



TrafoStick™

# Conditie-gebaseerd onderhoud vandaag!

## TRAFOSTICK™

### Eén sensor voor ONLINE BDV- en DGA-meting

Om de levensduur en betrouwbaarheid van kritieke componenten zoals energietransformatoren met On-Load Tap Changers (OLTC's) te garanderen, is een uitgebreide diagnose van het isolatiesysteem van het grootste belang geworden. Deze diagnostiek beoordeelt de doorslagspanning van de olie (BDV) en het watergehalte ( $W_c$ ).

Daarnaast biedt het bepalen van de niveaus van twee cruciale gassen, waterstof ( $H_2$ ) en koolmonoxide (CO), een belangrijk inzicht in de toestand van de transformator. Dit heeft geleid tot de ontwikkeling van geavanceerde diagnose-instrumenten zoals de TrafoStick™, waarmee de gezondheidstoestand van transformatoren nauwkeurig en efficiënt kan worden beoordeeld.

***" In de oorspronkelijke definitie betekent diagnostiek het vermogen om ziekten te herkennen. "***

Op technisch gebied wordt diagnostiek geassocieerd met de term onderzoeksprocedure, wat betekent dat de toestand van een apparaat of de componenten ervan wordt bepaald, met aanvullende suggesties voor maatregelen die nodig kunnen zijn om het feitelijke bedrijfsproces veilig te stellen en zo goed mogelijk uit te breiden. Op het gebied van elektrische energietechniek heeft diagnostiek vandaag de dag aanzienlijk aan belang gewonnen. De verandering van tijdgebaseerd onderhoud van het systeem naar conditie gebaseerd onderhoud van het systeem vereist een betere kennis van de belangrijkste parameters om op tijd de juiste maatregelen te kunnen nemen.

Transformatoren en On-Load Tap Changers (OLTC's) worden meestal gebruikt in onderstations voor transmissie en distributie en in grote industrieën om onder belasting te transformeren van het primaire spanningsniveau naar het secundaire. Ongeacht of ze worden gebruikt voor de werking van spoorwegnetwerken, voor de algemene energievoorziening van de industrie en particuliere huishoudens of voor andere taken, is een feilloze werking een noodzaak. De bedrijfsomstandigheden voor deze sleutelementen in ons energienetwerk worden echter steeds veeleisender, waardoor er hogere eisen worden gesteld aan de werkende componenten, zoals de isolerende vloeistoffen. Regelmatige controle van deze speciale vloeistoffen (minerale of ester gebaseerde oliën) wordt belangrijker dan ooit tevoren, omdat alleen deze informatie kunnen geven over de conditie en het mogelijk maken om conclusies te trekken over de gehele transformator of OLTC met een vooruitblik.

Een mogelijk vroegtijdige detectie van beginnende fouten in dergelijke systemen en componenten is uiterst voordelig en op de lange termijn zeer kosteneffectief, omdat ongeplande uitschakelingen aanzienlijk kunnen worden gereduceerd. Een stabiele, toekomstgerichte en toekomstbestendige levering van het elektrische energiesysteem kan alleen worden gegarandeerd als de bedrijfsomstandigheden van de transformatoren met OLTC's, in het bijzonder hun elektrische isolatie, worden bewaakt.



Volgens de bestaande IEC-voorschriften bestaat de "basismonitoring" uit het registreren van de diëlektrisch-chemische parameters. Dit zijn de doorslagspanning (BDV; IEC 60156) en de diëlektrische verliesfactor  $\tan \delta$  (IEC 60247). Het bepalen van de doorslagspanning (BDV) en de diëlektrische verliesfactor  $\tan \delta$  biedt de mogelijkheid om ook de huidige isolatieconditie van de transformator- en OLTC-olie te beoordelen. Een verhoogd watergehalte ( $W_c$ ; IEC 60814) verslechtert de isolerende eigenschappen van de olie drastisch. Andere olie-eigenschappen, zoals het neutralisatiegetal (IEC 62021-1), worden gebruikt om een prognose te maken over de verdere werking van de transformator. Het neutralisatiegetal of totaal zuurgetal (Total Acid Number - TAN) in geeft de oxidatietoestand van de isolatieolie aan. Als het neutralisatiegetal te hoog is, wordt ook de vorming van organische zuren bevorderd, wat betekent dat er een risico op slibneerslag bestaat, wat kan leiden tot totale schade aan het duurste bedrijfsmiddel van het elektriciteitsbedrijf. Om de "Breakdown Voltage" (BDV) van transformator- en OLTC-olie te begrijpen, moet de diëlektrische sterkte in aanmerking worden genomen.

