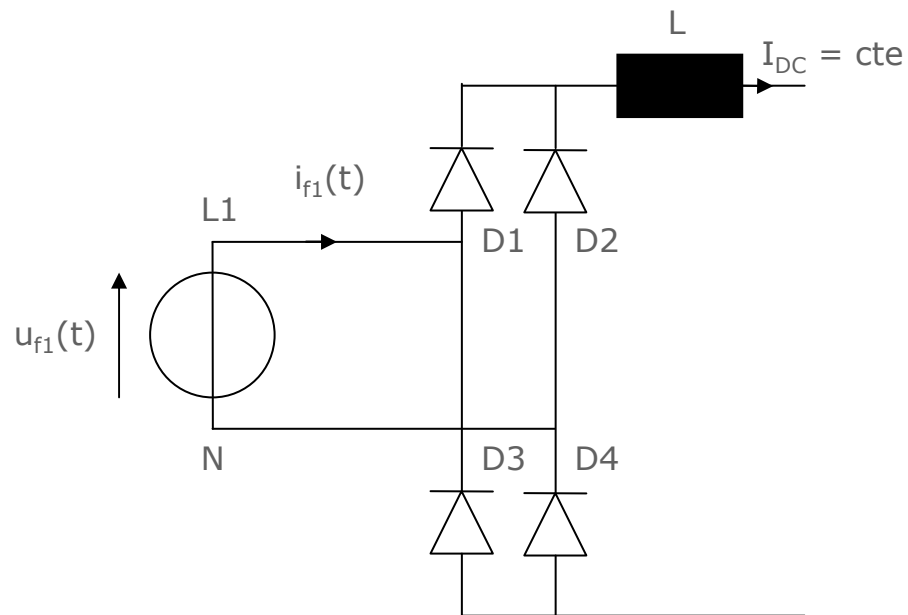
Deze harmonischen hebben allen

- een gepaste amplitude (die nul kan zijn),
- een bepaalde faseverschuiving t.o.v. elkaar.

Bekijken we als voorbeeld eens

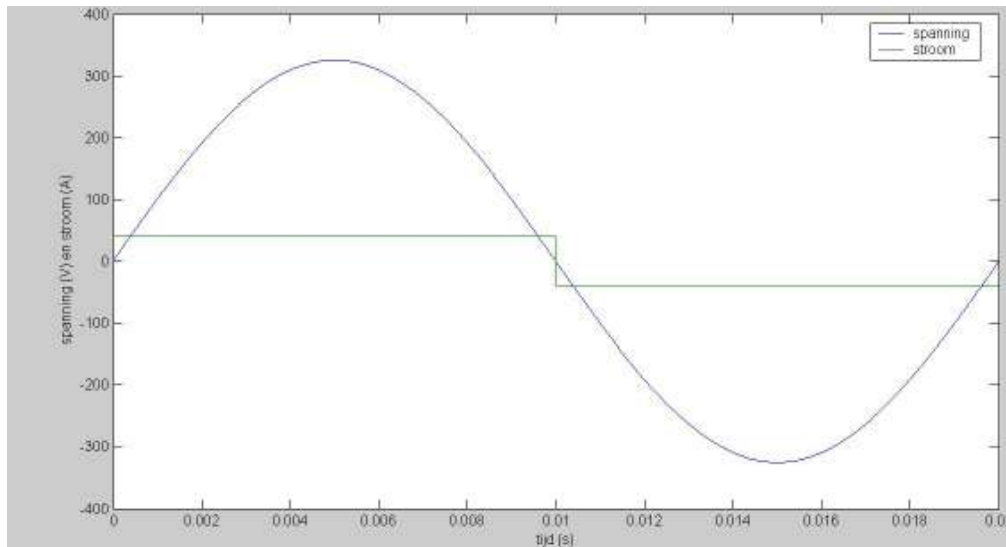
- een enkelfasige bruggelijkrichter,
- de inductiviteit L aan DC-zijde zorgt voor een constante DC-stroom.

Harmonischen in stroom en spanning



Enkelfasige gelijkrichterbrug

Harmonischen in stroom en spanning



Aangelegde spanning is sinusvormig.
De opgenomen stroom is blokgolfvormig.

Harmonischen in stroom en spanning

De opgenomen blokgolfvormige stroom van bijvoorbeeld 40 A bevat (piekwaarden):

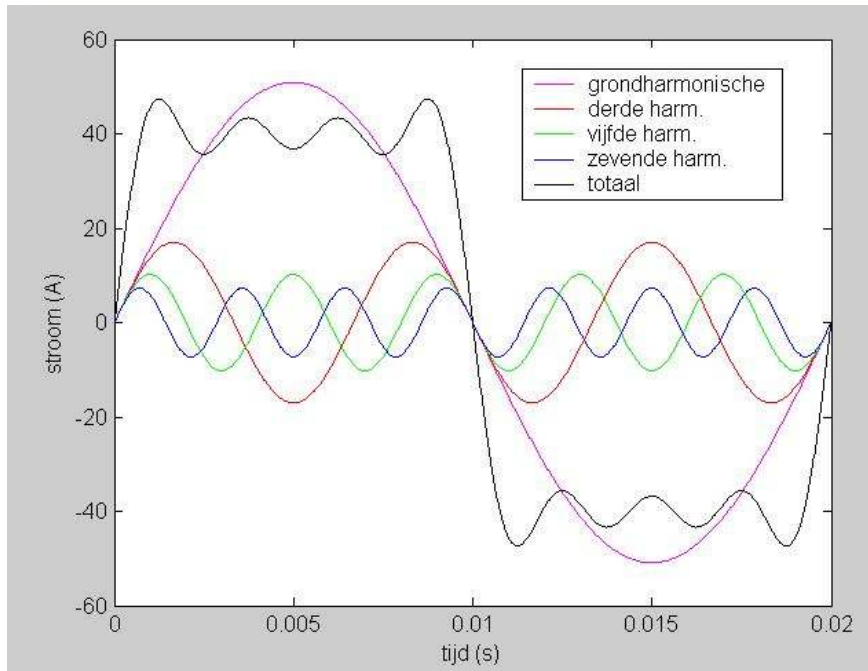
- een 50 Hz grondharmonische: 50,9 A
- een 150 Hz derde harmonische: 17,0 A
- een 250 Hz vijfde harmonische: 10,2 A
- een 350 Hz zevende harmonische: 7,3 A
- nog hogere harmonische die kleiner worden naarmate de orde hoger wordt

Het is dus niet noodzakelijk zo dat alle harmonischen optreden.



talent@work

Harmonischen in stroom en spanning



De som van die harmonischen benadert de blokgolf.

