



(12) **PATENT**

(19) NO

(11) **328800**

(13) **B1**

NORGE

(51) Int Cl.

G01M 3/24 (2006.01)

F04B 51/00 (2006.01)

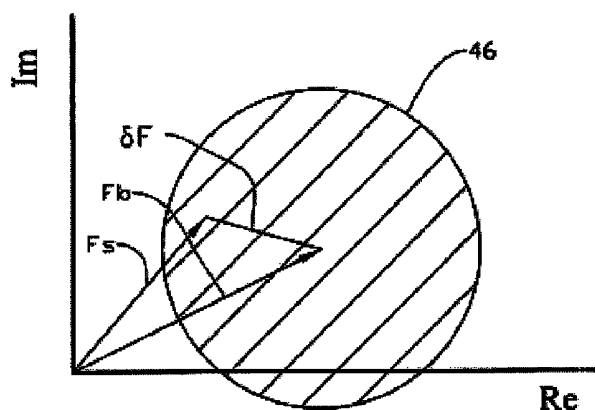
Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20072236	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr
(22)	Inng.dag	2007.04.30	(85)	Videreføringsdag
(24)	Løpedag	2007.04.30	(30)	Prioritet
(41)	Alm.tilgj	2008.10.31		
(45)	Meddelt	2010.05.18		
(73)	Innehaver	National Oilwell Norway AS, Postboks 8181, 4069 STAVANGER, Norge		
(72)	Oppfinner	Åge Kyllingstad, Hogstadbakken 8, 4330 ÅLGÅRD, Norge		
(74)	Fullmektig	Håmsø Patentbyrå ANS, Postboks 171, 4302 SANDNES, Norge		

(54)	Benevnelse	Fremgangsmåte for å detektere en fluidlekkasje tilknyttet en stempelmaskin
(56)	Anførte publikasjoner	WO 200109576 A1, WO 2006112721A1, GB 2413850 A, JP 6323945 A
(57)	Sammendrag	

En fremgangsmåte for å detektere en fluidlekkasje tilknyttet minst én stempelmaskin (1), hvor fremgangsmåten innbefatter:

- å anbringe en vibrasjonføler (38, 40) på minst én av en oppstrømsrørledning (8) eller en nedstrømsrørledning (14) til stempelmaskinen (1);
- å måle vibrasjonen ved den minst ene vibrasjonføler (38, 40);
- å feste på den minst ene stempelmaskin (1) en føler (32) som gir et signal for beregning av rotasjonshastigheten og akselposisjon til den minst ene stempelmaskin (1);
- å beregne rotasjonshastigheten og angulære akselposisjon til den minst ene stempelmaskin (1);
- å beregne minst én kompleks harmonisk Fourieramplitude av det målte vibrasjonssignal;
- å lavpassfiltrere nevnte amplitude;
- å beregne avviksamplituden som størrelsen av en kompleks differanse mellom omtalte filtrerte amplitude og en basisamplitude; og
- å overvåke omtalte avviksamplitude (46) for å oppdage en lekkasje.



FREMGANGSMÅTE FOR Å DETEKTERE EN FLUIDLEKKASJE TILKNYTTET EN
STEMPELMASKIN

Den foreliggende oppfinnelse angår detektering av en fluid-
lekkasje relatert til en stempelmaskin. Mer spesifikt angår
5 oppfinnelsen en fremgangsmåte for detektere fluidlekkasje re-
latert til minst én stempelmaskin, hvor fremgangsmåten innbe-
fatter:

- å feste en vibrasjonsføler på minst ett av et oppstrømsrør
eller et nedstrømsrør til stempelmaskinen;
- 10 - å måle vibrasjonen ved den minst ene vibrasjonsføler;
- å feste til den minst ene stempelmaskin en føler som gir et
signal for beregning av rotasjonshastigheten og akselposisjo-
nen til den minst ene stempelmaskin;
- å beregne rotasjonshastigheten og akselposisjonen til den
15 minst ene stempelmaskin;
- å beregne minst én kompleks harmonisk Fourier-amplitude av
det målte vibrasjonssignal;
- å lavpassfiltrere nevnte amplitude;
- å beregne den avvikende amplitude som størrelsen på en
20 kompleks differanse mellom nevnte filtrerte amplitude og en
basisamplitude; og
- å overvåke nevnte avviksamplitude for å detektere en lekka-
sje.

