

# Applicaties van optische sensorsystemen in het elektriciteitsvoorzieningssysteem

A.H van der Wey, R.V. Vogelzang, C.J.H.M. Poorts  
KEMA T&D

## Samenvatting

De vraag naar extra en betere informatie over een proces, om te komen tot een optimale procesbeheersing in het elektriciteitsvoorzieningssysteem, neemt toe. Nieuwe optische sensorconcepten bieden de mogelijkheid om aan deze groeiende vraag te voldoen. Deze sensorsystemen kunnen gebruikt worden voor beveiliging, besturing, foutlokalisatie en toestandsbepaling. Het is eveneens mogelijk deze systemen te koppelen aan stationsautomatiseringsapparatuur.

Optische sensorsystemen worden in de industrie reeds op vele gebieden ingezet. De invoering van dergelijke systemen in het elektriciteitsvoorzieningssysteem blijft hierop duidelijk achter. Eén van de belangrijke voordelen die optische sensorsystemen hebben t.o.v. conventionele systemen is de ongevoeligheid voor elektromagnetische storingen. Vooral in de vaak sterk elektromagnetisch vervuilde omgeving van het elektriciteitsvoorzieningssysteem kan een dergelijk voordeel van grote betekenis zijn. Een ander voordeel is dat optische sensoren gebruikt kunnen worden op plaatsen die met de conventionele sensoren niet bereikt kunnen worden. Nieuwe systeem concepten worden hierdoor mogelijk.

De meeste optische sensorsystemen zijn op dit moment kostentechnisch nog minder interessant dan conventionele elektrische systemen. De verwachting is echter dat door de grotere inzetbaarheid, deze optische systemen in de nabije toekomst meer toegepast zullen gaan worden en de kosten per meetpunt zullen dalen.

Er zullen intelligente sensorsystemen komen, waarbij de intelligentie decentraal (in het veld) aanwezig is.

## Inleiding

Opnemers en sensoren spelen in geautomatiseerde processen een belangrijke rol. Er is een toenemende vraag naar extra informatie uit de diverse processen. De behoefte aan betrouwbare en goedkope sensoren neemt toe. De meerwaarde van deze nieuwe optische sensorsystemen is dat informatie wordt verkregen van andere, nieuwe meetpunten die signalen leveren van een hogere kwaliteit. De toepassingen van moderne sensorsystemen zijn zeer divers, zoals besturing, beveiliging, foutlokalisatie en toestandsbepaling. Er komen zeer veel nieuwe typen sensoren op de markt, de "technology push" is groot. Toch vinden op dit moment juist in het elektriciteitsvoorzieningssysteem geen groot-schalige toepassingen van moderne sensor-systemen plaats, de "market pull" is klein.

Dat de introductie langzaam verloopt heeft diverse oorzaken. De kosten van deze sensorsystemen zijn nog relatief hoog en het onderling koppelen van de diverse sensorsystemen is nog moeilijk, omdat er nog geen eenduidige standaard is. Tevens is er nog weinig ervaring met de exploitatiekosten van deze moderne sensorsystemen, de zogenaamde "cost of ownership". Ook het gebrek aan kennis bij de eindgebruikers van de nieuwe typen sensorsystemen die op de markt beschikbaar komen speelt een rol. Verder is op dit moment niet altijd duidelijk of een bepaald type sensor

wel de verwachte meerwaarde oplevert  
 Wanneer we wat specifiekier kijken naar de toepassingen van sensorsystemen in het elektriciteitsvoorzieningssysteem, moeten we constateren dat optische sensorsystemen hier nog nauwelijks toegepast worden. De stationsautomatisering komt langzaam op gang maar de koppeling met sensorsystemen voor besturing, beveiliging, foutlokalisatie en dergelijke vindt nog nauwelijks plaats. Een extra handicap voor een sensorsysteem in het elektriciteitsvoorzieningssysteem is de ruwe, storingsrijke omgeving. Allerlei storende elektrische en magnetische inkoppelingen op de meetsignaaldraden vinden plaats. Optische sensoren en -signaaloverdracht bieden hier uitkomst. Wanneer licht gebruikt wordt om te meten en glasvezel om dit licht te transporteren spreken we van een optisch sensorsysteem. Deze optische sensorsystemen kunnen vaak op plaatsen ingezet worden die met de bestaande technieken niet bereikt kunnen worden. Tevens is het mogelijk optische signalen te multiplexen, zodat meerdere signalen over één glasvezelkabel getransporteerd kunnen worden. Als voorbeeld voor een sensorsysteem toepassing kan een onderstation genoemd worden, hier zijn vele en lange verbindingen noodzakelijk tussen de sensoren en de besturingsorganen in het veldhuisje of stationsgebouw. Optische signaaloverdracht, via glasvezelkabels, van de sensor signalen naar de besturingsorganen vindt nu reeds plaats. Met deze, vaak digitale, optische signaal overdracht is een deel van de eerder genoemde storingsproblemen opgelost. Tevens vervangen de optische glasvezelkabelverbindingen de vele koperen signaaldraden. De kosten van een dergelijke digitale gemultiplexte glasvezelverbinding zijn op dit moment al lager dan die van klassieke koperdraad verbindingen. Invoering heeft echter alleen zin als gedigitaliseerde secundaire apparatuur zoals een stationsautomatiseringssysteem aanwezig is, of wordt overwogen.

