

## Het elektriciteitsnet gezien als tandem

September 2005

door Stefan Fassbinder<sup>1</sup>, Bruno De Wachter<sup>2</sup>

E-mail: [sfassbinder@kupferinstitut.de](mailto:sfassbinder@kupferinstitut.de)

**Het systeem dat elektriciteit levert aan particulieren en bedrijven doorheen heel het land is uiterst complex. Elektriciteit mag dan wel een alomtegenwoordig en cruciaal onderdeel van onze dagdagelijkse economie zijn, het is niet gemakkelijk om dit systeem en alle bijbehorende fenomenen te begrijpen, zelfs niet voor opgeleide ingenieurs elektriciteit. In zo'n geval helpt vaak een goed gekozen vergelijking om een beter inzicht te geven in de manier waarop de dingen functioneren. Wij opteerden ervoor om het elektriciteitsnet te vergelijken met een tandem om een aantal aspecten te verduidelijken.**

Natuurlijk gaat geen enkele vergelijking voor 100% op. Het echte elektriciteitsnet en onze ingebeelde tandem komen niet volledig overeen, want niet alle eigenschappen van het elektriciteitsnet kunnen vertaald worden naar een tandem. Sommige vergelijkingspunten zijn niet altijd perfect. Toch zijn er voldoende overeenkomsten om het beeld van een tandem te gebruiken, zodat we ons visueel beter kunnen inleven in deze materie. En dat is natuurlijk het doel van dit artikel.

### Dankbetuiging

Dit document is in grote lijnen gebaseerd op een artikel dat in april 2002 werd gepubliceerd in IEEE Power Engineering door prof Lennart Söder.

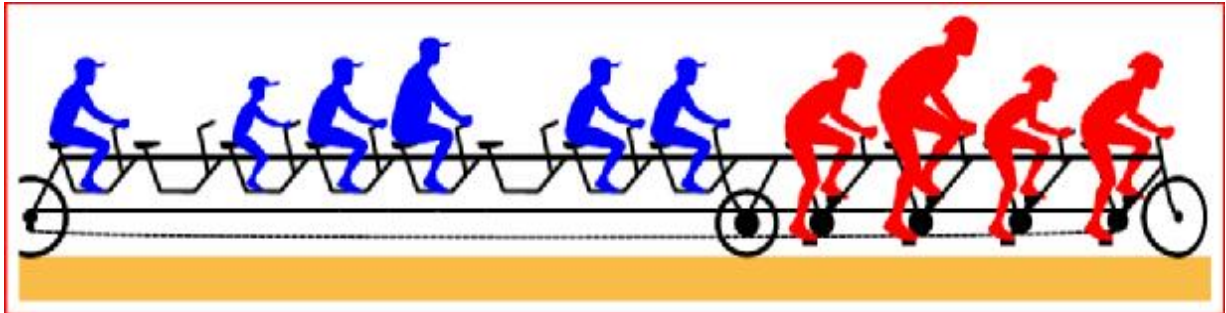
---

<sup>1</sup> Deutsches Kupferinstitut

<sup>2</sup> Forte

## 1. De basisvoorstelling van het systeem

Beeld je een tandem in die met een constante snelheid rijdt.



Het hele systeem heeft tot doel de blauwe figuurtjes achteraan op de fiets in beweging te houden, hoewel ze geen energie voortbrengen die de fiets laat voortbewegen. Zij stellen de belasting voor. Er zijn grote belastingen die veel elektriciteit verbruiken, bv. fabrieken, en kleinere belastingen, bv. privé-woningen.

De rode figuurtjes die trappen leveren de energie die het systeem in beweging houdt. Zij staan voor de elektriciteitscentrales waarin de elektrische energie wordt opgewekt. Sommige elektriciteitscentrales zijn groter en krachtiger dan andere en leveren dus ook meer stroom.

De ketting die alle elementen van het systeem verbindt, staat symbool voor het elektriciteitsnetwerk. Dat is het netwerk van hoogspanningsleidingen die de elektrische energie door het land vervoeren. De ketting moet de wielen in een constant tempo laten draaien om dezelfde snelheid te behouden. Zo moet het elektriciteitsnet ook een vaste en constante frequentie hebben. Het bovenste deel van de ketting moet onder een constante spanning staan, net zoals de verbinding in het elektriciteitsnet altijd eenzelfde spanningsniveau moet hebben.

Het onderste deel van de ketting staat niet onder spanning en is het equivalent van de neutraalgeleider in een elektriciteitsverdelingsnet.

