



(12) **PATENT**

(19) **NO**

(11) **329969**

(13) **B1**

NORGE

(51) **Int Cl.**

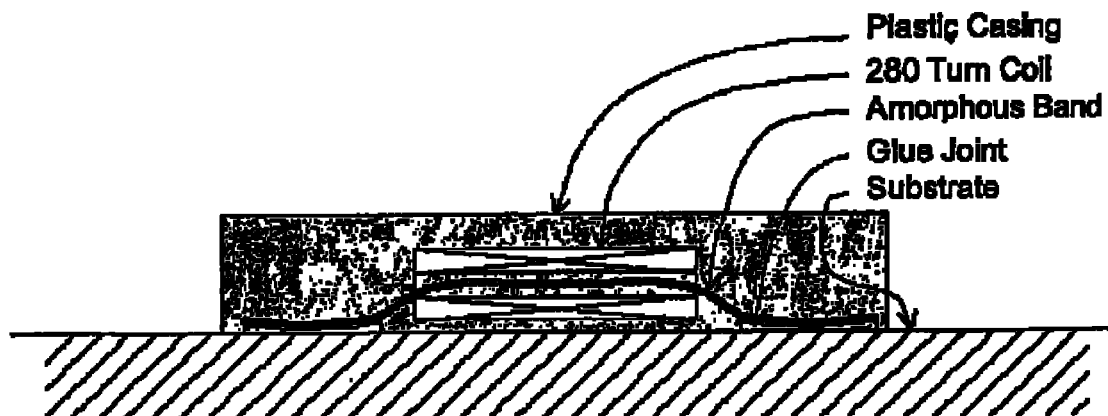
G01H 11/04 (2006.01)

G01P 15/08 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20045350	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2003.05.28 PCT/SE2003/00871
(22)	Inng.dag	2004.12.07	(85)	Videreføringsdag	2004.12.07
(24)	Løpedag	2003.05.28	(30)	Prioritet	2002.06.20, SE, 0201927
(41)	Alm.tilgj	2005.02.04			
(45)	Meddelt	2011.01.31			
(73)	Innehaver	Covial Device AB, Gevärsgatan 8, SE-25466 HELSINGBORG, Sverige			
(72)	Oppfinner	Tord Cedell, Länsmansvägen 12, SE-23731 BJÄRRED, Sverige			
(74)	Fullmektig	Håmsø Patentbyrå ANS, Postboks 171, 4302 SANDNES, Norge			
(54)	Benevnelse	Metode og apparat for avføling og angivelse av akustisk emisjon			
(56)	Anførte publikasjoner	US 5275049 A, US 4463610 A			
(57)	Sammendrag				

Beskrivelsen vedrører en fremgangsmåte og et apparat for avføling og angivelse av permanente tilstandsavvik via detektering av midlertidige, indre materialsvingninger i sanntid i deler som er av betydning for utforming og oppbygning av maskinvare, innenfor eksisterende produksjonsutstyr, f.eks. maskineri, og/eller for overvåking av tidligere oppbygd infrastruktur. Ett eller flere i det minste omtrent 20 µm tykke amorfe eller nanokrystallinske båndelementer med høy permeabilitet og relativt høy magnetostriksjon anvendes på en aktuell del, idet båndelementet eller -elementene respektivt er i det minste delvis omgitt av en spole med flere viklinger, hvor slike atombevegelser (svingninger) som forekommer i hvilket som helst valgfritt slikt tilstandsavvik i delen, blir overført til båndelementet/-elementene. Avviket gir opphav enten til en klart målbar og detekterbar endring i magnetisk strøm (dB/dt) i spolen i forhold til nevnte atombevegelser, eller til en på lignende måte målbar og detekterbar induktansendring i spolen/spolene.



SENSOR

Den herværende oppfinnelse vedrører en fremgangsmåte og et apparat for å avføle og angi permanente tilstandsavvik via detektering av midlertidige, indre materialsvingninger i sanntid i deler som er av betydning for utforming og oppbygning av maskinvare, slik som for eksempel ved prototypetesting, i eksisterende produksjonsutstyr innenfor industrien og/eller for overvåking og derved vedlikehold av tidligere oppbygd infrastruktur.

Senere års utviklinger innenfor området mikroelektronikk, fremfor alt utviklingen av stadig kraftigere minner for datamaskiner, har medført at transdusere eller sensorer av ulike typer som er dukket opp på markedet, slik som akselerometre, bøynings-/deformasjonsindikatorer, indikatorer for akustisk emisjon og så videre, hvilke er ment til måling av størrelser som er av betydning for dimensjoneringen av produkter, av utforming har vist seg å være overdrevent komplekse i sin oppbygning og, som et resultat av dette, altfor plasskrevende og kostbare til å anvendes i den utstrekning som moderne maskinvareutforming i økende grad krever og som, særlig, moderne programvare tillater.

US 5275049 A beskriver en akselerasjonssensor bestående av magnetoelastiske lag og en sensorpole. Når sensoren akselerer, vil en seismisk masse utøve kraft på det magnetoelastiske laget slik at den magnetiske permeabiliteten til det magnetoelastiske laget påvirker induktansen i spolen.

US 4463610 A beskriver en vibrasjonssensor med en stillbar resonansfrekvens med et magnetorestriktivt element hvor tilført trykk fører til endring av magnetiseringen.

Oppfinnelsen har til formål å avhjelpe eller å redusere i det minste én av ulempene ved kjent teknikk, eller i det minste å skaffe til veie et nyttig alternativ til kjent teknikk.

Formålet oppnås ved trekk som er angitt i nedenstående beskrivelse og i etterfølgende

patentkrav.

Ett hovedformål med den herværende oppfinnelse er derfor å fremstille et transduserelement eller en sensor og arrangement for dette/denne som i prinsippet er ekstremt enkle og derved så plassbesparende i sin konstruksjon at tidligere utenkelige transduser- eller sensorutforminger kan gjennomføres, samtidig som det gis anledning
 5 til å måle med betydelig større følsomhet og nøyaktighet innenfor videre områder enn det som hittil har vært mulig, og dessuten er måling av tidligere nesten udetekterbare størrelser gjort mulig. Et ytterligere formål med den herværende oppfinnelse er å fremskaffe et sensorarrangement som har så liten egenmasse at den størrelse som
 10 det har som formål å detektere, ikke kan påvirkes av sensorens egenmasse.

Formålene skissert ovenfor vil oppnås gjennom en fremgangsmåte og et apparat hvor apparatet består av ett eller flere i det minste omtrent 20 μm tykke amorfe eller nanokrystallinske båndelementer med høy permeabilitet og relativt høy magneto-
 15 striksjon anbringes på det aktuelle parti, hvor båndelementene, for å oppnå en ønsket materialstruktur, har gjennomgått magnetisk varmebehandling, og båndelementene er i det minste delvis omgitt av spoler med flere viklinger, hvor enten båndelementene eller spolene eller begge befinner seg i en magnetisert utgangstilstand slik at slike
 20 atombevegelser som oppstår i et valgfritt slikt tilstandsavvik, blir overført til båndelementet/-elementene, og derved gir opphav enten til en klart målbar og detekterbar endring i magnetisk strøm (dB/dt) i spolen i forhold til nevnte atombevegelser, eller til en på lignende måte målbar og detekterbar induktansendring i spolen/spolene.

