



(12) PATENT

(11) 347105

(13) B1

NORGE

(19) NO

(51) Int Cl.

G01N 22/00 (2006.01)

G01N 33/28 (2006.01)

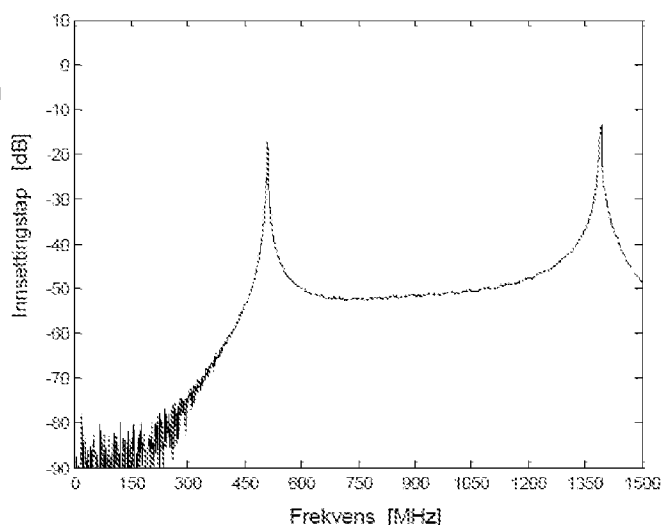
G01F 1/58 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20130180	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr
(22)	Inng.dag	2013.02.05	(85)	Videreføringsdag
(24)	Løpedag	2013.02.05	(30)	Prioritet
(41)	Alm.tilgj	2014.08.06		
(45)	Meddelt	2023.05.15		
(73)	Innehaver	Roxar Flow Measurement AS, Postboks 112, 4065 STAVANGER, Norge		
(72)	Oppfinner	Ebbe Gustaf Nyfors, Einartangen 26 A, 4309 SANDNES, Norge		
(74)	Fullmektig	BRYN AARFLOT AS, Stortingsgata 8, 0161 OSLO, Norge		

(54)	Benevnelse	Konduktivitetsmåling
(56)	Anførte publikasjoner	WO 03/034051 A1
(57)	Sammendrag	

Den foreliggende oppfinnelsen angår et system for å måle konduktivitet i en flerfaset fluidstrøm omfattende en andel vann, der systemet omfatter en måledel med midler for å sende elektromagnetiske signaler inn i et rør som inneholder fluidet i minst ett valgt frekvensområde og midler for å detektere resonansfrekvens i området. Måledelen omfatter trekk for å frembringe minst to resonansfrekvenser i det minst ene frekvensområdet, der systemet også omfatter midler for, basert på minst en første resonansfrekvens og en første Q-faktor tilknyttet den tilhørende resonanstopp, å beregne konduktiviteten til vannet i strømmen.



Denne oppfinnelsen angår et målesystem for å måle egenskapene i en fluidstrøm, særlig en flerfasestrøm omfattende en andel vann.

I olje og gassproduksjon og –prosessering er det nødvendig å overvåke innholdet i og egenskapene til fluidstrømmen ettersom andelene av olje, gass og vann og saliniteten i vannet vil endres i løpet av produksjonen og vil påvirke den videre prosesseringen. Flere typer teknikk er blitt brukt til å innhente nødvendig informasjon for å finne andelene og saliniteten, så som akustiske målinger, trykk, gamma og elektriske målinger. Den foreliggende oppfinnelsen angår elektriske målinger brukt til å bestemme innholdet i blandinger av olje, gass og vann, og spesielt konduktiviteten til vannet i strømmen, som derved indikerer saliniteten og/eller vanninnholdet i strømmen. Oppløste salter i vannet gir vannet konduktivitet. Konduktiviteten avhenger av mengde og type av ioner i løsningen og av temperaturen. Vannet i en flerfasestrøm i oljeindustrien kan inneholde flere typer ioner, men de langt vanligste er Na^+ og Cl^- fra natriumklorid. Med saltholdighet mener vi her ekvivalentmengden av natriumklorid som gir samme konduktivitet som den faktiske løsningen, og den uttrykkes i vekt% av saltvannet.

Som nærmere beskrevet nedenfor, bruker løsningen ifølge den foreliggende oppfinnelsen en mikrobølgefremgangsmåte som primært gir et mål for konduktiviteten. Saliniteten kan beregnes fra konduktiviteten og temperaturen ved å bruke kjente modeller. På samme måte kan konduktiviteten beregnes fra saliniteten på ethvert tidspunkt ved å bruke den samme modellen invertert.

I US 6182504 drøftes en løsning der den dielektriske konstanten i blandingen måles sammen med temperaturen, og så fra disse målingene avgjøre hvorvidt strømmen er vann- eller oljekontinuerlig, og basert på denne avgjørelsen bestemme typen av måling som skal utføres.

En fremgangsmåte for å måle flerfasestrømmen er beskrevet i PCT-søknad WO 2005/057142. I dette tilfellet måles egenskapene i strømmen som en funksjon av frekvensen til det elektriske feltet som påtrykkes gjennom transduserne. Egenskapene i strømmen, eller mer presist de elektromagnetiske taps- og fasemålingene, måles i minst to retninger i strømmen, og graden av ringformet strøm bestemmes. Formålet med løsningen i WO2005/057142 er derved å korrigere for målefeil i spesifikke strømningsregimer, hovedsakelig det for ringformet strøm. Den måler tverrsnittet og nærmere veggen for å finne ut om det er en forskjell.

I internasjonal søknad WO2007/018434 finnes en løsning for å måle salinitet/konduktivitet til vannet i en flerfasestrøm. Den er om å måle forskjellen i faseforskyvning ved to eller flere frekvenser med en transmisjonssensor laget av tre små antenner montert i rørveggen. Denne patentsøknaden angår bare målinger under vannkontinuerlige betingelser.

5 I WO2006/019311 beskrives en fremgangsmåte for å måle salinitet/konduktivitet i vannet i en våtgassstrøm. Denne patentsøknaden angår måling av steilheten til faseresponsen ved grensefrekvensen (cut-off frequency). Denne er knyttet til tapene forårsaket av konduktivitet, som er knyttet til salinitet/konduktivitet. Problemene med fremgangsmåten er knyttet til det faktum at fenomenet ikke er monotont, selv om dette ikke er nevnt i patentet
10 men vist nedenfor.

I WO2008085065 beskrives en resonator som måler på væskefilmen på rørveggen i en våtgassstrøm. Den er optimert for våtgass, dvs svært små mengder vann, og kan bli overfølsom med flerfasestrøm.

Ett problem knyttet til den kjente teknikk beskrevet ovenfor, er å innhente et mål for
15 konduktivitet/salinitet i en olje- eller gasskontinuerlig flerfase (inkludert våtgass)-strøm for å frembringe viktig informasjon slik som deteksjon/måling av formasjonsvann i våtgass, og for å gjøre en vannandels- eller våtgassmåler uavhengig av endringer i salinitet.

Som nevnt i US 6182504 kan resonans brukes i forhold til å finne konduktiviteten i en strøm. Dette er også beskrevet i og teoretisk drøftet i Ebbe Gustaf Nyfors, "Cylindrical
20 microwave resonator sensors for measuring materials under flow", doktoravhandling for graden Doctor of Science in Technology, Rapport S243, mai 2000, Helsinki University of Technology (ISBN 951-22-4983-9). Som beskrevet i doktoravhandlingen, lagrer en mikrobølgeresonator elektromagnetisk energi. I en målesituasjon mates energi inn i resonansen av den eksiterende kilden og lekkes ut gjennom ulike tapskilder. I tilfelle måling
25 på en blanding som inneholder små vandrdåper (droplets), er strømmene som induseres i de små dråpene én tapskilde. Konduktiviteten påvirker derfor resonansen. En resonator har to hovedtrekk, resonansfrekvensen og Q-faktoren. Begge påvirkes av den komplekse permittiviteten (også kalt den dielektriske konstanten). Det faktum at den er kompleks, betyr at den har både en reell og en imaginær del. Den imaginære delen påvirkes av
30 konduktiviteten. Med en olje- eller gasskontinuerlig blanding, som kan betraktes som et lavtapstilfelle (der den imaginære delen er langt mindre enn den reelle delen) fordi blandingen ikke er ledende som en helhet, vil resonansfrekvensen avhenge hovedsakelig av den reelle delen av permittiviteten og Q-faktoren også av den imaginære delen.

Doktoravhandlingen forklarer også at mikrobølgeresonatorer kan beskrives ved hjelp av bølgeledermodi i transmisjonslinjer, som i f eks hule bølgeledere. En resonator kan dannes enten i en sektor avgrenses av to reflekterende diskontinuiteter (som gitre eller en endring av grensefrekvens) eller av en hul bølgeleder ved grensen som beskrevet nedenfor.

5 Elektromagnetisk energi kan utbres i et hult rør (bølgeleder) som bølgemodi. I teorien er en bølgemodus et gitt feltnmønster som er en spesiell løsning til det elektromagnetiske problem i det gitte miljø der det tas hensyn til grensebetingelsene (f eks må det elektriske felt parallelt med metallveggen være null ved overflaten). Det er mange løsninger, dvs bølgemodi. Alle bølgemodi i hule rør har én ting felles, de har en såkalt grensefrekvens. Dette betyr at
10 bølgemodusen bare kan utbres ved frekvenser høyere enn grensefrekvensen. Men alle modi har forskjellige grensefrekvenser.

