

Getunedede massadempers helpen FORTiS™ encoders aan de beste trillingsweerstand in hun klasse

In 1907 omschreef de Amerikaanse werktuigbouwkundige Frederick Winslow Taylor machinetrillingen als "het meest obscure en delicate van alle problemen waar de machinist mee kampt". Vanuit onze uitgebreide ervaring in bewerkingen die we in bijna vijf decennia opgedaan hebben, zowel bij Renishaw zelf als in nauwe samenwerking met onze klanten wereldwijd, kunnen we zijn mening onderschrijven. Ondanks de geboekte vooruitgang in ruim een eeuw en de ontwikkeling van de moderne hoogwaardige snelle CNC-bewerkingsmachines van vandaag de dag, kunnen en zullen er trillingen optreden. Tot de toepassingen die dat kunnen veroorzaken behoren onder meer zware voorbewerking, intermitterend verspanen, dunwandige componenten, en het bewerken van bijzonder harde en uitzonderlijke materialen. Het juiste gereedschap selecteren en de feeds en snelheden optimaliseren zijn essentiële maatregelen die helpen om trillingen te reduceren of te dempen. Om te garanderen dat de bewegingsbesturing van de machine optimaal presteert en dus de resultaten optimaal zijn, moet de cyclustijd altijd afgewogen worden tegen de nauwkeurigheid en eindkwaliteit.

Paul Maxted – directeur industriële metrologietoepassingen – Renishaw plc.

Probleem

Bewerkingsmachines kunnen tijdens hun werking aanzienlijk trillen, en sterke machinetrillingen kunnen de op deze machines geïnstalleerde gesloten positie-encoders nadelig beïnvloeden en zo leiden tot meetonauwkeurigheden. De kwaliteit waarmee asposities worden gemeten kan directe invloed hebben op aspecten van de proceskwaliteit, zoals vormnauwkeurigheid en oppervlaktekwaliteit. Verbeteringen in de positiemeting die de invloed van trillingen verminderen, kunnen de productiekwaliteit aanmerkelijk verbeteren. De voornaamste oorzaken van trillingen in bewerkingsmachines zijn:

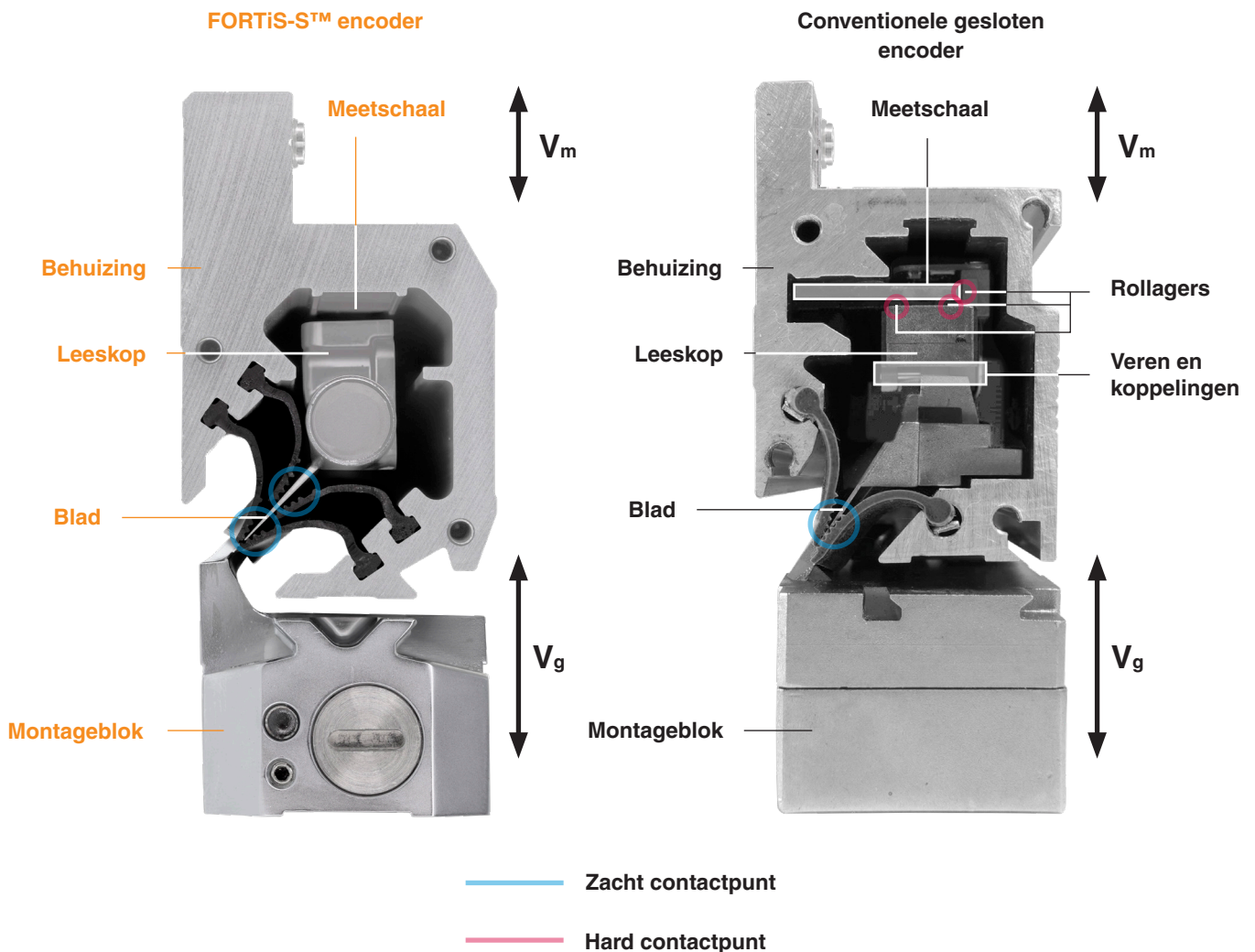
i. Het gereedschap klappert, wat onder bepaalde omstandigheden kan voorkomen tijdens het verspanen. Zo kan bijvoorbeeld bij het frezen van harde materialen ofwel het werkstuk ofwel het gereedschap verbuigen door de extreme snijkrachten.