De betrouwbaarheid van de sensorsigna-

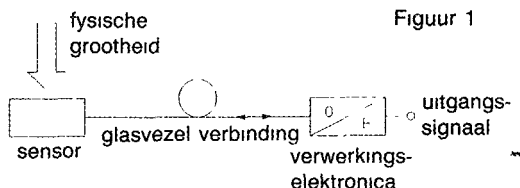
len in het elektriciteitsvoorzieningssysteem moet hoog zijn. Optische meettechnieken hebben de potentie om in de groeiende behoefte aan snellere, meer robuuste sensoren voor spanning, stroom, temperatuur, druk, niveau en de meer eenvoudige grootheden als aanwezigheid en positie goed te kunnen voorzien. Op veel plaatsen in de wereld wordt gewerkt aan onderzoek en ontwikkeling van deze optische sensorsystemen.

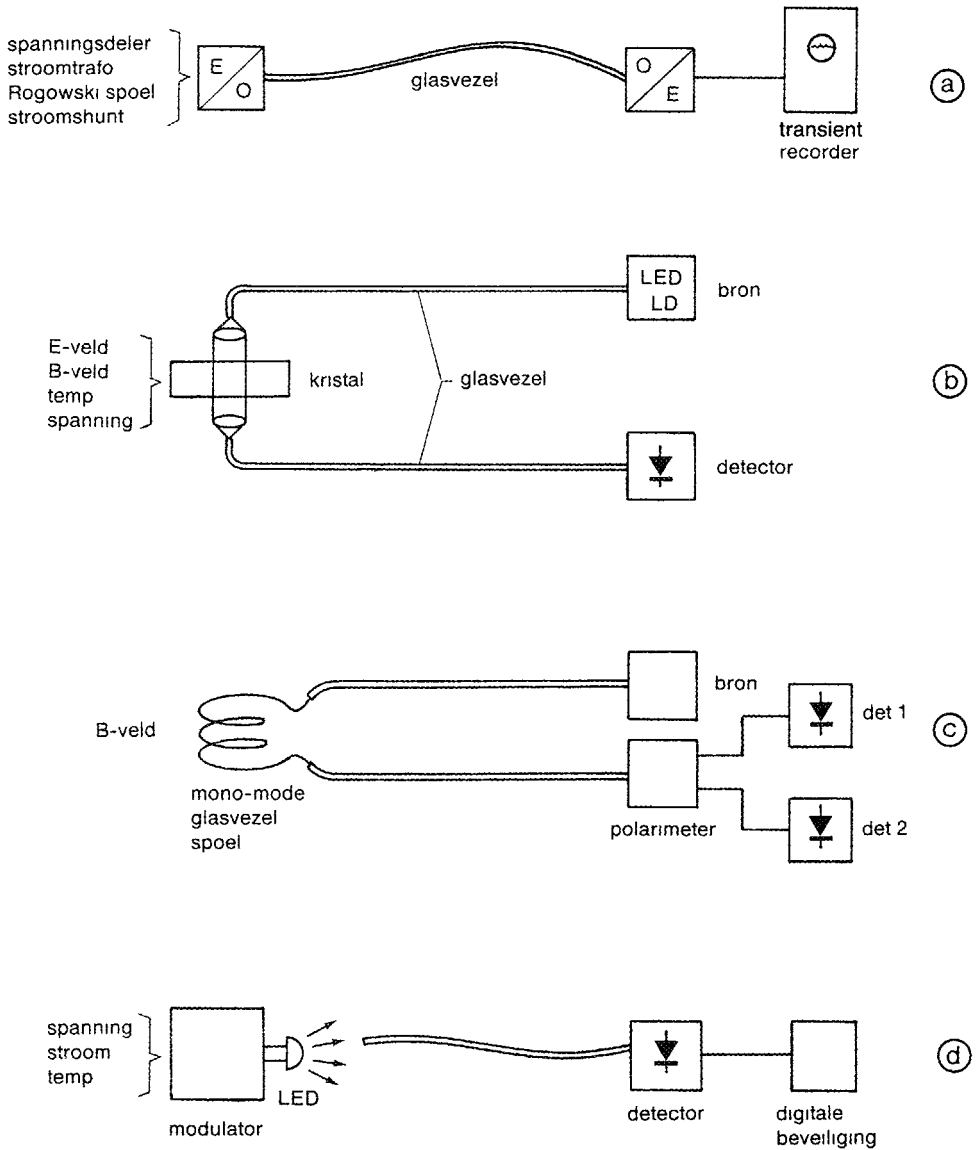
Het station van de toekomst zal zijn uitgerust met digitale optische netwerken van meerdere optische sensorsystemen voor stroom, spanning, druk, positie, temperatuur, lichtboogdetectie, partiele ontladingdetectie en conditie bewaking. In een dergelijk concept zullen de toegepaste sensorsystemen digitale signalen afgeven naar de stationsautomatiseringssysteem en andere besturings-, beveiligings- en bewakingssystemen. Een goede en betrouwbare optische sensor kan voor diverse functies worden ingezet. Hierdoor kan een kostenreductie per meetpunt worden bereikt. Men spreekt in dit geval ook wel van een intelligent sensorsysteem of component, we kunnen immers met meetwaarden van deze nieuwe digitale sensoren on-line reageren op de verandering in het systeem en bijvoorbeeld actief een beveiliging instellen. Op dit moment zijn deze intelligente systemen nog niet algemeen verkrijgbaar.