Hvis man lager en resonator som et rør og resonansfrekvensen er høyere enn den laveste grensefrekvensen, kan energien unnslippe og utbres bort i røret (med mindre den avgrenses av f eks reflekterende gitre). Dette øker resonatorens tap, dvs Q-faktoren blir
15 mindre. Fordi oppfinnelsen angår måling av konduktivitet basert på tapene den forårsaker i en resonator, dvs. at konduktiviteten reduserer Q-faktoren, er det lett å forstå at tapene forårsaket av stråling reduserer følsomheten og målenøyaktigheten. Hvis på den andre siden resonansfrekvensen er lavere enn den laveste grensefrekvensen i røret, kan ingen energi unnslippe ved stråling inn i røret og utbres bort på en bølgemodus. Resonatorstrukturen kan
20 derfor være relativt åpen (som finnesensoren beskrevet i WO99/063331) uten å forårsake ekstra tap som reduserer Q-faktoren.

En annen besynderlig ting ved bølgemodi er at energien utbres med en hastighet som avhenger av avstanden (i frekvens) fra grensefrekvensen. Jo nærmere grensen, jo langsommere er utbredelsen. Eksakt på grensefrekvensen utbres de ikke i det hele tatt.
25 Bølgemodusen er imidlertid eksitert eller startet, men energien forblir der den er eksitert. Dette er faktisk en resonans. Dvs at hver bølgemodus har en resonans ved grensen. Dette kan også brukes til måleformål. Denne resonansen er imidlertid ikke særlig god. Toppen har en gitt bredde, dvs en fordeling i frekvensdomenet. På den nedre siden av toppen av fordelingen ved resonans/grensefrekvensen gir røret strålingsbeskyttelse. På den øvre siden kan energien
30 lekke ut, fordi frekvensen er over grensen. Derfor er en slik resonanstopp noe asymmetrisk og brattere på lavfrekvenssiden. Den kan imidlertid brukes til måleformål. En måte er å måle bare den nedre halvdelen og så lage et speilbilde på oversiden for å konstruere en hel topp. En fordel med denne type resonator er at den er fullstendig ikke-invaderende. Det kreves bare noen sonder/antenner for å koble energien. Et eksempel på en høykvalitets grenseresonator er

den ovennevnte finnesensoren. Resonansen er en grenseresonans ved grensen til delen med finnen. I tillegg er resonatoren avgrenset av deler uten finne, som har en høyere grensefrekvens. Det faktum at den er avgrenset (dvs begrenset til delen med finne) har også en effekt på eksistens og plassering av de andre resonansmodi ved høyere frekvenser, og er derfor relevant for oppfinnelsen som beskrevet nedenfor.

Dermed kan en resonatorsensor brukes til å måle kompleks permittivitet under lavtapsforhold og er derfor en god løsning. Konduktiviteten påvirker den imaginære delen av permittiviteten, og vil derfor påvirke resonatorens Q-faktor, for eksempel som beskrevet i WO2003/034051. Problemet er at den imaginære delen av permittiviteten til en olje- eller gasskontinuerlig blanding ikke er en monoton funksjon av vannets konduktivitet. Derfor er endringen i Q-faktor ikke monoton som funksjon av konduktiviteten. Målingene er derfor tvetydige. Dette ses i praksis og forutses av Bruggemannligningen, som er en ligning for å beregne permittiviteten til en blanding fra permittivitetene til bestanddelene og volumandelene.

Tvetydigheten til Q-faktoren som funksjon av konduktivitet er, som brukt i systemet ifølge den foreliggende oppfinnelsen, en funksjon av frekvens. Ved å utføre den samme målingen på to frekvenser, kan man derfor finne konduktiviteten entydig som beskrevet nedenfor.

Et ytterligere formål med den foreliggende oppfinnelsen er således å frembringe et forenklet målesystem for nøyaktig og entydig overvåking av konduktiviteten til vannet i en olje- eller gasskontinuerlig eller våtgassstrøm. Dette utføres ved å bruke et målesystem som beskrevet i det følgende og er karakterisert som fremsatt i de selvstendige patentkravene.

Fremgangsmåten og systemet ifølge oppfinnelsen frembringer dermed en forbedret måling av konduktiviteten i strømmen ved å frembringe en måling ved to resonansfrekvenser, der den første resonansfrekvensen gir informasjon om vanninnholdet (vannandel eller vannvolumforhold), mens de to Q-faktorene også gir informasjon om vannets konduktivitet. De to resonansfrekvensene kan være i samme posisjon og resonator, men kan også frembringes i to forskjellige resonatorer, f.eks. med forskjellige grensefrekvenser slik som i et rør med to forskjellige diametre. Enhver sensorløsning som gir klare resonanser i strømmen kan brukes. Flere enn to resonansfrekvenser kan også brukes.

Den første resonansen kan være nær "grensefrekvensen". Våtgassmåleren eller en vannandelsmåler med et mikrobølgebaseret andelsmålesystem bruker typisk én resonansfrekvens til å finne permittiviteten i blandingen. Fra permittiviteten i blandingen og permittivitetene til bestanddelene kan blandingsforholdet, dvs andelene, finnes. Q-faktoren til

toppen påvirkes av tapene grunnet konduktiviteten i vannet, men er ikke utvetydig. Men fordi fenomenet er frekvensavhengig kan man få en utvetydig måling av konduktiviteten ved å måle Q-faktoren til to topper. Dvs man velger en konstruksjon slik at to topper er tilgjengelig. Resonansfrekvensen brukes til å finne andelene (vannandel eller vannvolumforhold) og Q-faktorene til begge til å finne konduktiviteten. Dette er et minimum. Det er selvsagt mulig å lage en korrelasjon, f eks ved å bruke nevrale nettverk til å lage forbindelsen mellom resonansfrekvensene, Q-faktorene, og andelene og konduktiviteten. Av de to resonansene kan én være en grense-type resonans (eller til og med begge hvis rørdiameteren endres som i en venturi).

En av resonansfrekvensene kan være eller ikke være en grenseresonans som beskrevet ovenfor. Faktisk kan begge være grenseresonanser hvis rørdiameteren endres, f eks kan en måles i venturistrupen og den andre i det større røret opp- eller nedstrøms fra venturien. Kjernen i oppfinnelsen er å måle Q-faktoren til to resonanser ved forskjellige frekvenser. Fra dem kan konduktiviteten beregnes. Men generelt må vanninnholdet være kjent, og grovt frekvensene for Q-faktorene. En anbefalt prosedyre er derfor å måle begge resonansfrekvensene og Q-faktorene, beregne vanninnholdet fra én resonansfrekvens og deretter vannets konduktivitet fra begge toppene.

Enhver resonator har en topp i innsettingstapet (dvs. dempingen av det gjennomgående signalet) når den måles i transmisjon med to (eller flere) sonder. På samme måte fremviser enhver resonator en dipp i reflektert effekt (returtap) når den måles i refleksjon ved bruk av bare én sonde.

Det er også viktig å merke seg at frekvensresponsen til en resonator, enten målt i transmisjon eller refleksjon, har både en amplitude (effekt) og en fase, som beskrevet i doktoravhandlingen av Nyfors. Derfor kan resonansfrekvensen og Q-faktoren eller en annen parameter knyttet til tapene (som f eks faseresponsens steilhet), også bestemmes ved å måle fase i stedet for effekt, eller begge.

I den foreliggende beskrivelsen kan "resonanstopp" også forstås som en "dipp" i spekteret, avhengig av den gitte sensoren og begrepet "Q-faktor" omfatter også tilknyttede variable slik som toppbredde, knyttet til kvaliteten og definisjonen av resonanstoppen.

Mikrobølge skal også tolkes i vid forstand som essensielt dekker området i det elektromagnetiske spektrum hvor resonans oppnås i strømmen. I tillegg brukes begrepet WVF (water volume fraction) for vannvolumforhold, vannandel eller vanninnhold.

Oppfinnelsen beskrives nedenfor med henvisning til de vedføyde tegningene, som illustrerer oppfinnelsen ved hjelp av eksempler.

Figur 1a illustrerer hovedkonstruksjonen til en konisk innsats i et rør. Bare én sonde vises, hvilket er nok til å måle i refleksjon.

Figur 1b illustrerer den målte transmisjonsfrekvensresponsen til en typisk konisk innsats som målt med to sonder. De første to resonansene vises, hvilke kunne brukes i

5 oppfinnelsen. I dette tilfellet tilhører begge resonansene samme resonator.

Figur 2a illustrerer hovedkonstruksjonen til en finneresonator.

Figur 2b illustrerer den målte frekvensresponsen til en finneresonator hvor de første to resonansene vises, hvilke kunne brukes i oppfinnelsen. I dette tilfellet tilhører begge resonansene samme resonator.

10 Figur 3 illustrerer et eksempel som bruker Bruggemannligningen til å beregne Q-faktoren til en blanding av diesel og vann, WC = 5%.

Figur 4 illustrerer den målte Q-faktoren til en koaksial resonator med en blanding av diesel og vann (WC = 5%) sammenlignet med den som ble beregnet fra Bruggemannligningen. T = 53,5 °C.

15 Figur 5 illustrerer den målte Q-faktoren i en våtgasstrøm som en funksjon av salinitet ved en frekvens på 300 MHz. WVF (vannvolumforholdet) var 0,1% og CVF (kondensatvolumforholdet) var 0,332%.

Figur 6 illustrerer den beregnede endringen i Q ved 500 MHz mot ved 1000 MHz forårsaket av konduktivitet. Punktene indikerer en salinitet på 0, 1, 5, 10 og 15%. Temperaturen er 20 °C.

Figur 1a illustrerer en konisk innsats 1 brukt som resonator i et rør 2 som beskrevet i ovennevnte WO2010/115883 med en koblingsenhet 3. Koblingsenheten 3 kan utgjøre en sonde for å tilføre det elektromagnetisk feltet og/eller avføle det elektromagnetiske feltet for
25 formålet å bestemme resonansfrekvensen og Q-faktoren. Figur 1b illustrerer frekvensresponsen til en typisk konisk innsats i et frekvensområde omfattende to resonansfrekvenser 4, 5. En typisk rørdiameter kan være i området 50 mm til 245 mm, men dette kan variere avhengig av situasjonen.