Hoe meer harmonischen meegerekend, hoe beter de blokgolf benaderd is.

Harmonischen in stroom en spanning

De netstroom opgenomen door de gelijkrichter is **niet** sinusvormig.

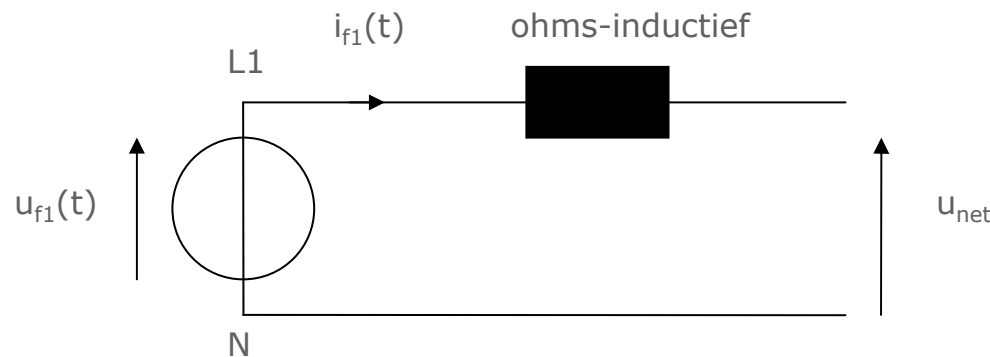
De stroom bevat sinussen met diverse frequenties die allen door het net geleverd moeten worden.

Dit zorgt voor een vervorming van de netspanning.

Waarom?

Harmonischen in stroom en spanning

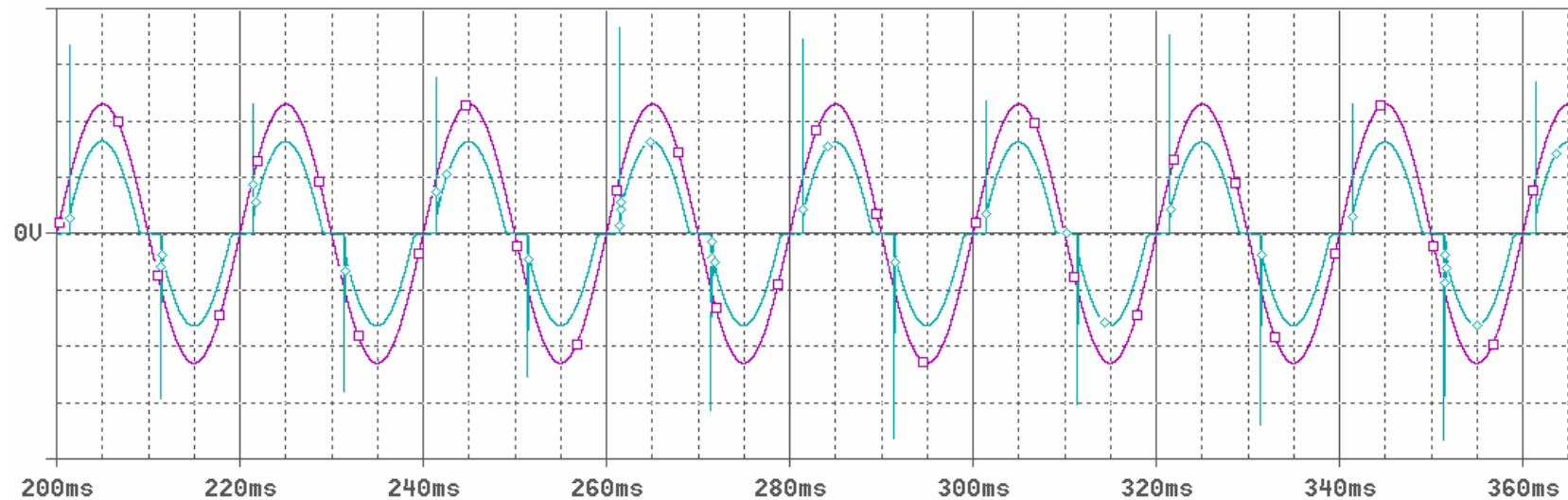
Het net gedraagt zich als een niet-ideale spanningsbron.



- $i_{f1}(t)$ is blokgolfvormig
- spanningsval over netimpedantie heeft geen sinusvorm
- $u_{f1}(t)$ is sinusvormig
- $u_{net}(t)$ is niet langer sinusvormig

Harmonischen in stroom en spanning

Pspice-simulatieresultaat met $u_{f1}(t)$ en $u_{net}(t)$:



Harmonischen in stroom en spanning

Pspice-simulatieresultaat met $u_{f1}(t)$ en $u_{net}(t)$:

Bemerkt de **spanningsval over de ohmse netcomponent** die, terwijl de netstroom constant is, er voor zorgt dat $u_{net}(t)$ kleiner is dan $u_{f1}(t)$.

Plotse toename of afname stroom zorgt voor plotse **spanningspiek over de netinductiviteit**. Die pieken zijn ook zichtbaar in $u_{net}(t)$.

Harmonischen in stroom en spanning

CONCLUSIE:

Het opnemen van een niet-sinusvormige netstroom zorgt er voor dat een oorspronkelijk sinusvormige $u_{f1}(t)$ vervormt tot $u_{net}(t)$.

Steeds meer en meer belastingen zijn niet-lineair m.a.w. ze nemen niet-sinusvormige stromen op, ook indien ze met sinusvormige spanningsbron gevoed worden.

- de opkomst van de **vermogenelektronica!**



Harmonischen in stroom en spanning

KOMT LATER AAN BOD:

- gevolgen niet-sinusvormig zijn netspanning
- hoe te remediëren

Harmonischen in stroom en spanning

OPMERKING:

Tot nu toe beschouwden we steeds harmonischen met een frequentie die een geheel veelvoud zijn van de 50 Hz grondharmonische.

Sommige toestellen genereren ook **subharmonischen** en **interharmonischen**.

- subharmonische: frequentie tussen 0 Hz en 50 Hz
- interharmonische: frequentie is geen geheel veelvoud van 50 Hz



Power quality: een breed domein

- Inleiding
- Harmonischen in stroom en spanning
- Amplitude van de netspanningen
 - trage amplitudeveranderingen
 - snelle amplitudeveranderingen
 - spanningsdips
- Driefasige spanningen
- De netfrequentie
- Alles behandeld?