Den herværende oppfinnelse vil nå bli beskrevet mer detaljert nedenfor, idet det vises til de medfølgende tegninger, på hvilke tegninger:

- 25 Fig. 1 viser en sensor for akustisk emisjon fotografert på et millimeterpapir;
- Fig. 2 er en skjematisk fremstilling av en sensor for detektering av akustisk emisjon;
- Fig. 3 viser utgangssignalet som en funksjon av belastning ved positiv og negativ strekking for måling av induktansendring;
- 30 Fig. 4 viser et tidssignal fra hver respektive transduser P1_1 (a. øverst), P1_2 (b. midten) og P1_3 (c. nederst);

- Fig. 5 viser frekvensspektrene over utgangssignalet ved knusing av glass for P1_1, P1_2 og P1_3 (henholdsvis a. øverst, b. midten og c. nederst);
- Fig. 6 er en skjematisk fremstilling av en mulig utførelse av et akselerometer som er basert på amorft materiale;
- 5 Fig. 7 viser koplingen av akselerometeret og prinsippet for behandling av signaler fra dette;
- Fig. 8 viser en impulsrespons for akselerometeret, hvor signalet på Y-aksen er utgangssignalet (i mV), og X-aksen er tidsaksen;
- Fig. 9 viser resultatet av en akselerometermåling ved 1,7 Hz;
- 10 Fig. 10 viser resultatet av en måling utført ved 3,0 Hz;
- Fig. 11 viser resultatet av en måling utført ved 4,4 Hz;
- Fig. 12 viser resultatet av en måling utført ved 10,94 Hz;
- Fig. 13 viser en relativ frekvensrespons for et referanseakselerometer og fremstilt akselerometertype;
- 15 Fig. 14 er en skjematisk fremstilling av en mulig utførelse av et akselerometer eller AE-sensor (AE = akustisk emisjon) basert på amorft materiale; og
- Fig. 15 viser utgangssignalet fra AE-sensoren ved forbigående eksitasjon.

Anvendelse som glassknusingssensor

20 Transduseren eller indikatoren består av et amorft, ferromagnetisk materiale som har den egenskap at det kan gis særdeles høy permeabilitet, $5000 < \mu < 200\,000$, samtidig som det for visse legeringssammensetninger har relativt høy magnetostriksjon, $5 < \lambda_{\text{sat}} < 40$ ppm. Sett under ett, gir dette et materiale med et meget høyt magneto-elastisk forhold og er derfor særdeles velegnet som sensormateriale.

25 Ved å ta i bruk et bånd på omtrent 3×10 mm som er skåret ut av en plate av amorft materiale med en tykkelse på $22\ \mu\text{m}$ og deretter limt på et valgfritt materiale, kan strekk i materialet detekteres. Det amorfte materiale kan gis forskjellige egenskaper ved at det skjæres i forskjellige retninger i forhold til rulleretningen I det foreliggende tilfelle er det benyttet på langs og på tvers i forhold til rulleretningen.

Materialparametrene kan også modifiseres ved å varmebehandle materialet i magnetfelter i temperaturer nær, men under, krystalliseringstemperaturen. I tilfellet med glass som knuses og generell akustisk emisjon, detekteres endringen i magnetisk strøm ved at en spole med flere viklinger er viklet rundt båndet, se fig. 1 og fig. 2.

- 5 For å detektere høyfrekvente signaler er det fordelaktig og enkelt bare å detektere strømningsendringen og anta at den er proporsjonal med størrelsen på båndets deformering. Dette innebærer at en magnetisk veldefinert utgangstilstand må være oppnådd, siden et umagnetisert bånd ikke gir noen strømningsendring ved strekkendring.
- 10 For å oppnå en magnetisert grunntilstand er i prinsippet den jordmagnetiske tilstand på 30-60 μT (20-40 A/m) tilstrekkelig, men på den annen side er det upraktisk å måtte overvåke jordmagnetfeltets retning og størrelse når en indikator skal monteres og kalibreres.

Det finnes to måter å oppnå en tilfredsstillende utgangstilstand på:

- 15 Lett magnetisk innkapsling og likestrøm gjennom søkespolen.
 Lett magnetisk innkapsling og formagnetisering med permanent magnet.

Størrelsen på feltet skal være slik at magnetiseringen vil være 0,2-0,7 T, hvilket innebærer at magnetiseringsfeltet i båndet skal være i størrelsesorden 2-56 A/m. Feltets størrelse kan generelt regnes ut med formelen

20
$$H = \frac{B}{\mu_0 \cdot \mu}$$

hvor H er magnetiseringsfeltet, B er den magnetiske strømningsdensitet, permeabiliteten for fritt rom $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am og den relative permeabilitet μ for, i dette tilfelle, det amorfe bånd.

- Målesignalet oppnås ved å detektere strømningsendringen i båndet på grunn av strekk/kompresjon. For det lineære tilfelle skulle følgende ligning beskrive funksjonen:

$$\Delta B = d \cdot \Delta \sigma + \mu_0 \cdot \mu \cdot \Delta H$$

hvor σ beskriver mekanisk belastning og d er den magnetoelastiske forholdskoeffisient. Prefikset Δ beskriver endringen fra den opprinnelige verdi.

- Materialparameteren d kan anslås tilnærmet ved å ta maksimumsmagnetostriksjon ved konstant mekanisk belastning, $\Delta \sigma = 0$, delt på magnetiseringsfelt ved magnetisk metning, dvs.

30
$$\frac{\lambda_{\max}}{H_{\max}} = d$$

siden

$$\Delta\lambda = \frac{\Delta\sigma}{E^H} + d \cdot \Delta H$$

som, med $\lambda_{\max} = 35 \cdot 10^{-6}$ og $H_{\max} = 200$ A/m, gir forholds faktoren $d = 1,75 \cdot 10^{-7}$ m/A, en meget høy verdi for alle typer magnetoelastiske forhold.

- 5 Det utgangssignal som kan ventes, er proporsjonalt med strømningsendringen og den mekaniske belastning

$$U(t) = N \cdot A \cdot \frac{dB}{dt}$$

hvor N er antallet viklinger i søkspolen, og A er det amorfe bånds tverrsnittsareal. Forutsatt at $\Delta H = 0$ gjelder følgende ligninger:

10
$$\begin{cases} \Delta\sigma = \Delta\lambda \cdot E^H \\ \Delta B = d \cdot \Delta\sigma \end{cases}$$

hvor E^H er elastisitetsmodulen ved konstant magnetiseringsfelt. Overgangen til frekvensplanet og anvendelsen av ovenstående ligninger gir:

$$\hat{U} = |N \cdot A \cdot \omega \cdot d \cdot \Delta\lambda \cdot E^H|$$

- 15 hvor ω er vinkelfrekvensen i rader/sek. Cirkumfleksen angir at amplitudeverdien er tilsiktet. Idet det antas at elastisitetsmodulen er i størrelsesorden 100 GPa, skal strekken i sensoren ved 100 000 kHz være i størrelsesorden 0,0025 ppm for tilfellet P1_2, se fig. 4 og fig. 5, midten.

- 20 Innledende forsøk med sensorer limt til et objektglass viser at vibrasjoner i frekvensområdet 40 kHz-1MHz kan detekteres. Følgende komparative tester er blitt utført:

Tabell 1, beskrivelse av indikator:

Sensor	Båndets orientering	Antall viklinger	Anmerkninger	Statisk, ubelastet permeabilitet [mH]
P1_1	tverretning	280	tykk limskjøtt	158
P1_2	tverretning	280		60
P1_3	lengderetning	280	tykk plast-kapsling	32

Testen ble utført ved at hjørnet på objektglasset ble knekt av og utgangssignalet ble registrert med en forsterkning på omtrent 100 ganger.