Lekkasje i denne sammenheng dekker et bredt spekter av funk-
sjonsfeil som har til felles at de fører til sykliske fall i
25

strømningsraten gjennom maskinen, relativt til en normal situasjon uten noen defekte komponenter. Eksempler på slike funksjonsfeil er:

- feil i stempeltetning;
- 5 - defekter i ventiltetning som medfører en omvendt strømning forbi tetningen i løpet av lukketiden til tetningen, og
- en ødelagt ventilreturfjær som forårsaker en forlenget forsinkelse av ventillukkingen.

Påvisning og lokalisering av lekkasjer relatert til stempelmaskiner (heretter omtalt som pumper for enkelhets skyld) er 10 viktig for å begrense kostnader og driftstans relatert til ventil- og pumpefeil. Dagens praksis tilveiebringer ingen sikker måte til å oppdage og lokalisere lekkasjer.

Det er velkjent at en lekkasje i én eller flere ventiler eller 15 stempler vil føre til et fall i den totale strømming og at dette fall, i sin tur, vil føre til et fall i utgangstrykket. Imidlertid kan et slikt trykkfall også skyldes lekkasjer utenfor pumpen eller til og med reduksjoner i strømningsmotstanden som ikke er relatert til lekkasjer. Slike reduksjoner 20 kan komme fra endringer i fluidtemperatur og viskositet, eller fra en "bypass" i én eller flere strømningsrestriktorer. Et trykkfall kan derfor ikke alene brukes til å lokalisere lekkasjen.

En lekkasje i en ventil eller et stempel kan manifestere seg 25 på flere måter som kan fanges opp av forskjellige følere. De mest påfallende endringene på grunn av en økende lekkasje er:

- utgangstrykket begynner å falle, forutsatt at trykkfallet ikke kompenseres ved en økning av den totale pumperate.
- utgangstrykket til en pumpe begynner å variere syklisk med 30 en periode som er lik pumperotasjonsperioden.
- sugetrykket til en pumpe begynner også å variere syklisk med den samme periode.

- lavfrekvente og sykliske vibrasjoner øker, spesielt på fleksible slanger, både høytrykksslangen og lavtrykksslangen.

Alle de nevnte lekkasjeindikatorer kan brukes, enten som frittstående indikatorer eller i kombinasjon med de andre.

5 Det er velkjent at trykkets lavere, harmoniske svingninger, spesielt de første og andre harmoniske svingninger, øker i størrelse etter hvert som lekkasjen utvikler seg og den motsatte strømming gjennom ett av stemplene eller ventilene øker, se US-patent 570597.

10 Erfaring har vist at det er vanskelig å normalisere trykkkomponenten til den første harmoniske svingning slik at den er nesten uavhengig av hastighet og gjennomsnittstrykk. Dette skyldes det faktum at et dynamisk trykk er en komplisert funksjon av frekvensen til lekkasjestrømningsvariasjonene og
15 rørledningsgeometrien, oppstrømsrørledningsgeometri for sugetrykket og nedstrømsrørledningsgeometri for utgangstrykket.

WO-dokument 03/087754 beskriver en metode som anvender en kombinasjon av aktive hastighetsvariasjonstester og analyse av harmoniske svingninger for både å kvantifisere og lokali-
20 sere lekkasje. Imidlertid har erfaring vist at denne metode ikke fungerer tilfredsstillende i feltomgivelser.

WO 200109576 beskriver en fremgangsmåte for fjernstyrt å overvåke en maskin. Under drift måles vibrasjoner ved hjelp av minst ett akselerometer som er montert på maskinen. Signa-
25 let fra akselerometeret kan behandles ved hjelp av Fourieranalyse. Det dreier seg her om en vibrasjonsbasert tilstands- overvåkning, og ikke en lekkasjedeteksjon.

WO 2006112721 beskriver lekkasjedeteksjon ved hjelp av strømningsvariasjoner som blir estimert fra trykkmålinger og akti-
30 ve tester. Dokumentet omhandler ikke vibrasjoner.

Hensikten med oppfinnelsen er å øke kosteffektiviteten ved

utvinning av petroleum i en reservoarbergartsformasjon.

Hensikten oppnås i henhold til oppfinnelsen ved de egenskaper som fremlegges i beskrivelsen nedenfor og de etterfølgende patentkrav.

