

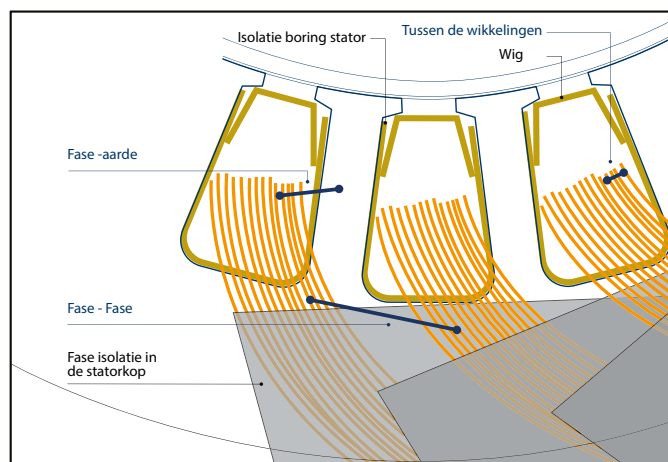
WHITE PAPER:

ROBUUST ONDERWATERMOTOR

Onderwatermotoren zijn ontworpen voor een groot aantal toepassingen, zoals watervoorziening in bronnen, irrigatie en drukverhoging. Voor een robuust isolatiesysteem van de wikkelingen moet de isolatie zo zijn ontworpen dat zij bestand is tegen de piekspanningen tijdens de werking.

Veel toepassingen vereisen een lange kabel tussen de motor en de voeding. Lange kabels verhogen het piekspanningsniveau wanneer de motor wordt aangedreven door een frequentieomvormer (FO).

De primaire componenten van een motorisolatiesysteem moeten bestand zijn tegen de volgende spanningen: **Fase-fase, fase-aarde en tussen de wikkelingen** zoals weergegeven in figuur 1.



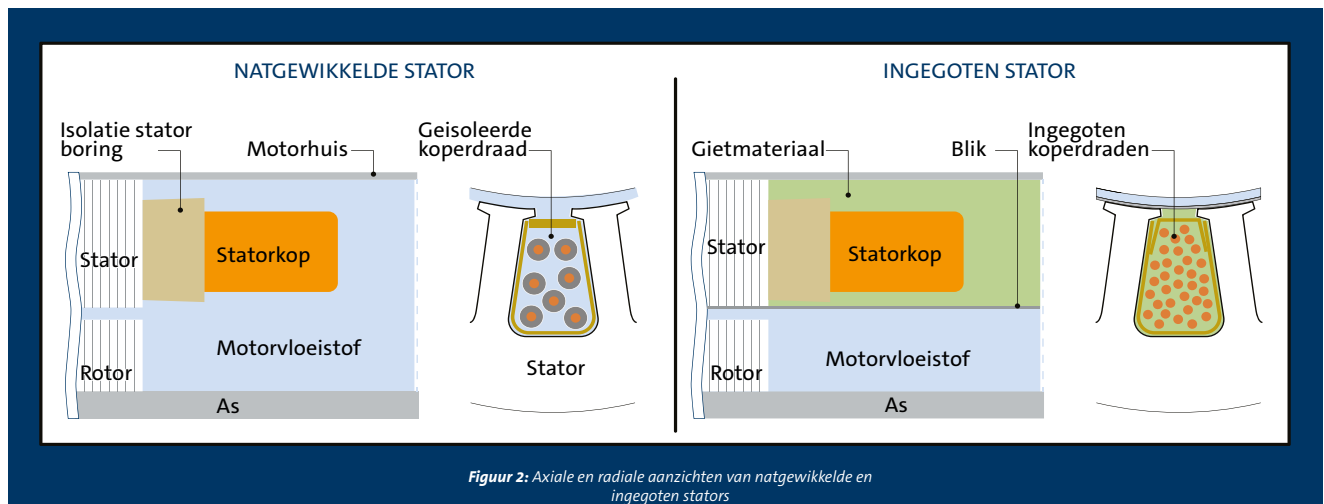
Figuur 1: Typisch statorisolatiesysteem

STATORONTWERP VAN ONDERWATERMOTOREN

Bij onderwatermotoren is de ruimte tussen de stator en de rotor gewoonlijk gevuld met een motorvloeistof, meestal een mengsel van glycol en water. Deze motoren worden “natte motoren” genoemd. Figuur 2 toont de twee belangrijkste stator types voor een “wet runner”-motor: Natgewonden statoren en ingegoten statoren (soms ook wel statoren in blik genoemd).