Fig. 3 viser induktansendringen ved ulike strekk for sensorene P1_1, P1_2 og P1_3. Her fremgår det tydelig at P1_1 og P1_2, som har bånd skåret ut i tverretningen, har det høyeste magnetoelastiske forhold. Disse to prøver oppviser også en betydelig høyere permeabilitet. Dette er også vist ved glassknusingsforsøk hvor signalnivåene ved lignende eksitasjon vil være høyere for P1_1 og P1_2. P1_2 viser et betydelig mer bredbåndet signalspektrum sammenlignet med P1_1 og P1_3. Dette kan sannsynligvis forklares med de større limmengder, se tabell 1.

- 10 Anvendelse i en utviklet første prototyp av generelt akselerometer med reell statisk måling

Transduseren eller indikatoren består av et amorft, ferromagnetisk materiale som har den egenskap at det kan gis særdeles høy permeabilitet, $5000 < \mu < 200\,000$, samtidig som det for visse legeringssammensetninger har relativt høy magnetostriksjon $5 < \lambda_{\text{sat}} < 40$ ppm. Sett under ett, gir dette et materiale med et meget høyt magnetoelastisk forhold og er derfor særdeles velegnet som sensormateriale.

- Transduseren eller indikatoren er sammensatt av to amorfe bånd med en størrelse på $3 \cdot 16 \cdot 0,022$ mm. Båndene er limt til en fikseringsblokk, se fig. 6. Ved fikseringsblokken er det viklet en spole rundt hvert bånd. Spolene er koplet i en halvbro, se fig. 7. Ved å kople spolene på en slik måte at en lignende endring i begge bånd ikke gir noe signal, kan det oppnås en høy grad av ufølsomhet overfor temperatur og andre symmetriske gjennomslag. Ved bøyning av "stangen" som består av de to amorfe bånd og et mellom disse beliggende, tilstøtende plastbånd, vil det oppnås et strekk i det ene bånd samtidig med en kompresjon i det andre bånd.
- 25 Utgangssignalet fra spolene vil da være motsatt, dvs. en økning i induktans (permeabilitet) ved strekking og en reduksjon ved komprimering.

- Reaksjonsmassen (se fig. 14) som er plassert i enden av den bøyelige stang, gir et bøyningsmoment som er proporsjonalt med akselerasjonen, stangens lengde og massen. Dette gir naturligvis mulighet til å tilpasse akselerometeret til nesten hvilken som helst maksimumsakselerasjon det skulle være. Frekvensytelsen bestemmes i det vesentlige av stangens stivhet og reaksjonsmassens masse.

Siden denne transduser eller indikator skal ha reelt statisk mål, kan måleprinsippet ikke baseres på induerte spenninger som et resultat av strømningsendringer. I dette tilfelle er det nødvendig at båndets relative permeabilitet blir målt ved bruk av en

bærebølge som skal ha en frekvens som er omtrent 10 ganger høyere enn den ventede båndbredde for akselerometeret.

For det lineære tilfelle, skulle følgende ligning beskrive funksjonen:

$$\Delta B = d \cdot \Delta \sigma + \mu_0 \cdot \mu \cdot \Delta H$$

- 5 hvor H er magnetiseringsfeltet, B er den magnetiske strømningsdensitet, permeabiliteten for fritt rom $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am og den relative permeabilitet μ for, i dette tilfelle, det amorfe bånd.

Videre står σ for mekanisk belastning, og d er den magnetoelastiske forholdskoeffisient. Prefikset Δ angir endring fra den opprinnelige verdi.

- 10 Materialparameteren d kan anslås tilnærmet ved å ta maksimumsmagnetostriksjon ved konstant, mekanisk belastning, $\Delta \sigma = 0$, delt på magnetiseringsfelt ved magnetisk metning, dvs.

$$\frac{\lambda_{\max}}{H_{\max}} = d$$

siden

15
$$\Delta \lambda = \frac{\Delta \sigma}{E^H} + d \cdot \Delta H$$

- som, med $\lambda_{\max} = 35 \cdot 10^{-6}$ og $H_{\max} = 200$ A/m, gir forholdsfaktoren $d = 1,75 \cdot 10^{-7}$ m/A, en meget høy verdi for alle typer magnetoelastiske forhold. Den målestørrelse som er av interesse her er derfor permeabiliteten som en funksjon av strekking. Idet det antas at det har latt seg oppnå en veldefinert magnetisk tilstand, dvs. konstant og kjent magnetiseringsfelt, kan endringen i magnetisk strømningsdensitet med en revidering av de ovenstående ligninger, betegnes som
- 20

$$\Delta B = d \cdot E^H \cdot \Delta \lambda$$

- Videre er endringen i magnetisk strømningsdensitet proporsjonal med strekket i båndet med proporsjonalkonstanten $d \cdot E^H$ som, når $E^H = 100$ GPa, vil være omtrent
- 25 $1,75 \cdot 10^4$ T.

- Anta at spolene er koplet i halvbro, og at det foreligger et strekk på 10 ppm i det ene bånd og en kompresjon på 10 ppm i det andre bånd. Siden det kan antas at H-feltet er konstant og at endringen i B-feltet er proporsjonal med endringen i permeabilitet og naturligvis også med spolenes induktans, innebærer dette at utgangssignalet fra den balanserte bro vil være
- 30

$$\Delta U = 1,75 \cdot 10^4 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 10^{-6} = 0,35 \text{ V}$$

Dette er et utgangssignal som er så kraftig at det ikke behøver forsterkes.

Hver spole har 800 viklinger, hvilket gir en induktans på 8,2 mH. Halvbroen tilføres en sinusspanning med en amplitude på 4,4 V og 19,3 kHz. Siden spolene er seriekoplet, innebærer dette at broimpedansen kan holdes i størrelsesorden 10 k Ω , hvilket er en god tilpasning som skal drives av en operasjonsforsterker.

- 5 For kalibrering av transduserne gjøres det bruk av jordens gravitasjonskraft på 9,81 G. Dette gir en følsomhet på 35 mV/G. Transduserne ser ut til å være mettet ved omtrent 1 V, hvilket innebærer at det lineære område er omtrent $\pm 0,5$ G, hvilket er likeverdig med ± 14 G. Resonansfrekvensen, som kan regnes ut som:

$$f_{\text{res}} = \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot 2\pi$$

- 10 er, ved å studere en impulsrespons, blitt målt opp til omtrent 80 Hz, se fig. 3.

For å undersøke linearitet, og i noen grad frekvensytelse, ble det utført målinger i akselerometerstutstyret.

- Et trekk som er felles for fig. 4, fig. 5, fig. 6 og fig. 7 er at en kurve med relativt store utgangssignalvariasjoner viser utgangssignalet fra referanseakselerometeret, en annen kurve med så godt som like store utgangssignalvariasjoner viser signalet fra prototypeakselerometeret, mens den kontinuerlige kurve i nesten heltrukken linje viser den analytisk simulerte akselerasjon som skal være nøyaktig rett. Skalaen på aksene er for y-aksen akselerasjon i G og for x-aksen tid i sekunder. Det er for alle fremstilt omtrent 1,5 perioder.

- 20 Ved å sammenligne akselerometrenes utgangssignal og sammenholde dem med den simulerte akselerasjon, kan det utarbeides en frekvensrespons, se fig. 8.