Figur 2a illustrerer en alternativ resonator som utgjøres av en finne 6 som forløper inn
30 i strømmen. Figur 2b illustrerer de to første resonanstoppene i denne konfigurasjonen basert på en indre rørdiameter på 146,4 mm med en finnelengde på omkring én rørdiameter.

Det vil være klart for en fagkyndig at flere konfigurasjoner kan komme i betraktning. Et enkelt rør uten hindringer vil ha en enkelt resonansfrekvens ved grensefrekvensen. Det er imidlertid mulig innen omfanget av den foreliggende oppfinnelsen å bruke to resonatorer ved

to forskjellige rørdiametre, som hver resonerer ved grensen, å sammenligne Q-faktorene (eller en annen parameter knyttet til tapene, som f eks fordelingsbredden eller faseresponsens steilhet) til å måle konduktiviteten ifølge oppfinnelsen. Resonans ved grensen vil også ha noe ekstra tap grunnet stråling ved utbredelse i røret på frekvenser over resonansfrekvensen, dvs i den høyre halvdelen av fordelingen som fører til en usymmetrisk topp, hvilket reduserer nøyaktigheten i målingene av Q-faktor. For høy målenøyaktighet bør det derfor frembringes en struktur for å gi en resonansfrekvens under grensefrekvensen, mens en enkel grenseresonator som drøftet ovenfor er attraktiv ettersom den er fullstendig ikke-invaderende.

Figur 3 illustrerer et viktig aspekt ved den foreliggende oppfinnelsen ettersom den målte Q-faktoren avhenger av konduktiviteten til vannet i strømmen samt av resonansfrekvensen. Ved enhver enkelt frekvens er endringen av Q-faktor grunnet konduktivitet ikke monoton. Dermed kan Q-faktoren innta samme verdi for to forskjellige verdier av vannets konduktivitet. Men på grunn av frekvensavhengigheten vil måling av Q-faktoren ved to forskjellige frekvenser gi et unikt mål for konduktiviteten til vannet i strømmen.

Dette er også illustrert i figur 4 og 5. I figur 4 er Q-faktoren målt (*) og beregnet (-) mens vannets salinitet varieres i en kjent blanding av diesel og vann ved en resonansfrekvens på 941 MHz. I figur 5 er Q-faktoren i en våtgassstrøm målt som funksjon av salinitet ved en frekvens på 300 MHz. WVF (vannvolumforholdet) var 0,1% og CVF (kondensatvolumforholdet) var 0,332%.

Figur 6 illustrerer en sammenligning mellom to mengder av målinger ved to resonansfrekvenser, 500 MHz og 1000 MHz, med saliniteter på 0, 1, 5, 10 og 15%, fra 0% mot klokken med vannandel 2,5% og 5%. Endringen i Q-faktor ΔQ ved 500 MHz og 1000 MHz mellom salinitetene ved to vannandelsforhold definerte forskjellige kurver, og saliniteten kan dermed også finnes når vannandelen er kjent.

Resonansfrekvensene påvirkes primært av vannandelen eller WVF, men også som en sekundæffekt av saliniteten. Derfor oppgis saliniteten eller vannkonduktiviteten vanligvis manuelt gjennom brukergrensesnittet i vannandels- eller våtgassmålere. Hvis saliniteten varierer over tid, hvilket kan hende av ulike grunner, så vil dette påvirke målenøyaktigheten. Derfor er målerens evne til å måle saliniteten som ifølge den foreliggende oppfinnelsen gi en bedre nøyaktighet i vannandels- eller WVF-målingene, og særlig til å opprettholde nøyaktigheten over tid ettersom saliniteten endres. Og i tillegg er saliniteten viktig informasjon i seg selv, og derfor en viktig utdataparameter som et ekstra trekk ved en vannandels- eller våtgassmåler. Særlig med våtgass er saliniteten en indikator for produksjon

av formasjonsvann, hvilket er svært viktig informasjon. Men med hensyn til innhenting av salinitet og vannandel eller WVF: Hvert punkt i diagrammet definerer en unik kombinasjon av vannandel eller WVF og konduktivitet. Derfor trengs ikke forhåndskunnskap om vannandel/WVF for å kunne beregne konduktiviteten. Dvs at man vil få begge fra bare Q-faktorene. På den andre siden vil resonansfrekvensen gi et mer nøyaktig mål på vannandel/WVF. Derfor vil en anbefalt praksis være å utlede et første estimat for vannandel/WVF fra resonansfrekvensen til én av toppene og konduktiviteten fra Q-faktorene, deretter beregne en mer nøyaktig vannandel/WVF fra resonansfrekvensen, deretter forbedre konduktivitetsresultatet osv. Dermed vil en iterativ prosess gi best nøyaktighet for begge.

For å oppsummere, angår systemet ifølge oppfinnelsen altså et system for å måle konduktiviteten til vannet i en fluidstrøm som utgjøres av olje- eller gasskontinuerlige blandinger, omfattende en måledel med midler for å sende elektromagnetiske signaler inn i et rør som inneholder fluidet i minst ett valgt frekvensområde og midler til å detektere resonansfrekvenser i dette området. Målingen utføres fortrinnsvis ved å sende et frekvenssveip inn i røret og å måle responsen for å frembringe informasjon om resonansfrekvensene og Q-faktorene. Q-faktorer ifølge den foreliggende oppfinnelsen kan også forstås som omfattende faseresponsen eller fordelingsbredden uten direkte beregning av Q-faktorverdien.

Måledelen omfatter trekk for å frembringe minst to resonansfrekvenser i det minst ene frekvensområdet. Systemet omfatter også midler for, basert på minst én av resonansfrekvensene, en første Q-faktor tilknyttet den tilhørende resonanstopp samt Q-faktoren til en andre resonanstopp, å beregne konduktiviteten til vannet i strømmen. Beregningene baseres altså på minst én målt resonansfrekvens og to Q-faktorer. Den andre resonansfrekvensen kan valgfritt også bestemmes for å øke nøyaktigheten.

Måledelen kan fortrinnsvis omfatte en innsats eller annen struktur i strømmen, hvilket resulterer i en resonansfrekvens som er lavere enn grensefrekvensen til røret eller grensefrekvensen i hver ende av måledelen, og dermed kan gjøre det mulig at strukturen er relativt åpen og lite invaderende, og fortsatt ha en høy Q-faktor. En høy Q-faktor (dvs lave samlede tap) muliggjør høy følsomhet overfor tapene som skyldes konduktiviteten i vannet. Innsatsen kan velges fra et bredt utvalg strukturer slik som en konisk innsats, finne eller enhver struktur som gir en definert refleksjon på to steder (så som to metallgitre eller andre åpne eller kortsluttede ender i en transmisjonslinjestruktur, som den åpne enden og enden kortsluttet av beina til den koniske innsatsen eller endene av finnene) for å oppnå en resonans mellom de reflekterende stedene. To forskjellige resonansfrekvenser kan oppnås med to

strukturer som har to forskjellige resonansfrekvenser eller fortrinnsvis ved å frembringe en innsats som gir to resonansfrekvenser i området av utsendte frekvenser. Flere enn to resonansfrekvenser og Q-faktorer kan også benyttes.

5 Måleseksjonen kan også fortrinnsvis omfatte et enkel rør, som beskrevet ovenfor, som i så fall er en grenseresonator. Denne strukturen foretrekkes hvis ikke-invaderende egenskaper har høyst prioritet. Analogt med refleksjonspunkt i resonatorer dannet av innsatser, danner de motsatte sidene av røret refleksjonspunkter ettersom utbredelsen ved grensefrekvensen er rent radial. Fordi oppfinnelsen krever et minimum på to resonanser, må en grenseresonator 10 kombineres med enten en annen grenseresonator hvor rørdiameteren er forskjellig (som i venturistrupen), en resonator basert på en annen struktur (slik som en innsats), eller en annen bølgemodus kan brukes. Fordi en bølgeleder kan understøtte et antall forskjellige bølgemodi, som alle har forskjellige grensefrekvenser, er det mulig å bruke to forskjellige grensefrekvenser i samme rør. Det må da tas hensyn til valg av modi og valg av type og plassering av koblingsenheter slik at det ikke vil lekke effekt fra modusen med den høyere 15 grensefrekvensen til den med lavere grensefrekvens. Det kan være hensiktsmessig å bruke separate koblingsenheter for de to minst to modi. De kan da monteres på steder hvor den andre modusen har null elektrisk felt, og derfor kun kobler til den ønskede modusen.

Beregningen omfatter en sammenligning mellom de målte verdiene og en i det minste delvis empirisk modell basert på en kjent målesituasjon lagret i systemet. Alternativt utføres 20 beregningen av resonansfrekvens og Q-faktorer i en nevralt nettverksmodell, og knyttet dermed til en modell funnet og lagret av datamaskinen som et resultat av tidligere målinger og/eller en forhåndsbestemt modell. Resonansfrekvensene og Q-faktorene ville normalt bli beregnet på "vanlig" måte fra den målte frekvensresponsen/sveip. Deretter kan et nevralt nettverk eller en multivariabelanalysebasert modell brukes til å finne vannets konduktivitet. 25 Det kan også vurderes å mate inn råmålingene direkte uten å beregne resonansfrekvensene og Q-faktorene i det hele tatt.

Deteksjon av resonansen (resonansfrekvensen og Q-faktoren) kan utføres ved forskjellige typer målinger, som for eksempel beskrevet i kapittel 3 i Nyforsrapporten eller i andre av de refererte dokumentene, og drøftes ikke nærmere her. Bestemmelsen av hver Q- 30 faktor er også kjent i seg selv, f eks fra de ovennevnte publikasjonene.