- 5 En fremgangsmetode i henhold til oppfinnelsen for å detektere en fluidlekkasje tilknyttet minst én stempelmaskin innbefatter:
- å anbringe en vibrasjonsføler på minst ett av et oppstrømsrør eller et nedstrømsrør til stempelmaskinen;
 - 10 - å anbringe på den minst ene stempelmaskin en føler som gir et signal for beregning av rotasjonshastigheten og akselposisjonen til den minst ene stempelmaskin;
 - å beregne rotasjonshastigheten og akselposisjonen til den minst ene stempelmaskin;
 - 15 - å beregne minst én kompleks harmonisk Fourier-amplitude til det målte vibrasjonssignal;
 - å lavpassfiltrere nevnte amplitude;
 - å beregne den avvikende amplitude som størrelsen på en kompleks differanse mellom nevnte filtrerte amplitude og en
 - 20 basisamplitude; og
 - å overvåke nevnte avviksamplitude for å detektere en lekkasje.

Det er svært fordelaktig å overvåke avvikene til de dynamiske variasjonene i stedet for bare amplitudene. Årsaken er at de

25 observerte variasjoner kan bestå av flere komponenter med forskjellige faser. Hver komponent kan ses på som en vektor, karakterisert ved at de har både en lengde og retning, og den totale dynamiske komponent er vektorsummen. Det kan ofte forekomme at lengden av vektorsummen er mindre enn lengden til

30 den største komponent.

Som et eksempel vil utilstrekkelig avbalansering av stempel-

maskinen forårsake en syklisk, første harmonisk bevegelse. Når en lekkasjebevirket bevegelse blir lagt ovenpå denne ubalansebevegelse, er det ikke usannsynlig at retningene eller fasene avviker med mer enn 90° , noe som gjør at resultantamplituden faller når en lekkasje oppstår. Ved å overvåke avviksamplituden i stedet for resultantamplituden, kan en voksende lekkasje oppdages selv om resultantamplituden minker.

Overvåking av avvik innbefatter at referanse- eller basisverdier må etableres før et avvik kan bli oppdaget. Prosedyren for å finne basislinjeverdiene blir fremlagt nedenfor.

Vibrasjonenes lavere, harmoniske svingninger kan beregnes på flere måter. Én fremgangsmåte er å anvende standard Fouriertransformasjon av en tidsoppteignelse og velge de komponenter som korresponderer med pumpens harmoniske svingninger. En mer nøyaktig fremgangsmåte som er foretrukket dersom pumpehastigheten og/eller samplingstidsintervallene varierer, er å bruke en Fourier-analyse basert på den målte, angulære akselposisjon θ som vist nedenfor.

Nedenfor anvendes kompleks notasjon hvor $i = \sqrt{-1}$ er den imaginære enhet. De komplekse Fourier-koeffesientene til en dynamisk, tidsavhengig variabel f er gitt av

$$F_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f \cdot e^{ik\theta} d\theta = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f \cdot \cos(k\theta) d\theta + \frac{i}{\pi} \int_0^{2\pi} f \cdot \sin(k\theta) d\theta \quad (E1)$$

hvor k er et positivt heltall som representerer ordenstallet til den harmoniske svingning, det vil si det harmoniske tallet. I prinsippet kan hvilken som helst av vibrasjonssignalets harmoniske svingninger brukes som lekkasjeindikator, men den første harmoniske svingning er normalt den mest følsomme og den mest passende å bruke. Med mindre annet er oppgitt antas det at $k=1$, og at den harmoniske indeks av bekvemmelighet

vil være utelatt. Integralene må implementeres ved summasjoner i en datamaskin, i henhold til velkjente teknikker for numeriske integrasjoner. Amplitudene blir oppdatert ved hver av pumpens avsluttede omdreining.

- 5 Den komplekse amplitude definert ovenfor kan anses som en vektor i det komplekse plan. Lengden av denne vektor, som er lik størrelsen til den komplekse amplitude, er ikke egnet til tidlig påvisning av lekkasje siden amplituden er disponert for fluktuasjoner dersom det er mye støy eller ikke-
- 10 harmoniske variasjoner til stede i signalet, og signalet kan også innbefatte ekte harmoniske variasjoner som ikke kommer fra en lekkasje.

Å anvende et glattefilter på den komplekse amplitude vil effektivt redusere forstyrrelsene fra støy og ikke-harmoniske variasjoner. Glatting, som er et annet ord for lavpassfiltre-

15 ring, vil dempe alle komponenter unntatt de sanne, harmoniske komponenter. Et bredt spekter av lavpassfiltertyper kan anvendes. Generelt vil dempningen være mer effektiv jo lavere grensefrekvensen og jo brattere "roll-off"-raten til filteret

20 er. Imidlertid er ulempen med en svært lav grensefrekvens en dårlig responstid, noe som betyr at påvisningen av raskt voksende lekkasjer blir forsinket.