- Det utviklede akselerometer oppviser god linearitet opp til den ventede linearitetsgrense på 14 G. Det er ingen grunn til å anta noen form for frekvensavhengighet før frekvensene begynner å nærme seg resonansfrekvensen på 80 Hz. Nedgangen ved 11 Hz på fig. 8 kan forklares ved at metning er nådd.

- Indikatoren eller transduseren består av et amorft, ferromagnetisk materiale som har den egenskap at det kan gis særdeles høy permeabilitet, $5000 < \mu < 200\,000$, samtidig som det for visse legeringssammensetninger har relativt høy magnetostriksjon $5 < \lambda_{\text{sat}} < 40$ ppm. Sett under ett, gir dette et materiale med et meget høyt magneto-elastisk forhold og egner seg, som et resultat av dette, utmerket som sensormateriale.
- 30 Indikatoren eller transduseren er sammensatt av et amorft bånd med en størrelse på $3 \cdot 18 \cdot 0,022$ mm. Båndet er viklet to omganger med et isolerende plastbånd

innimellom. Det er av avgjørende betydning at de ulike lag i båndet ikke har elektrisk kontakt med hverandre, siden båndet da ville fungere som en kortsluttet, sekundær vikling. Den resulterende aktive sylinder er limt på måleobjektet med en tynn limskjøl og til bunnen av en skålformet plastsnelle på den andre side. På bunnen av

5 plastsnellen er det festet en reaksjonsmasse, mens en spole med 1000 viklinger er viklet på dens sideflate. Dette transduserprinsipp er best egnet til detektering av dynamiske sykler, siden det bare er én spole. Ved å bruke to spoler som er koplet i en halvbro (forutsetter at spolene virker forskjellig, dvs. at for positiv akselerasjon gir den ene spole et positivt utgangssignal, mens den andre gir et tilsvarende negativt

10 signal), gis de fordeler at virkningene av alle strømmer (luftbårne elektromagnetiske bølger osv.) og variasjoner forårsaket av eksterne, globale fenomener (varme, magnetfelt osv.) som forekommer symmetrisk i forhold til spolene, vil reduseres/elimineres.

Reaksjonsmassen (se fig. 14) som er festet på bunnen av plastsnellen, gir en

15 reaksjonskraft på den aktive sylinder som er proporsjonal med akselerasjonen og massen. Dette gjør det naturligvis mulig å tilpasse akselerometeret til nesten hvilken som helst maksimumsakselerasjon og resonansfrekvens det skulle være. Frekvensytelsen bestemmes i det vesentlige av sylinderens stivhet, så vel som av reaksjonsmassens masse.

20 For å detektere høyfrekvente signaler er det fordelaktig og enkelt bare å detektere strømningsendringen og anta at den er proporsjonal med størrelsen på båndets deformering. Dette innebærer at en magnetisk, veldefinert utgangstilstand må være oppnådd, siden et umagnetisert bånd ikke gir noen strømningsendring ved strekkendring. For å oppnå en magnetisert grunntilstand er i prinsippet

25 jordmagnetfeltet på 30-60 μT (20-40 A/m) tilstrekkelig, men på den annen side er det upraktisk å måtte overvåke jordmagnetfeltets retning og størrelse når en transduser eller indikator skal monteres og kalibreres. Det finnes to måter å oppnå en god utgangstilstand på:

1. Lett magnetisk innkapsling og likestrøm gjennom søkespolen.
- 30 2. Lett magnetisk innkapsling og formagnetisering med en permanent magnet.

Størrelsen på feltet skal være slik at magnetiseringen vil være 0,2-0,7 T, hvilket innebærer at magnetiseringsfeltet i båndet skal være i størrelsesorden 2-56 A/m. Feltets størrelse kan generelt regnes ut med formelen

$$H = \frac{B}{\mu_0 \cdot \mu}$$

hvor H er magnetiseringsfeltet, B er den magnetiske strømningsdensitet, permeabiliteten for fritt rom $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am og den relative permeabilitet μ for, i dette tilfelle, det amorfe bånd.

Ved å detektere strømningsendringen i båndet på grunn av strekk/kompresjon, vil målesignalet oppnås. For det lineære tilfelle skal følgende ligning beskrive funksjonen:

$$\Delta B = d \cdot \Delta \sigma + \mu_0 \mu \cdot \Delta H$$

hvor σ beskriver mekanisk belastning og d er den magnetoelastiske forholdscoeffisient. Prefikset Δ angir endring fra den opprinnelige verdi.

Materialparameteret d kan anslås tilnærmet ved å ta maksimumsmagnetostriksjon ved konstant, mekanisk belastning, $\Delta \sigma = 0$, delt på magnetiseringsfelt ved magnetisk metning, dvs.

$$\frac{\lambda_{\max}}{H_{\max}} = d$$

siden

$$\Delta \lambda = \frac{\Delta \sigma}{E^H} + d \cdot \Delta H$$

som, med $\lambda_{\max} = 35 \cdot 10^{-6}$ og $H_{\max} = 200$ A/m, gir forholds faktoren $d = 1,75 \cdot 10^{-7}$ m/A, en meget høy verdi for alle typer magnetoelastiske forhold. Det utgangssignal som kan ventes, er proporsjonalt med strømningsendringen og den mekaniske belastning

$$U(t) = N \cdot A \cdot \frac{dB}{dt}$$

hvor N er antallet viklinger i søkspolen, og A er det amorfe båndes tverrsnittsareal.

Forutsatt at $\Delta H = 0$, gjelder følgende ligninger:

$$\begin{cases} \Delta \sigma = \Delta \lambda \cdot E^H \\ \Delta B = d \cdot \Delta \sigma \end{cases}$$

hvor E^H elastisitetsmodulen ved konstant magnetiseringsfelt. Overgang til frekvensplanet og anvendelsen av ovenstående ligninger gir:

$$\hat{U} = N \cdot A \cdot \omega \cdot d \cdot \Delta \hat{\lambda} \cdot E^H$$

hvor ω er vinkelfrekvensen i rader/sek. Cirkumfleksen angir at det er amplitudeverdien som er tilsiktet.

Den spole som blir målt har 650 viklinger, hvilket gir en induktans på 3,2 mH. Resonansfrekvensen kan regnes ut som:

$$f_{\text{res}} = \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot \frac{1}{2\pi}$$

som, idet det antas at elastisitetsmodulen er 100 GPa, den aktive sylinders høyde er 3 mm og tverrsnittsarealet er $2 \cdot 3 \cdot \pi \cdot 0,022 \text{ mm}^2$ og reaksjonsmassen er 4 gram, gir en resonansfrekvens på omtrent 10 kHz. Fig. 2 viser et 50 ganger forsterket utgangssignal fra transduseren når denne er montert på et stort jernemne og eksitert med et hammerslag.

En frekvensanalyse i tidsrekken på fig. 15 viser at signaler på opp til omtrent 5 kHz forekommer bredbåndet, deretter er det en tydelig topp ved 8 kHz og én ved 60 kHz. Det synes å være sannsynlig at signalet på 8 kHz er transduserresonansen, mens signalet ved 60 kHz er det som tradisjonelt kalles akustisk emisjon, dvs. forbigående frigjøring av energi ved, for eksempel, materialdeformering. Bredbåndsignalinnholdet nedenfor 5 kHz består av vibrasjoner i testlegemet.