### Opbouw van een optisch sensorsysteem

Onder een optisch sensorsysteem wordt een instrument verstaan dat een fysische grootheid

omzet in een elektrisch signaal door op een of andere wijze gebruik te maken van licht en een glasvezel en/of een ander optisch element. In figuur 1 is de algemene





#### optische meetsystemen

- (a) potentiaal scheiding m b.v optische zender en ontvanger
- (b) volledig optische meting m b v een kristal
- (c) volledig optische meting m b v een glasvezel
- (d) foutindicatie t b v bewaking

Figuur 2

opbouw van een optisch sensorsysteem weergegeven.

Een optisch sensorsysteem bestaat uit een drietal hoofdonderdelen. Dit zijn de sensor, de glasvezel en de verwerkingselektronica. De sensor is het element waarop de fysische grootheid inwerkt en waarin, onder invloed van deze grootheid, de eigenschappen van het licht beïnvloed worden. De glasvezel wordt gebruikt voor het transport van het optische signaal van de verwerkingselektronica en terug. Het vormt de verbinding tussen de sensor en de verwerkingselektronica. De verwerkingselektronica bevat vaak een zender, een LED of een laser, die licht stuurt naar de sensor. Tevens bevat de verwerkingselektronica een ontvanger die licht, afkomstig van de sensor, omzet in een elektrisch signaal op de uitgang.

Wat de uitvoeringsvorm van de sensor betreft zijn er een groot aantal mogelijkheden. Deze hangt nauw samen met de fysische grootheid die gemeten wordt. Een eerste indeling die gemaakt wordt is het intrinsiek of extrinsiek zijn van de sensor. Bij een intrinsiek sensorsysteem berust de werking van de sensor op de eigenschappen van de glasvezel zelf. We spreken hier over glasvezelsensoren. Figuur 2<sup>c</sup> geeft een voorbeeld van een intrinsiek sensorsysteem voor het meten van B-veld en stroom.

Bij extrinsieke sensorsystemen wordt de glasvezel alleen gebruikt voor de signaaloverdracht van de verwerkingselektronica naar de sensor en terug. In de sensor zullen onder invloed van de te meten fysische grootheid de eigenschappen van het licht, zoals bijvoorbeeld de polarisatie, golflengte, intensiteit of de fase beïnvloed worden. De sensoren die gebruik maken van kristallen als meetmedium worden buiksensoren genoemd. De afbeelding in figuur 2<sup>b</sup> is een voorbeeld van een extrinsiek sensorsysteem voor het meten van E-velden, B-velden, temperaturen en spanningen. Figuur 2<sup>a</sup> en 2<sup>d</sup> zijn voorbeelden van actieve sensoren. De sensoren moeten worden voorzien van een externe

voeding. In figuur 2<sup>a</sup> wordt het elektrische signaal van een conventionele opnemer omgezet in een optisch signaal. Deze elektro-optische conversie kan heel nauwkeurig gebeuren. In figuur 2<sup>d</sup> wordt ook een elektrisch signaal omgezet in een optisch signaal. Hier wordt het optische signaal echter alleen gebruikt voor indicatie doeleinden, zoals bijvoorbeeld het wel of niet aanwezig zijn van een spanning of een stroom of het overschrijden van een bepaalde maximum temperatuur.