Er zijn verschillende soorten isolatieolie:

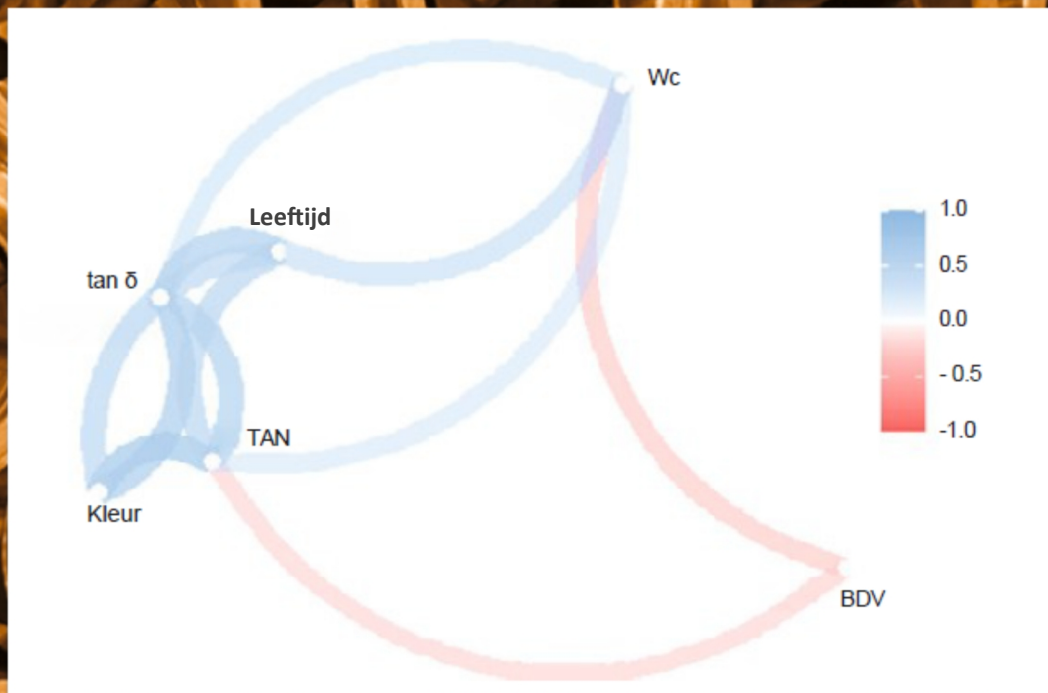
- Minerale olie (aardolieproduct)
- Naftaleen-houdende olie
- Paraffine-houdende olie
- Synthetische olie (chemisch product)
- Siliconenolie
- Bio-gebaseerde olie (plantaardige olie)

die tegenwoordig wereldwijd worden gebruikt. Diëlektrische sterkte wordt gedefinieerd als het vermogen van de olie om elektrische spanning te weerstaan zonder kapot te gaan. Afbreken verwijst hier naar het falen van de isolerende eigenschappen.

De doorslagspanningstest van transformatorolie is cruciaal voor de goede werking van de transformator. Een periodieke BDV-test van de transformatorolie garandeert de kwaliteit en gezondheid van de transformatorolie. Een lage BDV-waarde geeft aan dat de olie vocht en geleidende stoffen bevat. Volgens de Internationale Elektrotechnische Commissie (IEC) moet de minimale BDV-waarde van transformatorolie ten minste 30 kV zijn.