P a t e n t k r a v

1. Fremgangsmåte for avføling og angivelse av et avvik mellom et aktuelt parti og en permanent tilstand, idet detekteringen er basert på en midlertidig, indre materialsvingning, såkalt akustisk emisjon, i sanntid, hvor et
5 avviksavhengig element i det minste delvis er omgitt av én eller flere spoler med flere viklinger, k a r a k t e r i s e r t v e d a t
 - a) ett eller flere båndformede elementer anbringes fritt opphengt på det aktuelle parti, hvor i en ende av nevnte båndformede element festes for å tillate fri svingning av en motsatt ende i forhold til det aktuelle parti;
 - 10 b) nevnte båndelement er tildannet av et amorft og/eller nanokrystallinsk materiale;
 - c) nevnte båndelement påvirkes av en formagnetisering ved påføring av en likestrøm gjennom en søkespole og/eller ved å anvende en permanentmagnet,
 - 15 d) nevnte avvik blir overført til nevnte båndelement ved tilveiebringelse av interne atombevegelser (svingninger) i nevnte båndelement, og
 - e) nevnte avvik gir opphav til en angivelse og avføling av en detekterbar endring i magnetisk strømning (dB/dt) i spolen i forhold til nevnte atombevegelser, eller en angivelse og avføling av en detekterbar
20 induktansendring i nevnte spole.
2. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d a t nevnte materiale, i henhold til punkt b) ovenfor, gjennomgår en magnetisk varmebehandling ved temperaturer nær, men under krystalliseringstemperaturen, idet det gir opphav til en høy permeabilitet og
25 en relativt høy magnetostriksjon.
3. Fremgangsmåte som angitt i krav 1 eller 2, k a r a k t e r i s e r t v e d a t nevnte materiale, i henhold til punkt b) ovenfor, er et ferromagnetisk materiale.
4. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, 2 eller 3, k a r a k t e r i s e r t
30 v e d a t permeabiliteten er valgt å ligge i området $5000 < \mu < 200\,000$.
5. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, 2, 3 eller 4, k a r a k t e r i s e r t v e d a t magnetostriksjonen er valgt å ligge i området $5 < \lambda_{\text{sat}} < 40$ ppm.

6. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, 2, 3, 4 eller 5, k a r a k t e r i -
s e r t v e d at nevnte amorfe materiale skjæres for å tildanne ett
eller flere båndelement hvor båndets langsgående utstrekning er valgt å
være på tvers av en valgt rulleretning.
- 5 7. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d
at nevnte båndelement, festet til et objektglass, bevirker oppvisning av en
følsomhet i frekvensområdet 40 kHz til 1 MHz.
8. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d
at det anvendes ett eller flere i det minste omtrent 20 μm tykke amorfe eller
10 nanokrystallinske, magnetisk varmebehandlede båndelementer med høy
permeabilitet og relativt høy magnetostriksjon.
9. Apparat for avføling og angivelse av et avvik mellom et aktuelt parti og en
permanent tilstand, idet detekteringen er basert på en midlertidig, indre
materialsvingning, såkalt akustisk emisjon, i sanntid, hvor et avviksavhengig
15 element i det minste delvis er omgitt av en eller flere spoler med flere
viklinger, k a r a k t e r i s e r t v e d at
 - a) ett eller flere båndformede elementer er anbrakt fritt opphengt på det
aktuelle parti, hvori en ende av nevnte båndformede element festes for å
tillate fri svingning av en motsatt ende i forhold til det aktuelle parti;
 - 20 b) nevnte båndelement er tildannet av et amorft og/eller
nanokrystallinsk materiale;
 - c) nevnte båndelement er påvirket av en formagnetisering ved påføring
av en likestrøm gjennom en søkespole og/eller ved anvendelse av en
permanentmagnet,
 - 25 d) nevnte avvik blir overført til nevnte båndelement ved tilveiebringelse
av interne atombevegelser (svingninger) i nevnte båndelement, og
 - e) nevnte avvik gir opphav til en angivelse og avføling av en detekterbar
endring i magnetisk strømning (dB/dt) i spolen i forhold til nevnte
atombevegelser, eller en angivelse og avføling av en detekterbar
30 induktansendring i nevnte spole.
10. Apparat som angitt i krav 9, k a r a k t e r i s e r t v e d at
nevnte materiale, i henhold til punkt b) ovenfor, er gjenstand for en
magnetisk varmebehandling ved temperaturer nær, men under
krystalliseringstemperaturen, idet det gir opphav til en høy permeabilitet og
35 en relativt høy magnetostriksjon.

11. Apparat som angitt i krav 9, k a r a k t e r i s e r t v e d at det er anvendt ett eller flere i det minste omtrent 20 μ m tykke amorfe eller nanokrystallinske, magnetisk varmebehandlede båndelementer med høy permeabilitet og relativt høy magnetostriksjon.
- 5 12. Apparat som angitt i krav 9, k a r a k t e r i s e r t v e d at nevnte båndelement med tilknyttet spole/tilknyttede spoler er innesluttet i en elastisk deformerbar epoksypolymer.
13. Apparat som angitt i krav 9 eller 12, k a r a k t e r i s e r t v e d at nevnte båndelement og nevnte spole/spoler er limt til nevnte permanente tilstand hvis permanente tilstandsavvik skal angis.
- 10 14. Apparat som angitt i hvilket som helst av kravene 9 til 13, k a r a k - t e r i s e r t v e d at den fremkalte følsomhet er forskjellig avhengig av valgt orientering av detekteringsretningen i forhold til en rulleretning på båndelementet/-elementene, som en følge av materialets retningsavhengige egenskaper.
- 15 15. Apparat som angitt i hvilket som helst av kravene 9 til 14, k a r a k - t e r i s e r t v e d at båndelementene med tilknyttede spoler er bro- og forsterkerkoplet for å øke henholdsvis følsomhet og detekteringsevne.
- 20 16. Apparat som angitt i hvilket som helst av kravene 9 til 15, k a r a k - t e r i s e r t v e d at det er utført som en glassknusingsindikator.