Å overvåke avviksamplituden i stedet for variasjonsamplituden løser problemet med forstyrrende, harmoniske basisvariasjoner

25 som ikke stammer fra en voksende lekkasje. Avviksamplituden er definert av

$$\delta F = |F_s - F_b| \quad (\text{E2})$$

som derved representerer størrelsen eller lengden til den komplekse differanse mellom den glattede amplitude F_s og basisamplituden F_b . En alarm burde utløses når dette avviksamp-

30

lituden overstiger en viss alarmgrense. De normale forhold som ikke avviker for mye fra basisforholdene er fremstilt som et skravert sirkelformet område i figur 2. Fremgangsmåter for å finne basisamplituden F_b og den maksimale avviksamplitude δF blir beskrevet nedenfor.

Dersom den laveste, harmoniske svingning fra kun én sensor anvendes, er det en risiko for at avviksamplituden vil reagere dårlig på en lekkasje, fordi føleren er plassert nær en node til en stående bølge, eller den lekkasjebevirkede bevegelse er polarisert i en retning med lav følersensitivitet. For å gjøre denne risiko så liten som mulig, kan fremgangsmåten beskrevet ovenfor generaliseres til å anvende multiple harmoniske svingninger og/eller multiple følere. Tilleggsfølerne kan enten være ved det samme sted, men har forskjellig retning, eller de kan være plassert på forskjellige steder. Fra hver kombinasjon av harmoniske svingninger k og steder/retninger δF_{kl} beregnes en partiell avviksamplitude ved bruk av prosedyren skissert ovenfor. Disse partielle amplituder kan enkelt kombineres til en global avviksamplitude definert som kvadratroten av en veid sum av kvadratet av de partielle avviksamplitudene:

$$\Delta F = \sqrt{\sum_{kl} w_{kl} (\delta F_{kl})^2} \quad (E3)$$

hvor w_{kl} er valgte vektfactorer. Dersom alle partielle avviksamplituder er forventet å være av samme størrelsesorden, kan vektfactorene simpelthen være en konstant lik enhet dividert med antall kombinasjoner. Da er den globale variasjonsamplituden kvadratisk middelveid av alle partielle vibrasjonsamplituder.

Fremgangsmåten med å anvende multiple vibrasjonsfølersignaler kan ytterligere generaliseres til å innbefatte harmoniske

trykkvariasjoner, målt enten på høytrykkssiden og/eller lavtrykkssiden. Avviksamplituden for trykkene kan finnes på samme måte som vibrasjonsavviksamplitudene, men de må reskaleres og omformes til ekvivalente forskyvningsamplituder ved å velge en riktig skaleringsfaktor. Som et eksempel, dersom en lekkasje typisk genererer en avviksforskyvningsamplitude på 1 mm og en første harmoniske utgangstrykkvariasjon på 1 bar, kan skaleringsfaktoren for dette trykket være 1 mm/bar.

Hovedfordelene med å kombinere flere harmoniske svingninger og/eller målesignaler til én global avviksamplitude er:

- risikoen for å treffe en tilstand eller frekvens med svært lav lekkasjerrespons er minimert; og
- logikken for å utløse lekkasjealarmen basert på multiple signaler er svært forenklet.

Som nevnt i beskrivelsen av kjent teknikk, er de lavere harmoniske svingningene til pumpevibrasjonen nært tilnyttet den sykliske lekkasjestrømningen og til de korresponderende variasjoner til sugetrykket og utløpstrykket.

I henhold til oppfinnelsen blir en lekkasje detektert, vanligvis på et tidlig stadium, ved å overvåke de laveste vibrasjonsharmoniske svingningene til rørledningen eller fleksible slanger. De vibrasjonsharmoniske svingninger blir beregnet med henvisning til hver pumpes angulære posisjon.