Bij ingegoten statoren wordt een blik in de boring van de stator geplaatst. De ruimte rond de koperdraad wordt opgevuld met een gietmateriaal. De ingekapselde stator is hermetisch afgesloten en de koperdraad komt niet in contact met water. De fasen kunnen van elkaar worden geïsoleerd door fasepapier en de wikkeldraden worden gefixeerd door het gietmateriaal.

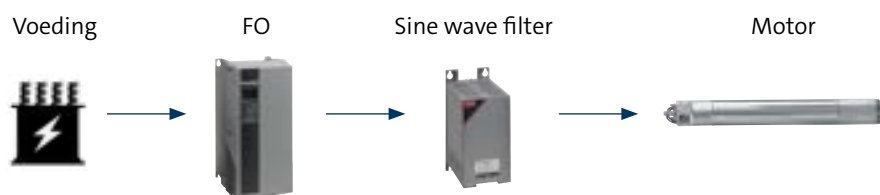
De koperdraden van een natgewikkelde stator staan in direct contact met de vloeistof in de motor en daarom wordt een speciale koperdraad met dikkere isolatie, b.v. PE2PA, en een hogere mechanische duurzaamheid gebruikt. De statorwikkelingen zijn bereikbaar, en het is mogelijk de stator opnieuw te wikkelen in geval van een elektrische storing. De elektromagnetische prestaties en de robuustheid van een natgewikkelde stator zijn in het algemeen lager dan die van een ingegoten stator.



Figuur 2: Axiale en radiale aanzichten van natgewikkelde en ingegoten statoren

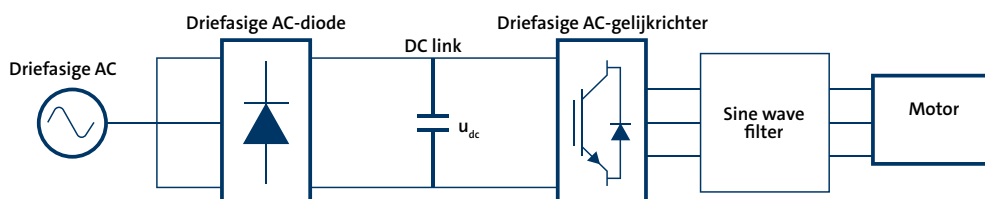
TOEPASSING VAN HET SINUSFILTER

Het sinusfilter wordt tussen de frequentieomvormer (FO) en de motor geplaatst, zoals aangegeven in figuur 3, om het isolatiesysteem van de motor te beschermen tegen de transiënte spanningen in verband met de Pulsbreedtemodulatie (PBM)-spanning die door de FO wordt opgewekt.



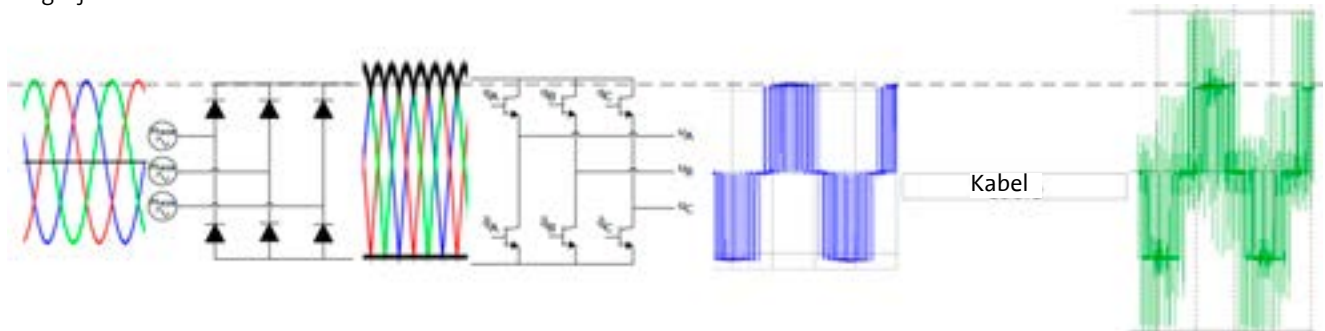
Figuur 3: Onderdelen van een motor- en pompsysteem met variabele snelheid

