

Thema-artikel

Race voor innovatie: digitale positieterugkoppeling voor Land Rover BAR's America's Cup boot

Racejachten van de America's Cup klasse (ACC) maken gebruik van een innovatief soort zeil dat vleugelzeil wordt genoemd. Dit werkt zoals de vleugel van een vliegtuig en produceert 'liftkracht' die het vaartuig naar voren stuwt. Het vleugelzeil van het Land Rover BAR racejacht 'Rita' (codenaam: R1) heeft een zeiloppervlak van 103 m² en is 23,5 m hoog, wat vergelijkbaar is met de hoofdvlugels van een A320 vliegtuig. Uiteraard doen zich veel moeilijke technische uitdagingen voor tijdens het ontwerp en de bouw van een enorme functionele vleugel met talloze bewegende delen, die ook voldoende sterkte en een minimaal gewicht moet hebben. De R1 is een ultramoderne catamaran die letterlijk boven het water vliegt op twee draagvlugels. Dankzij dit type draagvleugel kon deze sport spectaculaire nieuwe snelheden bereiken.

Het wereldwijde technologiebedrijf Renishaw is lid van de technische innovatiegroep van Land Rover BAR. Deze groep heeft als doel de beste Britse technische bedrijven samen te brengen om de America's Cup te winnen en mee naar huis te nemen. Dit is een grote uitdaging die zijn gelijke in de zeilwereld niet kent.

Op de R1 worden alle stuurvlakken bewogen door hydraulische actuatoren. De hydraulische druk wordt opgewekt door het intensieve ronddraaien door de bemanning van speciale 'molens met handkrukken'. Toen Land Rover BAR zich realiseerde dat de stuurprecisie te lijden kon hebben onder de wat ingewikkelde verbinding tussen actuator en stuurvlak, wilden ze de bewegingen van de stuurvlakken direct gaan meten en benaderden ze Renishaw voor hulp.

Technisch leider dr. Finlay Evans en zijn team ontwierpen een speciale positiesensor (encoder) voor de stuurvlakken (de vleugelkleppen) waarmee een veel betere directe terugkoppeling werd bereikt. Dit maakt het voor de stuurman en

bemanning mogelijk om preciezer met de boot te racen, en tijdens de ontwikkeling en trainingen kunnen hoogwaardige prestatiegegevens opgenomen worden.

Dr. Evans legt verder uit:

Wat is uw achtergrond bij Renishaw?

Ik ben technisch leider en werk nu 17 jaar bij Renishaw. Mijn achtergrond is de dynamica binnen de werktuigbouwkunde. Veel van mijn eerdere werk was voor onderzoek en ontwikkeling: kijken naar nieuwe ideeën en technologieën, wat mij ook onder andere aantrekt in dit project.



De Land Rover BAR bootrace vergeleken met Airbus A320

Waar staat Renishaw voor, wat u betreft?

Renishaw is uniek, met zijn veertig jaar historie en zijn positie als een van de toonaangevende technologiebedrijven in het Verenigd Koninkrijk. Het is eerlijk gezegd een fantastisch bedrijf om bij te werken en staat voor baanbrekend ontwerpen en produceren. Daarom heeft Land Rover BAR ook vertrouwen in onze capaciteit om te leveren.

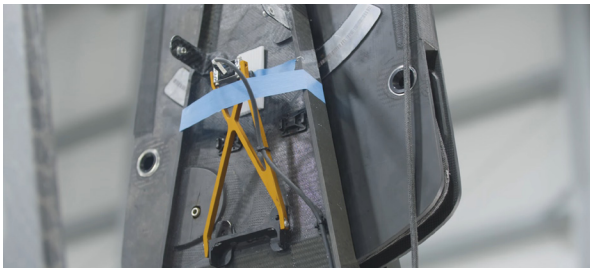
Waar op het R1 racejacht zijn er encoders te vinden en welke rol spelen ze?

De encoders bevinden zich op de hoofdvlugel, en er zijn er vier: een bovenop, twee op de hoofdbehuizing van de vleugel en een aan de onderkant. Verder is een vijfde encoder aangebracht op de romp, onderaan de mast. De encoders op de vleugel meten de verdraaiing van de vleugelkleppen van boven tot beneden, en die op de mast bepaalt de invalshoek

van het hele vleugelzeil. Dan zijn er nog twee encoders onderin de romp, die de posities van het bakboord- en het stuurboordroer meten. Nu halen deze boten snelheden van tegen de 100 km/u, en dat veroorzaakt veel sproeiwater met grote kracht. De zoute omgeving en het regelmatig over de boot spoelende zeewater maken een robuuste afdichting van de encoders en elektronica noodzakelijk, vooral als ze dicht bij de waterlijn geplaatst zijn.