1/9

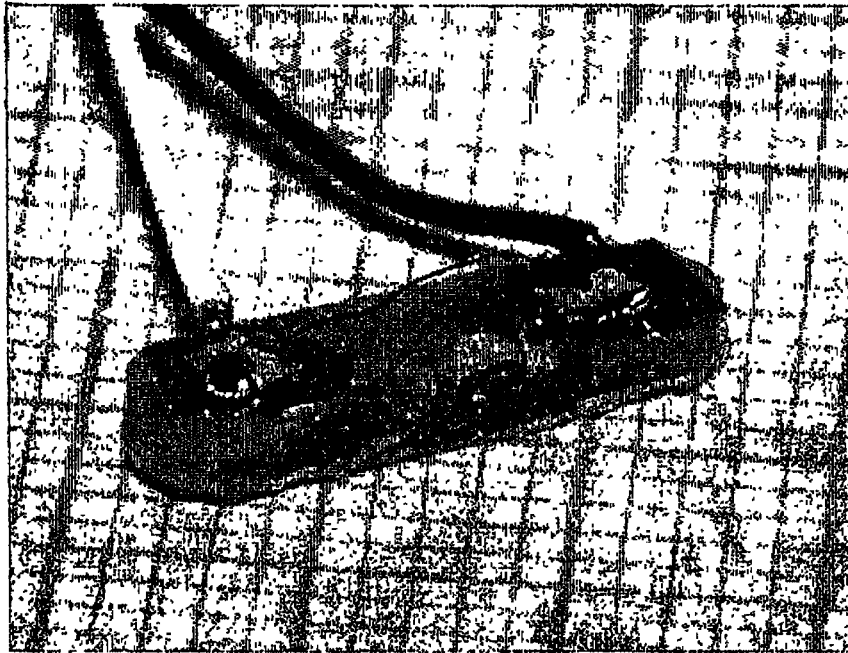


Fig. 1

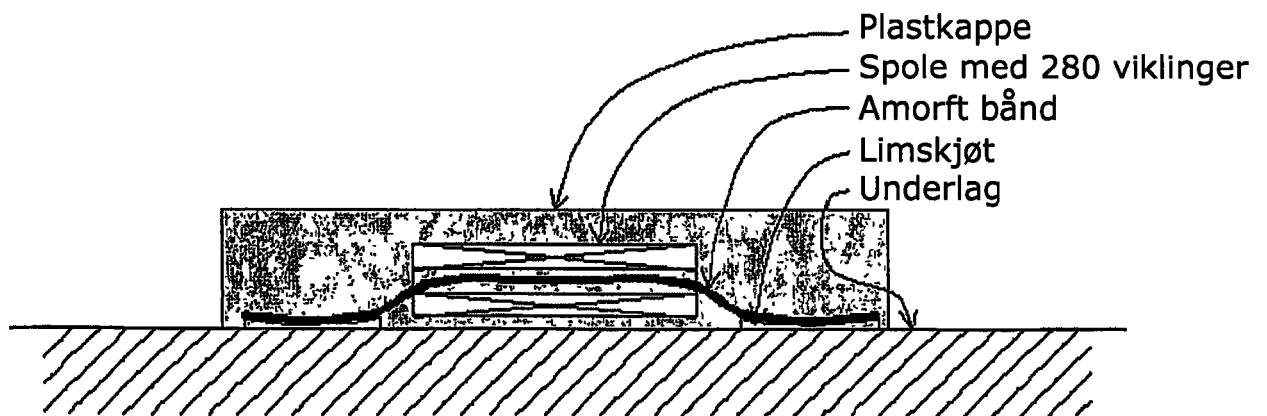


Fig. 2

2/9

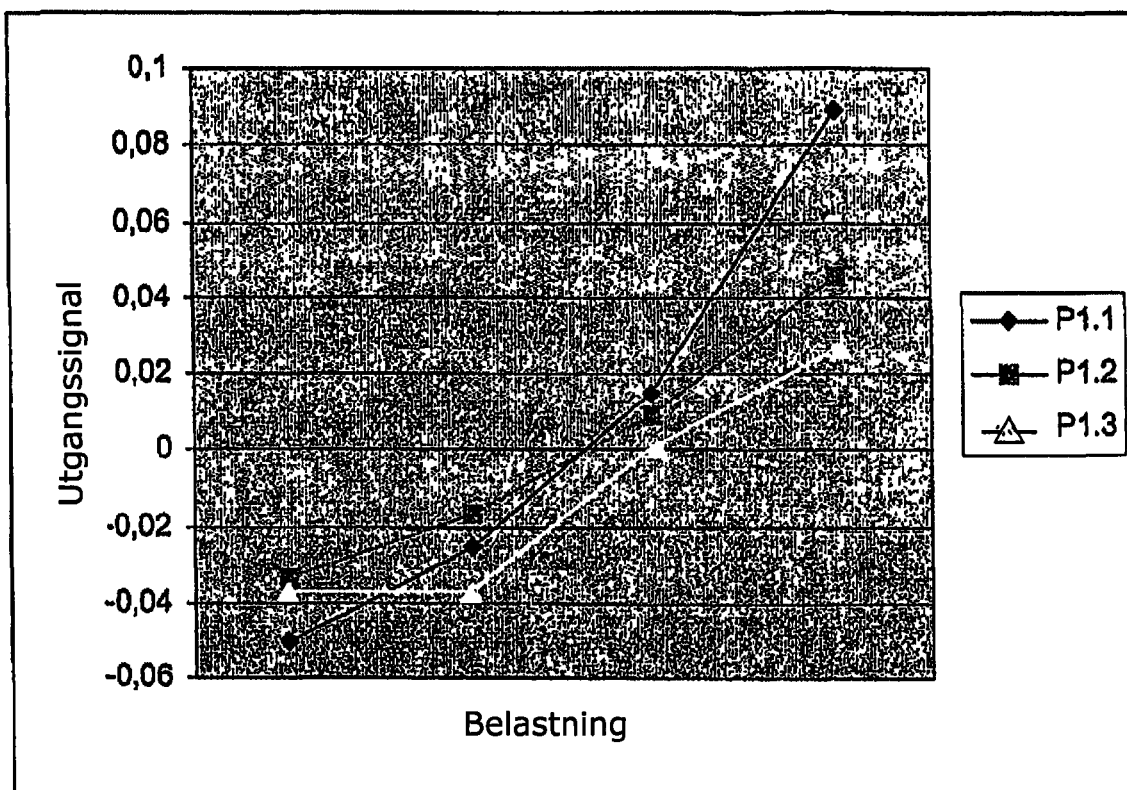


Fig. 3

3/9

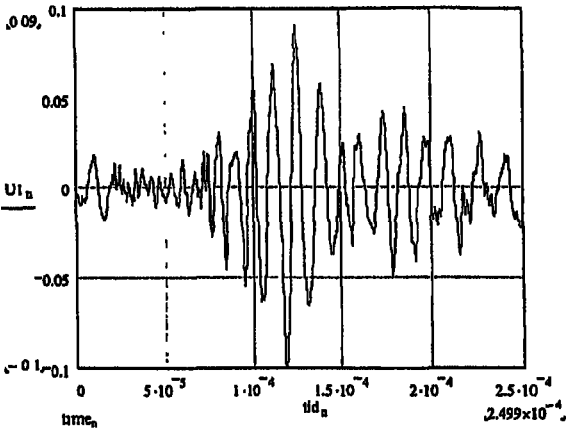


Fig. 4a

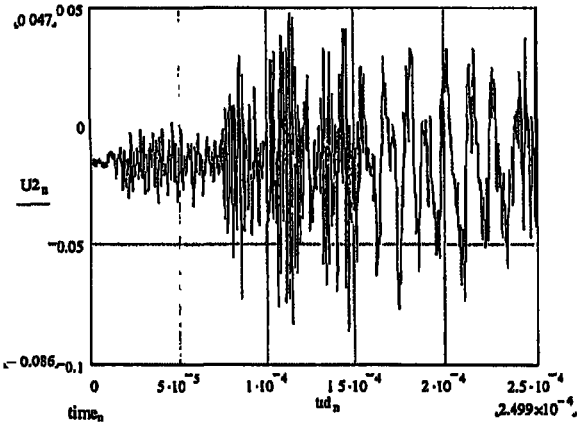


Fig. 4b

