



(12) SØKNAD

(19) NO

(21) 20111237

(13) A1

NORGE

(51) Int Cl.

H02J 3/22 (2006.01)

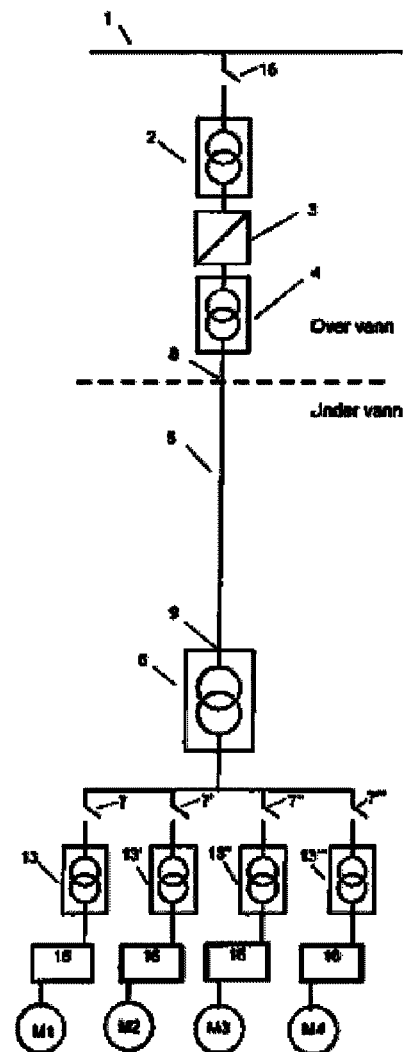
H02M 5/16 (2006.01)

## Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20111237	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr
(22)	Inng.dag	2011.09.12	(85)	Videreføringsdag
(24)	Løpedag	2011.09.12	(30)	Prioritet
(41)	Alm.tilgj	2013.03.13		
(73)	Innehaver	Aker Subsea AS, Postboks 94, 1325 LYSAKER, Norge		
(72)	Oppfinner	Kjell Olav Stinessen, Vækerøveien 132 O, 0383 OSLO, Norge		
(74)	Fullmektig	Protector Intellectual Property Consultants AS, Oscarsgate 20, 0352 OSLO, Norge		

(54) Benevnelse **Statisk undervannsinretning**  
(57) Sammendrag

Anordning for operativ forbindelse mellom en fjerntliggende ende av undervanns utleggskabel og undervannslaster, så som pumper, kompressorer og reguleringssystemer, som skiller seg ut ved at anordningen er en statisk frekvenssteppingsanordning, mer spesifikt en statisk oppsteppings- eller nedsteppingsanordning, og den omfatter: en statisk oppsteppings- eller nedsteppingsenhet, minst én gass- og / eller væskefylt trykktank, hvor nevnte enhet eller deler av denne er anordnet, og minst en penetrator for elektrisk tilkoping av nevnte enhet til utenfor trykktanken.



## STATISK UNDERVANNSSINNRETNING

### Område for oppfinnelsen

Den foreliggende oppfinnelsen gjelder utstyr for produksjon av petroleum under vann, spesielt utstyr som blir plassert langt vekk fra en tørr toppside eller steder som er på land. Mer spesifikt gjelder oppfinnelsen utstyr for elektrisk kraftoverføring til undervannslaster som kan være plassert langt vekk fra overflateplattformer, eller land, og som krever høy kraftoverføring. Nevnte laster vil typisk være motorer for pumper og kompressorer, som krever regulering av rotasjonshastighet ved å regulere den elektriske frekvensen.

Oppfinnelsen får bukt med de problemene som er forårsaket av Ferranti-effekten og skinneffekten, som derved åpner for lengre utleggslengder undervanns enn det som tidligere har vært oppnåelig.

15

### Bakgrunn for oppfinnelsen og tidligere teknikk

I løpet av de siste titalls år har det globale energiforbruket øket eksponentielt, og man kan ikke se for seg noen ende på den økende etterspørselen. Hvormed utnyttelse av fossile brensler tidligere var fokusert på felt som var på land, har den begrensede mengden med olje satt i gang seriøse anstrengelser for å kunne finne og utvinne offshore gass- og oljefelt. Dagens teknikk for produksjon fra offshorefelt, er anvendelse av faste eller flytende bemannede plattformer, og ved tilknytning til undervanns produksjonsrammer med undervannsbrønner til disse plattformene. I noen tilfeller blir produksjonen ledet direkte til en mottaksfasilitet uten en plattform, som er på land. For å kunne opprettholde en tilstrekkelig høy produksjon fra undervannssatellitter til en sentral plattform eller direkte til land, kan det tilveiebringes en trykk-forsterkning ved bruk av en multifasepumpe eller –separasjon, etterfulgt av pumping og kompresjon. Det har også blitt installert pumper på havbunnen for direkte injeksjon av sjøvann inn i reservoaret for trykkstøtte til økt oljeproduksjon.

30

Det finnes flere fordeler som gir motivasjon for undervannsplassering av pumper og kompressorstasjoner sammenlignet med plassering på plattformer:

- Sikkerhet for mennesker, ved at man ikke arbeider eller bor på en plattform, og ved at man ikke blir fraktet frem og tilbake med helikopter
  - Ingen brann- og eksplosjonsrisiko
  - Ingen utblåsningsrisiko fra produksjonsstigerør opp fra havbunnen til plattformen og ned fra plattformen til havbunnen
  - Sikkerhet mot sabotasje
  - Kostnadsbesparelser for både kapital og drift, det vil si reduserte produksjonskostnader for olje og gass
  - Øket produksjon fordi sugeeffekten fra kompressorer og pumper er nærmere brønnhodene
  - Utstyret har statiske omgivelsesforhold, det vil si nesten konstant, kald temperatur og nesten konstant lav hastighet på havstrømmer rundt utstyret og ingen bølger, mens temperaturen på plattformene vil kunne variere fra for eksempel  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  til  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , og vindhastigheten kan være ved orkans styrke kombinert med ekstremt høye bølger
  - Det kalde sjøvannet vil kunne bli benyttet til avkjøling av motorer og annet elektrisk eller elektronisk utstyr og prosessfluider
  - Ingen visuelle forurensinger
  - Betydelig lavere vekt, og dermed lavere material- og energimengder ved fabrikasjon av et undervannsanlegg
  - Mindre karbondioksid, det vil si klimagass utslipp for fabrikasjon på grunn av mindre materialmengder
  - Mindre utslipp av karbondioksid ved drift på grunn av at helikoptertransport elimineres og drift av plattform
  - Mindre utslipp av karbondioksid sammenlignet med plattformer på grunn av at det er elektriske motorer som driver kompressorer og pumper, og forsyning av elektrisk strøm fra land eller plattform
  - Mindre energiforbruk og utslipp av klimagasser per vektenhet av olje og gass
- Ulempen for undervanns kompressorer per 2010 er at ingen har blitt installert og blitt driftet under vann, det betyr at dette er en teknikk som ikke er bevist. Imidlertid er dette

kun et spørsmål om tid, og den første kompressorstasjonen under vann vil trolig være i drift i 2015 eller tidligere på grunn av sterke motivasjoner for denne anvendelsen.

5 Undervanns trykkforsterkning er en nyere teknologi. Trykkforsterkning under vann hvor det kreves en betydelig undervanns utleggslengde er en svært ny teknologi som bruker moderne teknologi, og som blir stilt opp mot problemer som ikke blir møtt eller som er irrelevante andre steder.

10 Teknikkens tilstand i dag er definert i patentpublikasjon WO 2009/015670, som foreskriver anvendelse av et første arrangement av en omformer på den nærliggende enden, toppsidene eller den enden som er på land, av en undervanns utleggskabel og til slutt et andre arrangement av en omformer på den andre enden, den enden som er fjerntliggende under vann, av undervanns utleggskabelen. En variabel hastighets drivmotor, VSD (engelsk: «variable speed drive») foreskrives på hver ende av 15 utleggskabelen. Undervanns variabel hastighets drivmotor kalles også variabel frekvens drivmotor (engelsk: «variable frequency drive», VFD), eller justerbar frekvens drivmotor (engelsk: «adjustable frequency drive», AFD) eller frekvensomformere eller bare omformere, og disse representerer teknikkens tilstand. Verken i WO 2009/015670 eller andre publikasjoner er Ferranti-effekten nevnt, og heller ikke har noen av de 20 problemene som er knyttet til undervanns VSD'er blitt omtalt eller antydnet.