De trapbeweging (energie) van de rode figuurtjes wordt overgebracht naar de ketting door middel van een tandwieloverbrengingssysteem of schakelinrichting. De schakelinrichting komt overeen met de transformator tussen de draaiende beweging van de turbine in een elektriciteitscentrale en het elektrisch hoogspanningsnet.

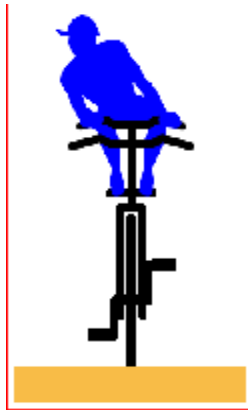
Een aantal van de rode figuurtjes (= elektriciteitscentrales) trappen niet op volle kracht. Zij sparen een deel van hun energie om extra kracht te kunnen bijzetten wanneer dat nodig is om dezelfde snelheid te behouden.

Wanneer er plots bijvoorbeeld een extra blauw figuurtje op de fiets springt (= een nieuwe belasting die wordt aangesloten op het netwerk), of één van de rode figuurtjes kramp krijgt en moet stoppen met trappen (= een elektriciteitscentrale met technische problemen die stilgelegd moet worden). Op dat moment is extra kracht nodig om dezelfde snelheid te behouden.

De vergelijking met de tandem kan ook toegepast worden op een aantal specifieke eigenschappen van het elektriciteitsnet en de kwaliteit van de elektrische stroom.

## 2. Inductieve stroom en de compensatie ervan

Een inductieve belasting heeft een sinusgolf of een terugkerend patroon met een normale frequentie en een normaal spanningsniveau, maar met een beetje vertraging in vergelijking met de hoofdsinusgolf in het net. Deze belasting ontstaat in inductiespoelen van elektrische motoren, ballasten van buisverlichting en bepaalde soorten elektrische verwarming.



Zo'n inductieve belasting kan worden weergegeven als een blauw figuurtje dat naar één kant van de tandem leunt (zie tekening). Het heeft hetzelfde gewicht (= normale belasting) en beïnvloedt de spanning op de ketting (= spanningsniveau van het net) niet, maar zonder compensatie kan het er wel voor zorgen dat de fiets omvalt.

Een rood figuurtje moet dus in de tegenovergestelde richting leunen ter compensatie (= een elektriciteitscentrale moet inductieve stroom voortbrengen, d.i. stroom met dezelfde vertraging in de sinusgolf als de belasting) (zie tekening).



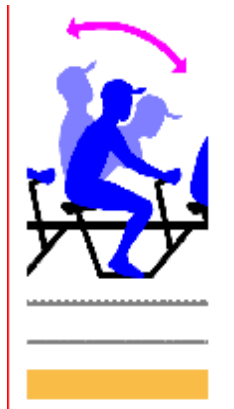
Dit heeft een aantal gevolgen:

- De compensatie moet onmiddellijk gebeuren en moet nauwkeurig zijn, anders valt de hele fiets (= elektriciteitsnet) om. Daarvoor is er tussen de rode figuurtjes die trappen (= tussen de elektriciteitscentrales) een goede verstandhouding nodig over wat er moet gebeuren en moeten zij in staat zijn om heel snel te reageren.
- Een rood trappend figuurtje (= elektriciteitscentrale) dat opzij leunt, kan niet zo comfortabel werken als daarvoor. Als gevolg daarvan zet het minder kracht op de pedalen (= elektriciteitscentrales produceren minder 'actieve energie', d.i. energie zonder vertraging op de sinusgolf). De andere rode trappende figuurtjes (= elektriciteitscentrales) moeten dus meer kracht leveren.
- Wanneer een blauw figuurtje achteraan naar één kant leunt en een rood figuurtje naar de andere kant leunt, vangt de fiets meer wind, wat leidt tot extra verlies. Dit is ook zo bij inductieve stroom op het elektriciteitsnet: die zorgt ook voor extra verlies.

Om deze gevolgen op te vangen, worden grote inductieve belastingen meestal dicht bij hun bron gecompenseerd. Dit gebeurt door een capacatieve belasting, meer bepaald door een reeks condensatoren. Zij leveren stroom met een sinusgolf met een bepaalde voorsprong in vergelijking met de hoofdsinusgolf op het net. Dit compenseert de vertraging van de inductieve belasting. Een capacatieve belasting kan worden gezien als een ander blauw figuurtje dat dichtbij het eerste zit, maar naar de andere kant leunt.

Inductieve of capacatieve belastingen worden ook reactieve belastingen genoemd. Een belasting zonder vertraging of voorsprong noemt men een actieve belasting.