Amplitude van de netspanningen

In het ideale geval is de amplitude van de netspanning constant. **In de praktijk varieert de netspanning.**

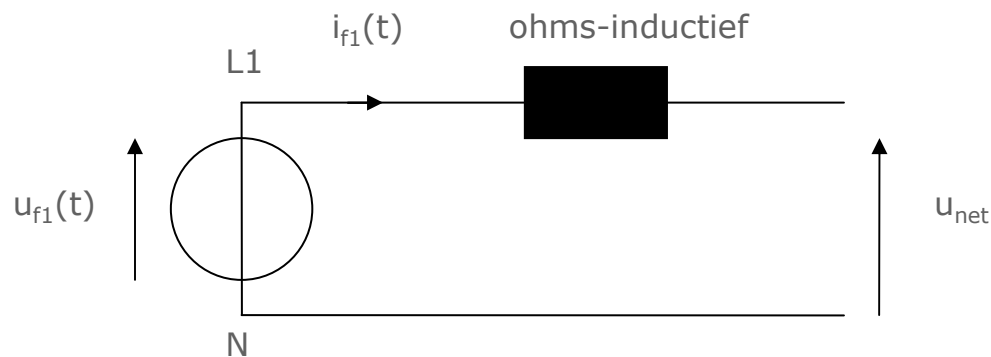
Waarom?

De stroom opgenomen uit het net varieert in de loop van de dag:

- overdag is er meer verbruik dan 's nachts
- het verbruik varieert van dag tot dag
- het verbruik is seizoensgebonden
- ...

Amplitude van de netspanningen

Een andere netstroom betekent een andere spanningsval over de netimpedantie. Ook bij een zelfde $u_{f1}(t)$ verandert $u_{net}(t)$.



Trage veranderingen in netstroom impliceren een **trage verandering van de netspanning**.

Amplitude van de netspanningen

In de loop van de dag verandert $u_{\text{net}}(t)$ geleidelijk. Er bestaat een **normering** van wat toegelaten is:

NBN 46 (1967): spanning varieert binnen $220 \text{ V} \pm 10\%$ (tussen 198 V en 242 V)

NBN C10-001 (1990): spanning nominaal 230 V, max + 6% en minimaal – 10% (tussen 207 V en 244 V)

IEC 38 (2002), EN 50160 (1999): spanning varieert binnen $230 \text{ V} \pm 10 \%$ (tussen 207 V en 253 V)

Dit is de netspanning over een gemiddelde van 24 uur.



talent@work

Amplitude van de netspanningen

Netspanning varieert traag i.f.v. de tijd.

Netspanning is ook afhankelijk van de plaats. Verder van een voedingspunt is netimpedantie groter, dus meer spanningsval, dus lagere netspanning.

Amplitude van de netspanningen

Trage variaties netamplitude geven relatief weinig problemen.

Bijvoorbeeld:

- meer spanning, gloeilamp brandt feller, kortere levensduur
- minder spanning, gloeilamp brandt minder fel, langere levensduur

Apparatuur is normalerwijze zo ontworpen dat ze normaal functioneert binnen de variaties toegestaan door de normeringen.

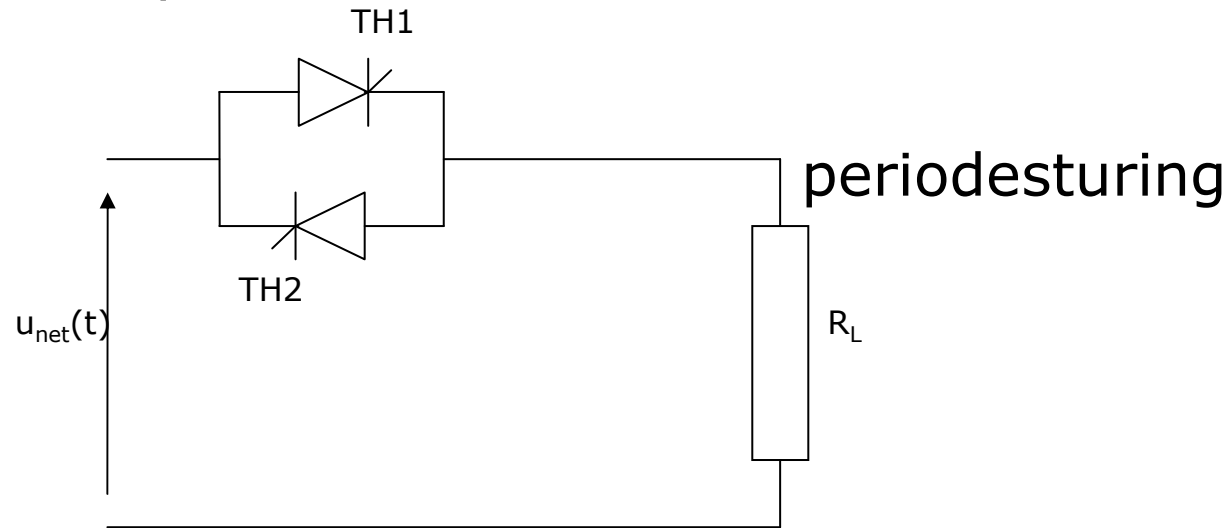


Power quality: een breed domein

- Inleiding
- Harmonischen in stroom en spanning
- Amplitude van de netspanningen
 - trage amplitudeveranderingen
 - snelle amplitudeveranderingen
 - spanningsdips
- Driefasige spanningen
- De netfrequentie
- Alles behandeld?

Amplitude van de netspanningen

Snelle variaties van de amplitude van de netspanning krijg je als de belasting bijvoorbeeld elke periode een andere stroom opneemt.



Amplitude van de netspanningen

Die R_L is een verwarmingsweerstand.