Så langt finnes det bare noen få undervanns kompressorer som er i drift. Imidlertid er undervanns kompressorstasjoner under utvikling, og de første forventes å bli installert og komme i drift innen få år. For tiden blir alle undervannspumper og -kompressorer 25 drevet med asynkrone motorer. Utleggsavstanden for installerte pumper er ikke på mer enn omtrent 30 km fra plattformen eller fra land, og så langt har ikke dybdene vært på mer enn 1800 m. Det er kjent at det utføres seriøse studier og prosjekter innen oljeindustrien, som har mål av seg å få til installasjon av kompressorer med en utleggsavstand i en størrelsesorden av 40 til 150 km og ved vanddybder ned til 3000 m 30 eller mer.

En realistisk motorkraft vil være fra omtrent 200 kW for små pumper, og opp til 15 MW for kompressorer, og i fremtiden vil man kunne se for seg enda større motorer. De

undervannsmotorene som for tiden installeres blir forsynt med strøm via vekselstrømskabler fra det stedet hvor det finnes en strømforsyning, det vil si på en plattform eller på land og, dersom det finnes flere motorer vil hver av motorene ha sin egen kabel og frekvensomformer («variable speed drive», VSD) på den *nærliggende* 5 *enden* av kabelen for å kunne regulere hastigheten på hver individuelle motor ved den *fjernestliggende enden* av kabelen, ref. figur 1 og tabell 2.

Innenfor konteksten av denne patentbeskrivelsen betyr den *nærliggende enden* den enden av kraftoverføringen som er i nærheten av kraftforsyningen. For undervanns 10 anvendelser vil dette være et sted som er toppsiden av en plattform eller på land. Tilsvarende vil den *fjernestliggende enden* vise til den andre enden av overføringslinjen i nærheten av kraftlastene, typisk motorlaster. Den fjernestliggende enden er ikke nødvendigvis begrenset til den høyspente enden av overføringslinjen. Uttrykket vil kunne utvides til busser eller terminaler med lavere spenning, som er en del av den 15 fjernestliggende stasjonen, så som en alminnelig undervannsbuss på den lavspente siden av en undervanns transformator.

Kompressorer og pumper blir ofte driftet ved maksimums hastigheter, som ligger på henholdsvis mellom 4000 til 14000 rpm og mellom 2000 til 5000 rpm. Dermed må den 20 elektriske drivmotoren ha en nominell hastighet i størrelsesorden fra 2000 til 14000 rpm når det blir brukt moderne høyhastighets motorer uten en girkasse mellom motoren og pumpen eller kompressoren. Denne mekaniske hastigheten tilsvarer et elektrisk frekvensområde for det innmatende drevet på omtrent 30 til 230 Hz for det eksempelet som har en to-polet motor. Motorer med flere pol-par vil kunne tillate en lavere 25 maksimumshastighet for de samme elektriske frekvensene.

Figur 1 illustrerer den eneste løsningen som så langt har blitt brukt til overføring av elektrisk strøm til installerte pumper, i noen tilfeller uten omformere mellom VSD og undervannsmotorer, og dette blir referert til som Første løsning. Denne løsningen, med 30 én overføringskabel per motor, har den ulempen at den blir dyr for lange oppskrittinger, for eksempel når de er mer enn 50 km, på grunn av den høye kostnaden for kablene.

En alvorlig teknisk hindring for denne løsningen er at, ved en bestemt undervanns utleggs lengde vil det ikke la seg gjøre med å kunne overføre elektrisk strøm, på grunn av at overføringssystemet vil bli elektrisk ustabil og ubrukelig på grunn av Ferranti-effekten, som vil bli beskrevet senere. Oppfinnelsen vil løse dette problemet av

5 ustabilitet.

Figur 2 illustrerer en løsning som har blitt foreslått for overføring av elektrisk strøm til flere laster ved lange oppskrittinger, Løsning To. Denne løsningen med en felles overføringskabel og et undervanns strømfordelingssystem, som innbefatter en

10 undervanns VSD («Variable Speed Drive») per motor, vil gi en betydelig reduksjon av kabelkostnadene for overføringen, og vil dessuten forebygge problemet med elektrisk ustabilitet ved å begrense strømfrekvensen i overføringskabelen til for eksempel 50 – 10 Hz, og dessuten vil skinneffekten være akseptabel for slike frekvenser. Frekvensen økes deretter av en VSD for å passe til hastigheten på den motoren som har blitt koplet til

15 VSD'en. Andre Løsning vil imidlertid også ha ulemper. Blant annet vil disse være dyre VSD'er som ikke har blitt dokumentert for bruk under vann, og fordi slike VSD'er vil være satt sammen av mange elektriske og elektroniske komponenter, inkludert et reguleringsystem, som vil være tilbøyelig til å gi en større hyppighet med feil på elektriske overføringer og fordelingssystemer under vann.

20

I det som følger nå vil de iboende elektriske problemene med den eksisterende Første løsningen (figur 1) bli beskrevet, med en motor på den fjernestliggende enden av en lang kabel, og en Tredje løsning, illustrert i figur 3, med flere motorer på den fjernestliggende enden av en felles lang overføring og en felles VSD ved den

25 nærliggende enden.

For en lang utleggsavstand fra strømforsyning til last, i en størrelsesorden av 50 km eller mer, vil påvirkningen fra undervannskabelen være så sterk at et slikt system enda ikke har blitt laget for en begrenset last, så som en enkelt motor. Linjens induktans og

30 motstand innebærer et stort spenningsstap fra strømforsyningen til lasten. Det er kjent at et slikt spenningsstap vil være selvforsterkende, og vil kunne føre til null spenning ved den fjernestliggende enden. Jo lengre utleggsavstanden er, jo høyere må overføringsspenningen være for å kunne redusere det spenningsstapet som er langs

- overføringslinjen. Imidlertid har en kabel en høy kapasitans, og en lang vekselstrømskabel vil utvise en betydelig såkalt Ferranti-effekt. Ferranti-effekten er et kjent fenomen, hvor den kapasitive ladningsstrømmen på linjen eller kabelen øker med linjens lengde og nivået for spenningen. Ved en utleggslengde på 100 km, vil
- 5 ladningsstrømmen i en kabel kunne være høyere enn laststrømmen, hvilket gjør det vanskelig å rettferdiggjøre et slikt ineffektivt overføringssystem. Et mer kritisk resultat vil være at ikke-last spenningen vil være omtrent 50 % høyere enn tilførselsspenningen ved den nærliggende enden som ville ha ødelagt kabelen og transformatoren og
- 10 forbindelsene på den fjernestliggende enden. Ved et plutselig fall ville spenningen på den fjernestliggende enden hoppe til dette høye nivået. I tillegg vil det være en transient topp på for eksempel 50 %, som gir noe slikt som 100 % totalt, se Tabell 1 nedenfor hvor verdier som er markert med *fet kursiv skrift* er over spenningsklassesmarginen for isolasjonen.
- 15 Dagens system med utleggsavstander i størrelsesorden av 30 km har ikke dette problemet, fordi det fortsatt er mulig å få til en utleggslengde og elektrisk last i kombinasjon under vann.

20 Tabell 1: Spenningsøkning ved lasttripp på grunn av Ferranti-effekten i forskjellige systemer

Effekt på lengst-liggende aksling	Maks overføringseffekt, $f_{\max}$ og motorhastighet $\omega_{\max}$	Utleggslengde	Standard kabel	Kildespenning ved nærliggende ende, U	Spenning, U, for full-last og ingen-last	Transient spenningstopp, $u_p$ , på fjernestliggende, etter full-laststopp
Pumpe 2,5 MW <u>Første løsnings</u>	60 Hz (3600 rpm)	40 km	95 mm <sup>2</sup> 30 (36) kV	20 kV	18,3 kV 20,2 kV	20,9 kV
Kompressor 7,5 MW <u>Første løsnings</u>	180 Hz (10800 rpm)	40 km	150 mm <sup>2</sup> 30 (36) kV	32 kV	29,2 kV 34,8 kV	<b>41,0 kV</b>
Pumpe 2,5 MW <u>Første løsnings</u>	60 Hz (3600 rpm)	100 km	150 mm <sup>2</sup> 30 (36) kV	26 kV	23,6 kV 27,5 kV	28,9 kV
Kompressor 7,5 MW <u>Første løsnings</u>	180 Hz (10800 rpm)	100 km	150 mm <sup>2</sup> 30 (36) kV	28,5 kV	28,8 kV <b>52,7 kV</b>	<b>68,4 kV</b>
Tre kompressorer og tre	180 Hz Kompressor: 10800 rpm	100 km	400 mm <sup>2</sup> 45 (54) kV	45,6 kV	45,6 kV <i>ustabil</i>	155 kV

pumper. Totalt 30 MW <u>Tredje</u> <u>løsning</u>	Pumpe: 5400 rpm					
---	-----------------	--	--	--	--	--

Ferranti-effekten og skinneffekten – noen vurderinger:

- 5 Ferranti-effekten er en økning av en spenning, som oppstår på den fjernestliggende enden av en lang overføringslinje, i forhold til den spenningen som er ved den nærliggende enden, og som forekommer når linjen er ladet men når det er en svært liten last eller når lasten er frakoplet. Denne effekten oppstår på grunn av spenningstapet over linjeinduktansen (på grunn av ladningsstrømmen) som er i fase med de
- 10 spenningene som er på den enden som sender. Av denne grunn vil både kapasitans og induktans være ansvarlig for at dette fenomenet oppstår. Ferranti-effekten vil være mer fremhevet jo lengere linjen er og jo høyere spenning som blir anvendt. Den relative spenningsøkningen vil være proporsjonal med kvadratet av linjens lengde.
- 15 På grunn av høy kapasitans vil Ferranti-effekten være mye mer fremhevet for undergrunns- og undervannskabler, selv over korte lengder, sammenlignet med luftspente overføringslinjer.

