

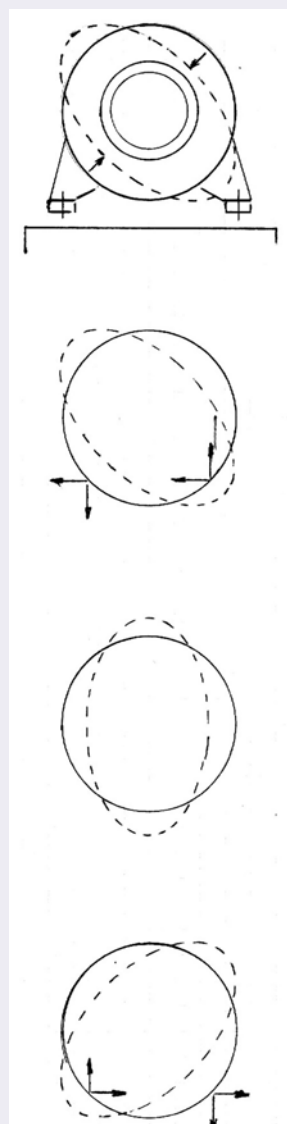
Hoog toerental pompaandrijvingen

Een centrifugaalpompaandrijving kan worden ontworpen met een hoog toerental, 3000 r/min. of meer, of een laag toerental, bijvoorbeeld enkele omwentelingen per seconde. Een hoog toerental brengt specifieke trillingsproblemen met zich mee.

Arie Mol

Stromingsmachines zijn onderworpen aan een aantal wetmatigheden. Zo geldt in het algemeen:

Figuur 1. Reactiekrachten die ontleed kunnen worden in een horizontale en verticale component



Vloeistof hoeveelheid [m³/s]:

$$Q \div D^2 * u$$

Druk [Pa]: $p \div u^2$

Omtreksnelheid [m/s]:

$$u \div \pi * D * n/60$$

waarin:

D = diameter pomp waaier en n = toerental [r/min.].

Wie een pomp wil ontwerpen met een, bij gegeven hydraulisch vermogen $p * Q$ [kW], relatief hoge druk en een kleine opbrengst, komt vanzelf uit op een kleine diameter. Bij een centrifugaal-pomp verloopt het werkpunt met maximaal rendement bij verschillende toerentallen namelijk volgens een parabool. Je schrijft dan voor het optimale werkpunt de stromingsweerstandlijn: $R_{opt} \div p_{opt} / Q_{opt}^2$

Met dit basis ontwerpcriterium wordt $R_{opt} \div 1 / D^4$ dus alleen bepaald door diameter, onaf-

hankelijk van omtreksnelheid. Bij gegeven (hoge) druk en omtreksnelheid betekent een kleine diameter vanzelf een hoog toerental. Praktisch gezien komt de ontwerper dan uit op een smalle centrifugaalwaaier met een groot aantal schoepen en een kleine schoep-hoek. Meerdere pompen in serie reduceren de hoofdafmetingen van de inbouw. Toepassingen zijn onder meer ketelvoedingspompen en deep well pompen.

MOTOR SELECTIE

Aan de andere kant van de koppeling gelden ook wetmatigheden. Elektromotoren hebben bij een gegeven frequentie een vast toerental, dat afhankelijk is van het aantal polen. Een hoog toerental pomp wordt aangedreven door een tweepolige elektromotor eventueel met een tandwielkast. Een tweepolige motor kent een aantal specifieke trillingskenmerken, zoals het 100 Hz trillingsprobleem. Bij een tweepolige motor (en ook generator) worden het stator blikpakket en motorframe ovaalvormig vervormd onder invloed van de radiale krachtwerking onder de noord- en zuidpool van het roterende magnetische veld. Wanneer een tweepolige motor wordt vastgebouwd aan een fundatie ontstaat een trillingsmechanisme dat niet optreedt bij andere pooltallen, en dat voor veel problemen kan zorgen (zie Figuur 1). Op de doorgaans onder 90 graden geplaatste motorvoeten ontstaan reactiekrachten die ontleed kunnen worden in een hori-

zontale en verticale component. De horizontale componenten introduceren een trilling in de horizontale bewegingsrichting, de verticale componenten introduceren een torsiebeweging. Deze componenten wijzigen zich van richting en kunnen ook nul worden tijdens het roteren van het magnetische veld. Daaruit is af te leiden dat bij één rotatie van het magnetisch veld het krachtenpatroon zich tweevoudig herhaalt. Bij een tweepolige motor en een 50 Hz net is de rotatiefrequentie 50 Hz; het trillingspatroon heeft dus de 'dubbele netfrequentie' 100 Hz.