Abbeelding 1: TrifoStick™ Fabrieksacceptatietest (FAT)



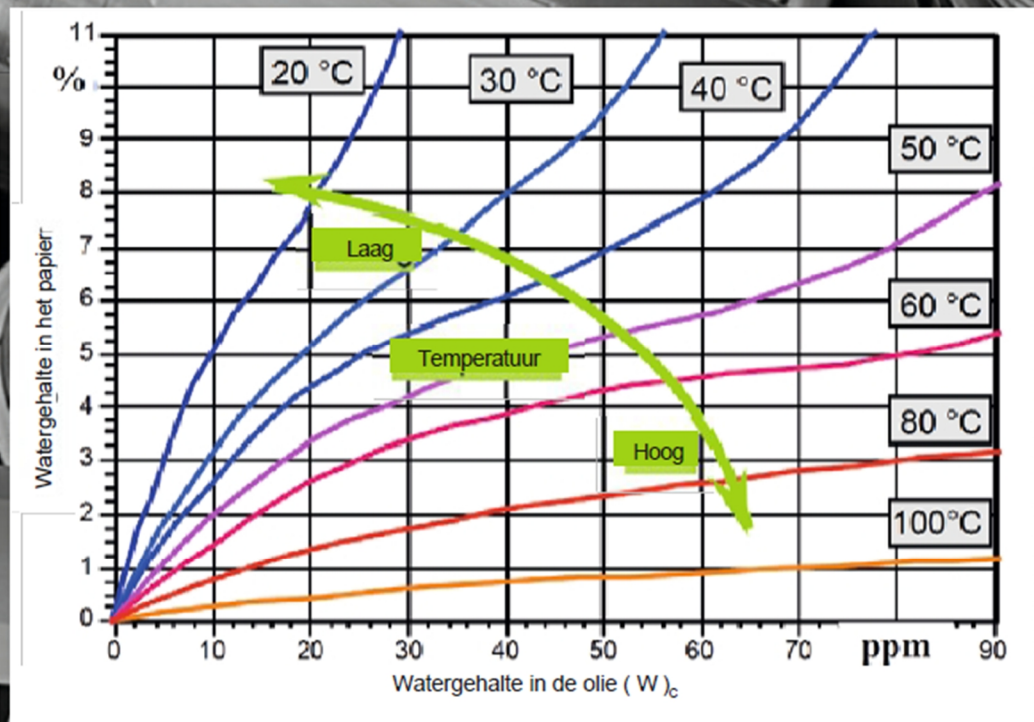
Figuur 2: Functiegrafiek van de relatie tussen veel variabelen van de olie. De kleurenbalk toont de correlatiecoëfficiënt tussen alle olieparameters.

## Het belang van het testen van isolatieolie en toestandsafhankelijk onderhoud in hoogspanningssystemen

Aangezien er een sterke correlatie is tussen Wc, TAN, en BDV voor isolerende vloeistoffen op basis van minerale olie, zoals weergegeven in figuur 2, zijn zuur en vocht de "drijvende krachten" van BDV. Het is ook bekend dat het watergehalte de eigenschappen van vaste isolatiematerialen sterk beïnvloedt, maar het watergehalte kan meestal niet direct tijdens het gebruik worden gemeten, omdat voor het meten van het watergehalte bijvoorbeeld KF-titratie nodig is.

Het vochtgehalte in de vaste isolatiematerialen kan alleen worden bepaald uit de vochtmetingen van de vloeistof onder bekende omstandigheden, zodat informatie over de ontwikkeling van het vochtgehalte in de vaste isolatiematerialen kan worden verkregen op basis van het vastgestelde model door continu het vochtgehalte in de vloeistof te bepalen (zie afbeelding 3).

Bovendien wordt isolatieolie in hoogspanningssystemen tijdens het gebruik blootgesteld aan elektrische, mechanische en thermische belasting. Dit resulteert in de verontreiniging van de olie door de vorming van koolstofafzettingen, zwavel, zuren, verschillende soorten gassen en slib, dat voornamelijk een oxidatieproduct is, waarvan de vorming toeneemt door de temperatuur en het contact met lucht. Als het vocht en de geleidende onzuiverheden hoger zijn, zal de doorslagspanning in de transformatorolie lager zijn. Met dit alles moet rekening worden gehouden en het moet worden aangepakt door middel van toestandsafhankelijk onderhoud.



Afbeelding 3: Vochtverdeling in een papier/vloeistof isolatie als functie van de olietemperatuur

Het periodiek testen van isolatie-olie is een belangrijke preventieve maatregel om hoogspanningsapparatuur in bedrijf te houden. Deze procedure is kostenintensief en levert tot nu toe "alleen" een momentopname onder laboratoriumomstandigheden.

De laboratoriummeting van de olieparameters volgens IEC-richtlijnen wordt meestal uitgevoerd bij 20°C en kan geen informatie geven over het gedrag van de olie bij bedrijfstemperaturen die afwijken van 20°C; ook moet in gedachten worden gehouden dat een fout door het foutief afgeven van oliemonsters door onjuiste menselijke handelingen alomtegenwoordig is.