De transmissie van de optische signalen naar de verwerkingselektronica gebeurt met behulp van een glasvezel verbinding. Diverse typen glasvezel zijn mogelijk voor de verschillende uitvoeringsvormen van de optische sensoren. Monomode vezels worden veelal gebruikt voor de intrinsieke sensoren, waarin bijvoorbeeld de polarisatie van het licht een rol speelt. Voor de extrinsieke sensoren wordt vaak gebruik gemaakt van multimode glasvezels. Deze keuze wordt mede bepaald de kerndiameter en het vezel materiaal.

### **De mogelijkheden van het meten met licht**

In 1970 is het voor het eerst gelukt om een glasvezel te fabriceren met een acceptabele demping. Dit betekende vrijwel direct de doorbraak van de glasvezels in de telecommunicatie. De extra mogelijkheden die ontstonden door met licht (fotonen) te meten in plaats van met elektrische signalen (elektronen) zijn zeer groot. In tabel 1 is een vergelijking gemaakt tussen grootheden die met elektronen en fotonen kunnen worden gedetecteerd. Deze hebben er toe geleid dat er voor informatieoverdracht een verschuiving is gaan optreden van elektrische verbindingen met koperdraad naar glasvezelverbindingen. Tijdens de ontwikkeling van glasvezels voor grote afstanden werd het duidelijk dat fysische grootheden zoals bijvoorbeeld temperatuur en druk, het optische signaal kunnen beïnvloeden. Deze ontdekking is het startsein geweest voor de ontwikkeling die nu plaats vindt op

het gebied van optische sensortechnologie.

### Elektronen versus fotonen

	fotonen	electronen
1 low resistance	ja	nee
2 polarization	ja	nee
3 coherent source	ja	nee
4 frequency separation	ja	nee
5 tow-directional flow	ja	nee
6 no electromagnetic interference	ja	nee
7 very broad band	ja	nee
8 vibration sensitive	ja	nee
9 no short circuit hazard	ja	nee
10 compatible with silicon	nee	ja
11 injection problems	nee	ja
12 superconducting	nee	ja
13 non-linearity	ja	nee

Tabel 1

De toepassingsgebieden voor optische sensortechnologie zijn zeer uitgebreid. Een lijst van de mogelijkheden is hieronder gegeven:

- licht intensiteit, lichtbogen
- temperatuur
- druk, mechanische spanning
- magnetisch velden, stroom
- elektrische velden, spanning
- elektromagnetische straling
- versnellingen, trillingen
- standen, positie, hoeken, verplaatsing

### Optische sensortechnologie in het elektriciteitsvoorzieningssysteem

Voor het besturen van processen is het noodzakelijk data te verzamelen en deze om te zetten in bruikbare informatie. Voor het verzamelen van de data wordt gebruik gemaakt van sensoren. De data die afkomstig is van een sensor is een representatie van de parameter die beschouwd wordt. Er geldt daarom hoe beter de binnengehaalde data, hoe beter de mogelijkheid om een goede operationele beslissing te nemen over de procesvoering. In het elektriciteitsvoorzieningssysteem

worden vele soorten sensoren gebruikt voor het uitvoeren van metingen. Om het elektriciteitsvoorzieningssysteem goed te besturen hebben de sensoren twee essentiële functies:

- data verzamelen voor het uitvoeren van comptabele metingen
- data verzamelen voor een goede beveiliging en besturing van het systeem.

Een derde taak die toegekend kan worden is die van data verzamelen voor foutlokalisatie en toestandsbepaling.

De hierboven genoemde taken worden op dit moment nog veelal met conventionele elektrische sensoren uitgevoerd. Om de overstap van conventioneel naar optisch te rechtvaardigen moeten er een aantal, voor de gebruiker, belangrijke voordelen aan de optische sensortechniek verbonden zijn. Een aantal specifieke voor- en nadelen van optische sensorsystemen zijn in de onderstaande lijst opgenomen.