I en foretrukket utførelse blir en vibrasjonsføler anbrakt på den mest bevegelsessensitive del av rørledningen, for eksempel på utsiden av midtpartiet til den fleksible høytrykkslange, og overvåker de lavfrekvente vibrasjoner. Vibrasjonsføleren er typisk et akselerometer, men hastighets- eller forskyvningsfølere kan brukes som alternativ. Fordi akselerasjonsamplituder, i motsetning til forskyvningsamplituder, har en tendens til å øke raskt med pumpens rotasjonshastighet,

anbefales det å overvåke vibrasjonsamplituden i form av forskyvningsamplitude. Forskyvningsamplituden kan utledes selv fra et akselerometersignal ved å tidsintegre råsignalet to ganger før den harmoniske analyse anvendes. Denne metode har imidlertid den ulempe at hvert integrasjonssteg må kombineres med et såkalt AC-filter for å unngå ukontrollert vekst av DC-komponenter eller langsomt varierende støykomponenter. For å unngå dette problemet anbefales det å bruke en forskjellig prosedyre som kort skisseres nedenfor.

Det er velkjent for en fagperson at Fourier-transformeringen av en tidsintegrert variable er lik Fourier-transformeringen av den variable selv delt med den imaginære faktor $i\omega$ hvor ω betegner vinkelfrekvensen. Når frekvensene begrenses til kun pumpens harmoniske svingninger, kan vi sette $\omega=k\Omega$, hvor k er det harmoniske svingningstall og Ω er pumpens angulære rotasjonshastighet. Fordi forskyvningen er tidsintegralet av hastighet, kan forskyvningsamplituden til harmonisk svingning nummer k finnes fra den korresponderende hastighetsamplitude ved å dele med $ik\Omega$. På samme måte kan forskyvningsamplituden finnes fra akselerasjonsamplituden ved å dele den siste to ganger med samme faktor, eller bare $-(k\Omega)^2$ siden $i^2=-1$.

Hver av lekkasjeindikatorerne beskrevet ovenfor vil ha en basislinje som kan endre seg mye med varierende forhold, slik som pumpehastighet og utgangstrykk. Dersom disse indikatorer skal brukes til å utløse lekkasjealarmer, kan ikke deres normalbånd eller alarmgrenser være faste.

I en foretrukket utførelse blir basisverdiene og alarmgrensene satt automatisk etter følgende prosedyre:

- Når en vesentlig endring i strømmingstilstandene oppdages, for eksempel rotasjonshastigheten til minst én av pumpene, startes en karantenetidsmåler. Varigheten til

karantenetiden må være tilstrekkelig lang til at transiente forandringer i de dynamiske amplituder dør ut, typisk noen få tiendedels sekunder.

- 5 • I denne karantenetiden er de lavpassfiltrerte amplituder frosset, transientendringene ignorert og alarmlogikken koplet ut.
- Mot slutten av karantenetiden startes en tidsmåler for basisberegning. Varigheten av denne basisberegningssperioden er typisk 2-10 ganger lenger enn karantenetiden.
- 10 • Mot slutten av beregningsperioden blir basisverdiene for de komplekse variasjonsamplitudene satt lik gjennomsnittsverdiene målt i løpet av beregningsperioden, og alarmgrensene for avviksamplituden blir fastsatt. Grensene kan være relative, som blir satt til en brøkdel av basisverdistorrelsen, eller absolutte. I ytterligere ut-
15 førelse kan alarmgrensene fastsettes fra mer avanserte funksjoner ved også å ta i betraktning de målte variasjoner og ekstreme verdier.

Etter denne beregningsperiode, og mens stempelmaskinene går
20 under stabile forhold, blir alarmgrensene holdt konstante, noe som betyr at en alarm blir utløst dersom avviksamplituden, eller den globale avviksamplitude, overskrider alarmgrensen.

Den automatiske oppdatering av basisverdier og alarmverdier
25 for avviksamplitudene bør fortrinnsvis bli utført for alle pumper selv om hastigheten til bare én pumpe blir vesentlig endret. Dette er viktig siden det totale strømnings- og utløpstrykk kan påvirke baseamplitudene for alle pumper som er i drift.

30 Ikke bare lærer oppfinnelsen en relativt enkel fremgangsmåte

for å detektere en lekkasje, den gjør det også mulig å vise til hvilken pumpe som lekker.

I det følgende blir det beskrevet et eksempel på bruk av fremgangsmåten illustrert ved de medfølgende tegninger, i
5 hvilke:

Figur 1 viser skjematisk en pumpe med oppstrøms- og nedstrøms rørledningstilkoplinger; og

Figur 2 viser en glattet verdi og basisverdi for den harmoniske svingningsamplitude som vektorer i det komplekse plan, og alarmgrensen for avviksamplituden
10 som omkretsen til en sirkel med sitt senter ved enden av basisamplitudevektoren.