Kunt u omschrijven hoe de kleppen van het vleugelzeil werken?

Een traditioneel zeil is een opbollend doek aan een mast waar de wind omheen waait. Het vleugelzeil lijkt veel meer op de vleugel van een vliegtuig: er zitten kleppen in die je in beide richtingen kunt draaien, afhankelijk van de hoek die de wind maakt met de koers die je wilt volgen. Om de drie grote kleppen te bedienen, worden stuurplaten - hamerkoppen genoemd - naar links of rechts getrokken met ingebouwde stuurkabels. Voor de encoder is een gedeeltelijke hoekmeetschaal bevestigd op de bewegende klep, terwijl de sensor kop in de rib van de vleugel is ingebouwd. Beneden bij de roeren hebben we dezelfde technologie in dezelfde bouwblokken als we al gemaakt hadden toegepast op een soortgelijke indeling.



De encoders geïnstalleerd op een hamerkop (klepstuurplaat)

Waarom zijn er positie-encoders ingezet op de stuurvlakken?

Actuatoren worden al gebruikt om de stuurvlakken te bewegen maar deze actuatoren bevinden zich niet noodzakelijk op dezelfde plaats, aangezien de kracht van de actuatoren wordt doorgeleid via kabels (lijnen) en de stuurvlakken. Positiemetingen werden aanvankelijk alleen gedaan op de actuatoren ver weg, met veel soepelheid tussen het actuatormechanisme en het stuurvlak.

Door encoders direct op het stuurvlak te gebruiken, of zo dicht daarbij als mogelijk is, kun je de hoekpositie van het stuurvlak veel nauwkeuriger aflezen.

Waarom koos u voor magnetische encoders en niet voor bijvoorbeeld optische?

De omstandigheden op zee zijn nogal extreem voor precisie-encoders. We hadden de keuze uit ofwel optische ofwel magnetische technologie.

Als je naar de gevolgen kijkt van hoge windsnelheden en zout water dat overal rondspuit, dan zou het voor open optische encoders een hele uitdaging zijn, want die hebben een vrije



De R1 op snelheid in Bermuda

zichtlijn nodig. Daarom waren magnetische encoders hier het enige haalbare alternatief. Deze encoders zijn volledig af te dichten en krijgen zo een veel grotere bestendigheid tegen vervuiling, wat in deze toepassing essentieel is. Bescherming tegen de zware omstandigheden was een van de voornaamste redenen voor onze keuze. Een andere reden was de beperkte ruimte rondom de zwaarbelaste vleugelribben. Door LinACE™ modules van ons partnerbedrijf RLS te gebruiken, konden we een nieuwe encoder ontwerpen die maar een minimale opening nodig heeft in de vleugelrib. Met de ontwikkeling van een ingekapselde encoder kwamen we tegemoet aan 3 grote technische beperkingen: kleine afmetingen, afgedicht tegen de omgeving en de inbouw van een glijlager om de positie vast te houden op de gedeeltelijke hoekmeetschaal.



De RLS LinACE™ opnieuw verpakt in een waterdichte omkasting

Hoe werken magnetische encoders?

In dit geval is een magneet aangebracht achterop een reeks Hall-sensoren. De magneet wordt gebruikt samen met een ferromagnetische meetschaal, waarin een aantal lijnen (groeven) geëtsd is. Als de sensor wordt bewogen over de meetschaal, dan veroorzaken de groeven in het schaaloppervlak veranderingen in het magnetisch veld ter plaatse. De Hall, detecteren dan een bewegend magnetisch patroon, dat wordt omgezet in een positiemeting. Omdat het patroon van de meetschaalgroeven geen herhalingen bevat, is overal op de schaal de absolute positie te bepalen.

De sensorkop is volledig ingekapseld om zijn gevoelige micro-elektronica te beschermen tegen de elementen. De buitenste kunststoflaag heeft een extra oppervlaktelaagje waarmee de meetschaal volledig contact maakt, zodat de afstand leeskop-meetschaal zeker juist is. De inkapseling heeft geen invloed op magnetische encoders.

Kunt u de voornaamste stappen in het ontwerpproces beschrijven?