- ii. Inhomogeniteiten in het bewerkte materiaal en op snijgereedschappen ontstane randen. Door een plotselinge korte verandering in de zwaarte van het bewerken wordt een impulsieve kracht gegenereerd die trillingen kan veroorzaken.
- iii. Intermitterend verspanen, gebruikelijk bij frezen, veroorzaakt impulsieve krachten die resulteren in trillingen.
- iv. Verstoringen vanwege ongebalanceerde roterende massa's en veranderingen in de transmissiedemping, zoals lagerslijtage of slechte werkstukopspanning.
- v. Versleten of slecht onderhouden bewerkingsmachines, ongunstig gekozen snijgereedschappen, en niet geoptimaliseerde spindel- en aanvoersnelheden

Oplossing

Dankzij de uitgebreide ervaring met bewerkingsmachines kon Renishaw succesvolle partnerschappen opbouwen met grote machinebouwers en eindgebruikers. De FORTiS™ gesloten encoder werd ontwikkeld als antwoord op bekende problemen met machinetrillingen en de effecten daarvan op positiemetingen. Drie kenmerken van het FORTiS encoderontwerp verbeteren samen de bestendigheid tegen mechanische trillingen en stellen de encoder beter in staat om verstoringen met grote amplitudes buiten de positiecontrole te houden:

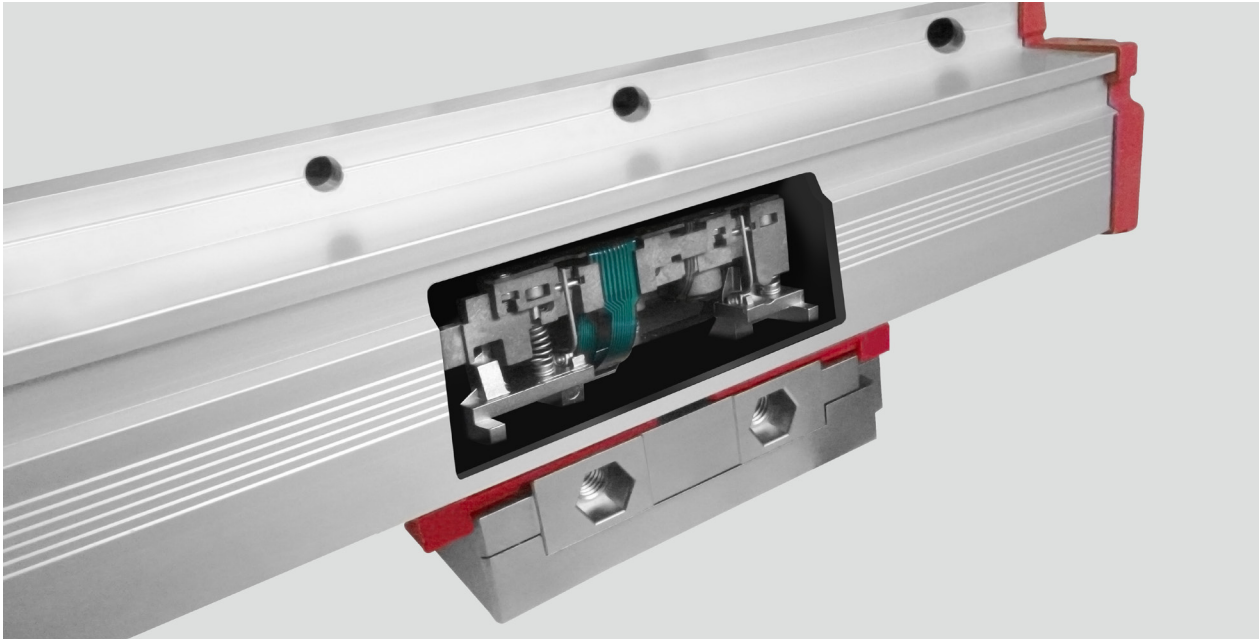
1. Conventionele gesloten optische encoders hebben een verende drager op wielen ter ondersteuning van de leeskop die over de encodermeetschaal beweegt, zoals te zien in figuur 2a. Bij elke gegeven aandrijffrequentie zijn de trillingamplitude en -fase van de machinegeleiding (V_g) die de leeskop ondersteunt anders dan die van de encodermeetschaal en -behuizing (V_m) die bevestigd zijn op het montagevlak van de machine. Dit verschil in amplitude- en faserespons moet opgenomen worden door de buigzame delen en koppelingen in de drager op wielen; zie figuur 1. FORTiS encoders maken gebruik van een contactloos ontwerp dat de leeskop effectief isoleert van zijn behuizing, zoals te zien in figuur 2b.



Figuur 1: Verticale doorsnede van een FORTiS-S encoder en een conventionele gesloten encoder.

2. Conventionele gesloten optische encoders hebben een glazen meetschaal met een relatief grote massa, die aan één zijde van de behuizing is opgehangen. Om ongewenste oscillaties in de behuizing door trillingen van de uitkragende meetschaal te vermijden, gebruikt de FORTiS een lichte stalen meetschaal die over zijn hele lengte aan de binnenzijde van de behuizing is bevestigd.

3. Het derde ontwerpkenmerk van de FORTiS encoder dat trillingen reduceert is de inzet van afgestemde massademping. Een getunedede massademper (TMD, Tuned Mass Damper) is een mechanische voorziening die op een specifieke plaats in een structuur gemonteerd wordt om resonantietrillingen sterk te dempen. Er worden twee TMD's toegepast om trillingen tegen te werken rondom de verticale en horizontale as.



Figuur 2a: Conventionele gesloten encoder, met uitsnede die de leeskop en de ondersteunende drager op wielen in de behuizing laat zien. Het leeskopmechanisme is hierbij geheel blootgesteld aan verontreinigingen die in de behuizing komen.



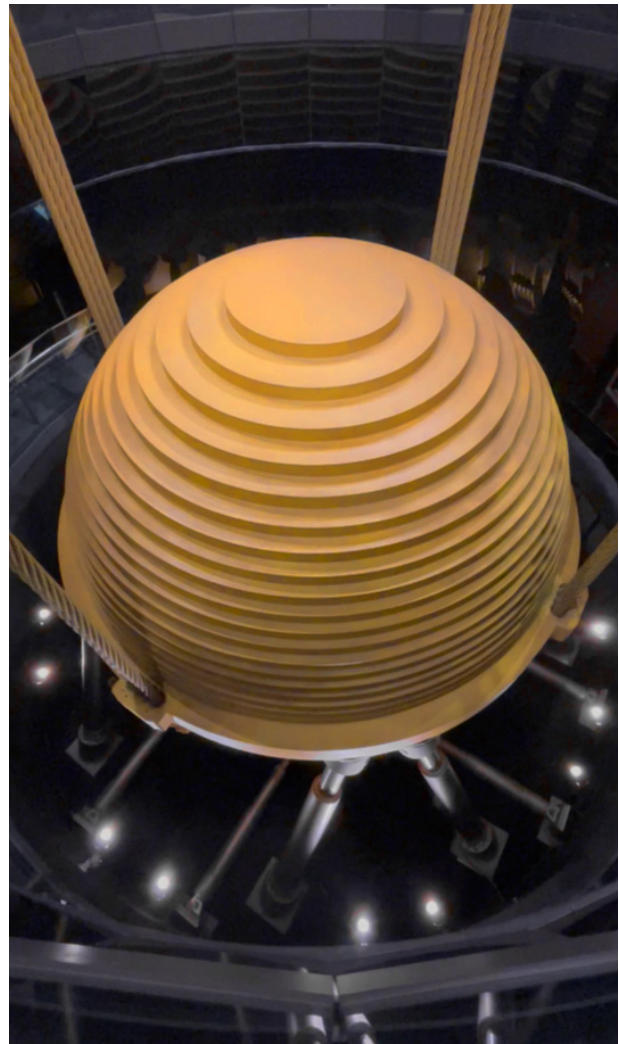
Figuur 2b: FORTiS-S gesloten encoder, met uitsnede die de contactloze afgedichte leeskop in de behuizing laat zien.