### 3. Harmonische vervorming



Beeld je een hyperactieve blauwe fietser in die voortdurend naar voor en naar achter buigt (zie afbeelding). Als hij deze beweging maakt op het ritme van de fiets, kan het geen kwaad. Maar als hij drie of vijf keer sneller beweegt, is dat wel een probleem. Dit is een harmonische belasting, een belasting met een frequentie die een veelvoud is van de normale frequentie. TV-toestellen, computers, compacte fluorescentielampen en elektrische motoren met inverter drives zijn typische voorbeelden van toepassingen die harmonische vervormingen kunnen veroorzaken. Ideaal gezien moeten deze gecompenseerd worden door harmonische filters dichtbij de bron, anders begint de fiets voorwaarts en achterwaarts te schokken, wat resulteert in extra energieverlies. Zo'n harmonische filter kan men zien als een zadel dat gemonteerd is op rolletjes en dat voorwaarts en achterwaarts beweegt en zo de beweging van de hyperactieve blauwe fietser onmiddellijk neutraliseert.

#### 4. De spanning en de frequentie constant houden



Een van de rode fietsers draagt schoenen die te glad zijn. Plots schuift zijn voet van het pedaal. Zijn bijdrage tot de kracht die het systeem levert gaat plots verloren en de spanning op de ketting vermindert.

De andere rode fietsers moeten dit compenseren om dezelfde snelheid te behouden. De fietser die van de pedalen schoof, moet bovendien oppassen dat hij zich geen pijn doet, want de pedalen en de ketting blijven in beweging.

Het is een hachelijke onderneming om zijn voet opnieuw op het pedaal te zetten om zijn deel van het werk opnieuw over te nemen van zijn collega's.

Deze situatie kan men vergelijken met een spanningsdaling.

Door een defect in een elektriciteitscentrale (= gladde schoenen) kan het gebeuren dat het controlesysteem de elektriciteitscentrale plots uitschakelt (= van de pedalen schuiven), met het risico dat bepaalde delen van de apparatuur beschadigd worden omdat het netwerk krachtiger is en dezelfde frequentie behoudt (= de pedalen blijven draaien).

Het gevolg van dit defect is een plotse spanningsdaling op het net (= minder spanning op de ketting) die blijft duren tot de andere elektriciteitscentrales in het netwerk reageren door hun bijdrage te verhogen.

Als zij niet snel genoeg reageren kan de frequentie (= snelheid van de fiets) dalen. En net als voor de fietser die van het pedaal is geschoven en problemen heeft om zijn voet opnieuw op het pedaal te zetten, is het voor elektriciteitscentrales een hachelijke onderneming om een generator opnieuw aan te sluiten op het netwerk, aangezien de frequenties moeten overeenkomen.

Een gelijkaardige spanningsdaling kan zich voordoen wanneer plots een zware belasting wordt aangesloten op het netwerk. Daarom worden zware belastingen meestal niet in één keer aangesloten, maar in stappen.

Wanneer een zware belasting plots wordt losgekoppeld, kan zich een spanningspiek voordoen. In zo'n geval moeten de elektriciteitscentrales hun bijdrage snel verminderen, anders stijgt de frequentie.

In het voorbeeld van onze tandem begint de fiets plots te versnellen als één van de blauwe figuurtjes eraf springt en de rode fietsers met dezelfde kracht op de pedalen blijven duwen.

Ze moeten snel reageren en hun kracht verminderen, anders begint de fiets te versnellen.

## 5. Drie verschillende soorten elektriciteitscentrales



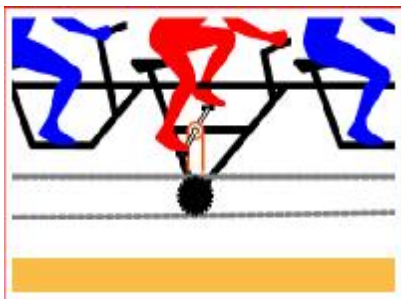
Als een rood fietsend figuurtje rechtstreeks met één tandwiel is aangesloten op de ketting, moet hij constant trappen met de juiste snelheid en met de juiste hoeveelheid kracht. Dit is het geval bij grote traditionele elektriciteitscentrales en kerncentrales die op het net zijn aangesloten door middel van een transformator.



Sommige fietsers kunnen echter trager trappen omdat hun kracht door middel van een tandwieloverbrenging wordt omgezet in de juiste snelheid. Dat komt overeen met elektriciteitscentrales die trager draaien, bijvoorbeeld een waterkrachtcentrale waarbij de snelheid van de turbine afhankelijk is van het debiet van de rivier.

In zo'n geval is de turbine net als bij de tandem aangesloten op de generator met een tandwieloverbrenging die de snelheid omzet.