Het ontwerpproces was voornamelijk gebaseerd op de eisen waaraan de encoder moest voldoen. Bovenaan de vleugel maakt een klein beetje massa al een groot verschil voor de prestaties en de stabiliteit van de boot. Ruimte was een belangrijke overweging. De beperkingen hierin waren er vooral doordat de actuatievlakken zich in kleine ruimtes bevinden met weinig vrije ruimte. Tegelijkertijd is dit vleugelzeil zo'n 24 meter hoog en erop gebouwd om op verschillende hoogtes in verschillende mate te verdraaien vanwege aerodynamische redenen. We hebben te maken met het feit dat de meet-schaalplaat op de hamerkop als hij ronddraait ook roteert buiten zijn vlak, vanwege de verdraaiing van de vleugel. Onze gebruikelijke encoders zijn ontworpen voor gebruik met een kleine afstand tussen leeskop en meetschaal op zuiver lineaire of roterende assen. Hier hebben we een strakke eis voor de meetnauwkeurigheid tegelijk met een boog die niet alleen axiaal beweegt, maar ook verdraait terwijl hij roteert. We moesten een manier bedenken om de meetnauwkeurigheid vast te houden tijdens al het verdraaien en hellen buiten het vlak. Magneetsensoren zijn aantoonbaar de beste technologie in situaties waarin het gaat om vuilbestendigheid, hoewel hun afstand leeskop-meetschaal een veel krappere tolerantie heeft dan de meeste lagerbewegingen op een boot en in een vleugel van deze grootte.

De vereisten van Land Rover BAR doorgronden was het belangrijkste aspect, maar door de beperkte tijd moesten we technologie selecteren uit bouwblokken die we al hadden vanuit ons bestaande encoderprogramma. De ruimte- en geometrievereisten vanwege de vleugel waren belangrijke factoren bij de ontwerpkeuzes. Elk onderdeel was echt een uitdaging. We begonnen met een module die al bestaat voor een lineaire encoder voor gebruik op een gemetalliseerde precisie-as met zorgvuldig gevormde groeven onder het oppervlak. We hebben die code letterlijk moeten uitpakken en hem ingebed in een plat oppervlak, met anders gevormde groeven in een boog via een nieuw proces. Of het resulterende



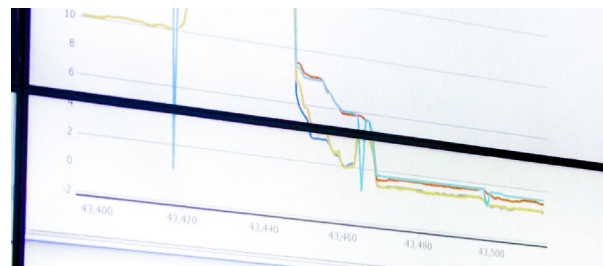
De oplossing vleugel encoder

platte boog-equivalent van de meetschaal meteen zou werken, was nog de vraag.

We namen de al bestaande LinACE™ module van ons partnerbedrijf RLS en gaven die een nieuwe waterdichte behuizing - wat we nog nooit gedaan hadden - om zeker te stellen dat hij de werkomgeving zou kunnen overleven. Hiermee hadden we ook een encoderbehuizing die klein genoeg was voor het functioneren binnen de beperkte dimensies die de zwaar belaste vleugelribben toestonden. Verder moesten we nog met een oplossing komen waarmee de meetschaal kon verdraaien en bewegen, maar zonder significante fouten te veroorzaken wanneer de sensor bewoog.

Wat was uw oplossing?

We hebben voor de sensor een cardanbevestiging bedacht, waardoor de gedeeltelijke hoekmeetschaal kan verdraaien uit zijn rotatievlak zonder onnauwkeurigheden te veroorzaken. Met een speciaal ontworpen aluminium vorkbeen en jukconstructie konden we de leeskop met hoge precisie vasthouden en toch helling en kanteling toestaan. Het vorkbeen is bevestigd aan de statische vleugelstructuur. Met deze hele encoderconstructie is de positie van elke klep veel nauwkeuriger af te lezen dan wanneer deze wordt afgeleid uit de actuatorbewegingen.



De vleugelkamer performance-analyse

Wat was de grootste uitdaging en waar bent u het meest trots op?

Al deze ontwikkelingen - een nieuw productieproces voor de meetschaal, inkapselen in een kunststof encoderbehuizing, een cardanbevestiging, glijlagers en weerbestendigheid - waren gezamenlijk cruciaal voor het succes van het hele encodersysteem. Elke storing op deze gebieden zou hebben geleid tot het niet binnen de gevraagde tijd leveren van een encoder. Deze bouwblokken waren allemaal aparte mini-projecten op zich, en ervoor zorgen dat elk daarvan meteen goed ging was wel de grootste uitdaging. Een manier vinden om al deze elementen succesvol samen te brengen binnen de korte beschikbare tijd vroeg om een snelle reactie van zowel onze collega's van RLS in Slovenië als onze productieafdelingen in eigen huis. Ik ben trots op wat we bereikt hebben.

Hoe wordt de positierugkoppeling gebruikt?

Positierugkoppeling van de encoders wordt in real-time gebruikt op de boot door de vleugeltrimmer, maar er wordt ook veel geanalyseerd en juist daar worden algemene efficiënties en nauwkeurigheden verbeterd.

Meer informatie vindt u op www.renishaw.nl/racetoinnovate