

# Statorstroomanalyse als aanvulling op trillingsanalyse

**Trillingsanalyse kan een effectief hulpmiddel zijn om de conditie van pompen en elektromotoren in te schatten. Een condition monitoring programma volgt vitale onderdelen trendmatig en brengt doelmatig onderhoud binnen handbereik.**

Arie Mol

Bij elektrische machines is statorstroomanalyse een vrij onbekende en daarom onbemande analysemethode. Statorstroomanalyse of motor current signature analysis (MCSA) kan elektrische machine storingen aan het licht brengen. MCSA en trillingsanalyse kunnen elkaar aanvullen.

## STROOMANALYSE

Elke elektromotor wordt gevoed uit een driefasen draaistroomnet met een spanning van bijvoorbeeld 400 V of 6 kV middenspanning. De stroom in elk van de drie fasen is sinusvormig, met

per fase een faseverschil van 120 graden. De stroom kan eenvoudig gemeten worden door een ampèretang (stroomtransformator) om de kabel te clippen. Het mV/A output signaal wordt gebruikt voor analyse. Bij middenspanningmotoren wordt uiteraard met de ampèretang aan de secundaire zijde van de stroomtransformator gemeten. Dit kan 'online' plaatsvinden, oftewel tijdens normaal bedrijf, op elk gewenst moment en zonder verstoring van het productieproces. De belangrijkste functie van statorstroomanalyse bij elektromotoren is rotorfouten aan het

licht brengen. Dan is statorstroomanalyse handig, want de roterende rotor is nu eenmaal niet bereikbaar om sensors te plaatsen. Door de altijd aanwezige inductieve koppeling tussen stator en rotor wordt een onvolkomenheid in rotorstroom gereflecteerd in de statorstroom, en omgekeerd. Van deze eigenschap wordt bij MCSA gebruik gemaakt.

## ROTORSTAAF-BREUK

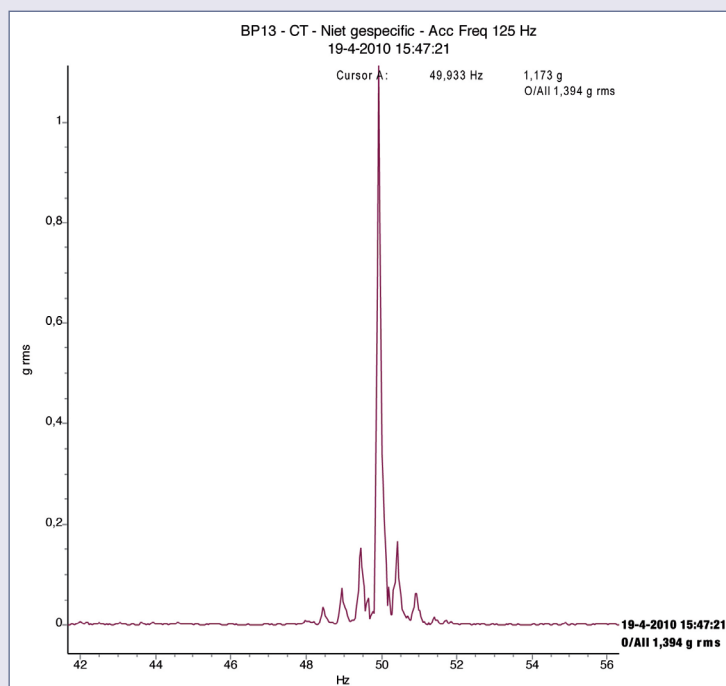
Het bekendste voorbeeld is ro-

torstaafbreek. De rotor van een kortsluitankermotor telt doorgaans tientallen rotorstaven. Goed functionerende staven voeren dezelfde stroom en dragen allemaal gelijkmatig bij aan koppelvorming. Wanneer één of meer staven niet bijdragen aan koppelvorming dan zal er een koppelfluctuatie optreden in het ritme van aantal polen maal slip. Bijvoorbeeld bij een vierpolige motor en toerental 1488 r/min zal de 'poolpasseerfrequentie' uitkomen op 4 polen \* 12 r/min = 48 fluctuaties per minuut = 0.80 Hz. Meestal is dit ook hoorbaar als 'hunten', met in dit geval een interval van 1,25 seconden. Omdat koppelpulsatie ook stroompulsatie betekent, komt een rotorstaafprobleem tot uiting als een laagfrequent amplitudemodulatie van de motorstroom; in het frequentiespectrum als zijbanden van 50 Hz. Afbeelding 1 toont het MCSA frequentiespectrum. MCSA moet worden uitgevoerd bij motorbelasting groter dan 50 procent.

