

Q-Sys ontwerpt optische meetbank voor synchrotrons

Hoognauwkeurige spiegels spelen een steeds belangrijkere rol in het arsenaal dat engineers ter beschikking hebben bij het sturen en focussen van stralen met hoge energieniveaus in synchrotrons. Dit belang neemt mede toe omdat deze niveaus voortdurend stijgen. In opdracht van het Brookhaven National Laboratory in de VS ontwikkelde het Helmondse Q-Sys een metrologieplatform om de geometrie van deze grote spiegels in kaart te brengen.

Philip Wallington

Sinds 2009 werkt het Brookhaven National Laboratory (BNL) in de Amerikaanse staat New York aan de NSLS-II, een verbeterde versie van zijn bestaande synchrotron. Kort door de bocht bestaat een synchrotron uit een grote cirkelvormige 'buis' waarin deeltjes in pakketjes met hoge snelheid rondvliegen. Iedere keer als de deeltjes met sterke magneten worden gedwongen een bocht te maken, zullen ze straling uitzenden. BNL dirigeert deze straling naar een van de tangentiale uitgangen, de zogenaamde *beamlines*, waar wetenschappers ze gebruiken voor experimenten.

Om de straling te focussen en te manipuleren, gebruikt BNL een serie van optische componenten waaronder grote spiegels met zowel vlakke als gebogen oppervlakken. De eisen die aan deze spiegels worden gesteld, zijn extreem mede vanwege de zeer kleine invalshoeken van de straling. Het is absoluut nodig om ze met een zeer hoge nauwkeurigheid na te meten en in kaart te brengen. Hiervoor heeft Q-Sys uit Helmond de Long Trace Profilometer (LTP) ontwikkeld. De functie van de LTP is het scannen van de grote spiegels (lengtes tot anderhalve meter en massa's tot 150 kg) met een nauwkeurigheid van beter dan $0,1 \mu\text{rad}$.

De partijen kozen ervoor om het oppervlak met twee laserstralen te scannen waarbij ze de hoeken meten en opslaan. Het scannen gebeurt in een rasterpatroon. De laserstralen worden via een pentaprisma op het spiegeloppervlak gericht. De spiegel beweegt vervolgens in één richting en met een constante snelheid onder de bundel door. Als het eind van de spiegel is bereikt, maakt een andere slede een stapje loodrecht op de scanrichting, waarna de meting in omgekeerde richting kan worden vervolgd.

Door dit proces over het hele oppervlak te herhalen, verzamelt het platform data waarmee een computermodel de spiegel nauwkeurig kan beschrijven.

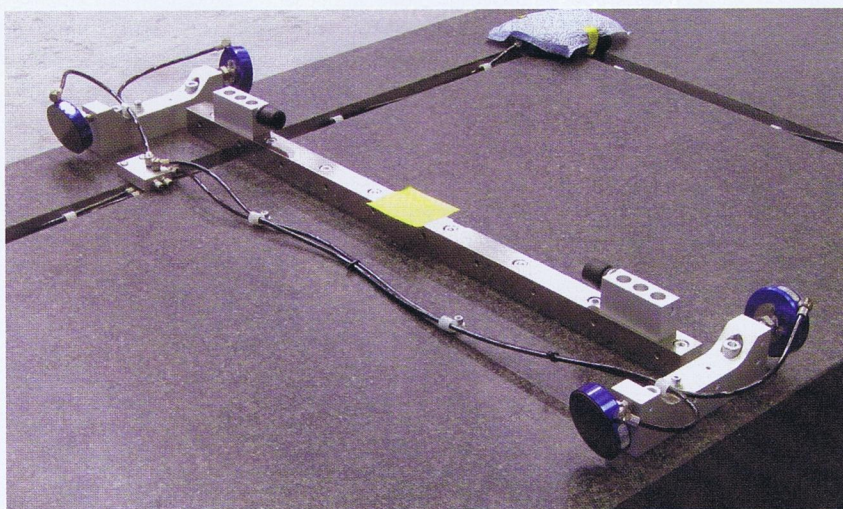
Voor een motionplatform betekent een step-en-scan-applicatie enerzijds dat een nieuwe positie van een van de assen snel en zonder trillingen moet kunnen worden ingenomen (*move and settle*). Anderzijds moet de scannende beweging zeer glad verlopen zodat de meetdata kwalitatief zeer goed zijn en niet vervuild raken door bewegingsverstoringen. Meestal zijn motionplatforms het meest geschikt voor een van de twee bewegingen. Bij de BNL-toepassing moesten we ervoor zorgen dat het platform in beide vormen zou excelleren.