Deze onderwerpen zijn de belangrijkste als er wordt gekozen voor online bewaking. Het is erg belangrijk om de diëlektrische sterkte van isolatieolie periodiek te controleren, vooral voordat dit leidt tot interne vonkvorming of totale uitval. Ongeplande uitval van elektrische apparatuur leidt tot commerciële verliezen en vermindert de betrouwbaarheid van het elektriciteitssysteem (blackout scenario's).

Met de kennis van de relatie tussen  $W_c$  en TAN (zie Figuur 2), evenals informatie over watermigratie tussen olie en papierisolatie (zie Figuur 3), worden de processen van toenemende TAN in aanwezigheid van vocht, waarbij het water het zuur uit het papier spoelt, zoals waargenomen in de oudere transformatorpopulatie, volkomen duidelijk en begrijpelijk.

Helaas versnelt de verouderingsfactor aanzienlijk met toenemende temperatuur. Bij zeer hoge kerntemperaturen, dat wil zeggen boven 90°C (190°F), verdubbelt de verouderingsfactor (IEC 60354, IEC 60076) met elke extra 6°C (10°F). Voor de verouderingsdiagnose van het papier betekent deze verklaring ook dat het belangrijk is om de temperatuur in het isolatiemateriaal nauwkeurig te kennen, vooral op de punten met de hoogste temperatuur (kern), omdat de verouderingsprocessen daar een zeer sterke acceleratie ervaren en leiden tot plaatselijke vernietiging van de isolatie en kunnen leiden tot het falen van het apparaat.

## BDV-waarden voor nieuwe olie

Uitrustingsvoltage
< 72,5 kV
> 72,5 kV

Breakdown voltage
> 55 kV
> 60kV

## BDV-waarden voor olie in bedrijf

System voltage	Goed	Redelijk	Slecht
≤ 72,5 kV	> 50 kV	40-45 kV	< 30 kV
> 72,5 kV ≤ 170 kV	> 55 kV	45-55 kV	< 35 kV
> 270 kV	> 65 kV	50-65 kV	< 40 kV

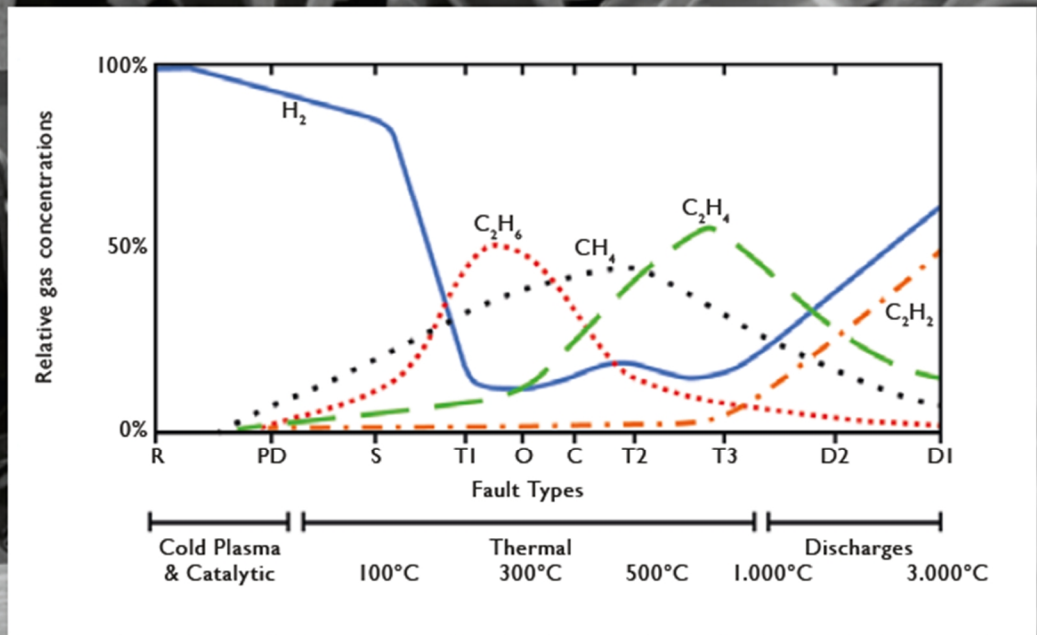
## Bepalen van de ontleding van gassen opgelost in de olie (IEC 60567 en IEC 60599)