BETONFUNDATIE

Tot zover geen probleem, maar er kunnen vervelende problemen ontstaan, ten eerste voor wat betreft de bedrijfszekerheid. Indien de opstelling van motor op fundatie in horizontale bewegingsrichting een resonantiefrequentie heeft nabij 100 Hz, dan kan het trillingsniveau bij dubbele netfrequentie veel te hoog worden. Juist een stevige betonfundatie kan de krachtwerking bevorderen. Een relatief licht stalen frame zonder beton 'grouting' is veelal gunstiger. Statisch is een stevige fundatie weliswaar goed, maar dynamisch is dat bij een tweepolige toepassing niet altijd gunstig. Indien de opstelling van motor en werktuig en daartussen het fundatieframe een torsieresonantiefrequentie heeft nabij 100 Hz, kan er ook een torsietrillingsprobleem ontstaan. Dit wordt gemakkelijk over het hoofd gezien,



Figuur 2. Goed uitgevoerde fundatie

aangezien elektrische machines van nature geen torsietrillingen genereren. Met name de lagers van motor en werktuig worden dynamisch zwaar belast door deze resonantietrillingen, met kans op vervroegde lagerschade. Wentellagers zijn in dit opzicht gevoeliger dan glijlagers. Een klassiek hoofdaannemerprobleem dus: componenten zijn goed, het systeem is fout.

TRILLINGSTEST OP FUNDATIE

Een tweede moeilijkheid is commercieel van aard. Bij een fabrieksafname wordt de trillingstest volgens IEC-norm standaard uitgevoerd in nullast en de motor wordt geplaatst op rubber trillingsdempers. Het trillingsniveau bij 100 Hz is dan doorgaans laag. Zodra de motor echter op locatie of bij de pompleverancier op een vaste fundatie wordt geplaatst, kan de 100 Hz trillingscomponent heel anders uitpakken. De pompleverancier zit dan als hoofdaannemer met een probleem, want de motor is immers succesvol door de afname gekomen. Eigenlijk zou bij afname de trillingstest 'vast op fundatie' gedaan moeten worden. Terecht maken fabrikanten bezwaar omdat dit een test van motor samen met de (vaak provisorische) fundatie is, en niet van de onafhankelijke zelfstandige motor.

UITLIJNEN

Een derde probleem kan ontstaan bij het uitlijnen. Een misuitlijning tussen motor en werktuig uit zich doorgaans in een tweemaal

toerental trillingscomponent. Bij een tweepolige motor vallen twee maal toerental frequentie (bijna $2 * 50 \text{ Hz} = \text{bijna } 100 \text{ Hz}$) en de dubbele netfrequentie (precies 100 Hz) vrijwel samen. Een elektrisch opgewekte 100 Hz trilling kan dan vooral bij lage motorbelasting gemakkelijk worden aangezien voor een mechanisch uitlijnprobleem. Menig uitlijntechnicus is hierdoor onterecht aan zichzelf of de apparatuur gaan twijfelen. Bij toenemende motorbelasting wordt een zweving hoorbaar in het ritme van $2 * \text{slijpfrequentie}$. Wat vaak helpt, is de truc van het lossen van een van de vier voetbouten. De koppeling tussen motor en fundatie verandert dan een klein beetje en ook de resonantiefrequentie verschuift net genoeg in de goede richting om het trillingsniveau aanzienlijk te reduceren. In de praktijk loopt menig tweepolige motor rustiger op drie dan op vier poten. De doorgaans ongewenste 'soft foot' conditie kan bij tweepolige machines dus juist goed uitpakken. Het probleem kan wel jaren later weer terugkeren, wanneer na een revisie de motor weer met vier voetbouten wordt vastgezet en de nieuwe generatie technici de oude truc niet kent.

KRITISCH TOERENTAL

Bij een toenemende bouwgrootheid neemt in het algemeen de massa sneller toe dan de stijfheid.

Resonantiefrequenties tonen een dalende tendens. De resonantiefrequentie van de in de lagers opgelegde rotor kan dan uitkomen in de buurt van bedrijfstoerental. Motoren boven pakweg 500 kW krijgen een flexibele as – een zogenoemde over-kritisch draaiende rotor – met een resonantiefrequentie of 'kritisch toerental' op ongeveer $2/3$ van het bedrijfstoerental. Voor centrifugaalpompen geldt dezelfde wetmatigheid. Door de lage rotormassa / statormassa-verhouding wordt trillingsgedrag meestal bewaakt met contactloze astrillingopnemers (proximity probes) en niet door seismische opnemers op het stator frame. Doordat de astrillingopnemers doorgaans naast de lagers bij het aseinde worden gemonteerd en in die buurt zich ook het knooppunt bevindt van de astrilling, kan een hoge astrilling onopgemerkt blijven. Dit kan voor de fabrikant handig zijn bij een afname test maar brengt de bedrijfszekerheid op den duur in gevaar, zeker als er sprake is van regelmatig start-stop bedrijf en een lange aanlooptijd. Toepassing van een frequentieregeling en een uitgangsfrequentie circa $2/3$ van 100% levert geheel een bedrijfszekerheidsprobleem op, tenzij demping in de oliefilm van de rotorondersteuning hoog genoeg is, zoals bij hoogdynamisch geregelde magnetische lagering.