Een andere optie is dat de generator met dezelfde snelheid draait als de turbine en dat de juiste frequentie voor the elektriciteitsnet wordt gerealiseerd door middel van een frequentieomvormer.

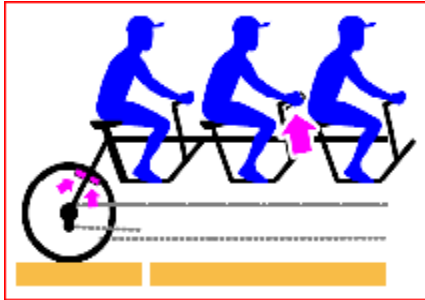


Windturbines zijn net als kleine rode figuurtjes die alleen trappen wanneer het mooi weer is. Hoe beter het weer is, hoe sneller ze trappen. Soms kunnen ze erg nuttig zijn, maar je kan er niet echt op vertrouwen. Dat is net zoals bij windturbines. Zij functioneren alleen als de windsnelheid niet te hoog en niet te laag is. Daarom moeten zij voortdurend ondersteund worden door andere soorten elektriciteitscentrales.

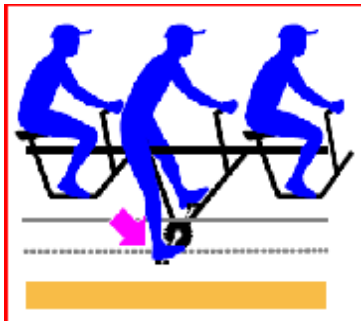
Deze fietsers die alleen bij mooi weer fietsen zijn aangesloten op de ketting door middel van een riem en een tandwieloverbrenging, waardoor ze aan verschillende snelheden kunnen trappen, net zoals windturbines die aangesloten zijn via een tandwieloverbrenging of een frequentieomvormer om schommelingen in de windsnelheid te compenseren.

## 6. Drie verschillende soorten belastingen

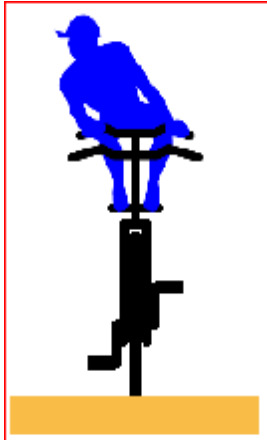
Niet alleen de eigenschappen van de elektriciteitscentrales verschillen sterk, maar ook de belastingen.



Een eerste soort elektrische belasting is een weerstand die hitte of licht produceert op basis van de elektrische energie. Voorbeelden hiervan zijn gloeilampen of de meeste systemen voor elektrische verwarming. Zij vormen het equivalent van een blauwe fietser zonder pedalen die voortdurend remt. Deze remmen zetten kinetische energie of bewegingsenergie om in warmte op dezelfde manier als een weerstand elektrische energie omzet in warmte.



Het basisprincipe van een elektrische motor is vergelijkbaar met dat van een generator. In plaats van roterende energie om te zetten in elektrische energie zet de motor elektrische energie echter om in roterende energie. In ons voorbeeld kunnen we dat voorstellen als een blauwe fietser die zijn voeten op de draaiende pedalen heeft net als de rode figuurtjes (= elektriciteitscentrales), maar die in plaats van mee te trappen de draaibeweging met zijn volle gewicht probeert tegen te houden.



Een derde soort belasting is de reactieve belasting die we al besproken hebben in punt 2. Dat is de blauwe fietser zonder remmen of pedalen die naar één kant leunt. Dit creëert een inductieve belasting met een bepaalde vertraging in vergelijking met het net (bv. een fluorescentielamp) of het tegenovergestelde; een capacatieve belasting met een bepaalde voorsprong in vergelijking met het net (bv. een reeks condensatoren).

## 7. Besluit

Deze vergelijking toont aan hoe complex het beheer van een elektriciteitsnet is. De stroom die op een bepaald moment wordt gegenereerd, moet de belasting nauwkeurig compenseren.

Om dit fragiele evenwicht in stand te houden moet men een aantal elementen onder controle houden. De moeilijkste uitdaging is dat zowel de snelheid van de ketting (de frequentie van het netwerk) als de spanning op de ketting (het spanningsniveau) constant moeten blijven, ook al kunnen er verschillende onverwachte storingen van het evenwicht optreden.

Sinds de vrijmaking van de elektriciteitsmarkt in Europa heeft elk land een onafhankelijke netwerkbeheerder die deze taak op zich neemt.

## Referenties

[Soeder, 2002] Lennart Soeder, Explaining Power System Operation to Non-engineers, IEEE Power Engineering, april 2002.