Een inleiding over getunedede massademping

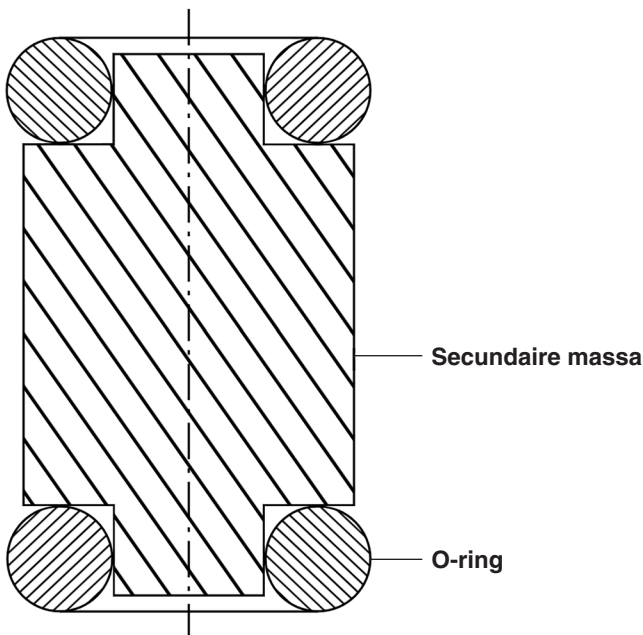
Getunedede massadempers worden gebruikt in allerlei technische toepassingen waar het belangrijk is om mechanische trillingen te dempen van een object met een goed gedefinieerde resonantiefrequentie. Het bekendste voorbeeld van TMD-gebruik is misschien wel de constructie van superhoge wolkenkrabbers als de fameuze Taipei 101, waarin een grote getunedede massademper ingezet wordt voor reductie van de trillingen in het gebouw vanwege hoge wind of aardbevingen, zoals te zien in figuur 3. In andere voorbeelden worden TMD's aangebracht op hoogspanningsleidingen, vliegtuigvleugels, krukassen van automotoren, bruggen, en de FORTiS encoder.

Getunedede massademping wordt op de leeskop van de FORTiS encoder toegepast voor zowel de verticale (Z-as) als de horizontale (Y-as) richting. Het ontwerp principe van de FORTiS TMD omvat twee O-ringen op een pasrand aan de uiteinden van een dempermassa, die geïnstalleerd wordt in een geruimde holte om de samendrukking van de O-ringen te controleren. Zie figuur 4.

Dankzij uitgebreide ontwikkeling aan de TMD's behaalt de FORTiS encoder een reductie van 5,3 maal in de piekversnelling aan het einde van de leeskop (de optiekdrager) dat het verste van de montagepunten is.



Figuur 3: TMD-systeem op de Taipei 101 wolkenkrabber.

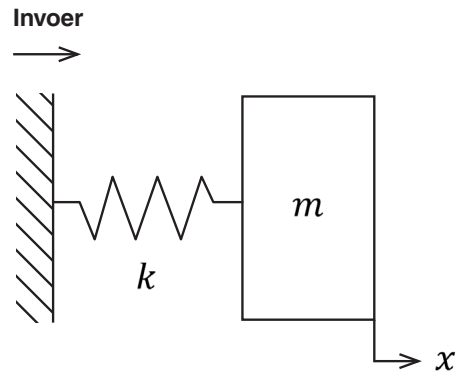


Figuur 4: Verticale doorsnede door de TMD die voor de FORTiS encoder ontworpen werd, met de O-ringen aan de uiteinden.

Theorie van de getunede massademper

Deze paragraaf beschrijft het theoretisch principe van een getunede massademper voor een systeem met één vrijheidsgraad (VG). Een probleem dat werktuigbouwkundigen en bouwkundigen regelmatig tegenkomen is resonantie als een systeem oscillaties met grote amplitude produceert als reactie op een inkomende excitatie.

Inzicht in resonantiesystemen verkrijgen we door ze op te vatten als een aangedreven enkelvoudige harmonische oscillator, zoals een massa (m) aan een veer met veerconstante (k); zie figuur 5. In dit geval geldt de bekende vergelijking van enkelvoudige harmonische beweging, waarin x de lineaire verplaatsing vanuit het statische evenwicht is.



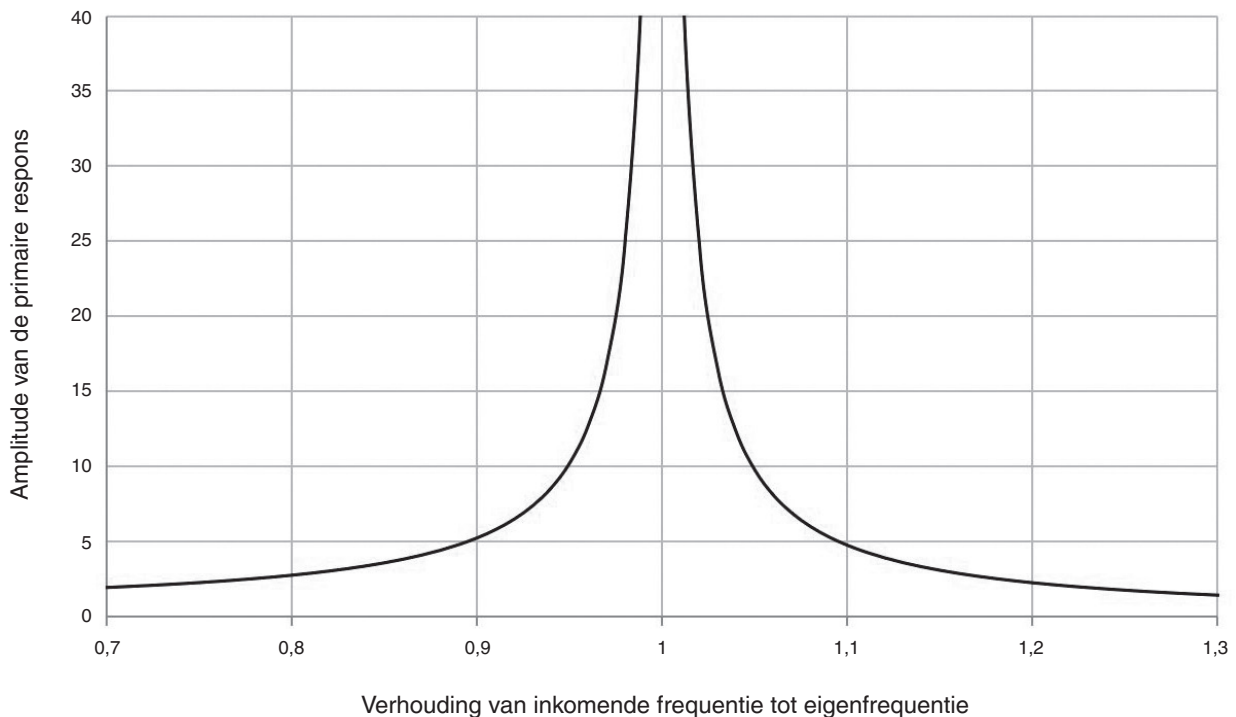
Figuur 5: Massaveersysteem met 1 VG.