Er was nog een complicerende factor. Zowel de laserbron als de meetapparatuur is gemonteerd op een vaste positie, met als gevolg dat het optische pad in potentie langer dan drie meter kan worden. Dit betekent dat hoekfouten in de ordegrrootte van $5 \mu\text{rad}$ kunnen resulteren in positie-

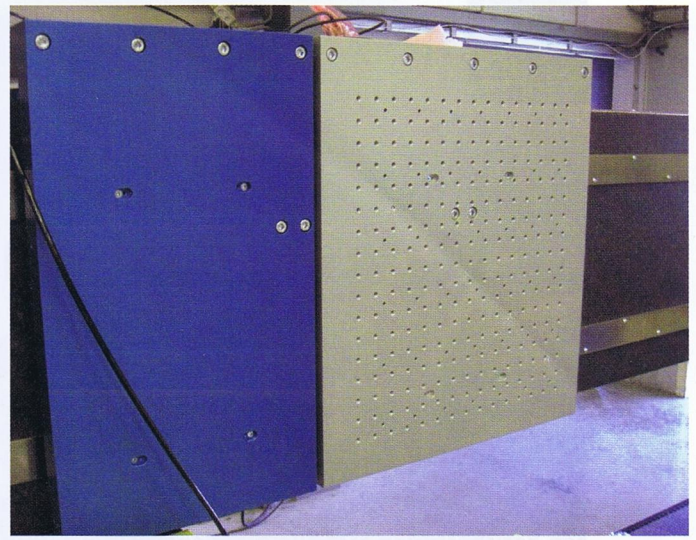
onzekerheden tot $15 \mu\text{m}$. Om waardevolle metingen te kunnen doen, moeten de hoekfouten van de sledes in het metrologieplatform erg klein zijn en moet ook de herhaalnauwkeurigheid extreem hoog zijn.

Gieren

Q-Sys heeft bij het ontwerp gekozen voor het zogenaamde *split axes*-concept. Op de onderste slede monteren we de houder met spiegel. De bovenste slede beweegt daar loodrecht op en draagt de *flying optics* met zich mee. Beide sledes bewegen onafhankelijk van elkaar, zodat we ze kunnen laten excelleren op hun specialiteit. Terwijl de andere slede over een lengte van 1500 mm scant, dient de spiegelslede met een positiestabiliteit van $0,15 \mu\text{m}$ op zijn plaats te blijven. Bij de scanbeweging is het juist extreem belangrijk dat de hoekfouten van de slede minimaal zijn. De massa die we laten bewegen, bestaat onder meer uit optische componenten en kan oplopen



▲ In beide assen gebruikt Q-Sys luchtligers. De onderste slede glijdt door een sleuf in een granieten plaat. De zijkanten van die sleuf vormen de loopvlakken voor de geleidende luchtligers.



^ Q-Sys heeft de twee assen in het systeem losgekoppeld. Op de onderste slede komt de synchrotronspiegel te liggen. Daar zijn de positioneer- en herhaalnauwkeurigheid van groot belang. Op de bovenste slede zit de meetoptica. Daar is het cruciaal is dat de beweging gladjes verloopt.

^ De bovenste slede bestaat uit twee segmenten. De linker wordt aangedreven met een lineaire motor, de rechter biedt plaats aan alle optische componenten.

tot ongeveer 20 kg. Er is geen andere mogelijkheid dan dit aan de voorzijde van de slede te monteren met als gevolg dat door de offset een moment op de slede wordt uitgeoefend. Bij de keuze en de positie van de lagers moeten we daar rekening mee houden.

In het uiteindelijke ontwerp gebruiken we in beide assen luchtlagers. De onderste slede bestaat uit een granieten plaat. De dragende lagers bewegen over de, eveneens van graniet gemaakte, basisplaat waarin een sleuf is aangebracht. De zij-kanten van de sleuf vormen de loopvlakken voor de geleidende luchtlagers. Daarnaast biedt de sleuf plaats aan de lineaire motor en de optische encoder. Door de combinatie van de vlakheid van de sleuf en de positie van de lineaire motor zorgen we voor een beweging met minimale afwijkingen in rechtheid en gieren (*yaw*, draaiing om de z-as). Aangezien de onderste slede tijdens de meting stilstaat, zijn hier vooral de positioneer- en herhaalnauwkeurigheid van groot belang. Voor de bovenste slede geldt uiteraard iets anders.