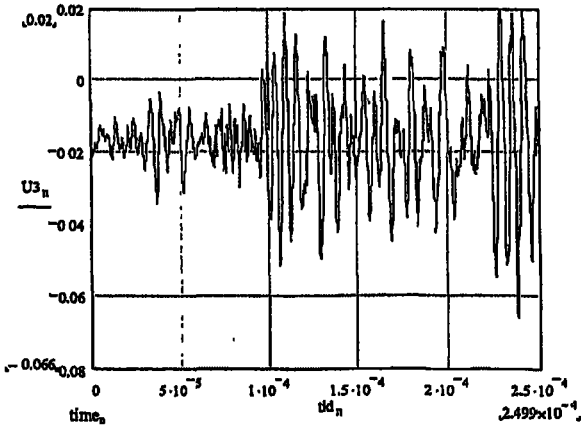


Fig. 4c

4/9

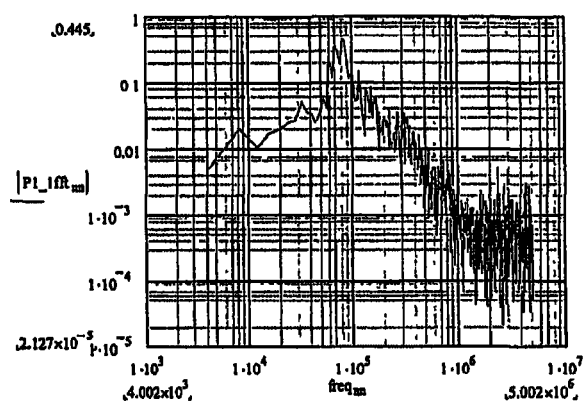


Fig. 5a

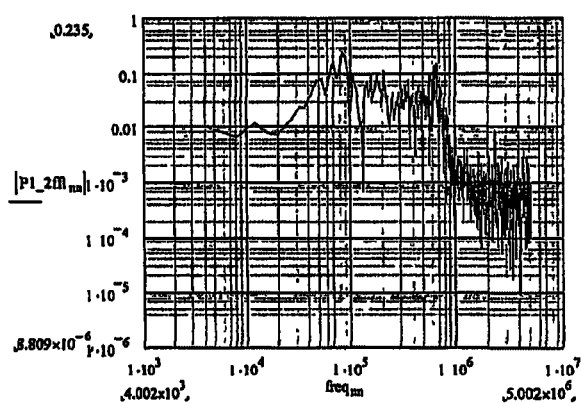


Fig. 5b

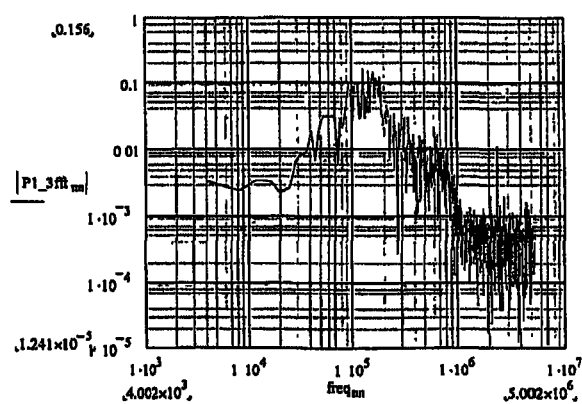


Fig. 5c

5/9

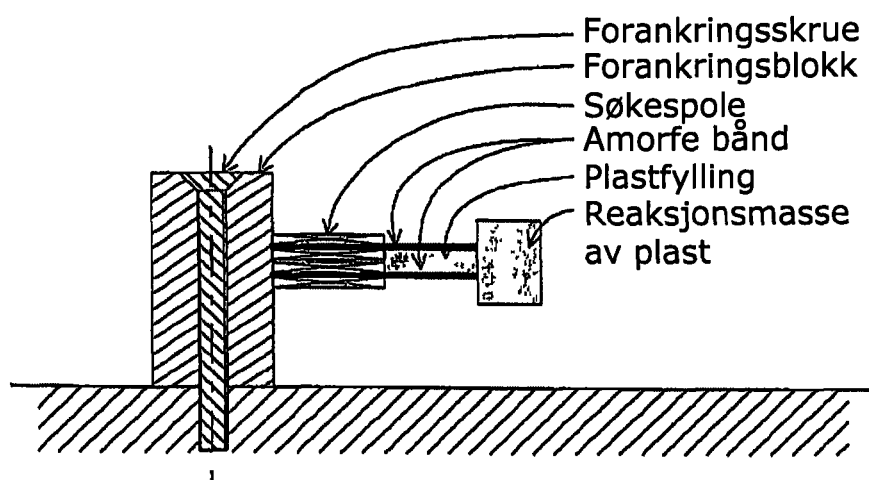


Fig. 6

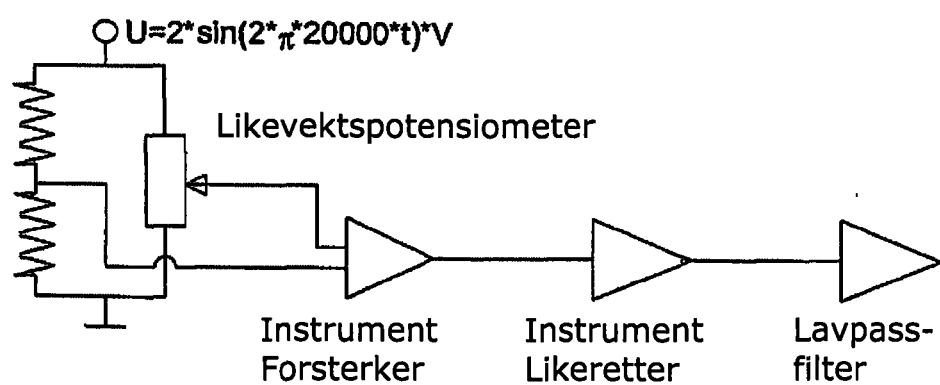