Vergelijking 1: $m\ddot{x} + kx = input$

Vergelijking 1 houdt in dat een massa aan een veer een eigenfrequentie van sinusoïde respons zal hebben, zoals uitgedrukt in vergelijking 2:

Vergelijking 2: $frequency (Hz) = \frac{1}{2\pi} \sqrt{k/m}$

Als de frequentie van een systeem invoer (een kracht of verplaatsing) dicht bij de resonantiefrequentie van vergelijking 2 ligt, dan resulteert die invoer in een grote resonantierespons met potentieel destructieve gevolgen, zoals te zien in figuur 6.



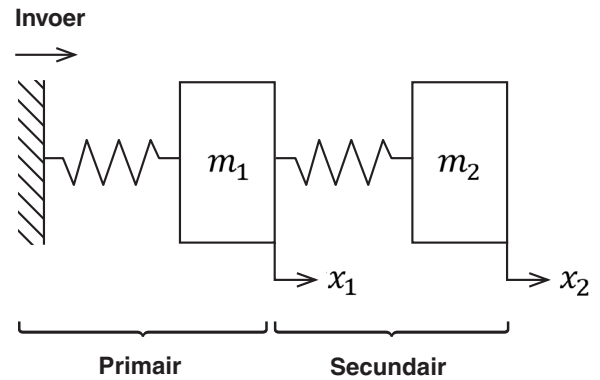
Figuur 6: Resonantierespons van een massa aan een veer.

Een gangbare en meestal adequate strategie is om mechanische demping toe te voegen en de eigenfrequentie van het systeem weg te verschuiven van de excitatiefrequentie.

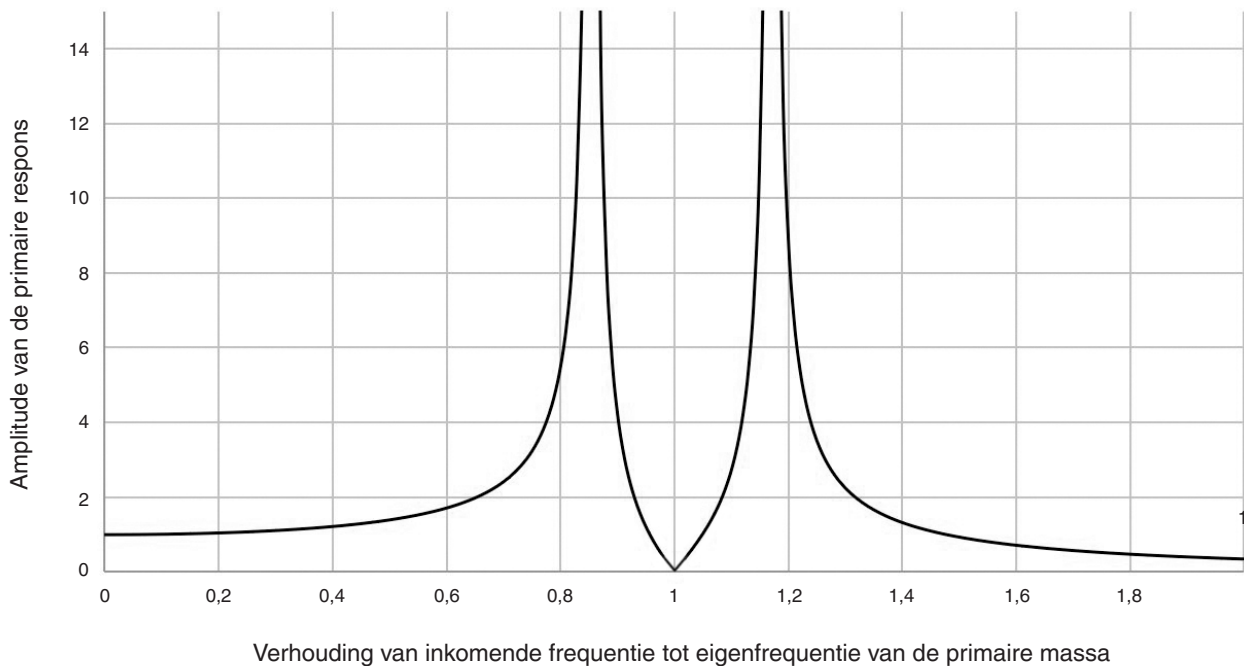
Deze aanpak is echter niet altijd haalbaar. Een wolkenkrabber met een stalen frame gaat zwaaien met zijn eigenfrequentie en er is niets in de buurt dat kan dienen als anker voor versterking of demping. In zulke gevallen waarin toegang een uitdaging is, kan een getunedede massademper een oplossing zijn.

De leeskopmassa van de FORTiS encoder wordt ondersteund door het blad, dat functioneert als een veer doordat het dun is om een goede afdichting te vergemakkelijken. Machinetrillingen van buiten kunnen ongewenste resonanties veroorzaken, behalve als ze beheerst worden door TMD's toe te passen in de leeskop.

Een praktisch TMD-ontwerp vergt zorgvuldige ontwikkeling, maar het basisconcept is te visualiseren door te beginnen met een ongedempt massaveersysteem en het probleem van resonantie op zijn eigenfrequentie.



Figuur 7: Massaveersysteem met 2 VG.



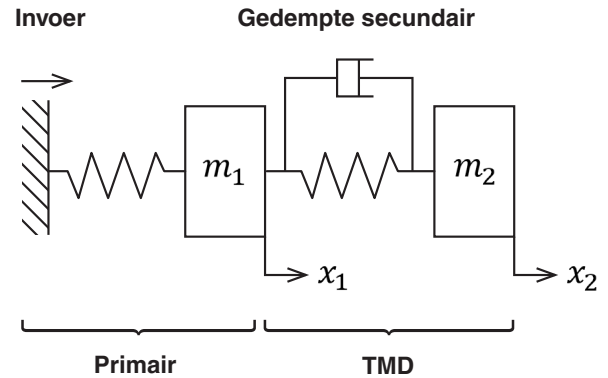
Figuur 8: Resonantierespons van een ongedempt massaveersysteem met 2 VG.

Stel dat een relatief kleine massa (m_2) gekoppeld wordt aan de primaire (oorspronkelijke) massa (m_1) via een veer die de secundaire massa dezelfde eigenfrequentie geeft. Het totale systeem, afgebeeld in figuur 7, heeft nu zogezegd 'twee vrijheidsgraden' waardoor de oorspronkelijke resonantiepiek in tweeën wordt gesplitst. Bij de eerste (lagere) eigenfrequentie bewegen beide massa's in fase en in dezelfde richting, en bij de 2e eigenfrequentie bewegen ze in tegengestelde richting.