På tegningene betegner henvisningstallet 1 en såkalt triplekspumpe, nedenfor betegnet pumpe, utstyrt med tre individuelt virkende stempler 2, som beveger seg gjennom sine
15 respektive sylindre 4. Bare det første stempel 2 og korresponderende sylindere 4 er vist. Sylindrene 4 kommuniserer med en inngangsmanifold 6 og en oppstrømsrørledning 8 gjennom sine respektive inngangsventiler 10, og en utgangsmanifold 12
20 og en nedstrømsrørledning 14 gjennom sine respektive inngangsventiler 16.

En første fleksibel forbindelse 18 er innbefattet i oppstrømsrørledningen 8 mens en andre fleksibel forbindelse 20 er innbefattet i nedstrømsrørledningen 14.

25 En inngangstrykkføler 22 er koplet til inngangsmanifolden 6 og kommuniserer med en datamaskin 24 via en kabel 26, og en utgangstrykkføler 28 er koplet til utgangsmanifolden 12 og kommuniserer med en datamaskin 24 via en kabel 30. En rotasjonsvinkelsender 32 er anbrakt til å måle rotasjonsvinkelen
30 til en pumpeaksel 34 på pumpen 1, og er kommuniserende for-

bundet til datamaskinen 24 ved hjelp av kabel 36.

En første vibrasjonsføler 38 i form av et akselerometer er koplet til den første, fleksible forbindelse 18, og en andre vibrasjonsføler 40, også i form av et akselerometer er koplet
5 til den andre, fleksible forbindelse 20. Vibrasjonsfølerne 38 og 40 er koplet til datamaskinen respektivt med kabler 42, 44. Den første vibrasjonsføler 38 og den andre vibrasjonsføler 40 kan innbefatte mer enn én føler som skissert i den generelle del av beskrivelsen.

10 Følerne 22, 28, 38 og 40, senderen 32 og datamaskinen 24 er av i og for seg kjente typer, og datamaskinen 18 er programmert til å utføre de aktuelle beregninger.

I tilfelle av en lekkasje i en ventil 10 eller 16, eller i en ikke vist pakning til stempelet 2, vil uttømmingen gjennom
15 utgangsventilen 16 i løpet av pumpefasen bli redusert med et kvantum lik lekkasjestrømmingen forbi stempelet 2.

Lekkasjen forbi stempelet 2 bevirker en asymmetri i strømmingen gjennom pumpen 1. Asymmetrien igangsetter en økt vibrasjon i nedstrømsrørledningen 14 innbefattet den andre fleksible forbindelse 20. Den andre vibrasjonsføler 40 føler den
20 økede vibrasjon.

Ved vesentlig kontinuerlig å utføre en vinkelposisjonsbasert Fourier-analyse av vibrasjonen fra følerne 38, 40 som skissert i den generelle del av beskrivelsen, vil en kommende økning i avviksamplituden δF til pumpen 1 bli oppdaget.
25

En alarmgrense 46 blir automatisk satt som skissert i den generelle del av beskrivelsen. Når avviksamplitude δF , se figur 2, når alarmgrensen 46 nås, vil datamaskinen utløse en alarm, og i det tilfelle at mer enn én pumpe 1 mater nedstrømsrørledningen 14, også identifisere hvilken pumpe 1 som lekker.
30

Identifiseringen av den pumpe som lekker er mest sikker når pumpene går med forskjellig hastighet, fordi de lavere, harmoniske svingninger da har forskjellige og unike frekvenser. Imidlertid er identifisering av pumper som lekker også mulig
5 når to eller flere pumper går synkront på grunn av det faktum at endringsvibrasjonsnivået vil være høyest nær den pumpe som lekker.

Alarmen som blir utløst av datamaskinen 24 kan utløse en ytterligere undersøkelse for å lokalisere lekkasjen enten i en
10 av pumpene 1 dersom en frekvensalarm er utløst, eller annetsteds dersom bare den normaliserte trykkalarm er utløst.