En foreslått ligning for å kunne bestemme Ferranti-effekten for et gitt system er:

20  $v_f = v_n(1 + \omega \times C \times L \times l^2)$

hvor:

$v_f$  = den fjernestliggende spenningen

$v_n$  = den nærliggende spenningen

$\omega = 2 \times 3,14 \times f$

25  $f$  = frekvens

$C$  = linjens kapasitans

$L$  = linjens induktans

$l$  = linjens lengde

$l^2$  = linjens lengde i kvadrat

I litteraturen vil det også kunne bli funnet andre uttrykk for Ferranti-effekten, men i alle fall er det enighet om at effekten øker med overføringsfrekvensen, kabelkapasitans, kabellengde og spenning.

- 5 Ut fra ovenstående ligning kan det slutes at Ferranti-effekten for en lang linje kan bli kompensert for med en passende reduksjon i elektriske frekvensen. Dette er årsaken til Andre løsning med en undervanns VSD. Overføringsfrekvensen kan for eksempel være den vanlige europeiske frekvensen på 50 Hz.
- 10 En annen fordel med lav overføringsfrekvens vil være en sterk reduksjon av den elektriske skinneffekten for overføringskabelen, det vil si bedre utnyttelse av tverrsnittsarealet på kabelen. I praksis vil overføring av en høyfrekvent elektrisitet, for eksempel 100 Hz eller mer over lengre avstander, for eksempel 100 km eller mer, være prohibitivt på grunn av skinneffekten og den tilsvarende høye motstanden i kabelen.
- 15 Påvirkningen fra Ferranti-effekten og skinneffekten må naturligvis beregnes fra tilfelle til tilfelle, for å kunne vurdere om de er akseptable eller ikke for overføring ved en gitt frekvens. Det er en etterspørsel etter å få frem elektriske kraftoverføringssystemer under vann, som vil være gunstige med hensyn til de ovenfor nevnte problemene, og uten å
- 20 introdusere VSD'er under vann.

### Figurer

- Oppfinnelsen er illustrert med figurer, hvor
- Figurer 1 – 3 illustrerer utførelsesformer av tidligere teknikk, og
- 25 Figurer 4, 5 og 6 illustrerer utførelsesformer av den foreliggende oppfinnelsen.

### Oppsummering av oppfinnelsen

- Oppfinnelsen tilveiebringer en innretning for operativ tilkøpling mellom en undervanns utleggskabels fjernestliggende ende og undervannslaster så som pumper, kompressorer
- 30 og reguleringssystemer, som skiller seg ut ved at innretningen vil være en statisk innretning for stepping av frekvensen, mer spesifikt en statisk oppsteppings- eller nedsteppingsanordning, og at den omfatter:

en statisk oppsteppings- eller nedsteppingsenhet,

minst én gass- og / eller væskefylt trykktank hvor nevnte enhet eller deler av denne er anordnet i, og  
minst én penetrator for elektrisk kopling av nevnte enhet til utenfor trykktanken.

5

Innretningen er fortrinnsvis en passiv frekvensoppsteppingsanordning, som ikke har midler for aktiv undervannsregulering eller -justering på stedet.

Mer foretrukket, innretningen vil være en undervanns statisk  
10 frekvensoppsteppingsanordning (engelsk: «Subsea Static Frequency Step-up Device», SSFSD) som omfatter passive komponenter i fast tilstand, for undervannsplassering ved den fjernestliggende enden av en undervanns utleggskabel koplet til minst en kraftkilde ved utleggskabelens nærliggende ende ved et tørt sted på land eller en toppside, og utleggslengden er lang, som betyr at den er lang nok til å kunne forårsake problemer på  
15 grunn av Ferranti-effekten ved de frekvens- og kraftnivåene som er mulig for undervanns pumpe- og kompressormotorer, og hvor innretningen via utleggskabelen tar i mot en inngang av elektrisk kraft ved en tilstrekkelig lav frekvens til å kunne ha en stabil overføring, og hvor innretningen, som er operativt koplet til undervannsmotoren, leverer en utgang av elektrisk frekvens, ampère og spenning som vil kunne la seg gjøre  
20 for drift av de tilkoblede motorene, og innretningen blir satt inn i en trykktank eller et – hus som vil være fylt med væske eller gass eller begge deler.

Ingen tidligere undervanns trykkforsterkningssystemer har tatt hensyn til Ferranti-effekten. Tidligere systems versjon med en undervanns VSD vil derfor kunne være  
25 ubrukelig i mange applikasjoner, siden isolasjonen på utleggskabelen kan bli ødelagt av en ukontrollert høy spenning på den fjernestliggende enden på grunn av Ferranti-effekten. Særtrekket om en «passiv elektrisk frekvensoppsteppings eller –nedsteppings- (eller steppings-) anordning», betyr at anordningen ikke skal og ikke kan bli justert på stedet, under drift eller ved et hvilken som helst tidspunkt ved systemets levetid,  
30 anordningen er en passiv slaveenhet, nemlig en passiv frekvensoppsteppingsanordning eller en passiv frekvensnedsteppingsanordning, i motsetning til en undervanns VSD. En undervanns VSD er svært kompleks, stor og kostbar, - den er typisk omtrent 12 m høy, 3 m i diameter og veier rundt 200 tonn. I motsetning til dette, vil den passive

anordningen være mye mindre og enklere, og vil typisk være omtrent 6 m lang og 2 – 3 m i diameter, med en vekt på rundt 50 tonn. Anordningens pålitelighet har blitt anslått å være flere ganger bedre enn den for en undervanns VSD. Dette er på grunn av at en undervanns VSD er svært kompleks, og selv om alle komponenter i en undervanns VSD vil være av topp kvalitet, vil i praksis det store antallet av komponenter og kompleksitet føre til en dårligere pålitelighet. Kostnaden for anordningen eller et system av oppfinnelsen vil bli betydelig redusert sammenlignet med de systemene som har dagens teknikk av en undervanns VSD. Uttrykket andre laster omfatter strøm til reguleringssystemer og andre laster som ikke nødvendigvis er knyttet til trykkforsterkning.

Driftsfrekvensen for utleggskabelen må tas i betraktning, hvor det blir tatt hensyn til Ferranti-effekten og de elektriske tapene. Isolasjon er et nøkkelement. Mest foretrukket vil dimensjoner på ledere og isolasjon, og valg av driftsfrekvens, være slik at ved den fjernestliggende enden av kabelen vil Ferranti-effekten, ved det maksimale under drift, øke spenningen like mye som det elektriske tapet, og kabelutformingen blir forenklet. Den veiledningen som har blitt tilveiebragt i dette dokumentet, kombinert med god teknisk praksis, antas å være tilstrekkelig for å få en ordentlig utforming av utleggskabelen, inkludert valg av driftsfrekvens: Løsningen bør kunne finnes for hvert enkelt tilfelle. Anordningen i henhold til oppfinnelsen blir da bli utformet for å kunne omforme driftsfrekvensen for utleggskabelen til driftsfrekvensen for undervannslastene, det vil si undervannskompressorer eller -pumper eller, mer spesifikt, motorene som er for undervannskompressorer eller -pumper.

Ytterligere utførelsesformer og særtrekk har blitt definert i de avhengige kravene. De særtrekkene som har blitt beskrevet eller illustrert i dette dokumentet vil kunne bli innbefattet i oppfinnelsens anordning i en hvilken som helst kombinasjon, og hver slik kombinasjon vil være en utførelsesform av oppfinnelsen. Motivasjonen for slike kombinasjoner vil være basert på det som har blitt beskrevet eller blitt illustrert, eller kombinasjonene vil være opplagte for fagpersoner på området ette å ha studert dette dokumentet grundig.