Patentkrav

1. System for å måle konduktivitet i vannandelen i en flerfaset fluidstrøm, der systemet omfatter en måledel med midler (3) for å sende elektromagnetiske signaler inn i et rør (2) som
5 inneholder fluidstrømmen, der signalene omfatter minst ett valgt frekvensområde og midler for å detektere resonanser i området,
karakterisert ved at måledelen omfatter trekk (1,6) ved utformingen innrettet til å frembringe minst to resonanser innen nevnte minst et frekvensområde, der systemet også omfatter midler for, basert på minst en første resonansfrekvens og en første Q-faktor tilknyttet
10 den tilhørende resonanstoppen (4) samt Q-faktoren til en andre resonanstopp (5), å beregne konduktiviteten til vannet i strømmen.
2. System ifølge krav 1, hvor måledelen omfatter en innsats i strømmen, f eks en konus (1) eller finne (6) som definerer en resonator i røret.
15
3. System ifølge krav 1, hvor beregningen omfatter en sammenligning mellom de målte verdiene og en minst delvis empirisk modell basert på en kjent målesituasjon.
4. System ifølge krav 1, hvor den andre resonansfrekvensen detekteres.
20
5. System ifølge krav 1, hvor beregningen av konduktivitet utføres i en nevralt nettverksmodell.
6. System ifølge krav 1, hvor beregningen av resonansfrekvens og Q-faktorer utføres i en
25 nevralt nettverksmodell.
7. System ifølge krav 1, hvor minst én av resonansene (4,5) er ved laveste grensefrekvens for røret.
8. System ifølge krav 7, omfattende to måledeler, hver med midler (3) for å sende elektromagnetiske signaler inn i et rør som inneholder fluidstrømmen i minst ett valgt frekvensområde og midler for å detektere resonansfrekvenser i området, der de to måleseksjonene har forskjellige resonansfrekvenser, der de første og andre Q-faktorene blir funnet for den første og andre måleenheten.
30

9. System ifølge krav 8, hvor begge resonatorene frembringer resonans ved grensefrekvensen, f.eks. én i røret og den andre i en forsnevring som venturistrupen, eller i en utvidelse.
10. System ifølge krav 1, omfattende midler for å måle faseresponsen i et område rundt hver resonansfrekvens, hvor Q-faktorene er beregnet fra den målte stigningen til faseresponsen.
11. System ifølge krav 1, hvor den minst ene av resonatorene utgjøres av endegitre som gir forkortede ender til de elektromagnetiske bølgene, men tillater strømmen å passere.
12. System ifølge krav 1, hvor den minst ene resonatoren er under den laveste grensefrekvensen i røret.
13. System ifølge krav 1, hvor minst to resonanser er ved grensefrekvenser til forskjellige bølgemodi i det samme røret.

Denne oppfinnelsen angår et målesystem for å måle egenskapene i en fluidstrøm, særlig en flerfasestrøm omfattende en andel vann.

I olje og gassproduksjon og –prosessering er det nødvendig å overvåke innholdet i og egenskapene til fluidstrømmen ettersom andelene av olje, gass og vann og saliniteten i vannet vil endres i løpet av produksjonen og vil påvirke den videre prosesseringen. Flere typer teknikk er blitt brukt til å innhente nødvendig informasjon for å finne andelene og saliniteten, så som akustiske målinger, trykk, gamma og elektriske målinger. Den foreliggende oppfinnelsen angår elektriske målinger brukt til å bestemme innholdet i blandinger av olje, gass og vann, og spesielt konduktiviteten til vannet i strømmen, som derved indikerer saliniteten og/eller vanninnholdet i strømmen. Oppløste salter i vannet gir vannet konduktivitet. Konduktiviteten avhenger av mengde og type av ioner i løsningen og av temperaturen. Vannet i en flerfasestrøm i oljeindustrien kan inneholde flere typer ioner, men de langt vanligste er Na^+ og Cl^- fra natriumklorid. Med saltholdighet mener vi her ekvivalentmengden av natriumklorid som gir samme konduktivitet som den faktiske løsningen, og den uttrykkes i vekt% av saltvannet.

Som nærmere beskrevet nedenfor, bruker løsningen ifølge den foreliggende oppfinnelsen en mikrobølgefremgangsmåte som primært gir et mål for konduktiviteten. Saliniteten kan beregnes fra konduktiviteten og temperaturen ved å bruke kjente modeller. På samme måte kan konduktiviteten beregnes fra saliniteten på ethvert tidspunkt ved å bruke den samme modellen invertert.

I US 6182504 drøftes en løsning der den dielektriske konstanten i blandingen måles sammen med temperaturen, og så fra disse målingene avgjøre hvorvidt strømmen er vann- eller oljekontinuerlig, og basert på denne avgjørelsen bestemme typen av måling som skal utføres.

En fremgangsmåte for å måle flerfasestrømmen er beskrevet i PCT-søknad WO 2005/057142. I dette tilfellet måles egenskapene i strømmen som en funksjon av frekvensen til det elektriske feltet som påtrykkes gjennom transduserne. Egenskapene i strømmen, eller mer presist de elektromagnetiske taps- og fasemålingene, måles i minst to retninger i strømmen, og graden av ringformet strøm bestemmes. Formålet med løsningen i WO2005/057142 er derved å korrigere for målefeil i spesifikke strømningsregimer, hovedsakelig det for ringformet strøm. Den måler tverrsnittet og nærmere veggen for å finne ut om det er en forskjell.

I internasjonal søknad WO2007/018434 finnes en løsning for å måle salinitet/-konduktivitet til vannet i en flerfasestrøm. Den er om å måle forskjellen i faseforskyvning ved to eller flere frekvenser med en transmisjonssensor laget av tre små antenner montert i rørveggen. Denne patentsøknaden angår bare målinger under vannkontinuerlige betingelser.

5 I WO2006/019311 beskrives en fremgangsmåte for å måle salinitet/konduktivitet i vannet i en våtgassstrøm. Denne patentsøknaden angår måling av steilheten til faseresponsen ved grensefrekvensen (cut-off frequency). Denne er knyttet til tapene forårsaket av konduktivitet, som er knyttet til salinitet/konduktivitet. Problemene med fremgangsmåten er knyttet til det faktum at fenomenet ikke er monotont, selv om dette ikke er nevnt i patentet
10 men vist nedenfor.

I WO2008085065 beskrives en resonator som måler på væskefilmen på rørveggen i en våtgassstrøm. Den er optimert for våtgass, dvs svært små mengder vann, og kan bli overfølsom med flerfasestrøm.

Ett problem knyttet til den kjente teknikk beskrevet ovenfor, er å innhente et mål for
15 konduktivitet/salinitet i en olje- eller gasskontinuerlig flerfase (inkludert våtgass)-strøm for å frembringe viktig informasjon slik som deteksjon/måling av formasjonsvann i våtgass, og for å gjøre en vannandels- eller våtgassmåler uavhengig av endringer i salinitet.

Som nevnt i US 6182504 kan resonans brukes i forhold til å finne konduktiviteten i en strøm. Dette er også beskrevet i og teoretisk drøftet i Ebbe Gustaf Nyfors, "Cylindrical
20 microwave resonator sensors for measuring materials under flow", doktoravhandling for graden Doctor of Science in Technology, Rapport S243, mai 2000, Helsinki University of Technology (ISBN 951-22-4983-9). Som beskrevet i doktoravhandlingen, lagrer en mikrobølgeresonator elektromagnetisk energi. I en målesituasjon mates energi inn i resonansen av den eksiterende kilden og lekkes ut gjennom ulike tapskilder. I tilfelle måling
25 på en blanding som inneholder små vandrdåper (droplets), er strømmene som induseres i de små dråpene én tapskilde. Konduktiviteten påvirker derfor resonansen. En resonator har to hovedtrekk, resonansfrekvensen og Q-faktoren. Begge påvirkes av den komplekse permittiviteten (også kalt den dielektriske konstanten). Det faktum at den er kompleks, betyr at den har både en reell og en imaginær del. Den imaginære delen påvirkes av
30 konduktiviteten. Med en olje- eller gasskontinuerlig blanding, som kan betraktes som et lavtapstilfelle (der den imaginære delen er langt mindre enn den reelle delen) fordi blandingen ikke er ledende som en helhet, vil resonansfrekvensen avhenge hovedsakelig av den reelle delen av permittiviteten og Q-faktoren også av den imaginære delen.

Doktoravhandlingen forklarer også at mikrobølgeresonatorer kan beskrives ved hjelp av bølgeledermodi i transmisjonslinjer, som i f eks hule bølgeledere. En resonator kan dannes enten i en sektor avgrenses av to reflekterende diskontinuiteter (som gitre eller en endring av grensefrekvens) eller av en hul bølgeleder ved grensen som beskrevet nedenfor.

5 Elektromagnetisk energi kan utbres i et hult rør (bølgeleder) som bølgemodi. I teorien er en bølgemodus et gitt feltnmønster som er en spesiell løsning til det elektromagnetiske problem i det gitte miljø der det tas hensyn til grensebetingelsene (f eks må det elektriske felt parallelt med metallveggen være null ved overflaten). Det er mange løsninger, dvs bølgemodi. Alle bølgemodi i hule rør har én ting felles, de har en såkalt grensefrekvens. Dette betyr at
10 bølgemodusen bare kan utbres ved frekvenser høyere enn grensefrekvensen. Men alle modi har forskjellige grensefrekvenser.

Hvis man lager en resonator som et rør og resonansfrekvensen er høyere enn den laveste grensefrekvensen, kan energien unnslippe og utbres bort i røret (med mindre den avgrenses av f eks reflekterende gitre). Dette øker resonatorens tap, dvs Q-faktoren blir
15 mindre. Fordi oppfinnelsen angår måling av konduktivitet basert på tapene den forårsaker i en resonator, dvs. at konduktiviteten reduserer Q-faktoren, er det lett å forstå at tapene forårsaket av stråling reduserer følsomheten og målenøyaktigheten. Hvis på den andre siden resonansfrekvensen er lavere enn den laveste grensefrekvensen i røret, kan ingen energi unnslippe ved stråling inn i røret og utbres bort på en bølgemodus. Resonatorstrukturen kan
20 derfor være relativt åpen (som finnesensoren beskrevet i WO99/063331) uten å forårsake ekstra tap som reduserer Q-faktoren.

