

Trillingsanalyse bij dieselaangedreven pompen

De meeste industriële pompen worden aangedreven door elektromotoren, maar vooral in de maritieme sector worden ook dieselmotoren gebruikt. Bij een dieselmotor is het van groot belang het torsietrillinggedrag van de roterende delen te beheersen.

Arie Mol

Met de Torsional Vibration Calculation kunnen torsiespanningen in kritische onderdelen en torsieresonantiefrequenties vooruit berekend worden. Het is bij dit rekenmodel van belang een koppelingsstijfheid te selecteren zodanig dat de torsieresonantiefrequentie niet samenvalt met een aanstootfrequentie. Indien dit wel het geval is, kan er door resonantietrillingen vroegtijdig schade optreden aan het rubber van een torsie-elastische koppeling of andere roterende onderdelen. Maar een rekenmodel is alleen bruikbaar wanneer het wordt gevalideerd via terugkoppeling door meting in het veld. Hiervoor dient een speciale meetmethode gebruikt te worden; conventionele trillingsopnemers zijn onbruikbaar. Een praktijkvoorbeeld maakt duidelijk hoe torsietrillingmeting inzicht geeft in de validiteit van het rekenmodel en de bedrijfszekerheid van de aandrijving.

ONEENPARIGE ROTATIE

Het gaat in dit voorbeeld om een viertakt dieselmotor met een torsie-elastische koppeling die via een tandwielkast een centrifugaalpomp aandrijft. Het toerental is variabel tussen 1400 en 1800 r/min. Door de oneenparige rotatie wekt elke verbrandingsmotor torsietrillingen op. Figuur 1 toont de torsietrillingfrequentiespectra van de roterende delen zoals gemeten op het vliegwiel. De kenmerken van het frequentiespectrum zijn, refererend aan het

middelste spectrum, 1615 r/min:

- De voor een viertakt dieselmotor kenmerkende frequentiecomponenten $\{k \cdot \frac{1}{2} \cdot \text{rpm}\}$, met $k = 1, 2, 3$, enz. zijn aanwezig in het spectrum, tot circa 200 Hz. Met $1 \cdot \text{rpm} = 1615 \text{ r/min} = 26,9 \text{ Hz}$ gaat het dus om 13,5 Hz, 26,9 Hz, 40,4 Hz, 53,8 Hz enz.
- Verder is enige onrust herkenbaar bij 3 Hz, onafhankelijk van het toerental. Dit is afkomstig van de toerentalregeling (of vermogensregeling bij een genset parallel aan het net) neemt deze amplitude sterk toe en loopt de motor hoorbaar onrustig.
- Door het impulsachtige karakter van een trillingsbron als een verbrandingsmotor wordt de eerste torsiekritische gemakkelijk aangestoten. De eerste torsiekritische ligt bij 16 Hz. Een torsie-elastische koppeling moet de dieseltrillingen isoleren ten opzichte van het werktuig, opdat het werktuig geen schade ondervindt van de torsietrillingen van de dieselmotor. Om voldoende te isoleren, is een lage afstemfrequentie nodig. De afstemfrequentie, een

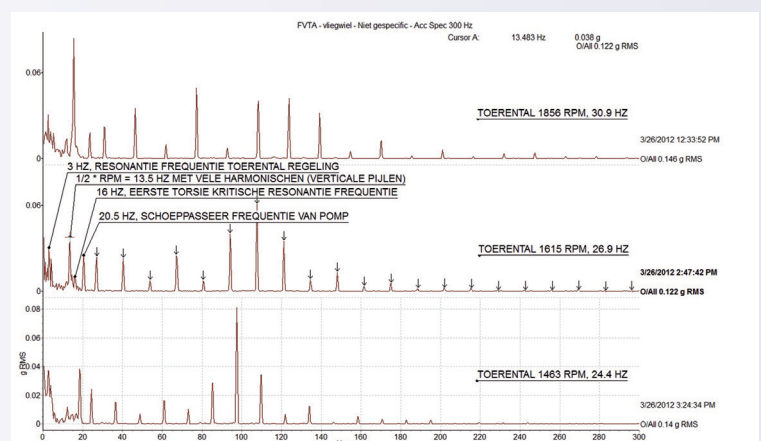
andere uitdrukking voor eerste torsiekritische resonantiefrequentie, ligt meestal rond 10 – 20 Hz. Een juiste selectie van rubberstijfheid en demping is dan ook van groot belang.

- Bij 20,5 Hz is een 'vreemde eend in de bijt' waarneembaar. Dit is de schoeppasseerfrequentie van de pomp. De tandwielkast heeft een overzetverhouding $i = 1 : 3,94$, waarmee het pomptoeental uitkomt op 410 r/min oftewel 6,83 r/s, Hz. Met het aantal schoepen $z = 3$ wordt dan de drukpulsatiefrequentie $3 \cdot 6,83 \text{ Hz} = 20,5 \text{ Hz}$. Drukpulsaties met schoeppasseerfrequentie $z \cdot \text{rpm}$ kunnen bij een hoogrendement centrifugaalpomp aanzienlijk zijn, vooral wanneer werkpunt ver verwijderd ligt van optimale werkpunt.