#### Voordelen:

- elektromagnetische storingen hebben geen invloed op de metingen
- galvanische scheiding tussen sensor en verwerkingselektronica
- betere procesinformatie door het meten op voorheen niet bereikbare plaatsen
- explosie veilig
- minder gewicht door kleinere afmetingen
- potentie om tot lagere kosten per meetpunt te komen
- goede integratie met digitale systemen en stationsautomatisering mogelijk
- digitale optische overdracht vanuit sensor is mogelijk

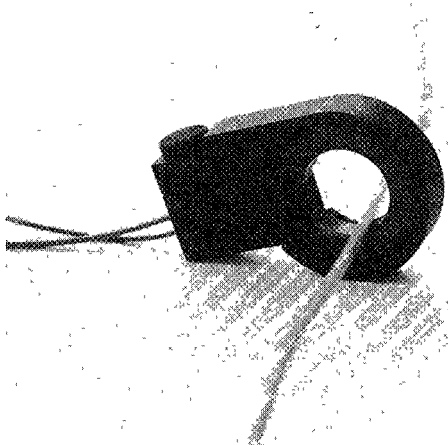
#### Nadelen:

- uitgangssignalen van optische sensorsystemen zijn niet direct geschikt voor conventionele beveiligingsrelais
- levensduur is korter dan de momenteel gemiddelde 30 jaar
- de uitgangssignalen zijn nog niet gestandaardiseerd
- weinig bedrijfservaring
- nog geen keuringsvoorschriften

In de volgende hoofdstukken worden enkele voorbeelden gegeven van optische sensorsystemen die in het elektriciteitsvoorzieningssysteem gebruikt kunnen worden.

### Optische stroommeting met een big sensor

KEMA heeft een optische stroomsensor ontwikkeld voor het meten van stromen in het gebied van 0.1-100 A. De werking van de sensor berust op het Faraday effect. De sensor, zoals weergegeven in figuur 3,



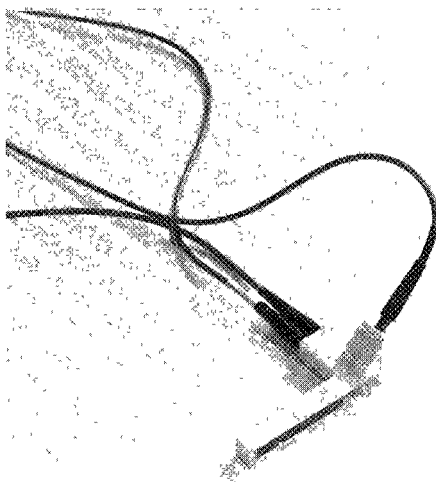
Figuur 3

bestaat uit twee gedeelten, een Ferrietkern en een kristalhouder, die aan elkaar geschroefd kunnen worden. Het Faraday materiaal is een BIG-kristal met een dikte van 0.6 mm. De Verdet-constante van dit materiaal is zeer hoog, zodat de dikte klein mag zijn om nog een aanzienlijke polarisatieverdraaiing te verkrijgen.

### Optische stroomsensor met temperatuurcompensatie

Figuur 4 toont een foto van een verminderd temperatuur gevoelige optische stroomsensor. De sensor bezit één aanvoer- en twee afvoervezels. Als Faraday kristal is het diamagnetische materiaal  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$

gekozen, dat een temperatuurafhankelijkheid bezit van 0.015 %/°C.

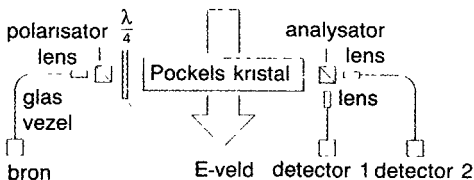


Figuur 4

De ontwikkeling van deze optische stroomsensoren met reflector achter het Faraday kristal om de temperatuurafhankelijkheid te verminderen bevindt zich nog in het ontwikkelingsstadium. Door temperatuurvariaties van de sensor binnen 20°C te houden is de variatie van de Verdet-constante dusdanig gering dat een meetnauwkeurigheid van 0.2% gehaald kan worden

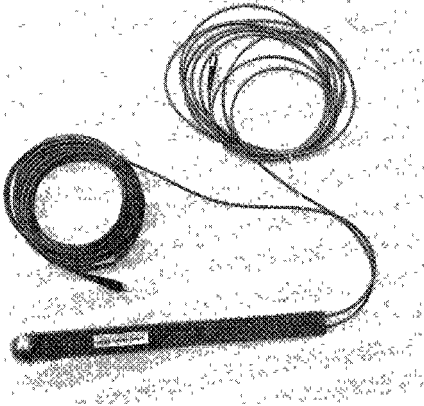
### Elektrische spanning en -velden sensor

Het meten van elektrische spanningen en elektrische velden maakt het mogelijk de veiligheid in onderstations te verhogen. Een elektrische spanning en -velden sensor maakt gebruik van het Pockels effect. Als Pockels materiaal wordt BGO gebruikt. Figuur 5 geeft het principe van deze sensor