Door de hoge elektrische veldsterkte is het optreden van gedeeltelijke ontladingen meestal een zeer vroeg waarschuwingssignaal voor plaatse-lijke defecten en leidt het tot een verhoogde vorming van ontledingssgasen. Bij abnormale thermische veroudering van vaste isolatie (cellulose) worden verschillende furanderivaten gevormd, die de veroudering van de vaste isolatie sterk versnellen. De DGA (analyse van opgeloste gas- sen) maakt een diagnose mogelijk van de processen die zich in het isolatiesysteem hebben voorgedaan, bijvoorbeeld gedeeltelijke ontladingen, thermische overbelasting of storingen met lage of hoge energie.

Figuur 4 toont aan dat minerale oliën voor transformatoren mengsels zijn van veel verschillende koolwaterstofmoleculen en dat de ontledings- processen van deze koolwaterstoffen tijdens thermische of elektrische storingen uiterst complex zijn. De basisstappen in gasproductie zijn het verbreken van koolstof-waterstof en koolstof-koolstof bindingen. Er worden actieve waterstofatomen en koolwaterstoffragmenten gevormd. Deze vrije radicalen kunnen zich combineren tot gassen, moleculaire waterstof, methaan, ethaan, enz. of recombineren tot nieuwe, conden- seerbare moleculen. De acroniemen en afkortingen in Figuur 4 betekenen:

- R—katalytische reacties
- PD—gedeeltelijke ontladingen
- S—vorming van zwerfgas
- T1, T2, T3—thermisch
- O—Oververhitting van papier of minerale olie
- C—mogelijke verkooling van papier
- D2—hoogenergetische ontladingen en D1 laag-energetische ontladingen

De hoeveelheid geproduceerde waterstof kan relatief hoog zijn en temperatuur ongevoelig voor sommige storingstypes zoals de buurt van 1.000°C. Ook de vorming van methaan, ethaan en ethyleen heeft elk een unieke afhankelijkheid van de temperatuur. Naast het aantal gassen dat door de processen wordt geproduceerd, is ook de verhouding tussen de gassoorten belangrijk. De IEEE-gids voor de interpretatie van gas- sen die ontstaan in met minerale olie geïmpregneerde transformatoren geeft een zeer uitgebreid overzicht van dit onderwerp.



Afbeelding 4: Relatief percentage opgeloste gasconcentraties in minerale olie als functie van temperatuur en fouttype (Afbeelding met dank aan IEEE)

### BDV-waarden voor olie in gebruik

Gas	Normaal	Abnormaal	Intepretatie
Waterstof H <sub>2</sub>	< 150 ppm	> 1000 ppm	Boog corona
Koolmonoxide CO	< 500 ppm	> 1000 ppm	Ernstige overload

### Aanbevolen veilige fout-gasniveaus in apparatuur met olie immersie (max., ppm)

Gas	Dorneburg / Stritt.	IEEE	Bureau of Reclam.	Leeftijd gecompenseerd
Hydrogen H <sub>2</sub>	200 ppm	100 ppm	500 ppm	20n* + 50
Koolmonoxide CO	500 ppm	350-720 ppm	750 ppm	25n* + 500

\* n = jaren in bedrijf

Op basis van de Westinghouse-richtlijnen voor totaal brandbare gassen (tcg) moet rekening worden gehouden met de toename van de hoeveelheid gas over een bepaalde periode (de gradiënt).

Totaal brandbare gassen	Aanbevolen actie
≤ 500 ppm	Normale veroudering. Analyseer opnieuw over 6—12 maanden
501—1200 ppm	Afbraak is misschien meer dan normale veroudering. Analyseer opnieuw over 3 maanden
1201—2500 ppm	Meer dan normale ontbinding. Analyseer binnen 1 maand
> 2500 ppm	Maak een wekelijkse analyse om de gasproductie te bepalen. Neem contact op met de fabrikant

De ontwikkeling van brandbare gassen tijdens het gebruik moet ook worden bepaald. Een productie van meer dan 100 ppm brandbare gassen in een periode van 24 uur verdient aandacht. Wekelijkse of maandelijkse monsters kunnen nodig zijn.