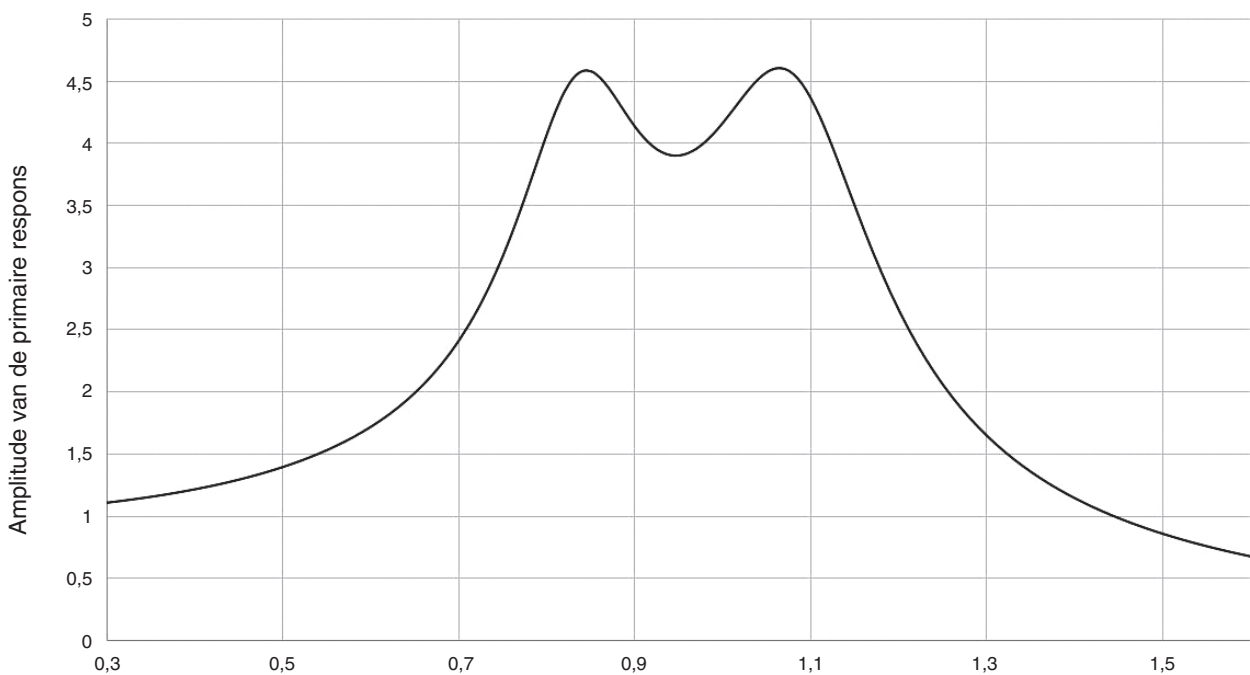
Verder heeft de primaire massa een amplitude van nul indien die aangedreven wordt met de oorspronkelijke eigenfrequentie, terwijl de secundaire massa oscilleert met een eindige amplitude. Zodoende wordt dus de resonantie van de primaire massa onderdrukt ten koste van twee nieuwe onbegrensde resonanties op verschillende frequenties, zoals te zien in figuur 8.

Zonder verdere controle kunnen deze resonanties destructief zijn, maar het grote voordeel van de TMD is dat ze lokaal beheerst kunnen worden door een demper op de veer waaraan de secundaire massa vastzit, zoals getoond in figuur 9.

Samenvattend heeft de TMD drie fundamentele ontwerpparameters die instelbaar zijn: de verhouding tussen secundaire en primaire massa (m_2 / m_1), de verhouding tussen de eigenfrequenties van de secundaire en primaire massa (de afstemfrequentie), en de dempingfactor van de demper.



Figuur 9: System met 2 VG en getuneerde massademper.



Verhouding van inkomende frequentie tot eigenfrequentie van de primaire massa

Figuur 10: Het resultaat (bij een massaverhouding van 10%) na optimale tuning van de secundaire massa op 91% van de oorspronkelijke resonantiefrequentie en met goed gekozen demping. De primaire respons ligt nu altijd onder de 4,6 keer de statische, in tegenstelling tot de onbegrensde responsen die we zagen in de figuren 6 en 8.

Er zijn praktische grenzen aan de secundaire massa, maar er zijn goede resultaten mogelijk met een secundaire massa van slechts 10% van de primaire. De optimale afstemfrequentie blijkt lager te zijn dan de primaire resonantiefrequentie; hoeveel lager hangt alleen af van de massaverhouding. Tot slot wordt de secundaire dempingfactor gekozen om de twee piekresponses te minimaliseren en de amplituderrespons bij alle andere frequenties te beheersen.

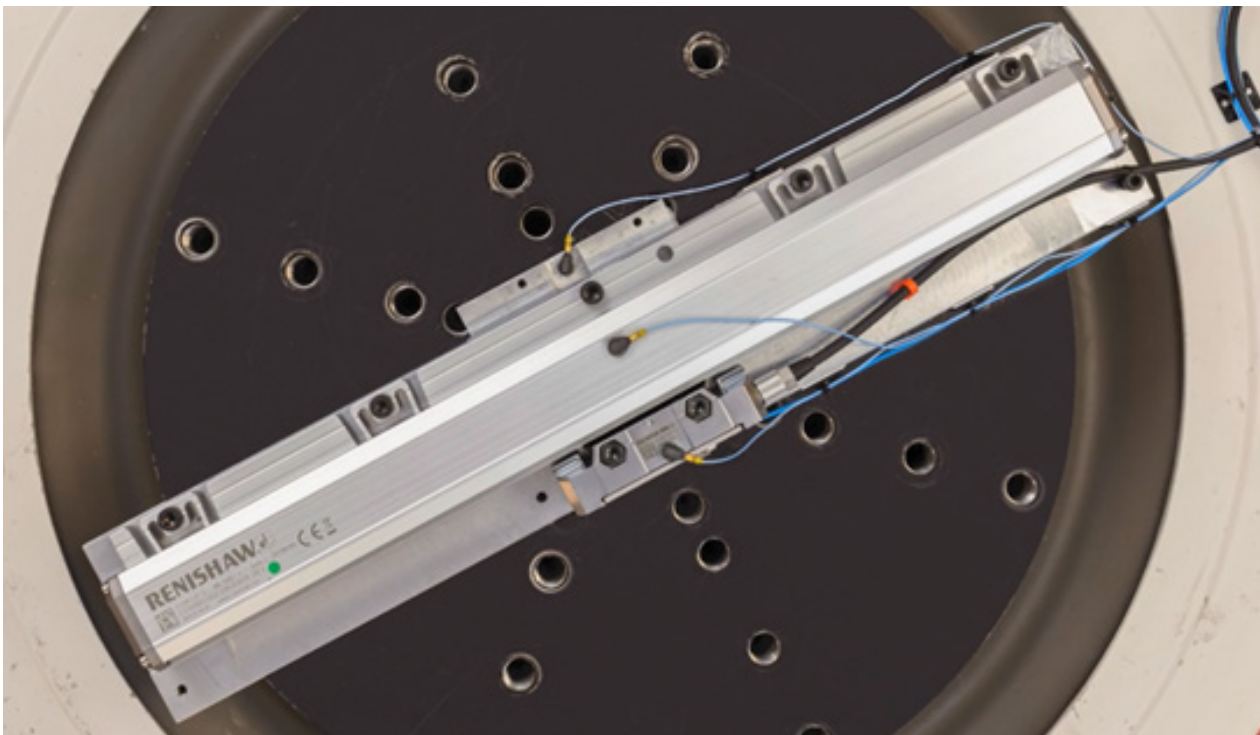
Een van de eerste grote uitdagingen bij het ontwerpen van de TMD's was om de eigenschappen onder dynamische omstandigheden te voorspellen van de diverse mogelijke materialen voor de O-ringen. Deze data had ik nodig om simulaties te doen voor de selectie van de optimale rubberhardheid om de frequentierespons te spreiden en het systeem minder gevoelig te maken voor maatvariaties van de diverse componenten.