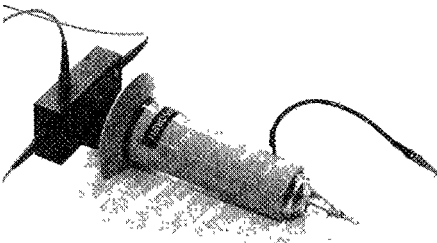
Figuur 5

weer. Voor het loodrecht inkoppelen van het E-veld, is voor de KEMA sensor een uit twee delen bestaande metalen bol met een diameter van 33 mm vervaardigd. Door de afmetingen van deze elektroden zo klein mogelijk te houden wordt een zo gering mogelijke veldverstoring gerealiseerd. In figuur 6 is een foto van de sensor voorzien



Figuur 6

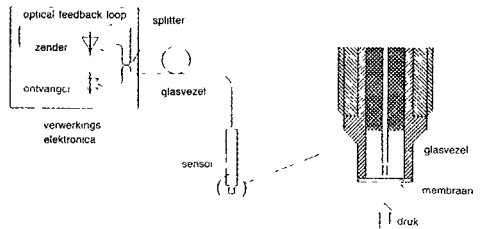
van de elektroden opgenomen. In figuur 7 is een foto van de optische spanningssensor te zien. De sensor is hier gecombineerd met een spanningsdeler. Door een dergelijke oplossing te kiezen is een modulaire opbouw mogelijk



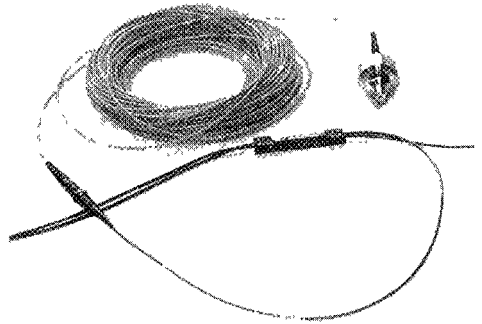
Figuur 7

### Optische druksensor

Gasdichtheidsbewaking voor lekdetectie van gasgevulde hoogspanningscomponenten, zoals GIS installaties en bepaalde typen vermogensschakelaars, is te realiseren door een meetsysteem waarbij één van de te meten grootheden de gasdruk is. Drukmetingen kunnen eveneens uitgevoerd worden aan hydraulische systemen van bijvoorbeeld vermogensschakelaars. Voor het uitvoeren van drukmetingen kan gebruik gemaakt worden van optische druk sensorsystemen. Figuur 8 en 9 tonen respectievelijk het principe en een foto van een optisch druk sensorsysteem



Figuur 8

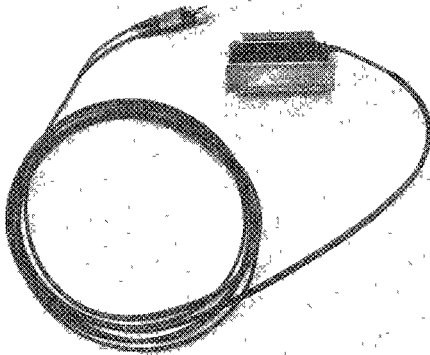


Figuur 9

### Optische trillingssensor

Een trillingssensor is één van de sensoren die gebruikt kan worden voor toestandsbepaling van componenten. Toepassingen zijn het registreren van trillingen afkomstig van een generator, uit de mechanische

aandrijving van een vermogensschakelaar of het registreren van trillingen in GIS, welke afkomstig zijn van partiële ontladingen. De voor deze doeleinden gebruikte sensoren zijn over het algemeen piezo-elektrische trillingssensoren. Deze hebben dicht in de buurt van de sensoren een voedingsbron (accu) nodig en voor sommige toepassingen is dit lastig te realiseren. Ook kunnen deze trillingssensoren gevoelig zijn voor elektromagnetische storingen. Daarom lijkt een optische trillingssensor voor sommige doeleinden beter geschikt dan een piezo-elektrische trillingssensor. In figuur 10 is een foto weergegeven van

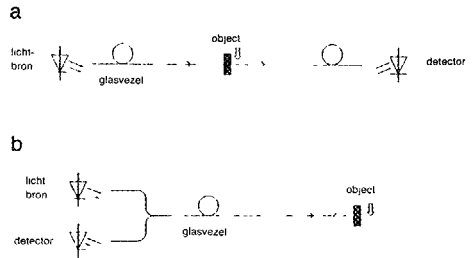


Figuur 10

een commercieel verkrijgbare optische trillingssensor, die gebaseerd is op het Fibre Cross Section Overlap (FCSO) principe. De aan- en afvoervezel komen aan dezelfde kant uit het sensorgedeelte. De sensor is ongeveer  $8 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$  groot en kan met twee schroeven op een metalen blok bevestigd worden, dat eenvoudig op elke willekeurige plaats op een component gelijmd of geschroefd kan worden. De sensor kan versnellingen in het bereik van  $-100.. +100 \text{ g}$  meten en heeft een gevoeligheid van  $0.1 \text{ V/g}$ , zodat ook kleine versnellingen goed te meten zijn. Het frequentiebereik is vlak van  $10 \text{ Hz}$  tot  $1200 \text{ Hz}$ .