## RISICO

Rotorstaafbreek is een verzamelnaam. Het kan gaan om een heuse breuk in de koperen staaf, of een grote gietgal in een staaf van een aluminiumgegoten rotor. Ook kan het gaan om een verslechterde kwaliteit van de zilversoldeerverbinding tussen koperen staaf en kortsluitring. Risicomotoren zijn motoren die veelvuldig aanlopen met lange aanlooptijd, bijvoorbeeld bij pompen met groot massa-

Afbeelding 1. MCSA van een ongezonde rotor



*Gebroken rotorstaven vormen een bedreiging voor bedrijfszekerheid.  
(Foto: Bakker Repair Sliedrecht)*



traagheidsmoment. Hierdoor ontstaan kortstondig grote thermische spanningen en hotspots. Motoren die ooit ontworpen zijn voor continu bedrijf en nu gebruikt worden voor start-stop bedrijf lopen extra risico. Doorgaans zal de robuuste rotor een rotorstaaf/breuk wel overleven. De thermische hotspot en vonkvorming kunnen echter het isolatiemateriaal van de nabijgelegen statorwikkeling beschadigen, met mogelijk een total loss tot gevolg. Er zijn praktijkvoorbeelden bekend van motoren die jarenlang een bepaald rotorstaaf breukniveau laten zien zonder onmiddellijke gevolgen voor de bedrijfszekerheid. Niettemin is het raadzaam de trendontwikkeling in de gaten te blijven houden.

### TRILLINGSANALYSE

Het eindige aantal rotorstaven en statorgleuven in een elektromotor roept een fluctuatie op van het magnetisch veld in het ritme van aantal staven (of gleuven) maal het toerental. Door de radiale krachtwerking in de luchtspleet tussen rotor en stator komt dit tot uiting in een relatief hoogfrequent (500 – 2000 Hz) trilling op het blikpakket. Dit is bekend onder de naam 'rotor bar pass frequentie' (RBPF). Een versnellingsopnemer op het midden van het motorframe kan dit goed meten. Een rotorstaafbreuk geeft weer een laagfrequent amplitudemodulatie van deze hoogfrequenttrilling. Moderne trillingsanalyseapparatuur heeft

een demodulatiefunctie ingebouwd waarmee de laagfrequent koppelpulsatie zichtbaar kan worden gemaakt in een frequentiespectrum.

### ANDERE TOEPASSINGEN

Stroomanalyse hoeft natuurlijk niet beperkt te zijn tot statorstroomanalyse bij elektromotoren.

- Bij synchrone generatoren ver raadt laagfrequent statorstroomfluctuatie een instabiliteit in de vermogensregeling van de dieselmotor of gasmotor. Dit kan weer ondersteund worden door torsietrillinganalyse met frequentiedemodulatie van het magnetische pick-up signaal.
- Een onvolkomenheid in de rotor van een borstelloze generator van een genset zoals een defecte diode van de roterende gelijkrichter wordt ook gereflecteerd in de stationaire bekrachtigingsstroom. Dit heet dan 'excitation current signature analysis' (ECSA).
- Bij gelijkstroommachines is er ook een relatie tussen ankerstroom amplitudemodulatie en koppelpulsaties en torsietrilling van de roterende delen.
- Magnetische lagers hebben ook een bekrachtigingsstroom en terugkoppelsignaal van de aspositie. Met stroomanalyse kan rotorinstabiliteit zichtbaar worden gemaakt in het tijddomein en het frequentiespectrum. Trillingsanalyse via contactloze

opnemers (shaft proximiter probes) kan bij trouble-shooting weer als complementaire informatie bron functioneren.

- Bij regelsystemen kan de 4–20 mA loopstroomanalyse van bijvoorbeeld een druksensor snelle drukpulsatieproblemen bij pompen en lange leidingen aan het licht brengen, die doorgaans door de manometer gemist worden.
- Bij frequentiegeregelde pomp-aandrijvingen kan common mode stroommeting ('nulstroom' meting) met een Rogowsky stroomtransformator, geclipt om alledrie de fasekabels, problemen aan het licht brengen, zoals elektrische stroomdoorgang door lagers. Ook hier kunnen stroomanalyse en trillingsanalyse elkaar aanvullen. Sommige isolatiefouten van de statorwikkeling zijn ook zichtbaar in de common mode stroom. De frequentieregelaar fungeert met het snelle dc-schakelen tussen de motor-klemmen immers als continue tester van isolatie tussen (wikkeling)koper en (frame)ijzer.
- Laag-toeren zuigercompressoren genereren een laagfrequent koppelpulsatie die ook weer als stroomfluctuatie zichtbaar is in de statorstroom van de elektromotor. Afwijkingen in de koppelpulsatie verraden zich in afwijking van de amplitudemodulatie van de statorstroom.