Geproduceerde warmte regelen door via de thyristoren altemnerend

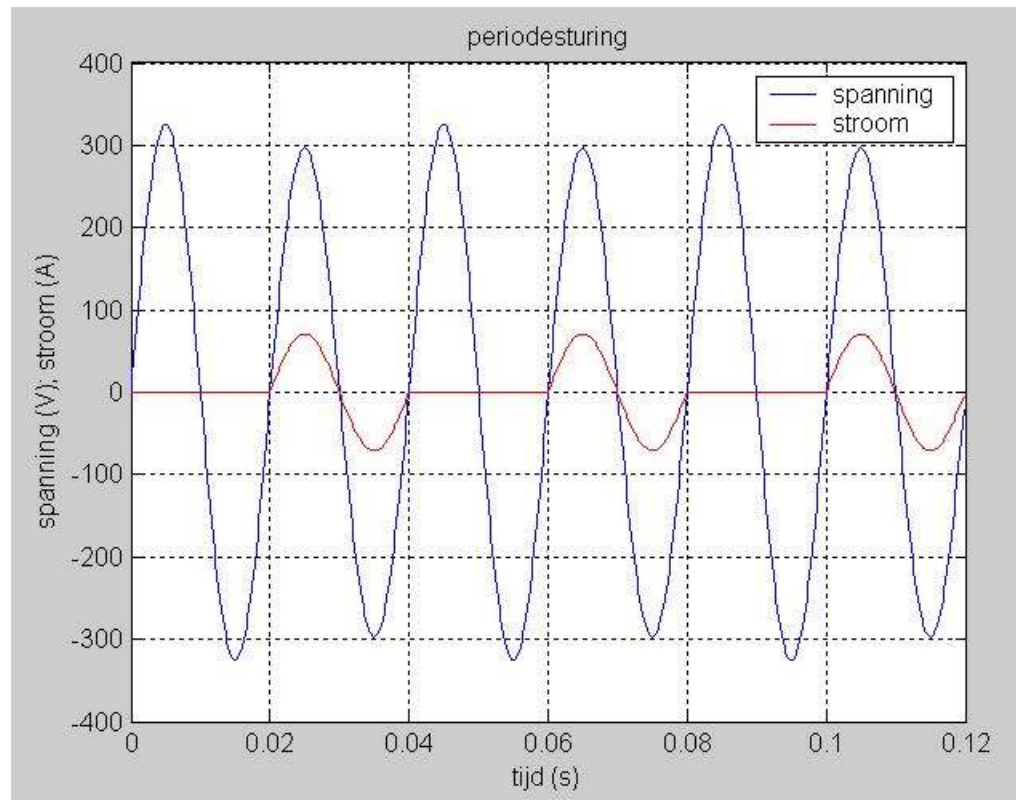
- een netperiode stroom door te laten en een netperiode geen stroom door te laten
- of algemener
- m netperiodes stroom door te laten en n netperiodes geen stroom door te laten

De verhouding m/n bepaalt het vermogen.



talent@work

Amplitude van de netspanningen



Amplitude van de netspanningen

Wat zien we?

Als het net stroom moet leveren, is er spanningsval over de netimpedantie. De netspanning is dan lager.

Hier afwisselend een periode met een iets grotere en een iets kleinere netspanning.

Wat is het probleem?

Die variërende netspanning voedt nog andere verbruikers die in parallel geschakeld zijn.



talent@work

Amplitude van de netspanningen

Omdat verbruiker 1 periodesturing gebruikt, varieert de netspanning.

Verbruiker 2, mogelijks in een ander gebouw, wordt gevoed door een netspanning die snel varieert in amplitude.

Als die verbruiker 2 bijvoorbeeld een lamp is, kan de lichtsterkte variëren. Afwisselend iets meer en iets minder licht.

De lamp flakkert. Dergelijke snelle spanningsveranderingen noemt men **flicker**.



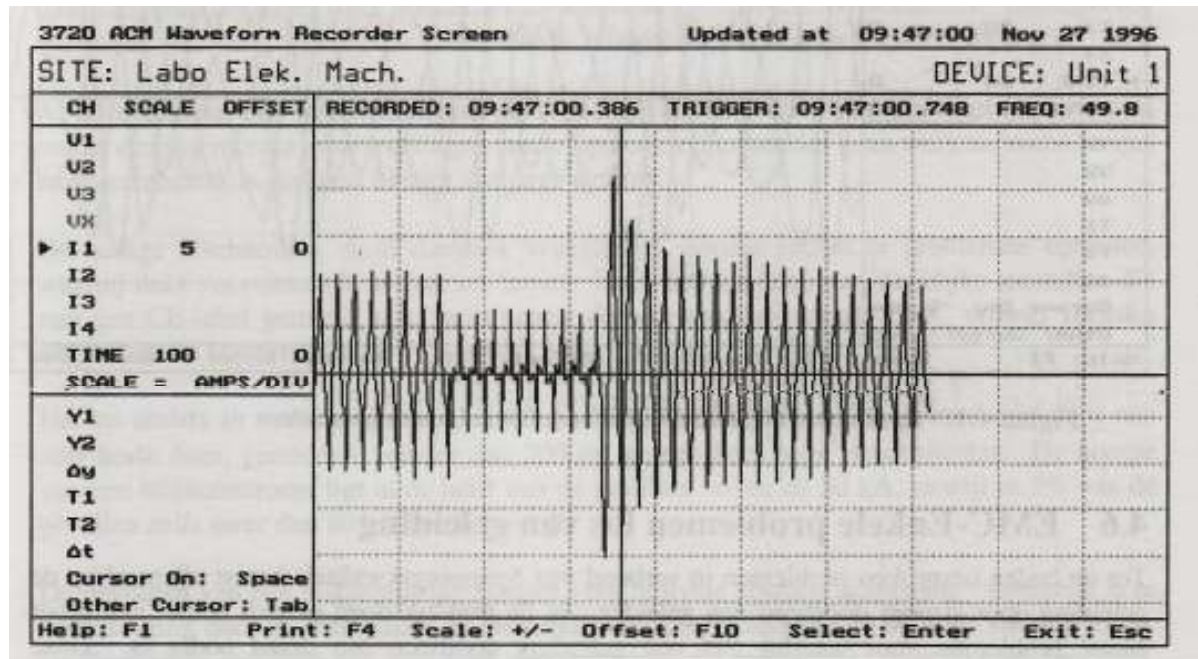
Amplitude van de netspanningen

Bekijken we nog twee voorbeelden van toestellen die een sterk schommelende stroomafname vertonen.