Den elektriske frekvensen for anordningens inn- og utgang vil være forskjellige. Forskjellen vil være ved et fast tallforhold for passive anordninger. Inngangsfrekvensen, driftsfrekvensen for utleggskabelen, vil være i området 0,1 – 150 Hz, så som 2 – 60 eller 4 – 50 Hz eller 5 – 40 Hz, mens utgangsfrekvensen vil være i området 0,1 – 350 Hz, så som 30 – 300 eller 50 – 250 Hz eller 50 – 200 Hz, Undervannsinnetningen vil kunne bli anordnet i ett eller flere hus, som ett eller flere elementer, imidlertid må alle deler kunne stå i mot det barske undervannsmiljøet uten at det må feile. Med den foreliggende oppfinnelsen vil langtidskostnaden og påliteligheten for nevnte anordning, og tilhørende systemer, bli betydelig forbedret i forhold til det som for tiden vil kunne oppnås med for eksempel undervanns turtallsregulerte drivmotorer i fast tilstand.

I tillegg tilveiebringer oppfinnelsen anvendelse av en undervanns statisk steppingsanordning for å kunne omforme de karakteristiske strømkaraktistikene for en undervanns utleggskabel til en elektrisk kraftskarakteristikk som er mulig for drift av tilkoplede undervannsutstyr, et system med minst én undervanns steppingsanordning i henhold til oppfinnelsen anordnet på den fjernestliggende enden av en undervanns utleggskabel, og en fremgangsmåte for å drifte nevnte system, ved reguleringsjusteringer bare for systemgjenstander ved slike steder som en tørr toppside eller på land.

20

#### Oppfinnelsens utførelsesform med frekvensoppstepping for å kjøre vekselstrømsmotorer

En utførelsesform av oppfinnelsen, den Fjerde løsningen, har blitt vist i figur 4 og 5. det viktigste særtrekket ved denne utførelsesformen vil være en introduksjon av en undervanns frekvensoppsteppingsanordning (FSD), plassert under vann ved den fjernestliggende enden av overføringskabelen og med en kort avstand til de motorene som kjører kompressorene og pumpene. Kort avstand i denne sammenheng betyr nære nok til å kunne holde et akseptabelt ohmsk motstandstap, og dermed krafttap, mellom FSD'en og motorene, og det betyr også kort nok til å unngå de problemene som oppstår på grunn av Ferranti-effekt og ustabilitet. Det er viktig å merke seg at undervanns FSD'er ikke direkte vil regulere frekvensen til å passe driftshastigheten for motorer, ved å ha et lokalt reguleringsystem som justerer hastigheten i henhold til behov. Variasjon av hastighet i henhold til produksjonsbehovet ved stasjonær tilstand, oppstart

30

og stopp, og ramping av hastighet ned og opp, blir gjort med VSD'en ved den nærliggende endeoverflaten (toppside på plattform eller på land), langt unna undervanns FSD'ene. FSD'ene er ganske enkelt slaver av VSD'en, og deres formål vil bare være en oppstepping av den overføringsfrekvensen, som er gitt av VSD'en med en eller annen  
5 multippel.

### **Undervanns statistisk frekvensoppsteppingsanordning**

En utførelsesform av en undervanns FSD er en undervanns fast-trinns statistisk VSD (SVSD) blitt tilveiebragt slik at, når den har blitt modifisert til passe til det enkle  
10 formålet av å være en oppsteppingsanordning for overføringsfrekvensen, kan den bli laget i en forenklet versjon med en akseptabel høy robusthet, pålitelighet og tilgjengelighet. En opplagt forenkling synes å være at reguleringssystemets datamaskin, for å stille inn oppsteppingsforholdet, vil kunne bli plassert på overflaten og bli koplet til eller integrert inn i reguleringssystemet for overflate-VSD'en, som egentlig regulerer  
15 hastigheten på motorene. Den eneste funksjonen for undervanns statistisk frekvensoppsteppingsanordning (SSFSD) er oppstepping av overføringsfrekvensen med et oppsteppingsforhold,  $n : 1$ . Det vil ikke være noe behov for en veldig rask respons lokalt til SSFSD'en, og som derfor vil tillate at den blir plassert ved en nærliggende  
20 ende.

Et reguleringssystem som blir plassert på overflaten er opplagt mye lettere å vedlikeholde og reparere enn en som blir plassert under vann, og vil derfor betydelig øke påliteligheten for SFSD'en.

25 En opplagt fordel med en SSFSD vil være at oppsteppingsforholdet kan bli nullstilt ved visse tidspunkter dersom dette er fordelaktig, for eksempel ved å øke tallforholdet fra  $2 : 1$  til  $3 : 1$ . Inngangssignalet til reguleringssystemet for SSFSD'en vil være overføringsfrekvensen, og utgangen er et signal som stepper opp frekvensen for den elektriske kraften ut fra SFSD'en med et innstilt tallforhold som passer til den virkelige  
30 hastigheten for motoren(e).

Også i dette tilfelle vil det generelle uttrykket være:

$$f_{s-u} = n \times f_t, \text{ hvor}$$

$n$ : en multiplenummer som ikke nødvendigvis trenger å være et heltall, men kan settes til en hvilken som helst ønskelig verdi, for eksempel 2,3.

5 En SSFSD kan, alternativt til å sette et frekvensforhold, bli programmert til å steppe opp frekvensen med en bestemt tillagt økning, for eksempel legge til 100 Hz i en overføringsfrekvens på 50 Hz, eller i et mer generisk uttrykk:  $f_{s-u} = f_t + \Delta f_a$ , hvor:

$f_t$  : overføringsfrekvensen, Hz

$f_{s-u}$  : oppsteppet frekvens = input frekvens til motorer, Hz

$f_a$  : tillagt frekvens, Hz

10

Noen elementer av en praktisk løsning vil kunne innbefatte:

De komponentene som er i SSFSD kan bli satt sammen i en trykktank fylt opp med en egnet væske, for eksempel isolerende olje som også avkjøler de elektroniske og elektriske komponentene.

15

Den interne oljen vil kunne være trykktolerant med det omgivende sjøvannet, eller trykket vil kunne bli holdt på et nivå som på mellom én bar og omgivelsestrykket, bestemt av trykktoleransen for komponentene.

20 Reguleringsystemet vil kunne bli plassert inne i trykkuaset, men det vil være mer gunstig å ha det i en separat ekstern kapsel. Reguleringsystemet vil kunne bli plassert på overflaten (toppsides eller på land).

25 Alternativt til en væskefylt tank, vil det kunne bli brukt en tank fylt opp med inert, tørr gass, for eksempel tørr nitrogen. Trykket innenfor huset vil kunne bli valgt fra i området av én bar og opp til det som er likt med det omgivende vanntrykket eller høyere.

Fordelen med høyt trykk er at varmekapasiteten på gassen vil øke med trykket og vil derfor gi en bedre avkjøling. En annen fordel med høyt trykk er også at man vil få et redusert krav til veggtykkelsen og en lavere belastning på flenser og tetninger. Dsom trykket velges tett opp til det som er likt med det omgivende sjøvannstrykket, vil de 30 kravene som følger i forhold til trykktank, flenser og tetninger være tilsvarende en væskefylt trykktolerant tank. Det vil være den trykktoleransen for de komponentene

som skal være inne i tanken (det vil si elektroniske, elektriske, og andre) som vil være avgjørende for trykkbegrensningen.

5 Dersom det er gunstig, vil komponentene i en SSFSD kunne bli segregert på en optimal måte i samsvar med deres toleranser for: væske, trykksatt væske og trykksatt gass. De komponentene vil kunne bli anordnet i tanker på den følgende måten:

De mest robuste komponentene kan bli installert i en tank fylt opp med trykksatt væske. Komponenter som er tolerante for væsker, som har lav toleranse for trykk, kan bli installert i en annen lavtrykks væskefylt tank.

10 Komponenter som ikke tolererer væske, men tolererer høytrykks gass kan bli installert i en høytrykks tank.

Passende avkjøling må anvendes for de forskjellige tankene.

15 Komponenter i de forskjellige tankene vil bli koplet som nødvendig, med ledninger som går gjennom penetratorer i tankveggene. Undervanns koplingsenheter, som er i stand til å gå i pardannelse, vil også kunne bli anordnet mellom tankene for å få de installerbare og opphentbare hver for seg.

20 Det skal nevnes at den ovenfor beskrevne segregeringen, for å få til et optimalt arrangement av komponentene i en SSFSD i forskjellige tanker, hvor det blir tatt hensyn til nødvendig antall penetratorer og koplingsenheter, også vil kunne bli anvendt for undervanns variabel hastighets drivmotorer (VSD).

25 Hver trykktank eller hvert trykkhus omfatter minst en penetrator, så som en penetrator for hver fase av inn og ut, eller en felles penetrator for henholdsvis fasene inn og ut, eller en felles penetrator for alle faser inn og ut.