Een tweede grote uitdaging was de eigenschappen van het gekozen materiaal te definiëren, zodat eindige-elementenanalyse mogelijk werd. Tot slot moesten we het systeem optimaliseren en afstemmen, wat we valideerden met testdata. Het uiteindelijk ontwerp produceert de beste modale vorm over het resonantiefrequentiebereik van de leeskop. De resterende harmonische responsen van de afgestemde massademper zijn ook nuttig bij verschillende trillingsniveaus.

Krys Jurczyks – senior mechanical design engineer van FORTiS

Trillingstest: testen met sinustrillingen

FORTiS encoders werden getest om de afwijking in absolute positie-uitlezing te meten in vergelijking met de beginwaarde, door blootstelling aan een sinustrilling over een frequentiebereik van 50 Hz tot 2000 Hz waarbij de test herhaald werd met trillingamplitudes van 1 g, 3 g, 5 g, 10 g, 15 g, 20 g, en 25 g. In andere tests, die we voor dit artikel buiten beschouwing laten, werd getest met amplitudes van 30 g tot 75 g. Daarnaast werden extra tests uitgevoerd met sterke willekeurige trillingen.



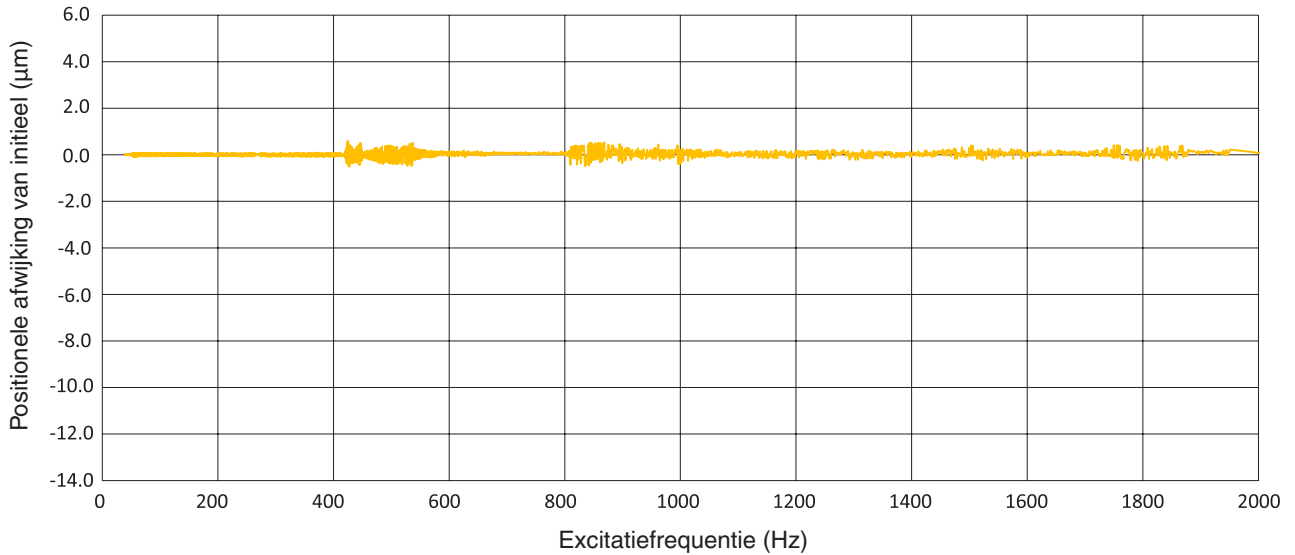
De tests werden uitgevoerd met direct op een ondergrond gemonteerde FORTiS-S encoders en FORTiS-N™ encoders, en met een FORTiS-N encoder bevestigd op een montagebalk. De FORTiS-N encoder maakt gebruik van dezelfde technologie als de FORTiS-S encoder, maar heeft een smallere dwarsdoorsnede voor toepassingen met beperkte ruimte.

Ter vergelijking werden ook tests uitgevoerd met conventionele gesloten encoders van een concurrent, met gelijkwaardige bestemming, vorm en functie.

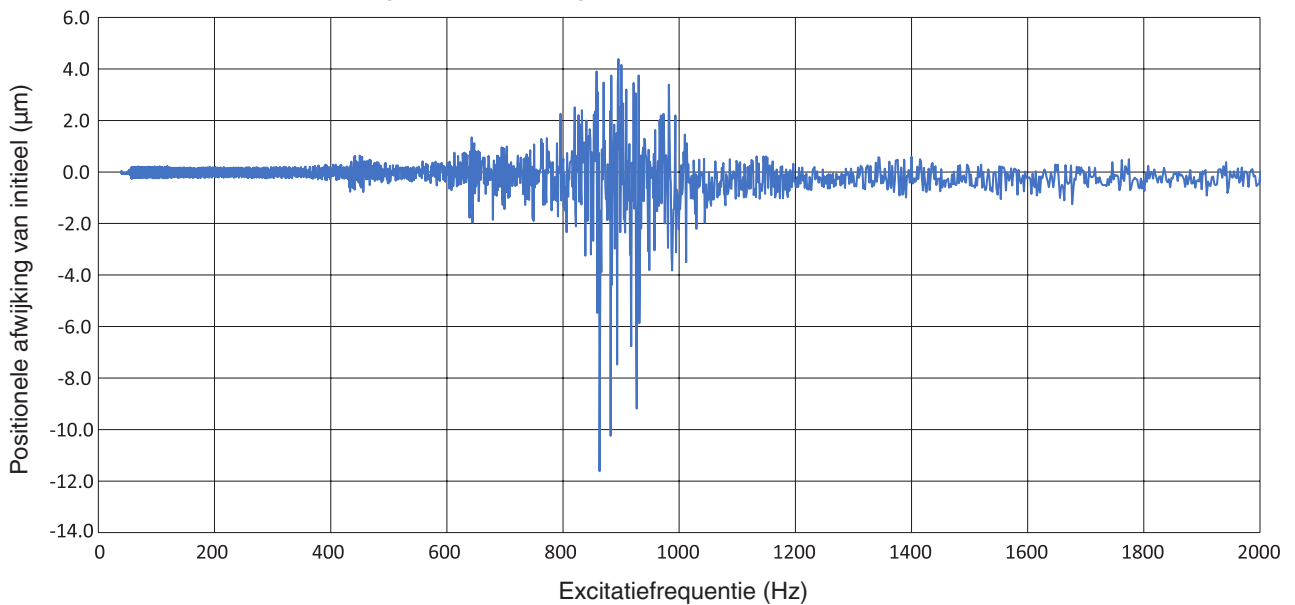
FORTiS-N encoder vergeleken met concurrent (op balk gemonteerd)

De volgende grafieken tonen de positionele afwijking van een FORTiS-N encoder en die van een concurrerende conventionele gesloten encoder. In beide tests waren de encoders op een balk gemonteerd. De amplitude van het sinusoïde trillingstestprofiel is 15 g in de Z-asrichting (naar de meetschaal toe).