Een FO met een passieve diodegelykrichterbrug, een DC-link en een driefasige omvormer, zoals weergegeven in figuur 4, is de meest “voorkomende” gebruikte topologie in pomptoepassingen.



Figuur 4: Elektrisch systeemschema van een motor- en pompsysteem met variabele snelheid

De driefasenwisselstroomnetspanning wordt door de diodegelijkrichter gelijkgericht tot een tussenkringspanning (zie figuur 5). De tussenkringspanning wordt gehakt in een reeks rechthoekige spanningspulsen met een variabele breedte en frequentie maar een vaste amplitude, door het in- en uitschakelen van transistors met een hoge frequentie in de omvormer. Het schakelpatroon van de transistors wordt geregeld door een PBM-strategie die een variabele snelheidsregeling van de motor mogelijk maakt.



Voeding van het net

Gelijkrichterbrug

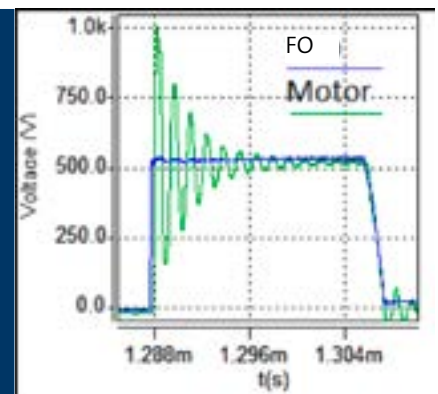
FO aansluitklemmen

Motor aansluitklemmen

Figuur 5: Spanningsgolfvormen zonder sinusfilter

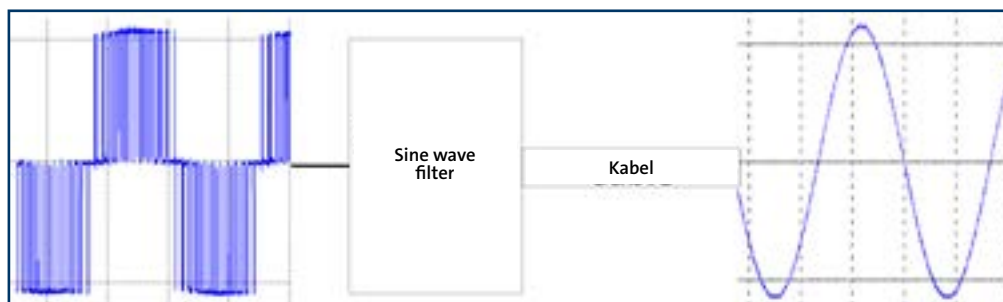
De rechthoekige pulsen van de FO, getoond in figuur 6 (blauw curve), planten zich voort door de onderwaterkabel tot aan de motorklemmen (groen curve). Spanningspieken en elektronisch geluid bij de motor treden op bij de motorklemmen als gevolg van reflecties veroorzaakt door een mismatch tussen de kabel en de motorimpedantie. De piekspanning op de motorklemmen is typisch tweemaal de piekspanning op de klemmen van de regelaar, maar kan veel hoger zijn, afhankelijk van het vermogen van de regelaar, de kabellengte en de impedantieverschillen.

Figuur 6: Spanningsgolfvormen gemeten aan de uitgang van de omvormer en de motorklemmen. De FO wordt gevoed vanuit een 3-fase 400V-net.



Het doel van het sinusfilter is de PBM-spanningen aan de uitgang van de FO te filteren. Figuur 7 toont de sinusvormige spanningsuitgang van het filter. De sinusvormige golfvorm veroorzaakt geen spanningspieken en elektronisch geluid bij de motor bij lange kabels en de piekspanning wordt daardoor verminderd.