De eisen aan de beweging van de slede die de optische componenten verplaatst, zijn op z'n zachtst gezegd bijzonder uitdagend. Het is voor de meting uitermate belangrijk op ieder moment tijdens de beweging de positie van de optische componenten zeer nauwkeurig te kennen. Dit betekent dat de hoekfouten tijdens de beweging en de constantheid van de snelheid cruciaal zijn. Die laatste eis is de reden om ijzerloze lineaire motoren toe te passen. Door het ontbreken van *cogging* minimaliseren we de snelheidsrimpel veroorzaakt door de motor zelf.

De constantheid van snelheid is in de praktijk een moeilijk te definiëren parameter. Veelal wordt de toevlucht genomen tot een percentage van de nominale

snelheid. In vrijwel alle motiontoepassingen is de snelheid echter geregeld als functie van positie en tijd. Dat geldt ook voor de meeste meetinstrumenten die motionplatforms controleren op het halen van de gevraagde specificaties. We geven er daarom sterk de voorkeur aan om de snelheidsfout te bepalen uit de maximale positiefout tijdens beweging in combinatie met een tijdsinterval.

De ervaring laat zien dat binnen een snelheidsbereik de maximale positiefout tijdens de beweging min of meer constant is. Dit betekent dat het variëren van het tijdsinterval tussen twee metingen

Q-Sys ontkoppelde de twee hoofdasen in het systeem

een significante invloed kan hebben op de berekende snelheidsfout. Denk bijvoorbeeld aan een positiefout van 1 μm waarbij je de ene keer om de 1 ms meet en de volgende keer om de 0,5 s. De snelheidsfout varieert in dat geval van 2 $\mu\text{m/s}$ tot 1 mm/s. Het moge duidelijk zijn dat dit vraagt om een gedegen begrip van de toepassing en de eisen die gesteld kunnen worden aan deze parameter.

50 nrad

De slede die de optische componenten vervoert, heeft een L-vorm. Daardoor is het helaas onmogelijk de kracht van de lineaire motor in het massamiddelpunt te laten aangrijpen. De aandrijvende kracht zal dus een moment uitoefenen op de slede, wat vanzelfsprekend ongewenst is. Om deze reden en omdat de motor een (weliswaar kleine) hittebron vertegenwoordigt, hebben we ervoor gekozen de slede op te delen in twee

segmenten. Een van de twee segmenten wordt door de lineaire motor aangedreven en heeft een optische encoder voor de positieterugkoppeling. Tussen de twee segmenten bevindt zich een speciale koppeling die alleen krachten in aandrijfrichting doorgeeft, met als resultaat dat ze gezamenlijk bewegen zonder dat het segment met de optische componenten de versturende momenten voelt. Dit segment heeft bovendien een eigen optische encoder waarmee we de werkelijke positie kunnen meten, zo dicht mogelijk bij het punt waar de optische componenten zich bevinden.

Ook deze twee segmenten maken gebruik van luchtlagers die over een gepolijst granieten oppervlak bewegen. De luchtlagers worden met magneten voorgespannen om een gewenste zweefhoogte te kunnen instellen en daarmee het gewenste stijfheidsbereik. Zo kan de voorspanning ook niet voor verstoringen zorgen. Ten slotte hebben we lineaire versterkers gebruikt zodat ook deze geen bron van krachtrimpel in de aandrijving kunnen zijn.

Het uiteindelijke resultaat is een klant-specifiek platform waarmee BNL spiegels met massa's tot 150 kg en 1500 mm lengte precies kan positioneren en kan nameten. De nauwkeurigheid van de meting staat het toe oppervlaktefouten in de spiegels te detecteren van 50 nrad met een ruisniveau op de meting van slechts 15 nrad.

Philip Wallington is commercieel directeur bij Q-Sys uit Helmond. Hij heeft een achtergrond in elektromechanische engineering en meer dan tien jaar ervaring met motion- en positioneertechnologieën.

Redactie Alexander Pil