En annen besynderlig ting ved bølgemodi er at energien utbres med en hastighet som avhenger av avstanden (i frekvens) fra grensefrekvensen. Jo nærmere grensen, jo langsommere er utbredelsen. Eksakt på grensefrekvensen utbres de ikke i det hele tatt.
25 Bølgemodusen er imidlertid eksitert eller startet, men energien forblir der den er eksitert. Dette er faktisk en resonans. Dvs at hver bølgemodus har en resonans ved grensen. Dette kan også brukes til måleformål. Denne resonansen er imidlertid ikke særlig god. Toppen har en gitt bredde, dvs en fordeling i frekvensdomenet. På den nedre siden av toppen av fordelingen ved resonans/grensefrekvensen gir røret strålingsbeskyttelse. På den øvre siden kan energien
30 lekke ut, fordi frekvensen er over grensen. Derfor er en slik resonanstopp noe asymmetrisk og brattere på lavfrekvenssiden. Den kan imidlertid brukes til måleformål. En måte er å måle bare den nedre halvdelen og så lage et speilbilde på oversiden for å konstruere en hel topp. En fordel med denne type resonator er at den er fullstendig ikke-invaderende. Det kreves bare noen sonder/antenner for å koble energien. Et eksempel på en høykvalitets grenseresonator er

den ovennevnte finnesensoren. Resonansen er en grenseresonans ved grensen til delen med finnen. I tillegg er resonatoren avgrenset av deler uten finne, som har en høyere grensefrekvens. Det faktum at den er avgrenset (dvs begrenset til delen med finne) har også en effekt på eksistens og plassering av de andre resonansmodi ved høyere frekvenser, og er derfor relevant for oppfinnelsen som beskrevet nedenfor.

Dermed kan en resonatorsensor brukes til å måle kompleks permittivitet under lavtapsforhold og er derfor en god løsning. Konduktiviteten påvirker den imaginære delen av permittiviteten, og vil derfor påvirke resonatorens Q-faktor. Problemet er at den imaginære delen av permittiviteten til en olje- eller gasskontinuerlig blanding ikke er en monoton funksjon av vannets konduktivitet. Derfor er endringen i Q-faktor ikke monoton som funksjon av konduktiviteten. Målingene er derfor tvetydige. Dette ses i praksis og forutses av Bruggemannligningen, som er en ligning for å beregne permittiviteten til en blanding fra permittivitetene til bestanddelene og volumandelene.

Tvetydigheten til Q-faktoren som funksjon av konduktivitet er, som brukt i systemet ifølge den foreliggende oppfinnelsen, en funksjon av frekvens. Ved å utføre den samme målingen på to frekvenser, kan man derfor finne konduktiviteten entydig som beskrevet nedenfor.

Et ytterligere formål med den foreliggende oppfinnelsen er således å frembringe et forenklet målesystem for nøyaktig og entydig overvåking av konduktiviteten til vannet i en olje- eller gasskontinuerlig eller våtgassstrøm. Dette utføres ved å bruke et målesystem som beskrevet i det følgende og er karakterisert som fremsatt i de selvstendige patentkravene.

Fremgangsmåten og systemet ifølge oppfinnelsen frembringer dermed en forbedret måling av konduktiviteten i strømmen ved å frembringe en måling ved to resonansfrekvenser, der den første resonansfrekvensen gir informasjon om vanninnholdet (vannandel eller vannvolumforhold), mens de to Q-faktorene også gir informasjon om vannets konduktivitet. De to resonansfrekvensene kan være i samme posisjon og resonator, men kan også frembringes i to forskjellige resonatorer, f.eks. med forskjellige grensefrekvenser slik som i et rør med to forskjellige diametre. Enhver sensorløsning som gir klare resonanser i strømmen kan brukes. Flere enn to resonansfrekvenser kan også brukes.

Den første resonansen kan være nær "grensefrekvensen". Våtgassmåleren eller en vannandelsmåler med et mikrobølgebaseret andelsmålesystem bruker typisk én resonansfrekvens til å finne permittiviteten i blandingen. Fra permittiviteten i blandingen og permittivitetene til bestanddelene kan blandingsforholdet, dvs. andelene, finnes. Q-faktoren til toppen påvirkes av tapene grunnet konduktiviteten i vannet, men er ikke utvetydig. Men fordi

fenomenet er frekvensavhengig kan man få en utvetydig måling av konduktiviteten ved å måle Q-faktoren til to topper. Dvs man velger en konstruksjon slik at to topper er tilgjengelig. Resonansfrekvensen brukes til å finne andelene (vannandel eller vannvolumforhold) og Q-faktorene til begge til å finne konduktiviteten. Dette er et minimum. Det er selvsagt mulig å
5 lage en korrelasjon, f eks ved å bruke nevrale nettverk til å lage forbindelsen mellom resonansfrekvensene, Q-faktorene, og andelene og konduktiviteten. Av de to resonansene kan én være en grense-type resonans (eller til og med begge hvis rørdiameteren endres som i en venturi).

En av resonansfrekvensene kan være eller ikke være en grenseresonans som beskrevet
10 ovenfor. Faktisk kan begge være grenseresonanser hvis rørdiameteren endres, f eks kan en måles i venturistrupen og den andre i det større røret opp- eller nedstrøms fra venturien. Kjernen i oppfinnelsen er å måle Q-faktoren til to resonanser ved forskjellige frekvenser. Fra dem kan konduktiviteten beregnes. Men generelt må vanninnholdet være kjent, og grovt frekvensene for Q-faktorene. En anbefalt prosedyre er derfor å måle begge
15 resonansfrekvensene og Q-faktorene, beregne vanninnholdet fra én resonansfrekvens og deretter vannets konduktivitet fra begge toppene.

Enhver resonator har en topp i innsettingstapet (dvs. dempingen av det gjennomgående signalet) når den måles i transmisjon med to (eller flere) sonder. På samme måte fremviser
20 enhver resonator en dipp i reflektert effekt (returtap) når den måles i refleksjon ved bruk av bare én sonde.

Det er også viktig å merke seg at frekvensresponsen til en resonator, enten målt i transmisjon eller refleksjon, har både en amplitude (effekt) og en fase, som beskrevet i doktoravhandlingen av Nyfors. Derfor kan resonansfrekvensen og Q-faktoren eller en annen parameter knyttet til tapene (som f eks faseresponsens steilhet), også bestemmes ved å måle
25 fase i stedet for effekt, eller begge.

I den foreliggende beskrivelsen kan "resonanstopp" også forstås som en "dipp" i spekteret, avhengig av den gitte sensoren og begrepet "Q-faktor" omfatter også tilknyttede variable slik som toppbredde, knyttet til kvaliteten og definisjonen av resonanstoppen. Mikrobølge skal også tolkes i vid forstand som essensielt dekker området i det
30 elektromagnetiske spektrum hvor resonans oppnås i strømmen. I tillegg brukes begrepet WVF (water volume fraction) for vannvolumforhold, vannandel eller vanninnhold.

Oppfinnelsen beskrives nedenfor med henvisning til de vedføyde tegningene, som illustrerer oppfinnelsen ved hjelp av eksempler.

Figur 1a illustrerer hovedkonstruksjonen til en konisk innsats i et rør. Bare én sonde vises, hvilket er nok til å måle i refleksjon.

Figur 1b illustrerer den målte transmisjonsfrekvensresponsen til en typisk konisk innsats som målt med to sonder. De første to resonansene vises, hvilke kunne brukes i

5 oppfinnelsen. I dette tilfellet tilhører begge resonansene samme resonator.

Figur 2a illustrerer hovedkonstruksjonen til en finneresonator.

Figur 2b illustrerer den målte frekvensresponsen til en finneresonator hvor de første to resonansene vises, hvilke kunne brukes i oppfinnelsen. I dette tilfellet tilhører begge resonansene samme resonator.

10 Figur 3 illustrerer et eksempel som bruker Bruggemannligningen til å beregne Q-faktoren til en blanding av diesel og vann, WC = 5%.

Figur 4 illustrerer den målte Q-faktoren til en koaksial resonator med en blanding av diesel og vann (WC = 5%) sammenlignet med den som ble beregnet fra Bruggemannligningen. T = 53,5 °C.

15 Figur 5 illustrerer den målte Q-faktoren i en våtgasstrøm som en funksjon av salinitet ved en frekvens på 300 MHz. WVF (vannvolumforholdet) var 0,1% og CVF (kondensatvolumforholdet) var 0,332%.

Figur 6 illustrerer den beregnede endringen i Q ved 500 MHz mot ved 1000 MHz forårsaket av konduktivitet. Punktene indikerer en salinitet på 0, 1, 5, 10 og 15%. Temperaturen er 20 °C.

Figur 1a illustrerer en konisk innsats 1 brukt som resonator i et rør 2 som beskrevet i ovennevnte WO2010/115883 med en koblingsenhet 3. Koblingsenheten 3 kan utgjøre en sonde for å tilføre det elektromagnetisk feltet og/eller avføle det elektromagnetiske feltet for formålet å bestemme resonansfrekvensen og Q-faktoren. Figur 1b illustrerer frekvensresponsen til en typisk konisk innsats i et frekvensområde omfattende to resonansfrekvenser 4, 5. En typisk rørdiameter kan være i området 50 mm til 245 mm, men dette kan variere avhengig av situasjonen.

Figur 2a illustrerer en alternativ resonator som utgjøres av en finne 6 som forløper inn i strømmen. Figur 2b illustrerer de to første resonanstoppene i denne konfigurasjonen basert på en indre rørdiameter på 146,4 mm med en finnelengde på omkring én rørdiameter.