Positionele afwijking van de FORTiS-N encoder (op een balk) met een trillingamplitude van 15 g in de Z-asrichting over een frequentiebereik van 50 - 2000 Hz

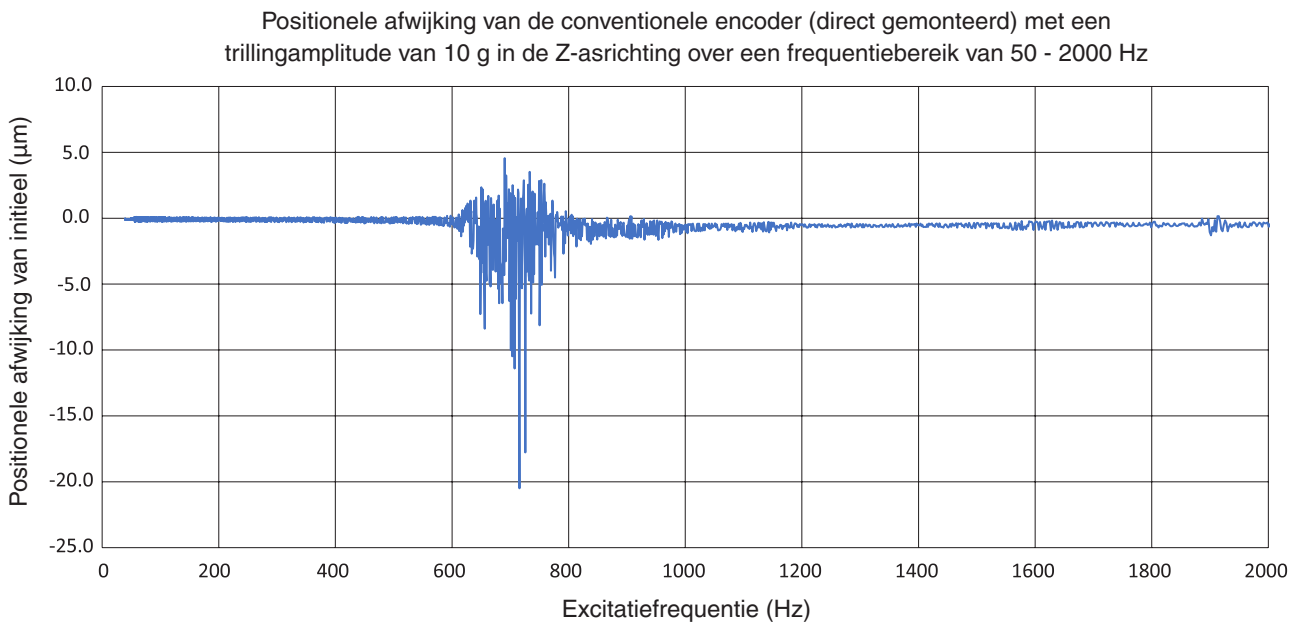
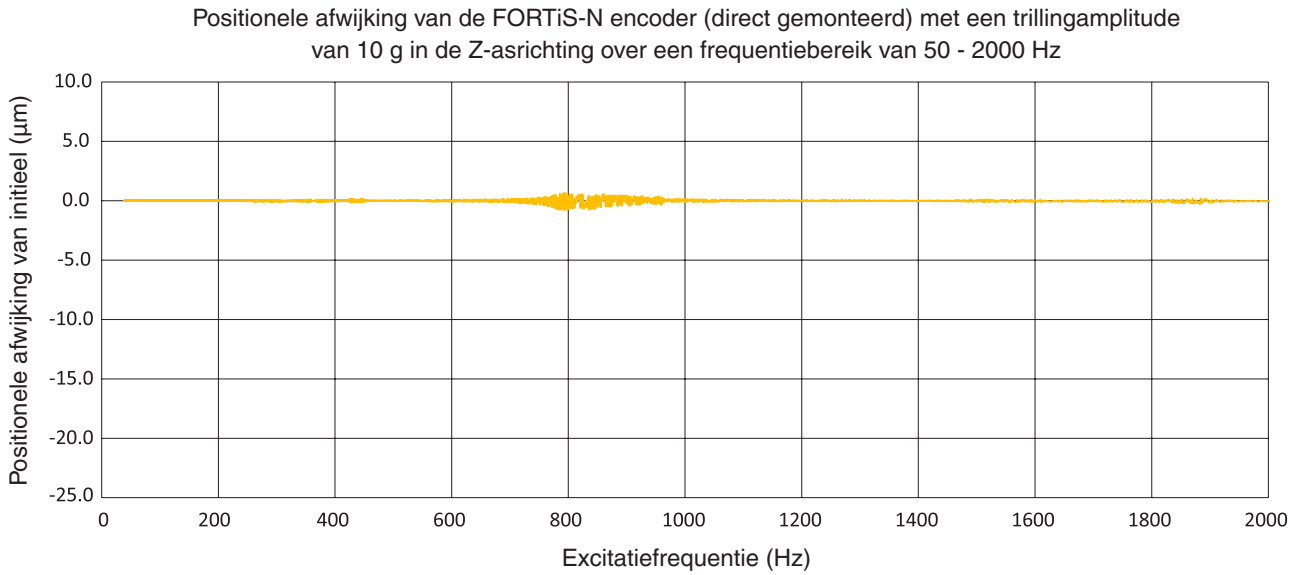


Positionele afwijking van de conventionele encoder (op een balk) met een trillingamplitude van 15 g in de Z-asrichting over een frequentiebereik van 50 - 2000 Hz



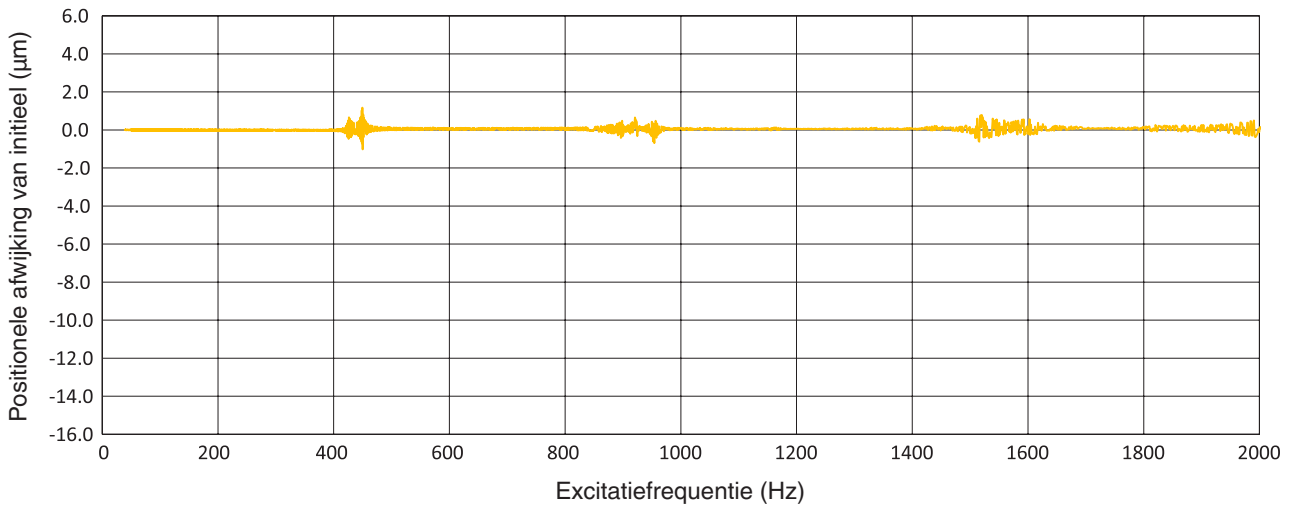
FORTIS-N encoder vergeleken met concurrent (direct gemonteerd)