Total gas level	Ppm / dag	Procedure
≤ 720 ppm	<10	Normale werking voortzetten
	10-30	Wees uiterst voorzichtig, bepaal de belastingafhankelijkheid
	>30	Wees uiterst voorzichtig, bepaal de belastingafhankelijkheid
721—1920 ppm	<10	Adviseer fabrikant
	10-30	Analyseren op individuele gassen
	>30	Wees uiterst voorzichtig, plan uitval
1920—4630 ppm	<10	Adviseer fabrikant
	10-30	Analyseren op individuele gassen
	>30	Plan uitgal
> 4630 ppm	<10	Fabrikant adviseren, uitval plannen
	10-30	Overweeg verwijdering
	>30	Verwijdering



## Conclusie

Een continue meting van de olieparameters biedt niet alleen exacte momentane waarden, maar toont ook chronologische trends.

Met deze kennis kunnen de vermogenstransformator en OLTC op een meer gestuurde manier worden gebruikt, waardoor de economische efficiëntie van de apparatuur wordt geoptimaliseerd.

In zo'n geval rijzen er twee grote vragen:

- Welke vaardigheden hebben we nodig om zo'n online monitoringstelsel te kunnen ontwikkelen en gebruiken?
- Welke kennis over het gedrag van olie hebben we en welke hebben we nodig?

Precies met deze vragen in het achterhoofd is de TrafoStick™ sensor ( TS Generation 5 ( TS G5)) ontwikkeld, een uitgebreide versie van TS G4, voor het meten van de olietemperatuur, het watergehalte (  $W_c$  ), de doorslagspanning (BDV), evenals waterstof (  $H_2$  ) en koolmonoxide (CO). Deze kan worden aanbevolen als de beste en meest toereikende "eerste lijn van diagnostiek".

De hoofdmeetmodule van deze sensor bevindt zich in een robuuste metalen behuizing van geanodiseerd aluminium. De aansluitzone bestaat uit roestvrij staal (1.4571). De gaten in de meetzone van hard geanodiseerd aluminium maken het mogelijk om de interne sensoren te vullen met minerale transformatorolie. De TrafoStick™ TSG5 is uitgerust met een Parker RI1EDX3/471-achtige connector voor algemeen gebruik. Met deze aansluiting kan het apparaat op de doelaansluiting worden gemonteerd, wat betekent dat het apparaat rechtstreeks op de schroefdraad van de transformator of de tapchanger wordt geschroefd. De montageplaats van de sensor is bijna willekeurig, maar er moet wel een vrije doorvoer van olie in de meetzone worden gegarandeerd.

De kabelaansluiting bevindt zich aan de bovenkant van het apparaat. De verbinding tussen het apparaat en de host wordt gemaakt met de meegeleverde kabel met de WEiPU ST1210/S9 connector. De gebruiker moet het apparaat met de meegeleverde TCP/IP-kabel aansluiten op een computer, router, modem of vergelijkbaar apparaat.

Bij de constructie van de TrafoStick™ is sterk rekening gehouden met praktisch gebruik. Cruciale en kwetsbare onderdelen worden bedekt en beschermd door een robuust en geraffineerd samenspel van plaatsing en behuizingsmaterialen. De resonantiekamer, waar de akoestische omvormer zich bevindt, linksonder, bevat niet alleen de state-of-the-art akoestische resonator, maar ook de vochtsensoren en geavanceerde gassensoren. De elektronica, die de benodigde datastroom gemakkelijk aankan, wordt aangestuurd door een 32-bit embedded processor met een floating point unit (FPU) en matrix-vector coprocessor. Hierdoor kan de TrafoStick™ meer dan 10 metingen per seconde uitvoeren en elke seconde een nieuwe set gegevens presenteren op MODBUS TCP/IP.

Diagnostiek is een beslissende factor in onderhoud en activabeheer en kan aanzienlijk betere informatie verschaffen over de conditie van oliegeïsoleerde elektrische systemen met de online en real-time bewakingsapparatuur en -methoden die tegenwoordig beschikbaar zijn.