P a t e n t k r a v

1. Fremgangsmåte for å detektere en fluidlekkasje tilknyttet minst én stempelmaskin (1), k a r a k t e r i -
s e r t v e d at fremgangsmåten innbefatter:
5 - å anbringe en vibrasjonsføler (38, 40) på minst én av en oppstrømsrørledning (8) eller en nedstrømsrørledning (14) til stempelmaskinen (1);
- å måle vibrasjonen ved den minst ene vibrasjonsføler (38, 40);
10 - å feste på den minst ene stempelmaskin (1) en føler (32) som gir et signal for beregning av rotasjonshastigheten og akselposisjon til den minst ene stempelmaskin (1);
- å beregne rotasjonshastigheten og angulære akselposisjon til den minst ene stempelmaskin (1);
15 - å beregne minst én kompleks harmonisk Fourier-amplitude av det målte vibrasjonssignal;
- å lavpassfiltrere nevnte amplitude;
- å beregne en avviksamplitude (δF) som størrelsen av en
20 kompleks differanse mellom den filtrerte amplitude og en basisamplitude; og
- å overvåke nevnte avviksamplitude (δF) for å oppdage en lekkasje.
2. Fremgangsmåte i henhold til krav 1, k a r a k t e r i -
25 s e r t v e d at fremgangsmåten ytterligere innbefatter:
- å aktivere en alarm når størrelsen på avviksamplituden (δF) overstiger en alarmgrense (46).
3. Fremgangsmåte i henhold til krav 1, k a r a k t e r i -
30 s e r t v e d at fremgangsmåten ytterligere innbefatter:
- å sette basisverdien automatisk for de harmoniske amp-

lituder med følgende prosedyre:

- å starte en karantenetid i løpet av hvilken de transiente endringer i de harmoniske amplituder ignoreres og alarmlogikken er koplet ut når en vesentlig endring i strømningsforholdene påtreffes;

- å fastsette nye basisverdier som gjennomsnitt av de respektive harmoniske amplituder målt i løpet av en basisberegningstid som følger etter karantenetiden.

4. Fremgangsmåte i henhold til krav 1, karakterisert ved at fremgangsmåten ytterligere innbefatter:

- å beregne alarmgrensen (48) automatisk for avviksamplitudene som funksjoner av de målte basisamplituder.

5. Fremgangsmåte i henhold til krav 1, karakterisert ved at fremgangsmåten ytterligere innbefatter:

- å feste en føler (38, 40) som innbefatter et akselerometer.

6. Fremgangsmåte i henhold til krav 1, karakterisert ved at fremgangsmåten ytterligere innbefatter:

- å feste en føler (38, 40) som innbefatter en hastighetsføler.

7. Fremgangsmåte i henhold til krav 1, karakterisert ved at fremgangsmåten ytterligere innbefatter:

- å feste en føler (38, 40) som innbefatter en forskyvningsføler.

8. Fremgangsmåte i henhold til krav 1, karakterisert ved at amplituden for avvik blir beregnet fra den harmoniske akselerasjonsamplituden ved å divide-

re med faktoren $-(k\Omega)^2$, hvor k er et positivt heltall som representerer ordenstallet til den harmoniske svingning, det vil si det harmoniske tall, og Ω er den angulære rotasjonshastigheten til pumpeakslingen (34).

- 5 9. Fremgangsmåte i henhold til krav 1, k a r a k t e r i -
s e r t v e d at den harmoniske avviksamplitude for
forskyvningen blir beregnet fra den harmoniske hastig-
hetsamplitude ved å dividere med faktor $ik\Omega$, hvor $i=\sqrt{-1}$
er den imaginære enhet, k er et positivt heltall som re-
10 præsenterer ordenstallet til den harmoniske svingning,
det vil si det harmoniske tall, og Ω er den angulære ro-
tasjonshastigheten til pumpeakslingen (34).
10. Fremgangsmåte i henhold til krav 1, k a r a k t e r i -
s e r t v e d at fremgangsmåten ytterligere innbefat-
15 ter:
- å derivere partielle avviksamplituder for minst to
harmoniske tall basert på det samme vibrasjonsfølersig-
nal;
- å beregne en global avviksamplitude som kvadratroten
20 av en veid sum av kvadratet av nevnte partielle avviks-
amplituder;
- å overvåke nevnte globale avviksamplitude for å oppda-
ge en lekkasje i nevnte stempelmaskin.
11. Fremgangsmåte i henhold til krav 1, k a r a k t e r i -
25 s e r t v e d at fremgangsmåten ytterligere innbefat-
ter:
- å feste minst én vibrasjonsføler (38, 40) på minst én
av oppstrømsrørledningen (8) eller nedstrømsrørledningen
(14) på stempelmaskinen (1), hvor vibrasjonsføleren (38,
30 40) innbefatter mer enn én føler, slik at følerne måler
vibrasjoner på forskjellige steder og/eller retninger;
- å beregne en global avviksamplitude som kvadratroten

av en veid sum av kvadratet av nevnte partielle avviks-
amplituder; og
- å overvåke nevnte globale avviksamplitude for å oppda-
ge en lekkasje i nevnte stempelmaskin.