- 1) fotokopieertoestel of laserprinter
- 2) zuigercompressor; meer stroomverbruik tijdens de arbeidsslag dan tijdens de zuigslag want de aandrijfmotor moet meer koppel leveren tijdens de arbeidsslag

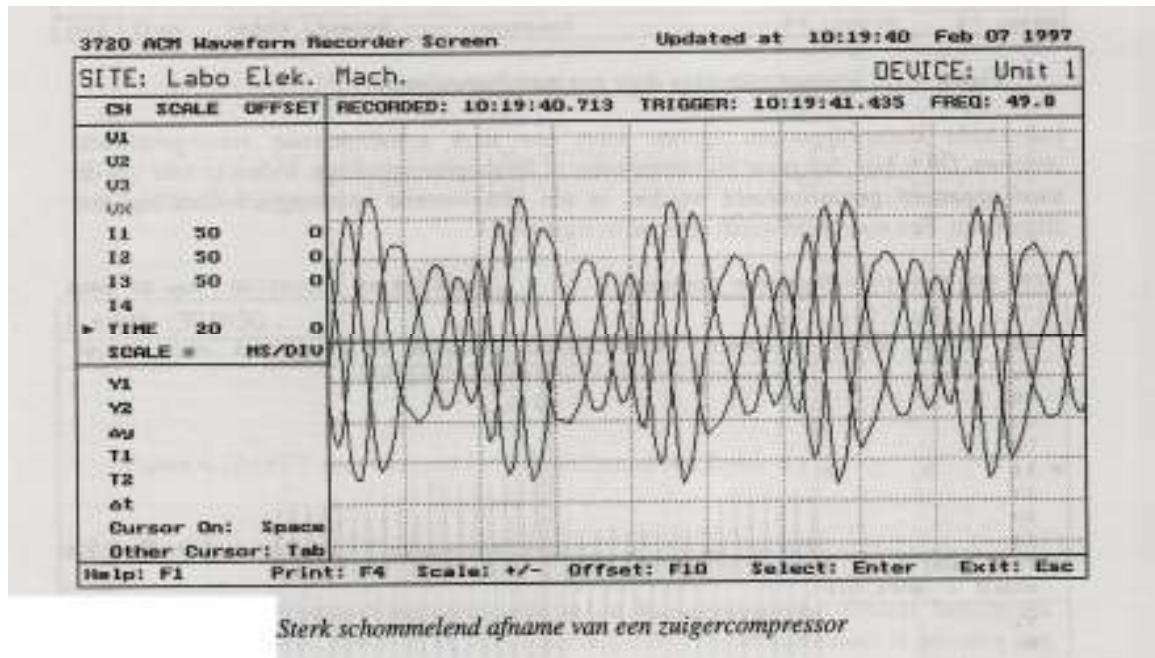
Amplitude van de netspanningen

De stroomafname varieert sterk bij een fotokopieer-toestel of een laserprinter.



Amplitude van de netspanningen

Bij een zuigercompressor is het stroomverbruik groter tijdens de arbeidsslag dan tijdens de zuigslag.



Amplitude van de netspanningen

Veranderingen in het stroomverbruik leiden tot veranderingen in de voedingsspanning. Dergelijke snelle spanningsveranderingen noemt men **flicker**.

Bij flicker hebben we te maken met een zichzelf herhalend fenomeen.

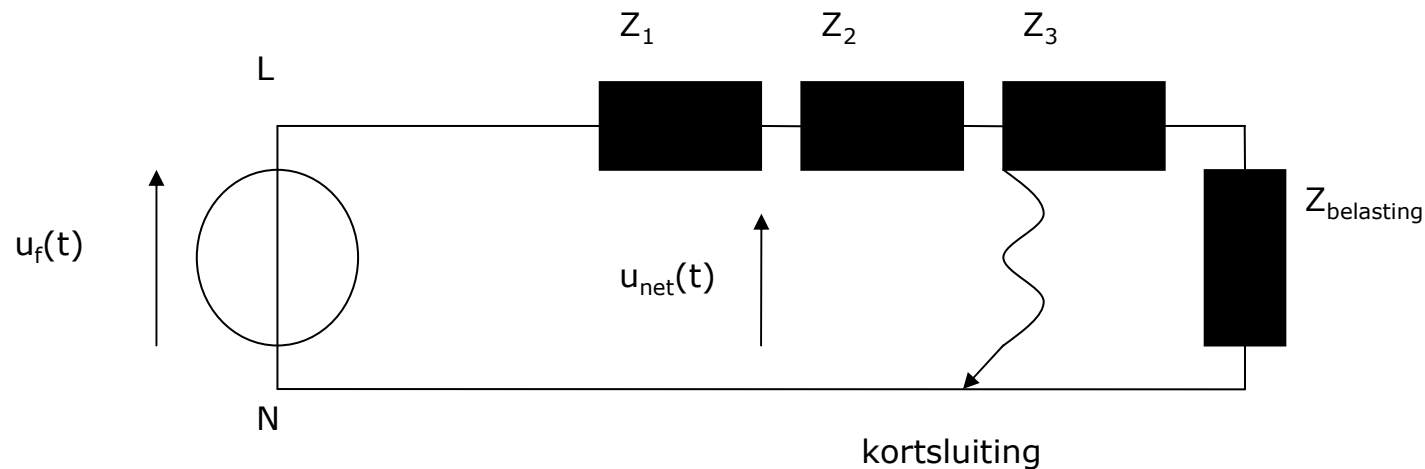
Het aspect flicker komt later uitgebreid aan bod.

Power quality: een breed domein

- Inleiding
- Harmonischen in stroom en spanning
- **Amplitude van de netspanningen**
 - trage amplitudeveranderingen
 - snelle amplitudeveranderingen
 - **spanningsdips**
- Driefasige netspanningen
- De netfrequentie
- Alles behandeld?

Amplitude van de netspanningen

Een spanningsdip treedt op als er ergens in het net een **kortsluiting** optreedt.



Amplitude van de netspanningen

De netimpedanties Z_1 , Z_2 en Z_3 zijn kleiner dan $Z_{\text{belasting}}$. Hierdoor is $u_{\text{net}}(t)$ ongeveer gelijk aan $u_f(t)$ in normale omstandigheden.

Als er nu een kortsluiting optreedt die Z_3 en $Z_{\text{belasting}}$ kortsluit en enkel Z_1 en Z_2 in de kring overblijven, **dan wordt $u_{\text{net}}(t)$ veel kleiner.**