Det vil være klart for en fagkyndig at flere konfigurasjoner kan komme i betraktning. Et enkelt rør uten hindringer vil ha en enkelt resonansfrekvens ved grensefrekvensen. Det er imidlertid mulig innen omfanget av den foreliggende oppfinnelsen å bruke to resonatorer ved

to forskjellige rørdiametre, som hver resonerer ved grensen, å sammenligne Q-faktorene (eller en annen parameter knyttet til tapene, som f.eks. fordelingsbredden eller faseresponsens steilhet) til å måle konduktiviteten ifølge oppfinnelsen. Resonans ved grensen vil også ha noe ekstra tap grunnet stråling ved utbredelse i røret på frekvenser over resonansfrekvensen, dvs. i den høyre halvdelen av fordelingen som fører til en usymmetrisk topp, hvilket reduserer nøyaktigheten i målingene av Q-faktor. For høy målenøyaktighet bør det derfor frembringes en struktur for å gi en resonansfrekvens under grensefrekvensen, mens en enkel grenseresonator som drøftet ovenfor er attraktiv ettersom den er fullstendig ikke-invaderende.

Figur 3 illustrerer et viktig aspekt ved den foreliggende oppfinnelsen ettersom den målte Q-faktoren avhenger av konduktiviteten til vannet i strømmen samt av resonansfrekvensen. Ved enhver enkelt frekvens er endringen av Q-faktor grunnet konduktivitet ikke monoton. Dermed kan Q-faktoren innta samme verdi for to forskjellige verdier av vannets konduktivitet. Men på grunn av frekvensavhengigheten vil måling av Q-faktoren ved to forskjellige frekvenser gi et unikt mål for konduktiviteten til vannet i strømmen.

Dette er også illustrert i figur 4 og 5. I figur 4 er Q-faktoren målt (*) og beregnet (-) mens vannets salinitet varieres i en kjent blanding av diesel og vann ved en resonansfrekvens på 941 MHz. I figur 5 er Q-faktoren i en våtgassstrøm målt som funksjon av salinitet ved en frekvens på 300 MHz. WVF (vannvolumforholdet) var 0,1% og CVF (kondensatvolumforholdet) var 0,332%.

Figur 6 illustrerer en sammenligning mellom to mengder av målinger ved to resonansfrekvenser, 500 MHz og 1000 MHz, med saliniteter på 0, 1, 5, 10 og 15%, fra 0% mot klokken med vannandel 2,5% og 5%. Endringen i Q-faktor ΔQ ved 500 MHz og 1000 MHz mellom salinitetene ved to vannandelsforhold definerte forskjellige kurver, og saliniteten kan dermed også finnes når vannandelen er kjent.

Resonansfrekvensene påvirkes primært av vannandelen eller WVF, men også som en sekundæffekt av saliniteten. Derfor oppgis saliniteten eller vannkonduktiviteten vanligvis manuelt gjennom brukergrensesnittet i vannandels- eller våtgassmålere. Hvis saliniteten varierer over tid, hvilket kan hende av ulike grunner, så vil dette påvirke målenøyaktigheten. Derfor er målerens evne til å måle saliniteten som ifølge den foreliggende oppfinnelsen gi en bedre nøyaktighet i vannandels- eller WVF-målingene, og særlig til å opprettholde nøyaktigheten over tid ettersom saliniteten endres. Og i tillegg er saliniteten viktig informasjon i seg selv, og derfor en viktig utdataparameter som et ekstra trekk ved en vannandels- eller våtgassmåler. Særlig med våtgass er saliniteten en indikator for produksjon

av formasjonsvann, hvilket er svært viktig informasjon. Men med hensyn til innhenting av salinitet og vannandel eller WVF: Hvert punkt i diagrammet definerer en unik kombinasjon av vannandel eller WVF og konduktivitet. Derfor trengs ikke forhåndskunnskap om vannandel/WVF for å kunne beregne konduktiviteten. Dvs at man vil få begge fra bare Q-faktorene. På den andre siden vil resonansfrekvensen gi et mer nøyaktig mål på vannandel/WVF. Derfor vil en anbefalt praksis være å utlede et første estimat for vannandel/WVF fra resonansfrekvensen til én av toppene og konduktiviteten fra Q-faktorene, deretter beregne en mer nøyaktig vannandel/WVF fra resonansfrekvensen, deretter forbedre konduktivitetsresultatet osv. Dermed vil en iterativ prosess gi best nøyaktighet for begge.

For å oppsummere, angår systemet ifølge oppfinnelsen altså et system for å måle konduktiviteten til vannet i en fluidstrøm som utgjøres av olje- eller gasskontinuerlige blandinger, omfattende en måledel med midler for å sende elektromagnetiske signaler inn i et rør som inneholder fluidet i minst ett valgt frekvensområde og midler til å detektere resonansfrekvenser i dette området. Målingen utføres fortrinnsvis ved å sende et frekvenssveip inn i røret og å måle responsen for å frembringe informasjon om resonansfrekvensene og Q-faktorene. Q-faktorer ifølge den foreliggende oppfinnelsen kan også forstås som omfattende faseresponsen eller fordelingsbredden uten direkte beregning av Q-faktorverdien.

Måledelen omfatter trekk for å frembringe minst to resonansfrekvenser i det minst ene frekvensområdet. Systemet omfatter også midler for, basert på minst én av resonansfrekvensene, en første Q-faktor tilknyttet den tilhørende resonanstopp samt Q-faktoren til en andre resonanstopp, å beregne konduktiviteten til vannet i strømmen. Beregningene baseres altså på minst én målt resonansfrekvens og to Q-faktorer. Den andre resonansfrekvensen kan valgfritt også bestemmes for å øke nøyaktigheten.

Måledelen kan fortrinnsvis omfatte en innsats eller annen struktur i strømmen, hvilket resulterer i en resonansfrekvens som er lavere enn grensefrekvensen til røret eller grensefrekvensen i hver ende av måledelen, og dermed kan gjøre det mulig at strukturen er relativt åpen og lite invaderende, og fortsatt ha en høy Q-faktor. En høy Q-faktor (dvs lave samlede tap) muliggjør høy følsomhet overfor tapene som skyldes konduktiviteten i vannet. Innsatsen kan velges fra et bredt utvalg strukturer slik som en konisk innsats, finne eller enhver struktur som gir en definert refleksjon på to steder (så som to metallgitre eller andre åpne eller kortsluttede ender i en transmisjonslinjestruktur, som den åpne enden og enden kortsluttet av beina til den koniske innsatsen eller endene av finnene) for å oppnå en resonans mellom de reflekterende stedene. To forskjellige resonansfrekvenser kan oppnås med to

strukturer som har to forskjellige resonansfrekvenser eller fortrinnsvis ved å frembringe en innsats som gir to resonansfrekvenser i området av utsendte frekvenser. Flere enn to resonansfrekvenser og Q-faktorer kan også benyttes.

5 Måleseksjonen kan også fortrinnsvis omfatte et enkel rør, som beskrevet ovenfor, som i så fall er en grenseresonator. Denne strukturen foretrekkes hvis ikke-invaderende egenskaper har høyst prioritet. Analogt med refleksjonspunkt i resonatorer dannet av innsatser, danner de motsatte sidene av røret refleksjonspunkter ettersom utbredelsen ved grensefrekvensen er rent radial. Fordi oppfinnelsen krever et minimum på to resonanser, må en grenseresonator kombineres med enten en annen grenseresonator hvor rørdiameteren er forskjellig (som i 10 venturistrupen), en resonator basert på en annen struktur (slik som en innsats), eller en annen bølgemodus kan brukes. Fordi en bølgeleder kan understøtte et antall forskjellige bølgemodi, som alle har forskjellige grensefrekvenser, er det mulig å bruke to forskjellige grensefrekvenser i samme rør. Det må da tas hensyn til valg av modi og valg av type og plassering av koblingsenheter slik at det ikke vil lekke effekt fra modusen med den høyere 15 grensefrekvensen til den med lavere grensefrekvens. Det kan være hensiktsmessig å bruke separate koblingsenheter for de to minst to modi. De kan da monteres på steder hvor den andre modusen har null elektrisk felt, og derfor kun kobler til den ønskede modusen.

Beregningen omfatter en sammenligning mellom de målte verdiene og en i det minste delvis empirisk modell basert på en kjent målesituasjon lagret i systemet. Alternativt utføres 20 beregningen av resonansfrekvens og Q-faktorer i en nevral nettverksmodell, og knyttet dermed til en modell funnet og lagret av datamaskinen som et resultat av tidligere målinger og/eller en forhåndsbestemt modell. Resonansfrekvensene og Q-faktorene ville normalt bli beregnet på "vanlig" måte fra den målte frekvensresponsen/sveip. Deretter kan et nevral nettverk eller en multivariabelanalysebasert modell brukes til å finne vannets konduktivitet. 25 Det kan også vurderes å mate inn råmålingene direkte uten å beregne resonansfrekvensene og Q-faktorene i det hele tatt.

Deteksjon av resonansen (resonansfrekvensen og Q-faktoren) kan utføres ved forskjellige typer målinger, som for eksempel beskrevet i kapittel 3 i Nyforsrapporten eller i andre av de refererte dokumentene, og drøftes ikke nærmere her. Bestemmelsen av hver Q- 30 faktor er også kjent i seg selv, f.eks. fra de ovennevnte publikasjonene.