De tweede set grafieken toont de positionele afwijking van een FORTIS-N encoder en die van een concurrerende conventionele encoder, maar nu met beide encoders direct op de ondergrond gemonteerd (testbevestiging). In deze test is de trillingamplitude 10 g, weer toegepast in de Z-asrichting.

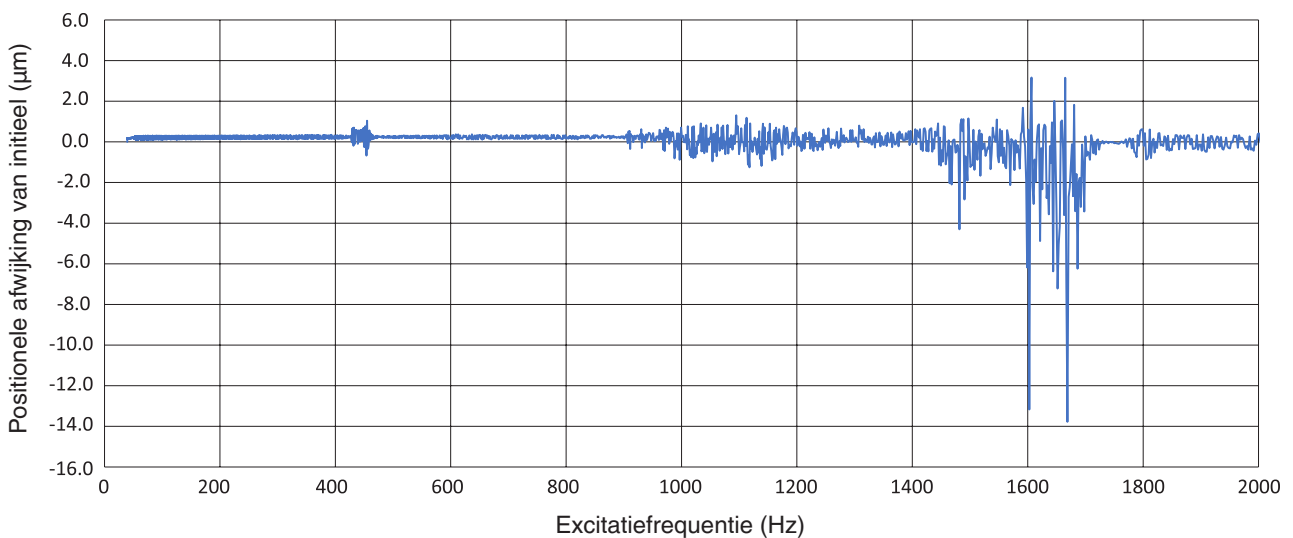


De derde set grafieken toont de positionele afwijking van de FORTIS- S encoder en die van een concurrerende conventionele encoder. Deze encoders hebben een standaardgrootte en zijn beide direct op de ondergrond gemonteerd (testbevestiging). In deze test is de trillingamplitude 25 g, weer toegepast in de Z-asrichting.

Positionele afwijking van de FORTiS- S encoder (direct gemonteerd) met een trillingsamplitude van 25 g in de Z-asrichting over een frequentiebereik van 50 - 2000 Hz



Positionele afwijking van de conventionele encoder (direct gemonteerd) met een trillingsamplitude van 25 g in de Z-asrichting over een frequentiebereik van 50 - 2000 Hz



Conclusie

In dit artikel hebben we laten zien dat FORTiS encoders een goede positionele stabiliteit en een betrouwbare werking leveren terwijl ze worden blootgesteld aan uiteenlopende trillingamplitudes over het gehele frequentiespectrum van 50 Hz tot 2000 Hz. FORTiS encoders hebben ook aangetoond dat ze een lange levensduur bieden onder omstandigheden met veel trillingen.

Vergelijking met conventionele gesloten encoders die niet voorzien zijn van afgestemde massademping demonstreert de superieure trillingsweerstand van de FORTiS encoder. FORTiS encoders bieden dus een superieure positionele stabiliteit voor een betere procescontrole in toepassingen op bewerkingsmachines.

www.renishaw.nl/nl/gesloten-optische-encoders--45273



#renishaw

+31 76 543 11 00

benelux@renishaw.com

Artikelnr.: PD-6517-9072-01-A Uitgegeven: 04.2024

© 2024 Renishaw plc. Alle rechten voorbehouden. Dit document mag, zonder de voorafgaande schriftelijke toestemming van Renishaw, niet in z'n geheel of gedeeltelijk worden gekopieerd of gereproduceerd en op geen enkele wijze worden overgedragen naar andere media of een taal.

RENISHAW® en het sondesymbool zijn geregistreerde handelsmerken van Renishaw plc. Productnamen, benamingen en het merk 'apply innovation' zijn handelsmerken van Renishaw plc of haar dochterondernemingen. Andere merk-, product- of bedrijfsnamen zijn handelsmerken van hun respectievelijke eigenaren.

HOEWEL ER AANZIENLIJKE INSPANNINGEN ZIJN GEDAAN OM DE JUISTHEID VAN DIT DOCUMENT BIJ DE PUBLICATIE TE VERIFIËREN, WORDEN ALLE GARANTIES, VOORWAARDEN, VERKLARINGEN EN AANSPRAKELIJKHEID, DIE VOORTVLOELEN UIT DE GARANTIE, UITGESLOTEN, VOOR ZOVER WETTELIJK TOEGESTAAN. RENISHAW BEHOUDT ZICH HET RECHT VOOR OM WIJZIGINGEN IN DIT DOCUMENT, DE APPARATUUR EN/OFF SOFTWARE EN DE BIJGESLOTEN SPECIFICATIES DOOR TE VOEREN, ZONDER DE VERPLICHTING OM EEN KENNISGEVING TE VERSTREKKEN RONDOM DERGELIJKE VERANDERINGEN.

Renishaw plc is geregistreerd in Engeland en Wales. Bedrijfsnr.: 1106260. Statutaire zetel: New Mills, Wotton-under-Edge, Glos, GL12 8JR, VK.

Het gebruik van een mannelijke of vrouwelijke vorm in dit document moet niet worden opgevat als een poging tot discriminatie op grond van geslacht of gender. Deze vormen worden enkel gebruikt om de leesbaarheid te verbeteren. Het spreekt vanzelf dat alle teksten van toepassing zijn op alle geslachten en genderidentiteiten.