- 5 12. Fremgangsmåte i henhold til krav 1, k a r a k t e r i -
s e r t v e d at fremgangsmåten ytterligere innbefat-
ter:
- å feste minst én trykkføler (22, 28) på minst én av
inngangsmanifolden (6) eller utgangsmanifolden (12) til
10 stempelmaskinen (1) hvor føleren måler trykkvariasjonen
på minst ett sted;
 - å utlede partielle trykkavviksamplituder fra hver
valgt kombinasjon av harmoniske svingningsnummer og
trykkfølersignaler;
 - 15 - å omforme de partielle trykkavviksamplituder til ekvi-
valente vibrasjonsavviksamplituder ved å multiplisere
med passende omformingsfaktorer;
 - å beregne en global avviksamplitude som kvadratroten
av en veid sum av kvadratene av de ekvivalente partielle
20 avviksamplituder og vibrasjonsfølerbaserte avviksampli-
tuder, og
 - å overvåke den globale avviksamplitude for å oppdage
en lekkasje i stempelmaskinen.

1/2

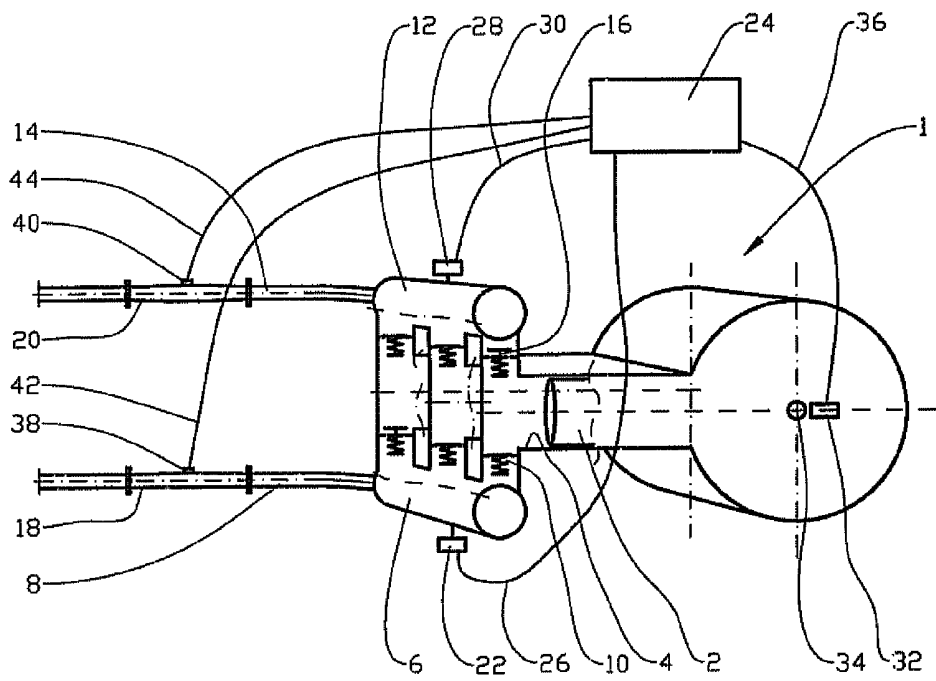


Fig. 1

2/2

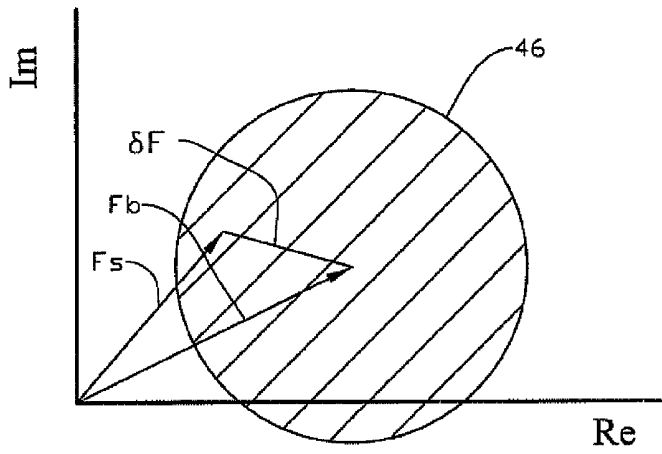


Fig. 2