### **Noen vurderinger**

30 Et viktig punkt ved oppfinnelsen vil være at, selv om det typisk blir brukt en VSD på den nærliggende enden, det ikke er viktig å kunne være i stand til å foreta en rask justering av frekvensen på motorlastene. Motorens hastighet vil langsam bli justert i løpet av årene, mens reservoaret produserer og feltrykket gradvis blir redusert, som dermed vil kreve økende kraft, det vil si motorhastighet. Dette faktum vil gi anledning til, for eksempel, en midlertidig ramping ned av motorer som går, for å kunne kople til

en motor til. Alternativt vil den ubrukte motoren kunne bli koplet direkte på lasten dersom beregningene har vist at dette vil kunne være mulig å gjøre med hensyn til strømtopper eller andre forstyrrelser i strømovertøringssystemet. Avhengig av antall motorer som allerede er i gang, vil det kunne være fordelaktig å midlertidig redusere frekvensen før DOL-starten (DOL: «direct online»). Om nødvendig, vil strømmen kunne bli slått av når man starter en ekstra motor, og oppstart og oppramping av hastigheten for alle motorer samtidig. I en kompressorstasjon vil et annet alternativ kunne være å sette alle pumper og kompressorer i sirkulasjon før man starter opp en kompressor eller en pumpe som har blitt stanset, og deretter starte opp den enheten som har stanset, og når denne har nådd den ønskede hastigheten, sette alle kompressorer og pumper online i en produksjonsmodus.

De ovenfor nevnte anordningene og fremgangsmåtene gjør det mulig å håndtere Ferranti-effekten og skinneffekten, og dermed gi en betydelig forlengelse av avstanden for statisk undervanns høyspent strømovertøring.

Dermed vil maksimalt praktisk utleggsavstand kunne bli øket svært mye uten å introdusere undervanns VSD'er med lokal undervannsregulering av frekvensen. I både figur 4 og 5 har oppsteppingsanordningene ikke et lokalt reguleringssystem som varierer frekvensen og dermed hastigheten på motorene i henhold til produksjonen, de har verken regulering av nedrampingen for frekvens for å legge til en drift av motorer som har stanset eller har direkte regulering av oppramping for frekvensen for å få den virkelige hastigheten på motoren til å passe med produksjonen.

Som nevnt i seksjonen om «Bakgrunn for oppfinnelsen og tidligere teknikk», vil hastigheten på kompressorene typisk kunne spenne fra for eksempel 4000 til 14000 rpm og fra for eksempel 2000 til 5000 rpm for pumpene. Når kompressor- og pumpemotorer i en kompresjonsstasjon i henhold til oppfinnelsen (Fjerde og Femte løsning) blir tilført med den samme frekvensen med en felles overføringskabel, vil hastigheten for pumpene lett kunne bli justert til den ønskede hastigheten av halvparten av kompressorhastigheten ved å bruke fire-polete, eller flere-polete, motorer for pumpene, og to-polete motorer for kompressorene. Dersom pumpene brukes til regulering av væsknivået i en separator i en kompressorstasjon, vil en passende variabel netto

fremadgående strømning for pumpen kunne bli anordnet med resirkulering og bli utstyrt med ventiler for strømningsregulering.

Hastigheten for pumpene vil derfor kunne bli regulert på følgende eventuelle måter:

5 Dedikert SSFSD for hver pumpemotor.

En felles SSFSD for flere pumpemotorer.

Kjøre pumpemotorene på samme frekvens som kompressorene, men med det dobbelte antallet av poler, og som fører til en halvering av rotasjonshastigheten.

Kjøre pumpene på den samme overføringsfrekvensen.

10

Generelt kan antall SSFSD'er være fra én per motor til en stor felles enhet for alle motorer, eller et eller annet i mellom, for eksempel én SSFSD per store kompressormotor og én felles enhet for nokså små motorer eller, som nevnt ovenfor, ingen SSFSD for pumpemotorene.

15

### **Noen foreslåtte kombinasjoner av overflateplasserte VSD'er, antall undervanns drivmotorer og antall 3-fase overføringslinjer**

20 En 3-fase overføringslinje består av tre individuelle kabler som er isolerte og buntet sammen. For en lang undervannsoverføring med mer enn én motor, for eksempel to kompressorer, er det med den foreliggende teknologien mulig å bunte sammen overføringslinjer for flere SSFSD'er, for eksempel seks kabler i bunten, i tilfelle av to SSFSD'er. Dette vil redusere utleggingskostnadene for linjene, og har den fordelen av å kunne tillate individuell frekvensregulering av to eller flere motorer M1, M2 og så  
25 videre, ved den fjernestliggende endene av de linjene som har blitt buntet sammen.

I tabell 2 er det forklart betydningen av de gjenstandene som er i figurene.

Tabell 2: Figurmerkinger

Gjenstand nr.	Forklaring
1	Elektrisk kraftforsyningsnett
2, 2', 2'', 2'''	Nedsteppings transformator
3, 3', 3'', 3'''	VSD, Variabel hastighet drivmotor

4, 4', 4'', 4'''	Oppsteppings transformator
5, 5', 5'', 5'''	Overføringskabel
6, 6', 6'', 6'''	Nedsteppings transformator
7, 7', 7'', 7'''	Kretsbyter
8, 8', 8'', 8'''	Nærliggende ende av overføringskabel
9, 9', 9'', 9'''	Fjernestliggende ende av overføringskabel
10	Felles bunt med to eller flere kraftoverføringslinjer
16	SSFSD
13, 13', 13'', 13'''	Nedsteppings transformator
14, 14', 14'', 14'''	VSD
15, 15', 15'', 15'''	Kretsbyter
19	Trykkbalanseringsenhet
M1, M2, M3, M4	Motor

#### Detaljert beskrivelse

Det vises til Figur 4, som illustrerer en spesifikk utførelsesform av den foreliggende oppfinnelsen. Node 1 blir koplet til en kilde for elektrisk kraft; kilden er et lokalt strømnnett eller, for eksempel, et lokalt kraftgenereringssystem. En VSD 3 er tilkopleing

5 til en strømkilde. En VSD-inngang transformator 2 blir ofte koplet mellom, for å kunne justere tilførselsspenningen, for eksempel 13,8 kV for en plattform til den klassifiserte VSD-spenningen, for eksempel 6 kV. Transformatoren vil kunne være en integrert del av VSD'en, slik som tilbys av noen leverandører. Normalt vil det være nødvendig med

10 en oppsteppingstransformator 4 for å kople VSD3 til den høyspente overføringslinjen 5, som i det eksempelet med en undervannsapplikasjon består av en kabel. En typisk spenning som anvendes på kabelen kunne for eksempel være omtrent 120 kV. Kabelen blir lagt ned i havet for å kunne strekke seg fra den nærliggende enden 8 til undervanns fjernestliggende ende 9; kabelen har en operativ lengde hvor Ferranti-effekten begynner

15 å bli observert inntil der hvor den sterkt dominerer laststrømmen. Dette kan bli oversatt til lengde i størrelsesorden av 20 km, til 100 km og trolig mer enn dette, diktert av stedet og egenskapene for undervannslastene. På den fjernestliggende enden 9 av kabelen anordnes en undervanns transformator 6, som stepper ned spenningen til for eksempel 20 kV som passer for kretsbyterne 7, 7', 7'', 7''', etterfulgt av transformator 13, 13',

13'', 13''', som stepper ned til for eksempel 6 kV som passer som driftsspenningen for SSFSD'er, som også er en passende spenning for motorene M1, M2, M3, M4. Det er illustrert fire undervannsmotorer, som for eksempel vil kunne være to kompressormotorer M1, M2 og to pumpemotorer M3, M4.

- 5 Nedsteppingstransformatorene er i prinsippet valgfrie, fordi nedsteppingstransformatorene 6 (ref. figurer 4 og 5) direkte kan steppe ned den spenningen som vil være egnet for undervanns SSFSD'ene, slik som illustrert i figur 5. Å inkludere 13, 13', 13'' og 13''' er et spørsmål om optimalisering av kraftfordelingssystemet på den fjernestliggende enden.

10

De undervanns SSFSD'ene i figurer 4 – 6 stepper opp overføringsfrekvensen med et ønskelig trinn opp.

- 15 Det skal understrekes at nøkkelkomponentene i kraftoverføringssystemene av figurer 4 – 6 er kraftkilden 1, variabel hastighet drivmotor (VSD) 3, overføringskabelen 5 og 16. De andre komponentene, det vil si oppsteppings- og nedsteppingstransformatorene, 2, 4, 6 og 14, 13', 13'' og 13''' og kretsbyterne 15, 7, 7', 7'', 7''', er inkludert i samsvar med behovet fra tilfelle til tilfelle.