Het sinusfilter vermindert ook de hoogfrequente uitgestraalde elektromagnetische ruis die door de FO wordt gegenereerd en door de kabel wordt doorgegeven, maar dat moet afzonderlijk worden behandeld omdat het afhangt van de toepassing, de plaatselijke voorschriften en de elektrische installaties op de locatie.



Figuur 7: Het sinusfilter met PBM-spanningsingang (links) en sinusvormige spanningsuitgang (rechts)

SCHADE AAN MOTOREN DIE NIET ZIJN ONTWERPEN VOOR FO-WERKING

Bij motoren die niet zijn ontworpen om te worden aangedreven door een Frequentieomvormer (FO) zonder sinusfilter is de kans groot dat het isolatiesysteem na korte tijd defect raakt.

Als de piekspanning in de motor het niveau van gedeeltelijke ontlading van het isolatiemateriaal overschrijdt, begint het isolatiemateriaal te verslechteren. Deelontladingen veroorzaken degradatie en uiteindelijk uitval van het isolatiesysteem door zowel chemische als mechanische slijtage van het isolatiemateriaal. Figuur 8 toont de degradatie van koperdraad (links) en isolatiepapier (rechts). De erosie van de koperdraad begint bij lagere spanningsniveaus dan die van het isolatiepapier en daarom is tussen twee fasen in een stator vaak fase-isolatiepapier nodig.



Figuur 8: Schade aan isolatie van koperdraad en isolatiepapier na gedeeltelijke ontladingen veroorzaakt door hoge spanningspieken.

MOTOREN ONTWERPEN VOOR FREQUENTIETREGLAARS

Het isolatiesysteem in motoren die ontworpen zijn voor frequentieregelaars is ontworpen met materialen en een constructie die bestand is tegen het verhoogde piekspanningsniveau van de FO. Het ontwerp en de materialen van het isolatiesysteem zijn gekwalificeerd voor de piekspanningsniveaus en de temperaturen tijdens bedrijf. Wanneer het systeem gekwalificeerd en gevalideerd is, moeten de fabricageprocessen een hoge standaard kunnen handhaven om een robuust motorontwerp te garanderen.

De Grundfos 6-inch MS6000P permanente magneetmotor is, als een van de weinige onderwatermotoren, ontworpen en gekwalificeerd om zonder sinusfilter te werken binnen de grenzen die in tabel 1 (zie volgende pagina) worden beschreven. Het converter robuuste ontwerp van de MS6000P motor vermindert de kosten, complexiteit en omvang van het systeem door de mogelijkheid om het sinusfilter te verwijderen.

Vereisten voor de motor	Waarde	Eenheid
Temperatuur van het medium	≤ 60	$^{\circ}\text{C}$
Piekspanning op motorklemmen (Volt fase tot fase)	< 1500	Volt fase tot fase
dU/dt bij motorklemmen	< 6	V/ns
Netvereisten	Waarde	Eenheid
Voedingsspanning (nominaal)	≤ 460	V
Fasen	3	[-]
FO vereisten	Waarde	Eenheid
DC spanning	< 620	Vdc
Piekspanning op de klemmen van de omvormer (VLL)	< 650	VLL
Stijgtijd op FO klemmen (10-90% VDC)	> 100	ns
dU/dt bij FO-klemmen	< 5	V/ns
Schakelfrequentie	≤ 4	kHz
Gelijkrichting van de netspanning	Passieve gelijkrichterbrug	
Vereisten voor de kabel	Waarde	Eenheid
Lengte	≤ 300	m

Tabel 1 Systeemvereisten voor het gebruik van de Grundfos MS6000P permanente magneetmotor zonder sinusfilter. Lokale en nationale vereisten voor veiligheid, zoals de EMC richtlijnen moeten altijd worden gevolgd en kunnen filtering vereisen vanwege bijv. ruisonderdrukking. Kabels en andere systeemcomponenten moeten geschikt zijn voor gebruik van de FO.