Afbeelding 5: TrafoStick™ TS G5

## Technische informatie TrafoStick™

<b>Prestaties</b>	
Doorslagspanning (BDV)	10kV - 120kV ( $\pm 2,5\%$ )
Watergehalte (WC)	2ppm - 80ppm ( $\pm 2\%$ )
Temperatuur (Temp)	- 40°C - 120°C ( $\pm 0,2^\circ\text{C}$ typisch)
Oliedruk (P)	20kPa - 550kPa ( $\pm 5,3\text{kPa}$ ) 0,2bar - 5,5bar ( $\pm 0,05\text{bar}$ ) 2,9PSI - 80PSI ( $\pm 0,7\text{PSI}$ )
Intern meetinterval	0.1s
Interval externe gegevensuitvoer	1.0s
Waterstof (H <sub>2</sub> )	0ppm - 5.000ppm ( $\pm 10\%$ )**
Koolmonoxide (CO)	0ppm - 5.000ppm ( $\pm 10\%$ )**
<b>Bedrijfsomgeving</b>	
Omgevingstemperatuurbereik	-20°C tot 70°C
Bereik olietemperatuur	-20°C tot 85°C
Bedrijfsdruk	Tot 700 kPa (7 bar; 100PSI)
<b>Ingangen en uitgangen</b>	
Stroomvoorziening	4,5-7,5V (nominaal 5V DC) 24V/DC met 900A Kxx - Kabel
Digitale uitgang	Digitaal protocol
PC-interface	MODBUS TCP, MODBUS UDP
Interne dataregistratiecapaciteit	Dynamische latch buffer cache-ketens (64 -512- 8192)
<b>Algemeen</b>	
MODBUS	Kabel afzonderlijk verkrijgbaar
Materiaal behuizing	EN-AW-6063 (geanodiseerd)
Mechanische aansluiting	Parker RI1EDX3/471 - zoals connector
Materiaal meetzone	EN-AW-6066 (hard geanodiseerd)
Behuizingsclassificatie na montage	IP68
Bedieningssoftware (Windows 8 of hoger)	Ver. 2.0
<b>Absolute maximumwaarden</b>	
Maximale bedrijfsspanning	9,0V/DC
Bedrijfstemperatuur	- 40°C tot 100°C
Maximale druk (nooit overschrijden)	900 kPa (9 bar; 130 PSI)
Opslagtemperatuur (zonder MODBUS-kabel)	- 65°C tot 150°C (exclusief externe kabel)

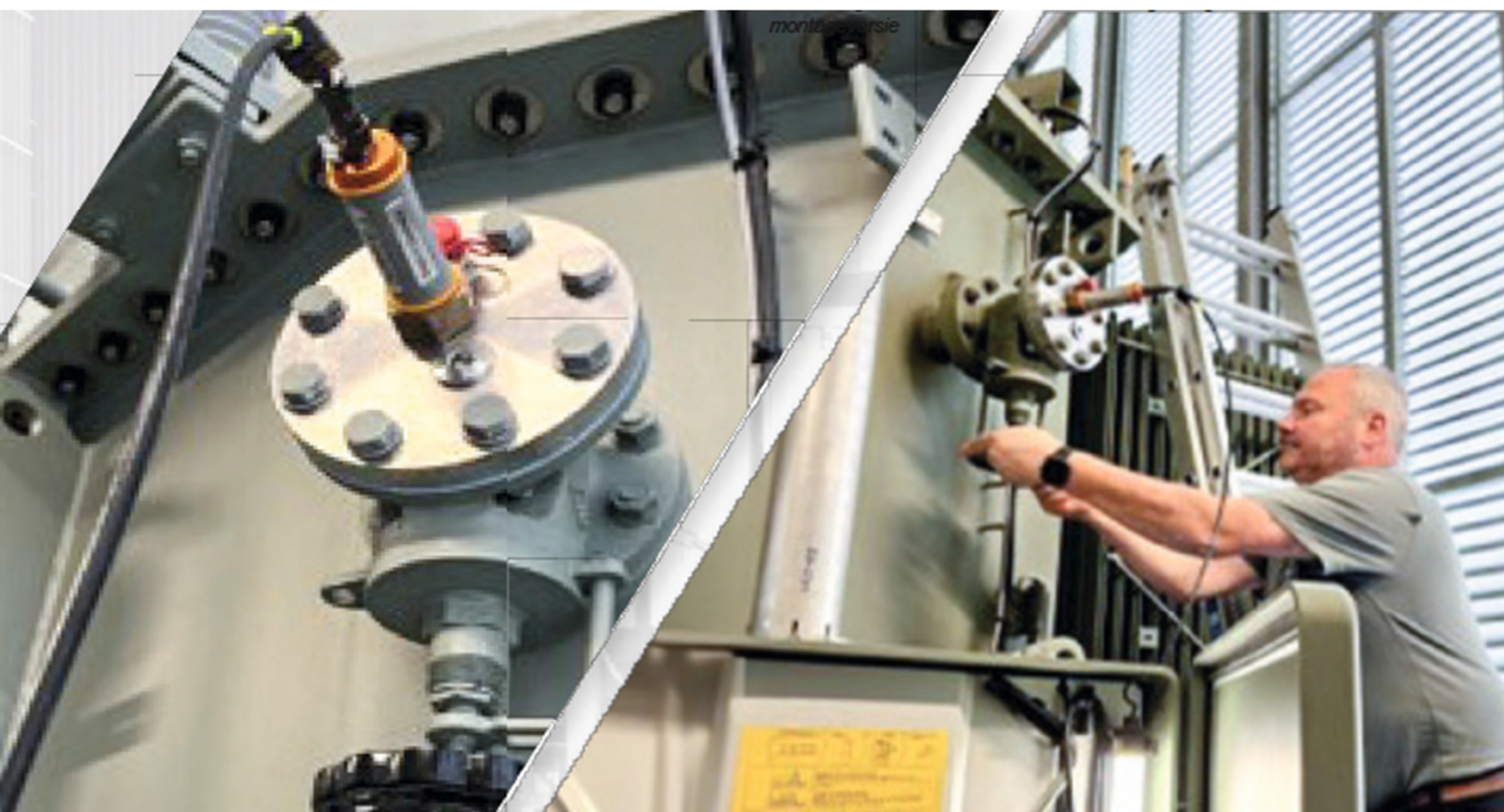
\*] Komt overeen met een meting volgens IEC60156:2018 - Bepaling van de doorslagspanning bij netfrequentie - Beproevingmethode