### Optische standmelding

Met behulp van optische standmeldingsapparatuur is het mogelijk om de aanwezigheid van objecten te registreren. Deze apparatuur kan bijvoorbeeld gebruikt worden om vast te stellen of een vermogensschakelaar in- of uitgeschakeld is. Andere toepassingen zijn bijvoorbeeld optische temperatuur of gasdruk bewaking. Figuur 11 geeft een tweetal meetprincipes weer die gebruikt kunnen worden voor de aan- en afwezigheidsregistratie van objecten. In figuur 11<sup>a</sup> is het transmissie principe weergegeven. Hierbij wordt de door de detector naar te nemen lichtbundel door een bewegend object onderbroken. Het reflectie principe, zoals weergegeven in figuur 11<sup>b</sup>, detecteert het licht dat door een bewegend object wordt gereflecteerd.

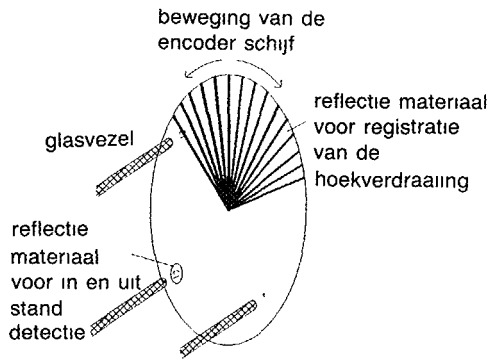


Figuur 11

### Optische hoekencoder

Veelal maken vermogensschakelaars gebruik van roterende aandrijvingen. De verdraaiing van de aandrijving kan als maat voor de lineaire verplaatsing van de schakelaarcontacten gebruikt worden. Door de contactbeweging in de tijd te registreren kan uit deze informatie de snelheid, de versnelling, de slag van de contactstiften en de in- en uitschakeltijd bepaald worden. In figuur 12 is een schematische voorstelling gegeven van het optische hoek encodersysteem. Eén vezel wordt gebruikt voor het detecteren van het licht dat door de strookjes wordt gereflecteerd. Twee andere vezels worden gebruikt voor het vaststel-





Figuur 12

len of de schakelaar in de "in" of de "uit" stand staat.

### Conclusies

In dit artikel zijn de ontwikkelingen op het gebied van het optische sensoren bij KEMA T&D besproken. Meerdere optische sensorsystemen die in het elektriciteitsvoorzieningssysteem kunnen worden gebruikt zijn geëvalueerd. In tabel 2 zijn de mogelijkheden van deze optische sensorsystemen gecombineerd in een overzichtstabel.

Optische sensoren zullen in het elektriciteitsvoorzieningssysteem steeds meer worden toegepast bij nieuwbouw maar ook bij revisies. De behandelde sensoren zijn nog niet allemaal commercieel verkrijgbaar (zie tabel 2) en zijn op dit moment meestal nog duurder dan de conventionele sensoren. Toch zal door de potentiële voordelen van deze optische meettechnieken, de invoering ervan spoedig plaatsvinden. In de vele onderzoeksprojecten bij instituten en bij diverse grote fabrikanten zijn vele goede optische sensorconcepten ontwikkeld. De "technology push" is groot. Op dit moment vinden introducties in hoog- en middenspanningssystemen al plaats. Optische transformatoren voor spanning en stroom en optische temperatuurbewaking van transformatoren zijn hiervan voorbeelden. De invoering van optische sensorsystemen

kunnen parallel plaatsvinden aan de invoering van stationsautomatisering bij nieuwbouw of revisie.

De voordelen (meerwaarde) van optische technieken ten opzichte van klassieke zijn:

- geen EMC problemen en goede elektrische isolatie tussen de opnamer en de verwerkingselektronica
- kleinere afmetingen en gewicht van de sensor waardoor een flexibeler inzetbaarheid mogelijk is
- betere metingen mogelijk op plekken die met de conventionele opnemers niet altijd toegankelijk zijn
- geen explosiegevaar en milieu problemen omdat de olievulling achterwege kan blijven
- goede integratie met moderne automatiseringssystemen is mogelijk.

Het is mogelijk om met één goede optische sensor op de juiste plaats, meerdere functies zoals beveiliging, besturing, bewaking en meting te combineren. Wanneer deze optische technieken doorzetten kunnen de kosten per meetpunt omlaag en zullen de totale systeemkosten lager zijn. Op dit moment zijn de kosten van een glasvezel datatransportsysteem al lager dan de oplossing met behulp van koperen geleiders.