- 20 Kostnaden for lange undervannskabler og undervanns VSD'er vil være svært stor, og undervanns VSD'er i figur 2 har en negativ innvirkning på systempålitelighet så vel som at de er dyre. En felles overføringskabel sammenlignet med den løsningen som er i figur 1 vil derfor representere en betydelig besparelse på investeringene.

- 25 Det skal nevnes at selv om én felles overføringskabel vil være gunstig ut fra kostnadshensyn, vil det ikke være noen tekniske problemer med å ha én overføringskabel for hver SSFSD. Dette vil kunne være den optimale løsningen for mellomliggende utleggslengder, for eksempel 35 til 75 km, det vil si opp til de avstandene hvor kabelkostnaden ikke blir prohibitiv. Med én VSD per overføringskabel, 30 det vil si én VSD per undervannsmotor, fører dette til individuell hastighetsregulering for hver motor.

**Kondensert beskrivelse av oppfinnelsen undervanns oppsteppingsanordning**

Det er problematisk, eller til og med ikke mulig, å overføre høyspent høy-effekts elektrisitet ved høy frekvens, for eksempel mer enn 100 Hz, over lange undervanns oppsteppingsavstander, for eksempel mer enn 10 km, for å forsyne motorer som opererer ved høy hastighet for undervannspumper og –kompressorer. Dette er på grunn av Ferranti-effekten som kan bure over spenning og ustabilitet i overføringssystemet, så vel som den skinneffekten som skaper stor ohmsk motstand, og følgelig stort tap av spenning og effekt.

10

Undervanns variabel hastighet drivmotorer, hvor overføringsfrekvensen kan være lav, for eksempel 50 Hz, tilveiebringer en løsning på dette. Imidlertid vil de være de store, og være utstyrt med en stor mengde med sensitive, skjøre elektriske og elektroniske komponenter og reguleringsystem, som i tillegg til å gjøre dem dyre også antas å kunne ha en høy hyppighet med feil.

15

Oppfinnelsen tilbyr en løsning på dette ved å ha VSD'en med sitt reguleringsystem på overflaten (på en plattform eller på land), og som da har enkle undervanns frekvensoppsteppingsanordninger i nærheten av undervannsmotorene. Disse anordningene regulerer ikke direkte frekvensen i den elektriske strømmen på motorene, men deres eneste funksjon er å steppe opp overføringsfrekvensen, som vil være variabel og være innstilt til en frekvens i samsvar med behovet for motorene, med et egnet forholdstall.

20

Dersom statiske oppsteppingsanordninger brukes, kan de bli forenklet sammenlignet med undervanns variable hastighets drivmotorer. Blant andre ting, vil reguleringsystemet for oppsteppingen kunne bli plassert på overflaten, og vil enten kunne bli koplet til den overflate-plasserte VSD'en eller bli integrert inn i den.

25

30

P a t e n t k r a v

1. Anordning for operativ forbindelse mellom en fjerntliggende ende av undervanns utleggskabel og undervannslaster, så som pumper, kompressorer og reguleringsystemer, k a r a k t e r i s e r t v e d at anordningen er en statisk  
5 frekvenssteppingsanordning, mer spesifikt en statisk oppsteppings- eller nedsteppingsanordning, og at den omfatter:
- en statisk oppsteppings- eller nedsteppingsenhet,
  - minst én gass- og / eller væskefylt trykktank, hvor nevnte enhet eller deler av denne blir anordnet, og
  - 10 minst en penetrator for elektrisk tilkøpling av nevnte enhet til utenfor trykktanken.
2. Anordning i henhold til krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at anordningen er en passiv frekvensoppsteppingsanordning, i fast tilstand, som ikke har noen midler for  
15 aktiv undervannsregulering eller -justering på stedet.
3. Anordning i henhold til krav 1, hvori anordningen er en undervanns statisk frekvensoppsteppingsanordning (SSFSD) omfattende passive komponenter i fast tilstand, for undervannsplassering ved en fjerntliggende ende av en undervanns  
20 utleggskabel som er koplet til minst en kraftkilde ved den nærliggende enden av utleggskabelen ved et tørt sted på land eller toppside, utleggslengden er lang, som betyr lang nok til å kunne forårsake problemer på grunn av Ferranti-effekten ved de frekvens- og effektnivåene som er mulig for undervannsmotorer for pumper og kompressorer, og hvor anordningen via utleggskabelen tar i mot elektrisk kraft ved en tilstrekkelig lav  
25 frekvens til å kunne ha en stabil overføring, og anordningen, som er operativt koplet til undervanns motoren, leverer en utgang av elektrisk frekvens, ampère og spenning som skal være mulig for drift av de tilkøpene motorene, og anordningen vil bli installert i en trykktank eller –hus som har blitt fylt opp med væske eller gass.
- 30 4. Anordning i henhold til krav 3, k a r a k t e r i s e r t v e d at trykktanken eller –huset har blitt fylt opp med væske.

5. Anordning i henhold til krav 4, k a r a k t e r i s e r t v e d at væsken vil være en isolerende olje.
6. Anordning i henhold til krav 4 eller 5, k a r a k t e r i s e r t v e d at væsken kjøler ned de elektroniske og elektriske komponentene.
7. Anordning i henhold til krav 4 til 6, k a r a k t e r i s e r t v e d at det indre trykket vil kunne være ved et nivå som er på mellom én bar og det omgivende trykket.
8. Anordning i henhold til et hvilket som helst av krav 1 til 6, k a r a k t e r i s e r t v e d at den innvendige oljen er trykbalansert med det omgivende sjøvannet.
9. Anordning i henhold til et hvilket som helst av krav 4 til 8, k a r a k t e r i s e r t v e d at væsken blir avkjølt av en ekstern kjølekrets med varmeveksling til det omgivende sjøvannet.
10. Anordning i henhold til krav 9, k a r a k t e r i s e r t v e d at pumpen for kjølekretsen er en pumpe med en elektrisk motor.
11. Anordning i henhold til krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at huset har blitt fylt opp med en inert gass.
12. Anordning i henhold til krav 11, k a r a k t e r i s e r t v e d at det trykket som innenfor huset vil kunne bli valgt fra området fra én bar og opp til det som er likt med det omgivende vanntrykket eller høyere.
13. Anordning i henhold til krav 11 og 12, k a r a k t e r i s e r t v e d at det er minst én vifte til sirkulere gassen gjennom en ekstern varmeveksler.
14. Anordning i henhold til krav 1 til 13, k a r a k t e r i s e r t v e d at anordningens komponenter er segregerte på en optimal måte i henhold til deres toleranse for : væske, trykksatt væske og trykksatt gass.

15. Anordning i henhold til krav 14, k a r a k t e r i s e r t v e d at komponentene blir anordnet i tanker på den følgende måten:

- de mest robuste komponentene installeres i en tank fylt med trykksatt væske
- 5 • væsketolerante komponenter som har en lav toleranse for trykk installeres i en annen lavtrykks væskefylt tank
- komponenter som ikke tolererer væske, men som tolererer høyt trykk, blir installert i en høytrykks tank
- komponenter som bare tolererer lavtrykks gass blir installert i en tank med
- 10 lavtrykks gass.

16. Anordning i henhold til krav 14, k a r a k t e r i s e r t v e d at den omfatter egnete midler for avkjøling av de forskjellige tankene.

15 17. Anordning i henhold til et hvilket som helst av krav 14 til 16, k a r a k t e r i s e r t v e d at komponentene i de forskjellige tankene er koplet via ledninger som går gjennom penetratorer i tankveggene.

18. Anordning i henhold til krav 17, k a r a k t e r i s e r t v e d at undervanns pardannende koplingsenheter anordnes på tankene.

20

19. Oppfinnelse i henhold til et hvilket som helst av krav 1 til 18, k a r a k t e r i s e r t v e d at anordningen er en undervanns statisk frekvensoppsteppingsanordning (SSFSD) som stepper opp overføringsfrekvensen med et innstilt oppsteppingsforhold,  $n : 1$ .

25

20. Anordning i henhold til krav 19, k a r a k t e r i s e r t v e d at oppsteppingsforholdet vil kunne bli nullstilt.

21. Anordning i henhold til krav 19, k a r a k t e r i s e r t v e d at SSFSD'en stepper opp frekvensen med en bestemt tillagt økning.

30

22. Anordning i henhold til krav 19, k a r a k t e r i s e r t v e d at reguleringsystemet for SSFSD'en blir plassert på overflaten.

23. Anordning i henhold til krav 19, karakterisert ved at reguleringsystemet for SSFSD'en blir plassert i en separat ekstern kapsel.

5 24. Anordning i henhold til krav 19, karakterisert ved at reguleringsystemet for SSFSD'en blir plassert inne i trykkhuset.