\*\*] Op de gemeten waarde)

## Referenties

- [1] IEC 60156 - Isolerende vloeistoffen - Bepaling van de doorslagspanning bij netfrequentie - Beproevingmethode
- [2] IEC 60247 - Isolerende vloeistoffen - Meting van relatieve permittiviteit, diëlektrische dissipatiefactor ( $\tan \delta$ ) en d.c. weerstand
- [3] IEC 60814 - Isolatievloeistoffen - Met olie geïmpregneerd papier en karton - Bepaling van water door automatische coulometrische Karl Fischer titratie
- [4] IEC 62021-1 - Isolerende vloeistoffen - Bepaling van de zuurgraad - Deel 1: Automatische potentiometrische titratie
- [5] ISO 6295 - Aardolieproducten - Minerale oliën - Bepaling van de grensvlakspanning tussen olie en water—Ringmethode
- [6] IEC 60666 - Detectie en bepaling van gespecificeerde additieven in minerale isolatieoliën
- [7] IEC 60567 - Met olie gevulde elektrische apparatuur - Monsterneming van gassen en analyse van vrije en opgeloste gassen -Leidraad
- [8] IEC 60599 - Met minerale olie gevulde elektrische apparatuur in bedrijf - Richtlijnen voor de interpretatie van de analyse van opgeloste en vrije gassen
- [9] IEC 61198 - Minerale isolatieoliën - Methoden voor de bepaling van 2-furfural en verwante verbindingen
- [10] IEC 60475 - Methode voor het nemen van monsters van isolerende vloeistoffen
- [11] Y.Du et. al, "Moisture Equilibrium in Transformer Paper-Oil System", IEEE electrical Insulation Magazine Vol. 15, Nr. 1
- [12] E.T. Norris, "High Voltage Insulation", Proceedings IEEE Vol. 110, No.2.
- [13] IEEE Std C57.104TM-2019, "IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Mineral Oil- Immed Transformers".

*Afbeelding 6: Installatie van TrafoStick™*





**Uw importeur in Nederland:**

**GMC INSTRUMENTS NEDERLAND B.V.**

Daggeldersweg 18

3449 JD WOERDEN

T: 0348 42 11 55

E: [verkoop@gmc-instruments.nl](mailto:verkoop@gmc-instruments.nl)

W: [www.gmc-instruments.nl](http://www.gmc-instruments.nl)