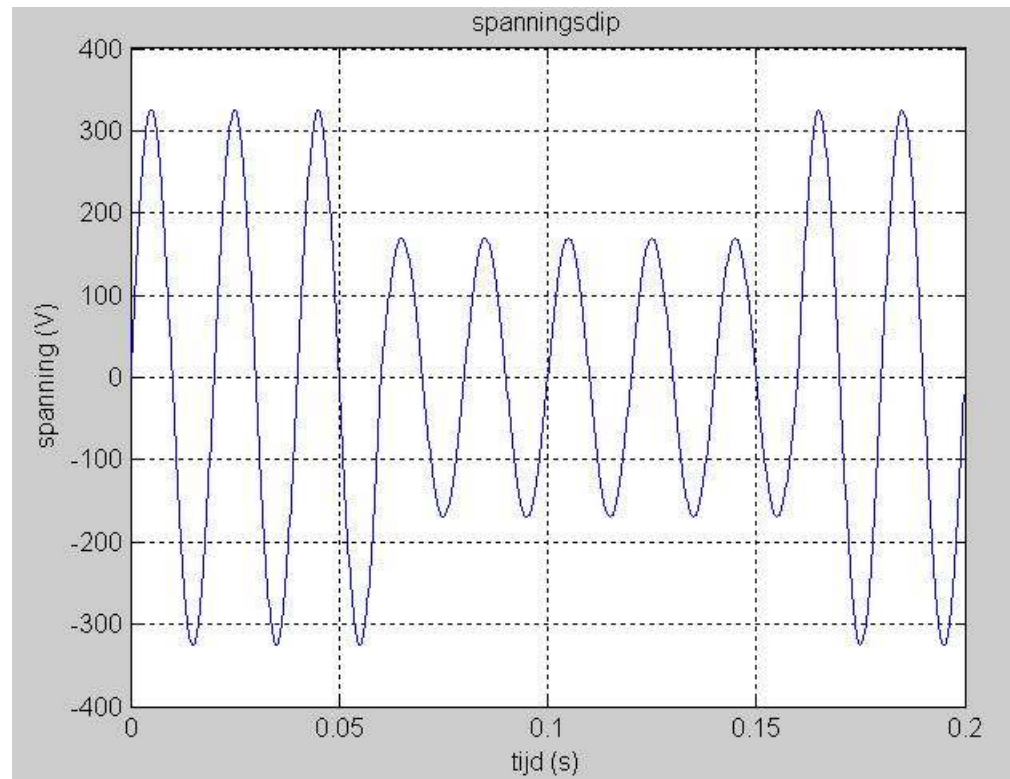
Die situatie houdt aan

- van zodra de kortsluiting optreedt
- zolang de beveiliging die kortsluiting niet uitgeschakeld heeft (bvb. 1 seconde)



Amplitude van de netspanningen

De spanning $u_{\text{net}}(t)$ heeft het onderstaande verloop tijdens een spanningsdip.



Amplitude van de netspanningen

Een spanningsdip

- merk je bijvoorbeeld aan het even uitgaan van de verlichting
- kan de werking van apparatuur verstoren; veel is afhankelijk van **de diepte en de duur van de dip**
- men spreekt van een dip als spanningsval dieper dan 10 % is; de duur kan variëren tussen 10 ms en meerdere seconden

Amplitude van de netspanningen

Hoe sneller de kortsluiting in het net weggewerkt is, hoe minder schadelijk de dip voor de werking van de toestellen.

Toestellen kunnen uitvallen, productielijnen kunnen stilvallen en veel werk vragen om opnieuw op te starten.

Elektronisch opgeslagen data kan verloren gaan.

UPS-systemen (elektrische energieopslag in het systeem in het algemeen) kan veel problemen vermijden.



Power quality: een breed domein

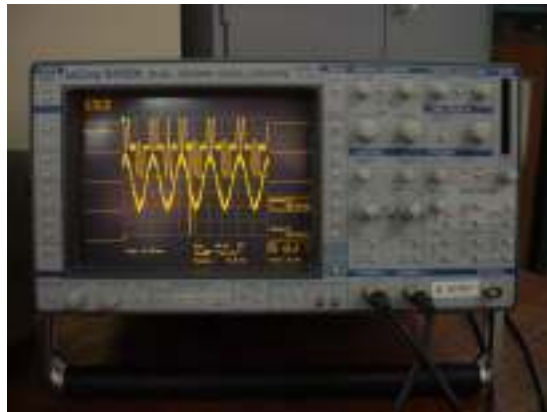
- Inleiding
- Harmonischen in stroom en spanning
- Amplitude van de netspanningen
- Driefasige netspanningen
 - harmonischen
 - amplitude en fase van de spanningen
- De netfrequentie
- Alles behandeld?

Driefasige netspanningen

Tot nu toe hebben we heel veel aspecten enkelfasig beschouwd.

De principes gelden evengoed voor driefasige systemen:

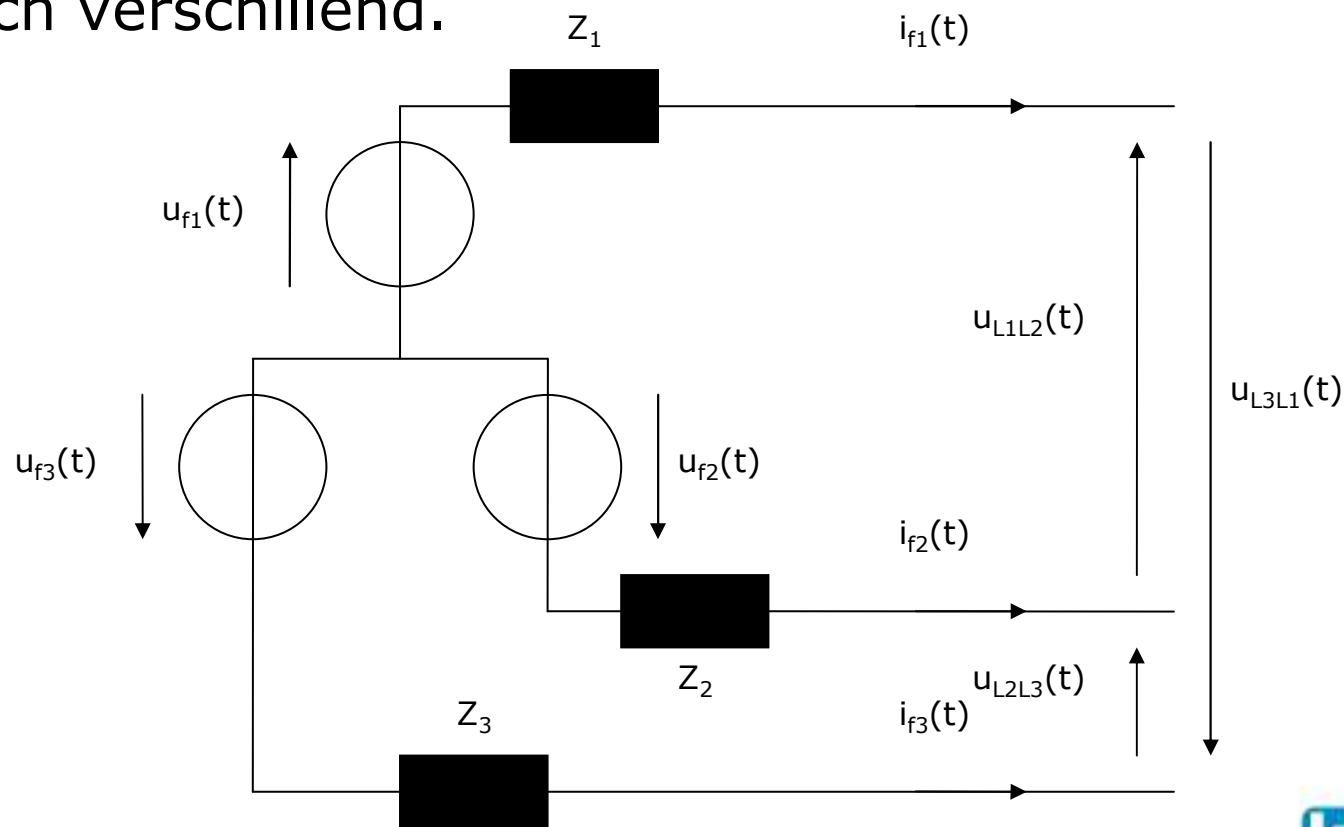
- harmonischen in spanning en stroom
- amplitudevariaties van de netspanning