Patentkrav

1. System for å måle konduktivitet i en flerfaset fluidstrøm, omfattende en andel vann, der systemet omfatter en måledel med midler for å sende elektromagnetiske signaler inn i et
5 rør som inneholder fluidet i minst ett valgt frekvensområde og midler for å detektere resonanser i området,
der måledelen omfatter trekk for å frembringe minst to resonanser i det minst ene frekvensområdet, der systemet også omfatter midler for, basert på minst en første resonansfrekvens og en første Q-faktor tilknyttet den tilhørende resonanstoppen samt Q-
10 faktoren til en andre resonanstopp, å beregne konduktiviteten til vannet i strømmen.
2. System ifølge krav 1, hvor måledelen omfatter en innsats i strømmen, f eks en konus eller finne som definerer en resonator i røret.
- 15 3. System ifølge krav 1, hvor beregningen omfatter en sammenligning mellom de målte verdiene og en minst delvis empirisk modell basert på en kjent målesituasjon.
4. System ifølge krav 1, hvor den andre resonansfrekvensen detekteres.
- 20 5. System ifølge krav 1, hvor beregningen av konduktivitet utføres i en nevrall nettverksmodell.
6. System ifølge krav 1, hvor beregningen av resonansfrekvens og Q-faktorer utføres i en nevrall nettverksmodell.
- 25 7. System ifølge krav 1, hvor minst én av resonansene er ved laveste grensefrekvens for røret.
8. System ifølge krav 7, omfattende to måledeler, hver med midler for å sende
30 elektromagnetiske signaler inn i et rør som inneholder fluidstrømmen i minst ett valgt frekvensområde og midler for å detektere resonansfrekvenser i området, der de to måleseksjonene har forskjellige resonansfrekvenser, der de første og andre Q-faktorene blir funnet for den første og andre måleenheten.

9. System ifølge krav 8, hvor begge resonatorene frembringer resonans ved grensefrekvensen, f.eks. én i tørtet og den andre i en forsnevring som venturistrupen, eller i en utvidelse.

5

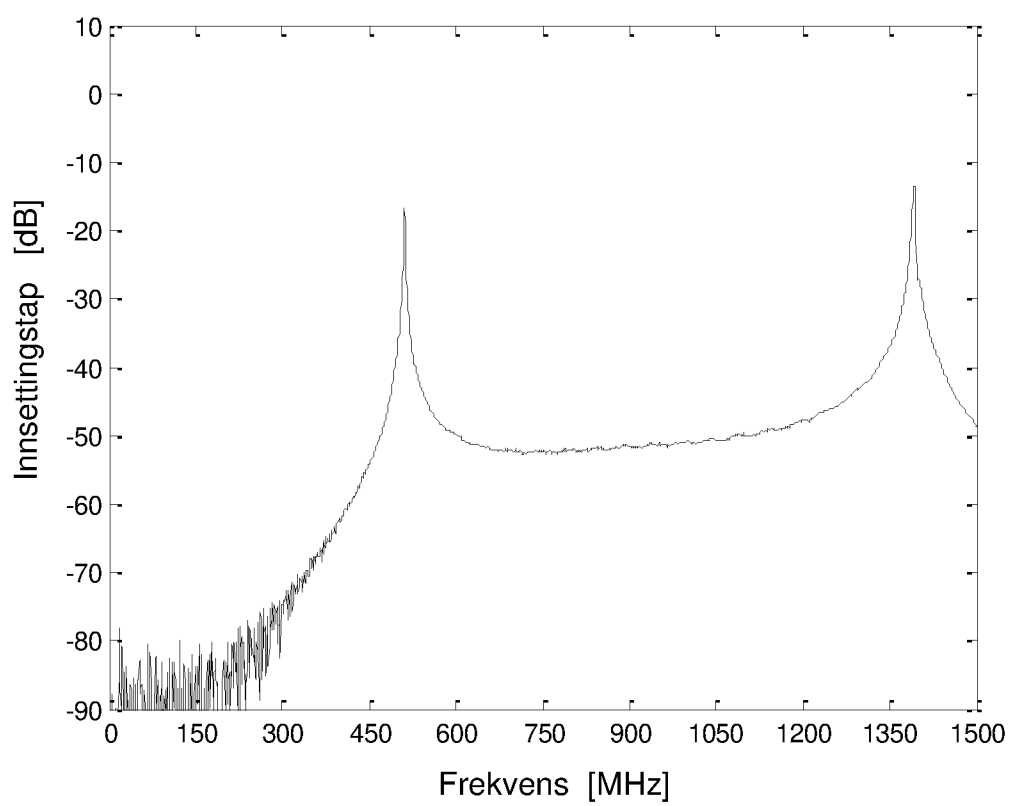
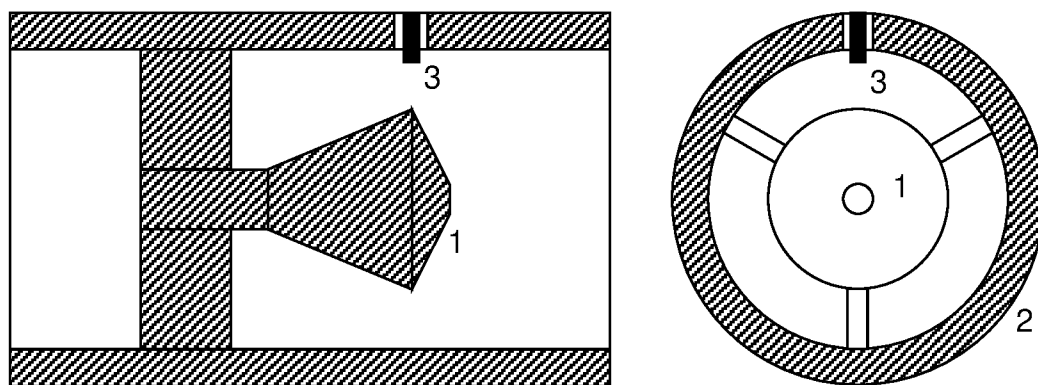
10. System ifølge krav 1, omfattende midler for å måle faseresponsen i et område rundt hver resonansfrekvens, hvor Q-faktorene er beregnet fra den målte stigningen til faseresponsen.

10 11. System ifølge krav 1, hvor den minst ene av resonatorene utgjøres av endegitre som gir forkortede ender til de elektromagnetiske bølgene men tillater strømmen å passere.