De nadelen van optische technieken zijn.

- de nieuwe optische sensorsystemen zijn moeilijk te combineren met de conventionele technieken. De signaal niveaus zijn geen 1 of 5 A en de spanningsniveaus zijn geen 100 V meer. De ingangen van bijvoorbeeld beveiligingsrelais zijn niet direct geschikt
- de levensduur van deze nieuwe optische sensor systemen zal geen 30 jaar zijn. Er zal sneller een revisie of upgradings van het secundaire systeem plaatsvinden. De prijs van een modern optische sensor systeem en de kosten voor onderhoud en herijking (Cost of ownership) zullen nog lager moeten worden
- er is op dit moment nog geen standaard stationsbus (fieldbus)

De volgende generaties intelligente optische sensorsystemen zullen een digitale

optische uitgang moeten hebben, zodat selfcheck en calibratie van een dergelijk systeem mogelijk is. Deze intelligentie zal niet meer centraal, maar op veld niveau aanwezig zijn. De optische sensorsystemen zullen direct worden aangesloten op de digitale stationsbus. De discussie over een standaard bus is nog niet afgerond. Zolang deze keus nog niet gemaakt is zullen er optische sensoren met een analoge uitgang op de markt zijn en komen. De bestaande bestekken, specificaties en keuringsvoorschriften zullen moeten worden aangepast. Bij de meeste E-bedrijven is weinig kennis aanwezig over deze nieu-

we optische technieken. Men moet blind varen op wat de fabrikanten beweren en aanbieden. KEMA T&D heeft hier een belangrijke taak, namelijk die van intermediair tussen de klant, eindgebruiker en de fabrikant.

De in dit artikel beschreven informatie is ook beschikbaar in de vorm van een cursus "introductie optische sensoren". KEMA T&D zal ook in de toekomst onderzoek blijven doen en adviezen kunnen geven bij het introduceren van deze nieuwe optische systemen in het elektriciteitsvoorzieningssysteem en elders.

### Overzicht van enkele optische sensorsystemen

Letters R/P/C/ staan voor R = research stadium, P = ervaring bij KEMA T&D (inclusief prototypen) of sommige bedrijven hebben al prototypen gebouwd, C = commercieel verkrijgbaar

Grootheid	Instrumenttype	R/P/C	Bereik	Nauwk %	Toepassingsmogelijkheden
Stroom	bulk-sensor	P	0 1-100 A 100 A - 100 kA	10% 5%	Foutlokalisatie, beveiliging in EVS, lekstromen, ZnO afleiders, condensatorbanken
	Temperatuur gecompenseerde bulk-sensor	R	10 A-1 kA 100 A - 10 kA	0 2%	Beveiliging, besturing en meting in EVS
	Conventionele stroomtransformator met optische uitlezing	P/C	idem aan conventionele	3%	Beveiliging in EVS
	glasvezel stroomsensor	P	100 A - 30 kA	2%	Beveiliging in EVS
Elektrisch veld	Optische E-veld sensor	P/C	0 05- 10 kV/cm		- E-veld meting hoogspanningsinstallaties
	Optische spanningssensor	P	0 01-5 kV		- Schakeltijden - Partiele ontladingen - Elektrische wisselvelden - Snelle transiënten
Druk	Optische druksensor	C	0-10 Bar 0-500 Bar	1%	- Drukbewaking HS-installaties - SF <sub>6</sub> -druk golf in vermogensschakelaars

Tabel 2

### Overzicht enkele optische sensorsystemen

Grootheid	Instrumenttype	R/P/C	Bereik	Nauwk %	Toepassingsmogelijkheden
Trilling	FCSO-sensor	C	-100 - + 100 g	0 1%	Conditiebepaling generatoren, vermogens- schakelaars en transformatoren
	Microbending sensor	R	-50 + 50 g	1%	Conditiebepaling generator, vermogens- schakelaars en transformatoren
Stand	Standmelder	C	n v t	n v t	- Alarmering - Temperatuurbewaking - Standmelding - Schakeltijden
Verplaatsing	Hoek encoder	R	0-360°	0 1°	Vermogensschakelaar
	Lineaire verplaatsings- sensor	C	0-20 cm	5%	- Vermogensschakelaar - Regelschakelaars
Lichtboog	Glasvezel met grote openingshoek	C			- Lichtboogbeveiliging LS en MS installaties - Interne lichtbogen in schakelmateriaal en transformatoren
	fluorescerende plastic vezel	R			- Lichtboogdetectie - Partiele ontladingsde- tectie in GIS

Tabel 3