Een symmetrisch driefasig systeem gedraagt zich op dezelfde wijze als een enkelfasig systeem.

Driefasige netspanningen

Bij een asymmetrische belasting gedragen de fasen zich verschillend.



Driefasige netspanningen

Stel dat $u_{f1}(t)$, $u_{f2}(t)$ en $u_{f3}(t)$

- perfect sinusvormig zijn
- alledrie even groot zijn
- onderling 120° verschoven zijn

Als de drie fasestromen $i_{f1}(t)$, $i_{f2}(t)$ en $i_{f3}(t)$ een andere harmonische inhoud hebben, zal de spanningsval over de drie netimpedanties Z_1 , Z_2 en Z_3 ook verschillend zijn.

De lijnspanningen $u_{L1L2}(t)$, $u_{L2L3}(t)$ en $u_{L3L1}(t)$ zullen een verschillende harmonische inhoud hebben; dus een andere vorm.



talent@work

Driefasige netspanningen

Extra asymmetrisch gedrag kan optreden als de netimpedanties Z_1 , Z_2 en Z_3 verschillend zijn.

Impedantieverschillen kunnen optreden als bijvoorbeeld verschillende kabelsecties gebruikt worden voor de verschillende fasen.

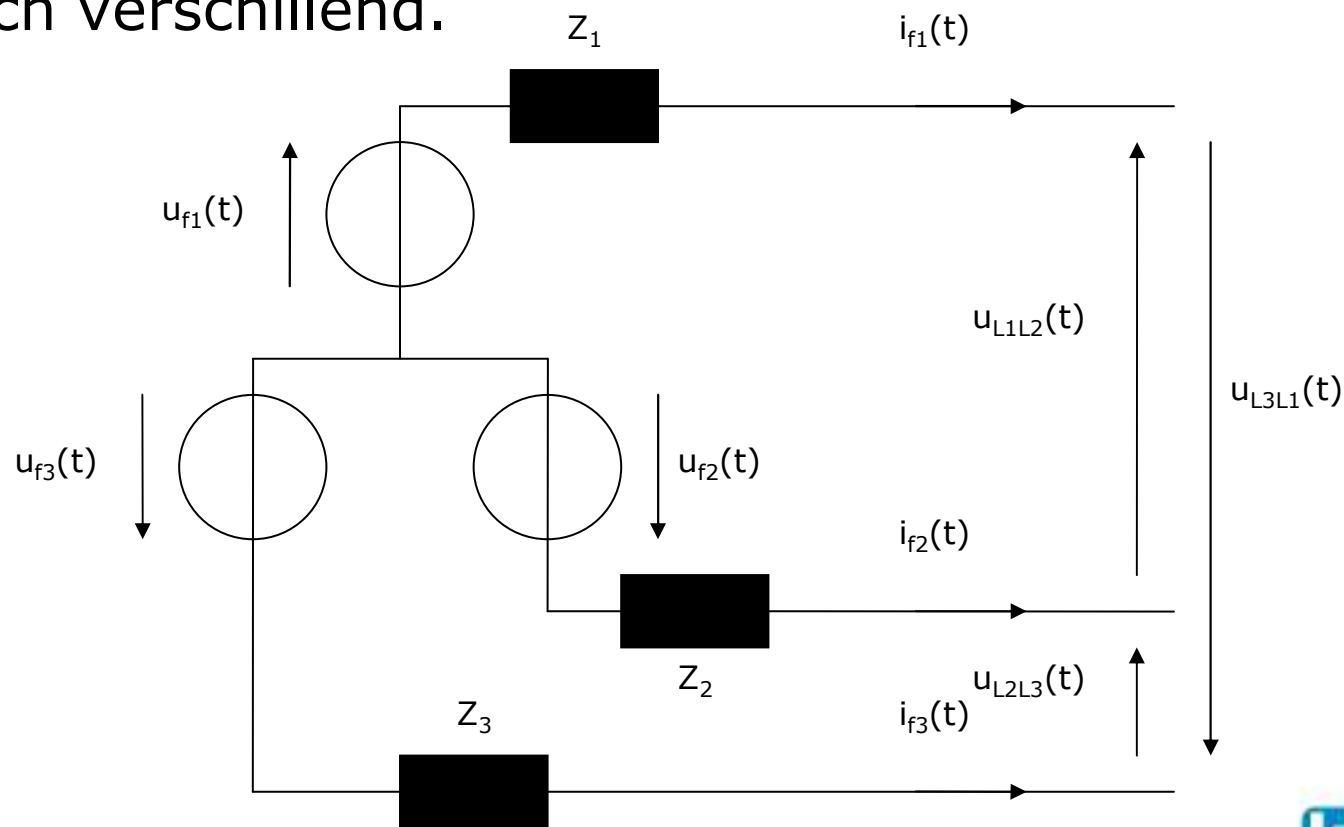
De gevolgen, en remediëring, van harmonischen in driefasige systemen komen later aan bod.

Power quality: een breed domein

- Inleiding
- Harmonischen in stroom en spanning
- Amplitude van de netspanningen
- Driefasige netspanningen
 - harmonischen
 - amplitude en fase van de spanningen
- De netfrequentie
- Alles behandeld?

Driefasige netspanningen

Bij een asymmetrische belasting gedragen de fasen zich verschillend.