12. System ifølge krav 1, hvor den minst ene resonatoren er under den laveste grensefrekvensen i røret.

15

13. System ifølge krav 1, hvor minst to resonanser er ved grensefrekvenser til forskjellige bølgemodi i det samme røret.



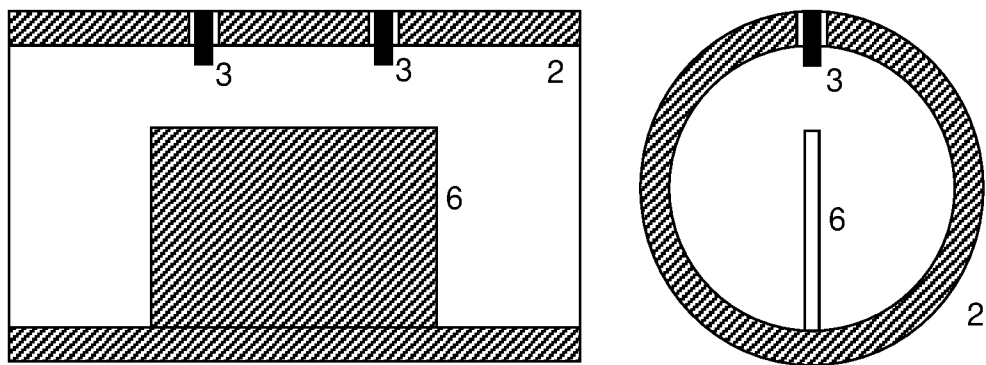


Fig. 2a

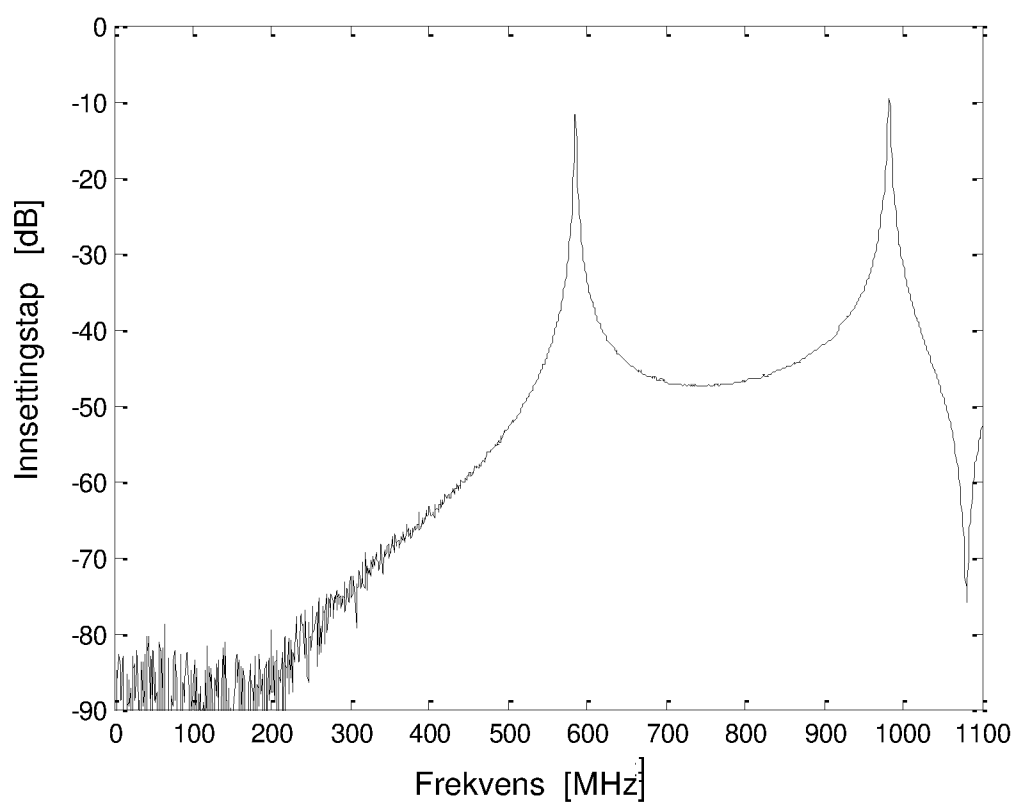
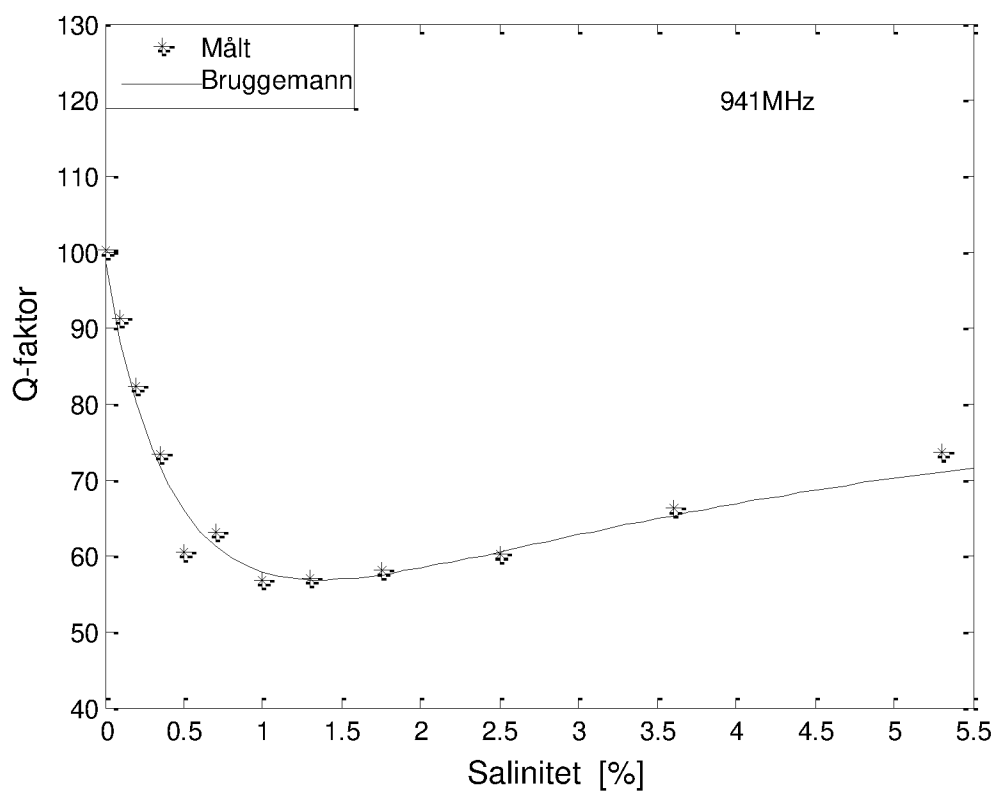
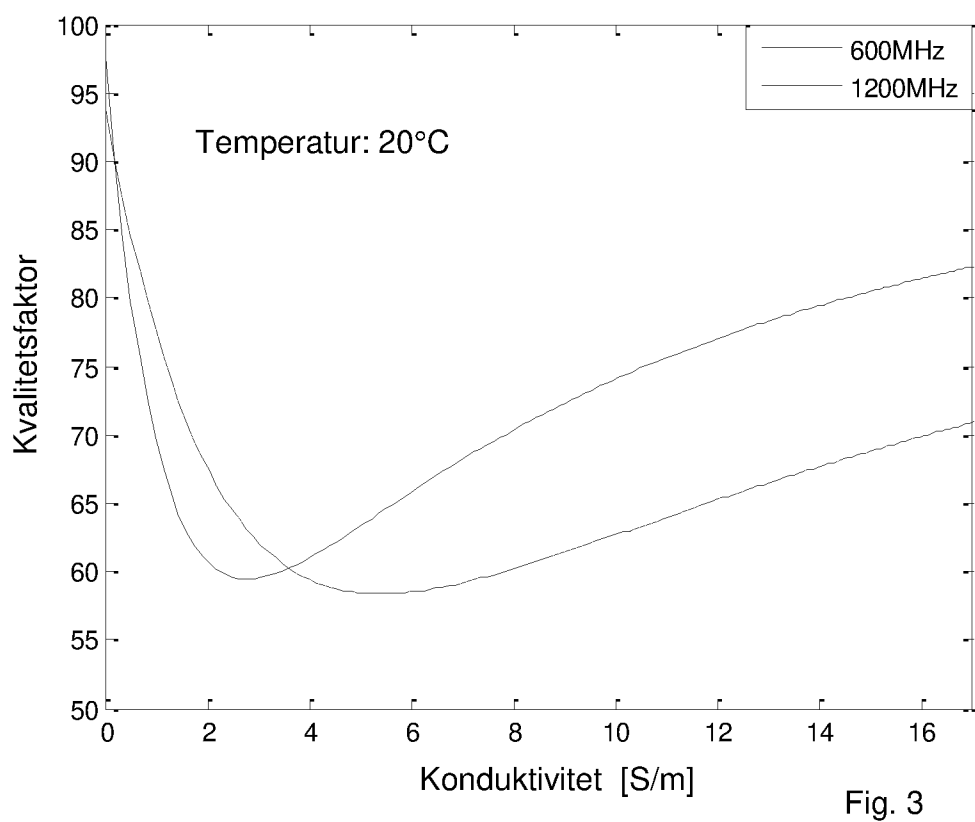


Fig. 2b



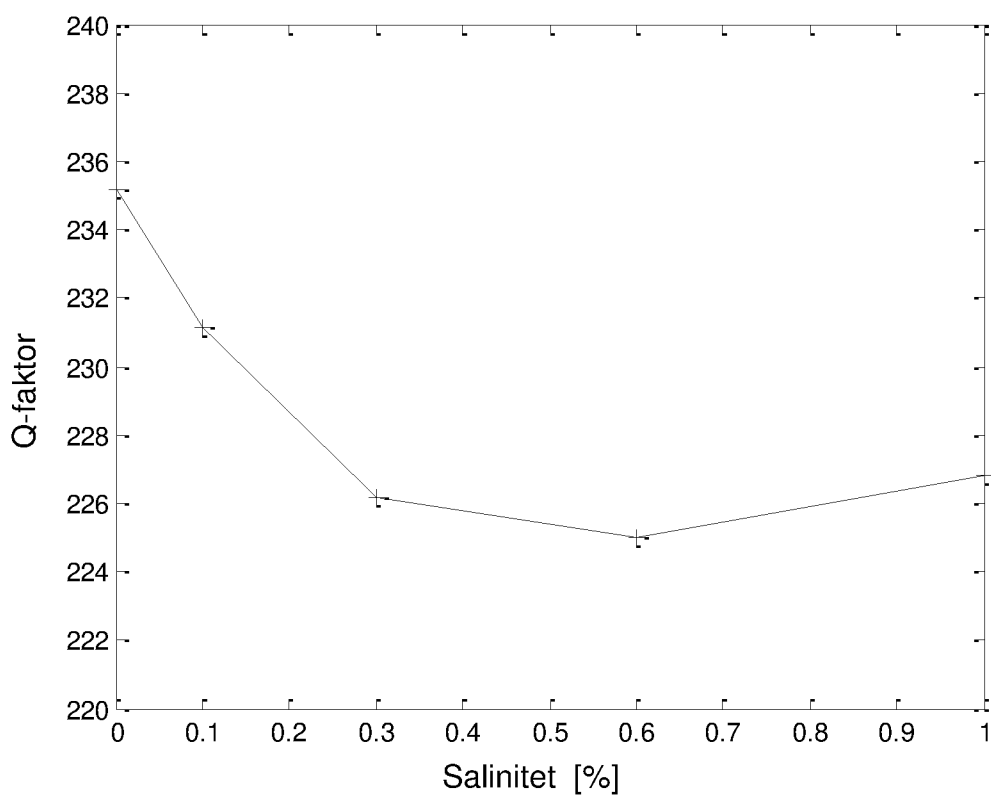


Fig. 5

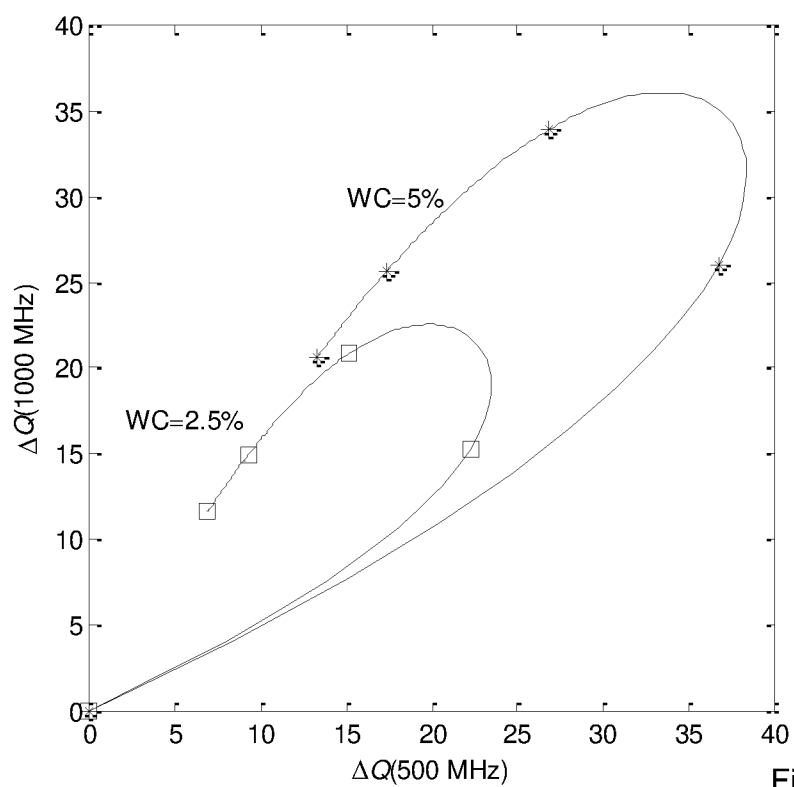


Fig. 6