25. Anordning i henhold til et hvilket som helst av krav 1 til 24, karakterisert ved at den vil være koplet til den fjerntliggende enden av en undervanns utleggskabel, 10 en VSD vil bli koplet til ved den nærliggende enden av undervanns utleggskabelen for å kunne justere Ferranti-effekten og -tapene, og dermed justere utgangsfrekvensen for anordningen opp og ned for å gi den ønskelige hastigheten på den tilkoblede lasten, så som motorer for kompressorer eller pumper.

15 26. Anordning i henhold til et hvilket som helst av krav 1 til 25, karakterisert ved at overføringsfrekvensen fra kraftkilden ved den nærliggende enden er fast.

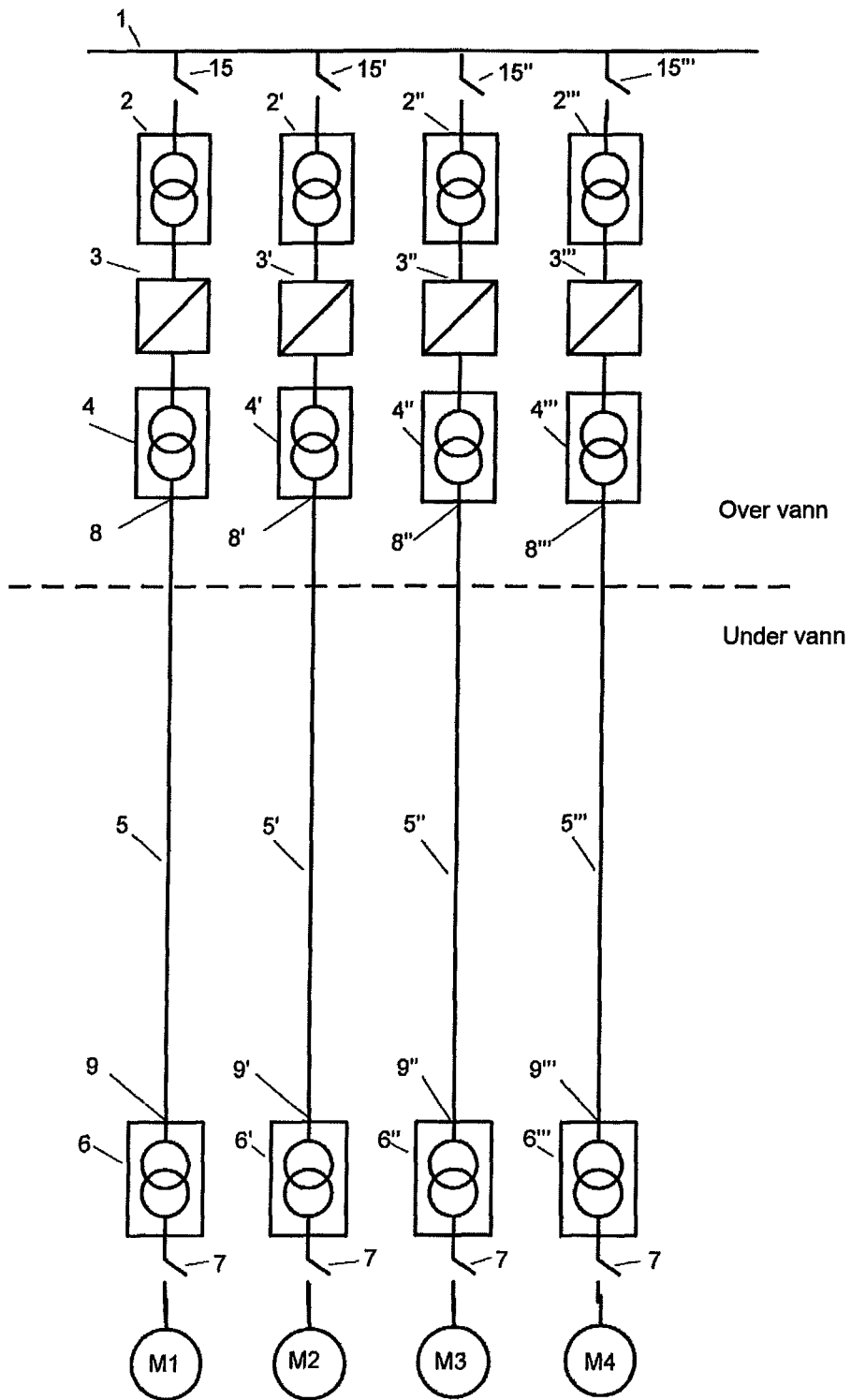
27. Anordning i henhold til et hvilket som helst av krav 19 til 24, karakterisert ved at det er én SSFSD per motor.

20

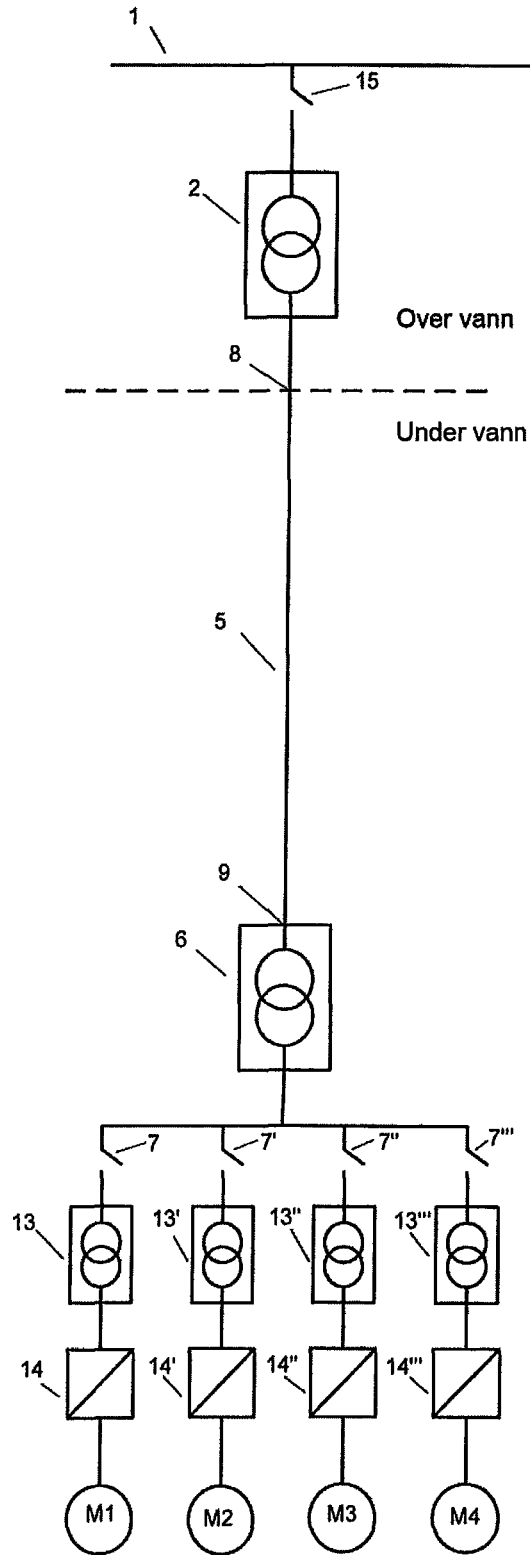
28. Anordning i henhold til et hvilket som helst av krav 1 til 26, karakterisert ved at det er flere motorer koplet til én undervannsanordning.

29. Anordning i henhold til et hvilket som helst av krav 1 til 26 og med to eller flere 25 SSFSD'er, karakterisert ved at SSFSD'ene er koplet til buntete overføringslinjer.