Driefasige netspanningen

Stel dat $u_{f1}(t)$, $u_{f2}(t)$ en $u_{f3}(t)$

- perfect sinusvormig zijn
- alledrie even groot zijn
- onderling 120° verschoven zijn

Stel dat de drie fasestromen $i_{f1}(t)$, $i_{f2}(t)$ en $i_{f3}(t)$

- een verschillende amplitude hebben
- en/of
- een andere arbeidsfactor hebben t.o.v. de overeenstemmende fasespanning

Driefasige netspanningen

Dan zullen de lijnspanningen $u_{L1L2}(t)$, $u_{L2L3}(t)$ en $u_{L3L1}(t)$

- niet langer alledrie even groot zijn
- en/of
- onderling niet langer 120° verschoven zijn t.o.v. elkaar

De gevolgen van een niet symmetrisch driefasig spanningsstelsel zullen later bestudeerd worden.

Power quality: een breed domein

- Inleiding
- Harmonischen in stroom en spanning
- Amplitude van de netspanningen
- Driefasige netspanningen
- De netfrequentie
- Alles behandeld?

De netfrequentie

De netfrequentie is nominaal 50 Hz; dit is in sommige landen 60 Hz.

In een groot elektrisch net zijn de frequentievariaties erg beperkt. In normaal bedrijf blijven die schommelingen beperkt tot 20 mHz. Een iets grotere schommeling kan optreden bij het uitvallen van een grote centrale.

Bij een klein elektrisch net, in eilandbedrijf, zijn de frequentievariaties groter.

De netfrequentie

Wat doet de netfrequentie variëren?

In een net wordt actief vermogen geïnjecteerd door generatoren: P_{gen}

In een net wordt actief vermogen verbruikt door allerlei belastingen: P_{verbr}

Het is de bedoeling dat $P_{\text{gen}} = P_{\text{verbr}}$, dan is de netfrequentie constant.

Het verbruikte vermogen varieert steeds. De producenten passen steeds hun productie hieraan aan.



talent@work

De netfrequentie

Wanneer $P_{\text{gen}} > P_{\text{verbr}}$, dan zal de netfrequentie stijgen. Het teveel aan energie wordt opgeslagen onder de vorm van kinetische energie in de roterende machines (zowel synchrone als asynchrone machines draaien sneller als hogere netfrequentie).

Wanneer $P_{\text{gen}} < P_{\text{verb}}$, dan zullen de verbruikers een deel van de kinetische energie "opsouperen". De machines zullen trager draaien, de netfrequentie daalt.

Juist door de netfrequentie op te volgen, kunnen de producenten P_{gen} steeds aanpassen aan P_{verbr} .

De netfrequentie

Als gebruiker kan je de netfrequentie niet wijzigen indien je aangesloten bent op het publieke elektriciteitsnet.

Een constante netfrequentie is belangrijk. Als frequentie varieert, varieert bijvoorbeeld de snelheid van een synchrone motor mee. De vraag stelt zich tot in welke mate dit het productieproces stoort?

Je kan de AC-motor ook voeden vanuit een frequentieregelaar. Je kunt een DC-aandrijving gebruiken.

Maar variaties in netfrequentie zijn bij het publieke net erg beperkt in onze streken.



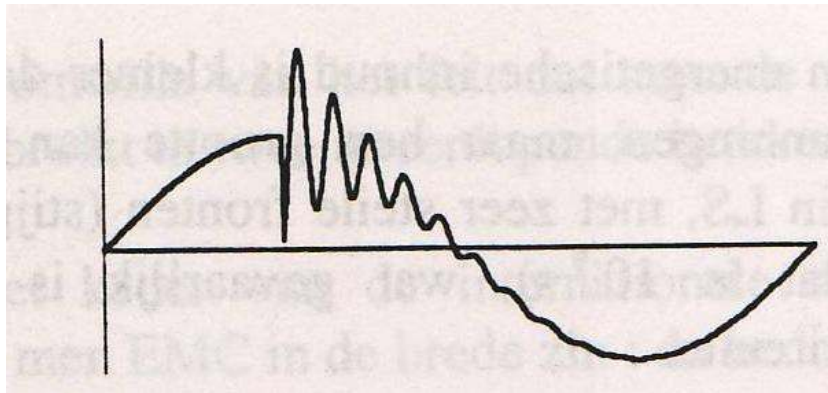
Power quality: een breed domein

- Inleiding
- Harmonischen in stroom en spanning
- Amplitude van de netspanningen
- Driefasige netspanningen
- De netfrequentie
- Alles behandeld?

Alles behandeld?

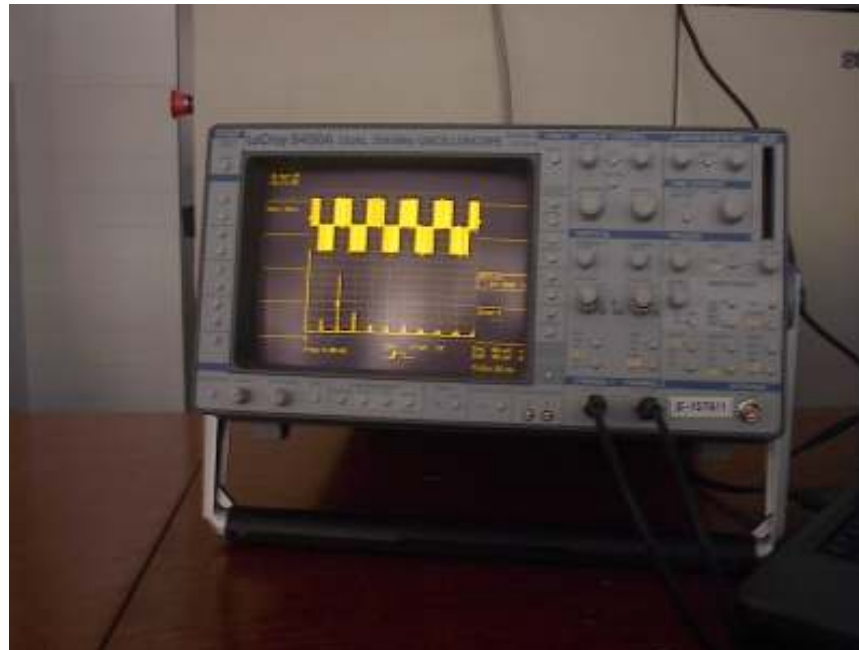
Uiteraard is niet alles behandeld, denk maar aan:

- blikseminslagen die voor spanningsgolven zorgen
- spanningsuitvallen
- inschakelverschijnselen van bvb. inductiemotoren
- inschakelverschijnselen van bvb. condensatoren
(verbetering $\cos \phi$)



gedempte oscillatie te wijten
aan inschakeling van een
condensatorbatterij

Power quality: een breed domein



Zijn er vragen??