DRAAIGEDRAG

De kenmerken van het draaigedrag

Figuur 1. Frequentiespectrum torsietrilling vliegwiel. Van boven naar beneden: dieselmotor toerental 1856 r/min, 1615 r/min en 1463 r/min



Trillingsanalyse bij dieselaangedreven pompen

van een pompaandrijving zijn:

- Bij toenemend toerental neemt de $\{1 * 1/2 * \text{rpm}\}$ frequentiecomponent sterk toe. Dit wordt veroorzaakt doordat deze aanstootfrequentie steeds dichterbij de eerste torsiekritische komt. Bij ruim 1900 r/min vallen beide samen. Dit is met betrekking tot de bedrijfszekerheid een ongewenste situatie. Door resonantietrillingen kan op den duur het rubber van de torsie-elastische koppeling scheuren. Een begin van zo'n degradatieproces is waarneembaar met een stroboscoop. De 'cracks' in het rubber zijn onder belasting goed zichtbaar. Bij nullast en stilstand sluiten de scheuren zich en zijn nauwelijks zichtbaar. De eerste torsiekritische wordt voornamelijk bepaald door het massastraagheidsmoment van vliegwiel en de torsie-elasticiteit van de torsie-elastische koppeling. Dan tordeert het vliegwiel ten opzichte van het massastraagheidsmoment van de pompwaaier met daartussen de torsie-elastische koppeling. Het knooppunt ligt dan ergens in het midden van het rubber van de koppeling.

- Uit het verloop van amplitude van de diverse harmonischen als functie van het toerental valt op het eerste gezicht al af te leiden dat er rond 100 Hz een resonantie aanwezig is. Wanneer de amplitude van de $7 *$, $8 *$ en $9 * 1/2 *$ rpm componenten wordt uitgezet als functie van het toerental, kan een resonantiekromme gereconstrueerd worden met een resonantiefrequentie bij circa 105 Hz. Dit kan ook al worden gezien wanneer de spectra op elkaar worden gelegd. Dit is de tweede torsiekritische resonantiefrequentie. Bij een dieselmotor met elastische koppeling is de bewegingsvorm: vliegwiel (aandrijfzijde) tordeert ten op-

zichte van trillingsdemper (niet-aandrijfzijde) met daartussen de torsie-elasticiteit van de krukas. Het knooppunt ligt dan ergens nabij het midden van de krukas.

- Bij dit type dieselmotor zijn dan toerentallen van respectievelijk 1800, 1575 en 1400 r/min ongewenst. Hieruit zou je kunnen afleiden dat de motor voor deze toepassing ongeschikt is. Toch is er doorgaans voldoende interne demping, zodat de torsietrillingamplitude binnen aanvaardbare waarden blijft en er geen interne schade (bijvoorbeeld krukasbreuk) optreedt in de motor. Bij de meeste dieselmotoren ligt de tweede torsiekritische tussen 50 en 150 Hz.

MEETMETHODE

Torsietrilling op het vliegwiel wordt gemeten door de (tijdelijk geplaatste) magnetische pick-up. Het signaal wordt verwerkt in een elektronische lineaire frequentie-spanning (F-V) omzetter. De grootte van het torsietrillingniveau, op locatie vliegwiel, kan als volgt worden bepaald. De tandkrans op het vliegwiel telt 142 tanden. Bij toerental 1615 r/min (26,9 Hz) en zonder torsietrillingen is de draaggolffrequentie van het uitgangssignaal van de magnetische pick-up 3822 Hz. Indien de lineaire overzetverhouding van de F-V omzetter 1,50 V/kHz is, dan is de uitgangsspanning bij 1615 r/min gelijk aan 5,73 V dc. Met torsietrillingen wordt de draaggolf in frequentie gemoduleerd en

verschijnt er aan de uitgang van de F-V omzetter een wisselspanning. Het wisselspanningaandeel in het uitgangssignaal van de F-V omzetter bedraagt 12,2 mV ac rms = 34,4 mV pk-pk (ingangsgevoeligheid frequentiespectrumanalyser 1 g rms = 100 mV rms, 0,122 g = 12,2 mV, figuur 1 middelste spectrum). Het overall torsietrillingsniveau op het vliegwiel bedraagt dan $34,4 / (5,73 / 100) = 0,60\%$. Bij 1856 r/min wordt het overall torsietrillingniveau 0,72%. Dit is ruim onder de door de meeste dieselmotorfabrikanten toelaatbaar geachte 1%. De bedrijfszekerheid van de dieselmotor – tandwielkast – pompaandrijving mag dus voor het torsietrillinggedrag in het beoogde werkgebied 1400–1800 r/min als voldoende gewaarborgd worden geacht. Het is wel raadzaam niet hoger dan 1800 r/min te gaan om torsieresonantietrillingen te voorkomen. De $1/2 * \text{rpm}$ component komt dan te dicht bij de eerste torsiekritische van 16 Hz waardoor het rubber van de torsie-elastische koppeling thermisch overbelast kan raken. Het is opmerkelijk hoe weinig dieselmotorfabrikanten deze eenvoudige meetmethode toepassen.

Figuur 2. Spectra op elkaar gelegd, resonantiefrequenties bij 16 Hz en 105 Hz