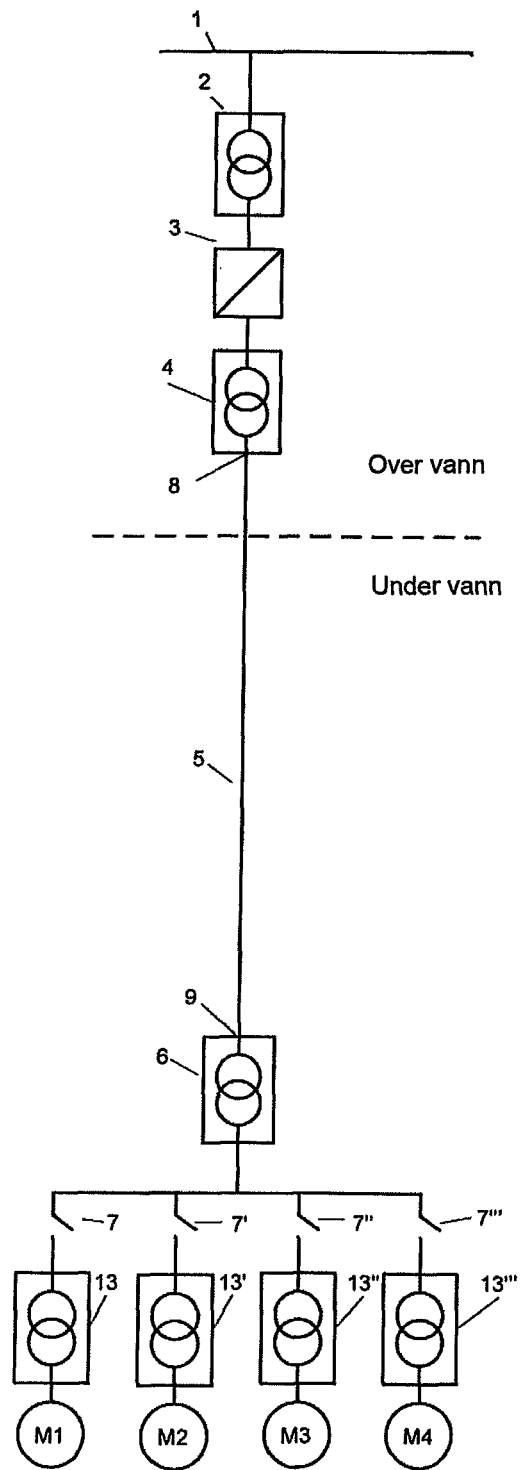
30



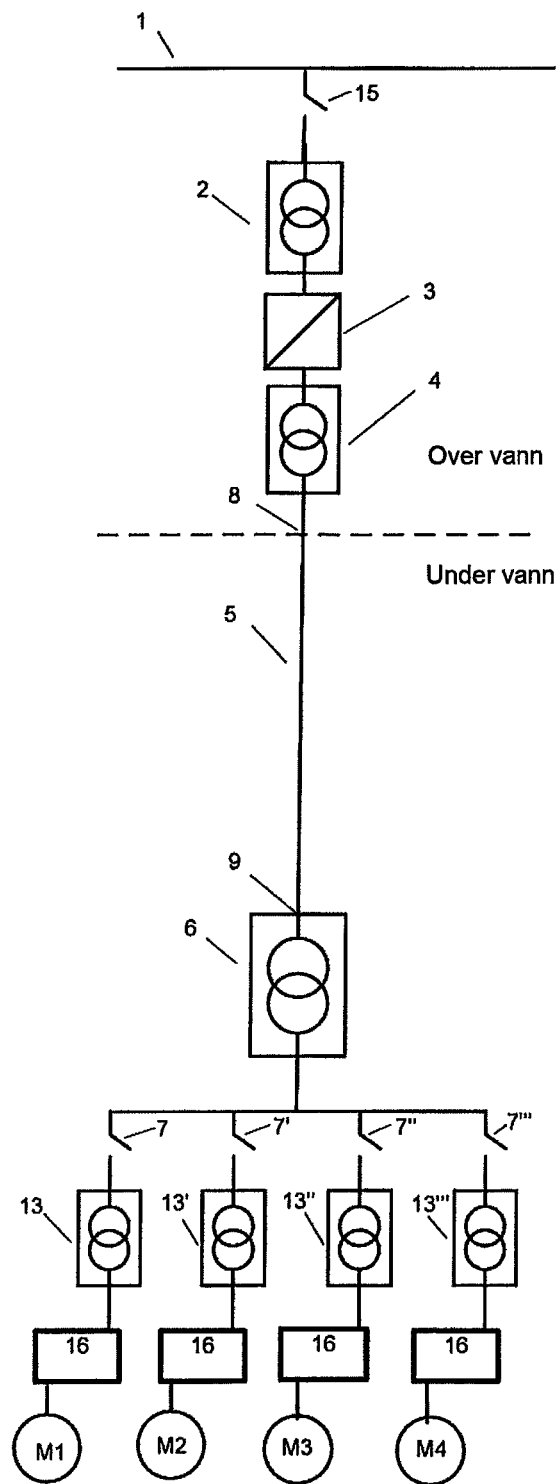
Figur 1



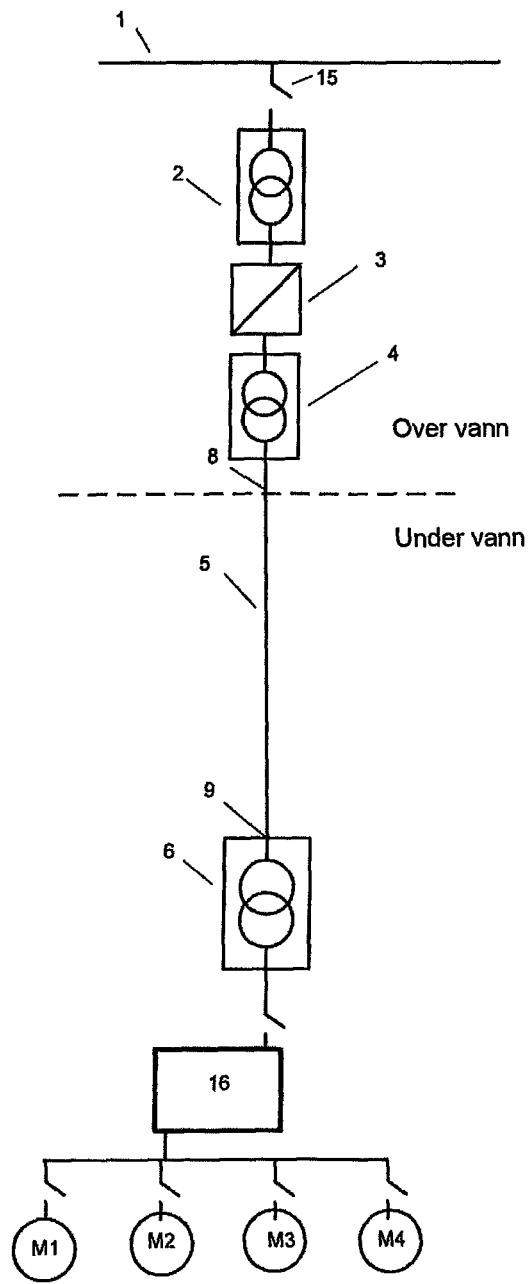
Figur 2



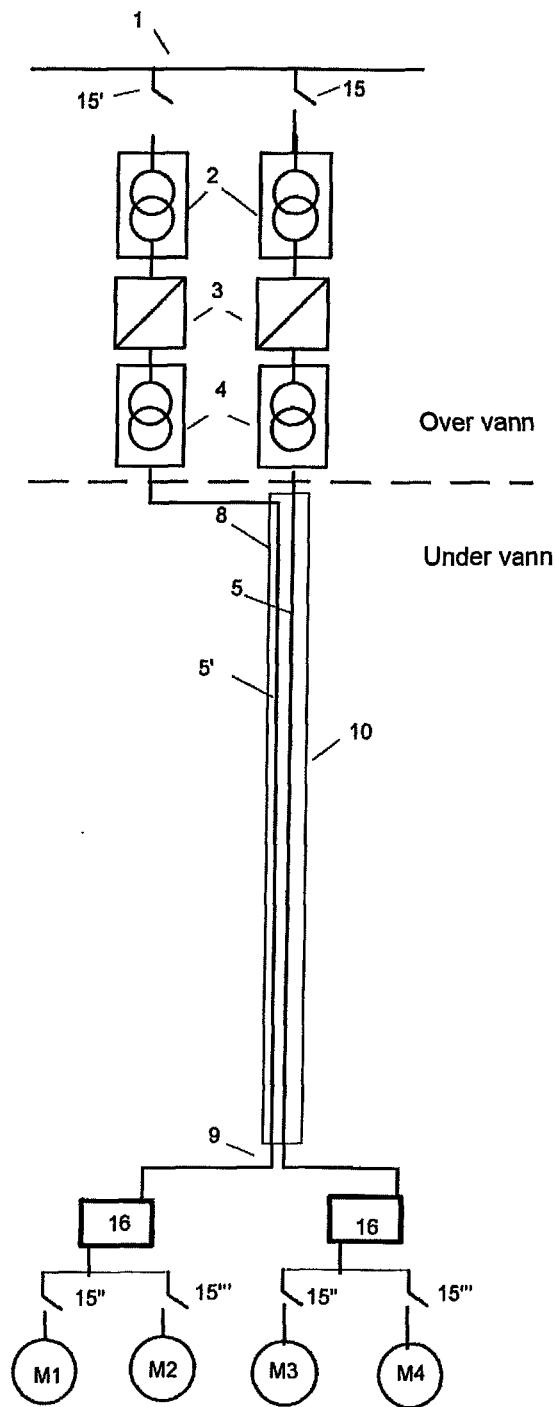
Figur 3



Figur 4



Figur 5



Figur 6