Fig. 7

6/9

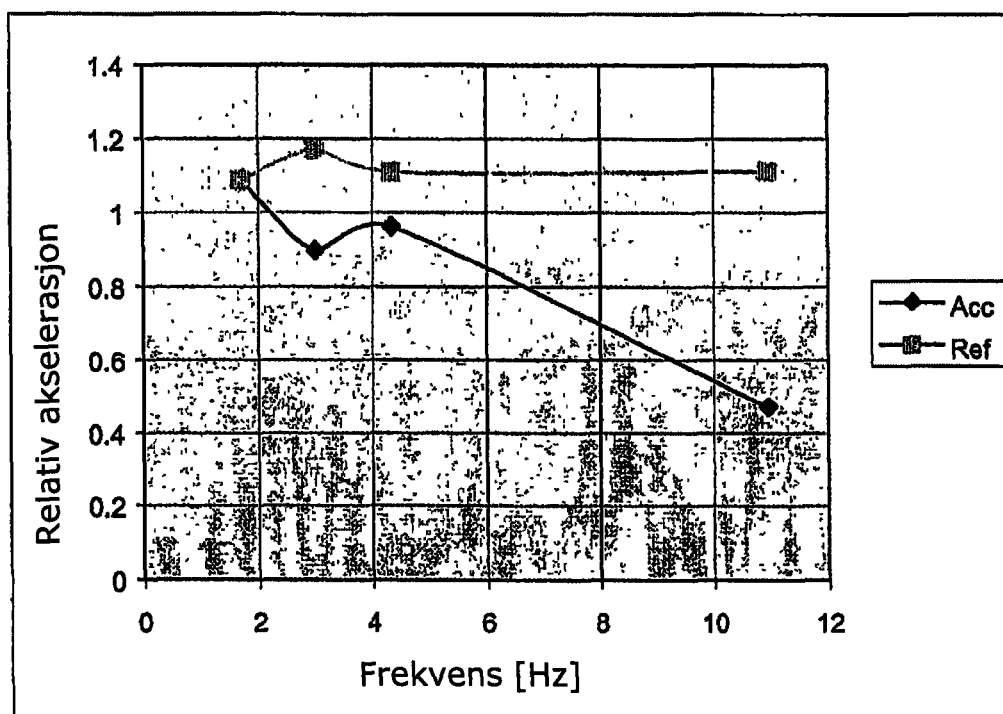


Fig. 8

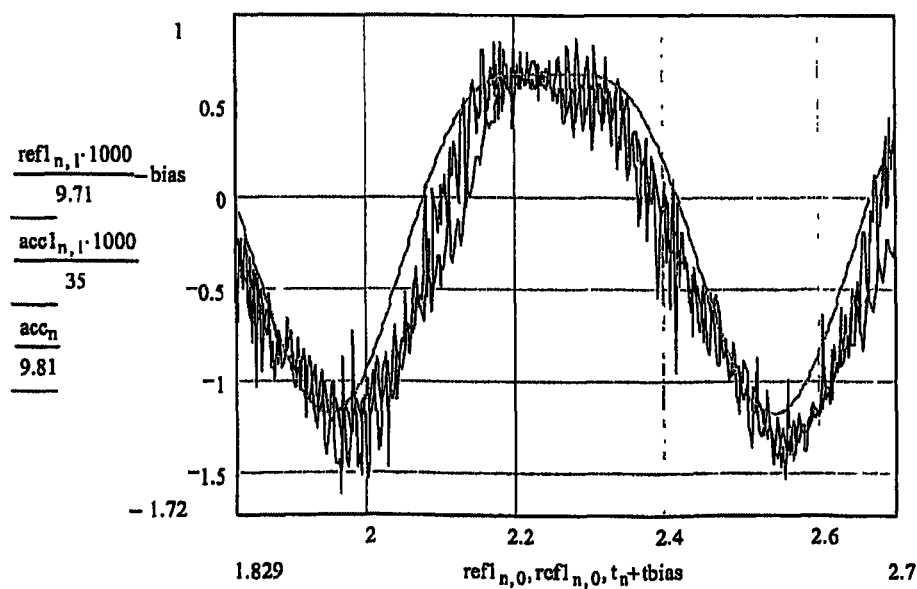


Fig. 9

7/9

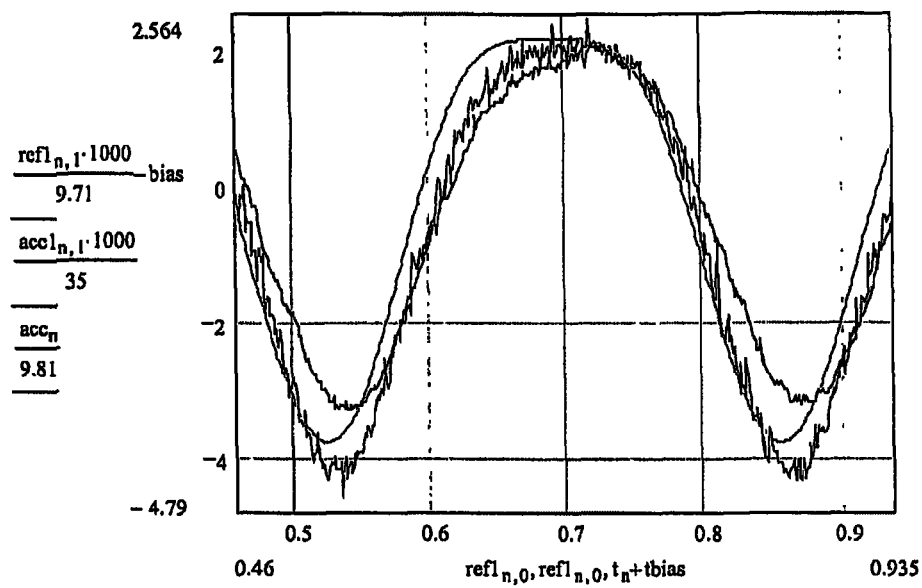


Fig. 10

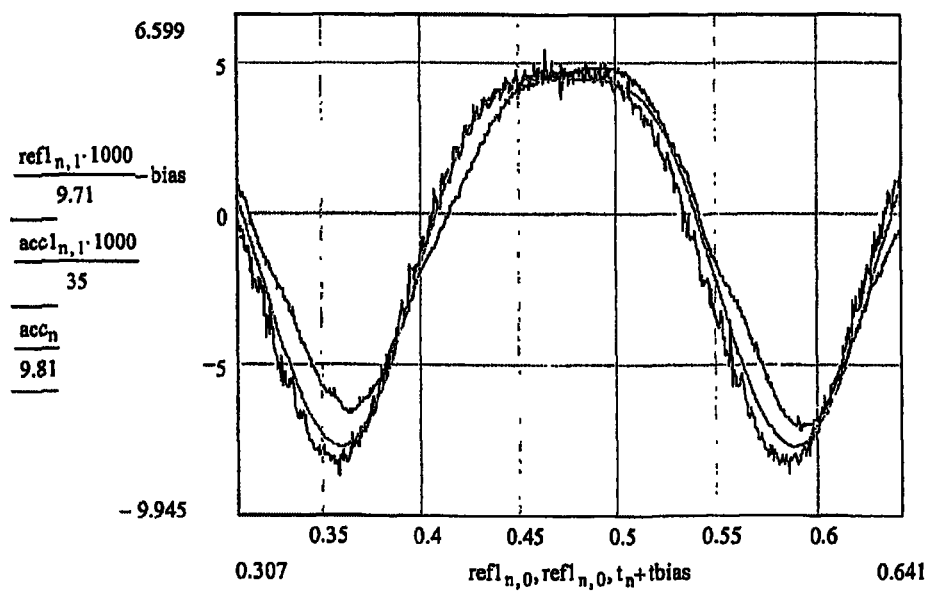


Fig. 11

8/9

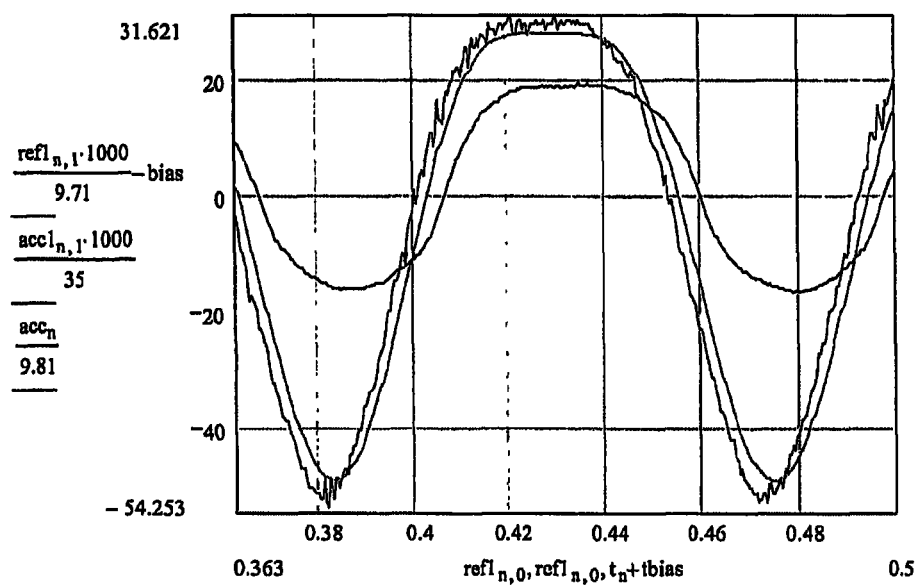


Fig. 12

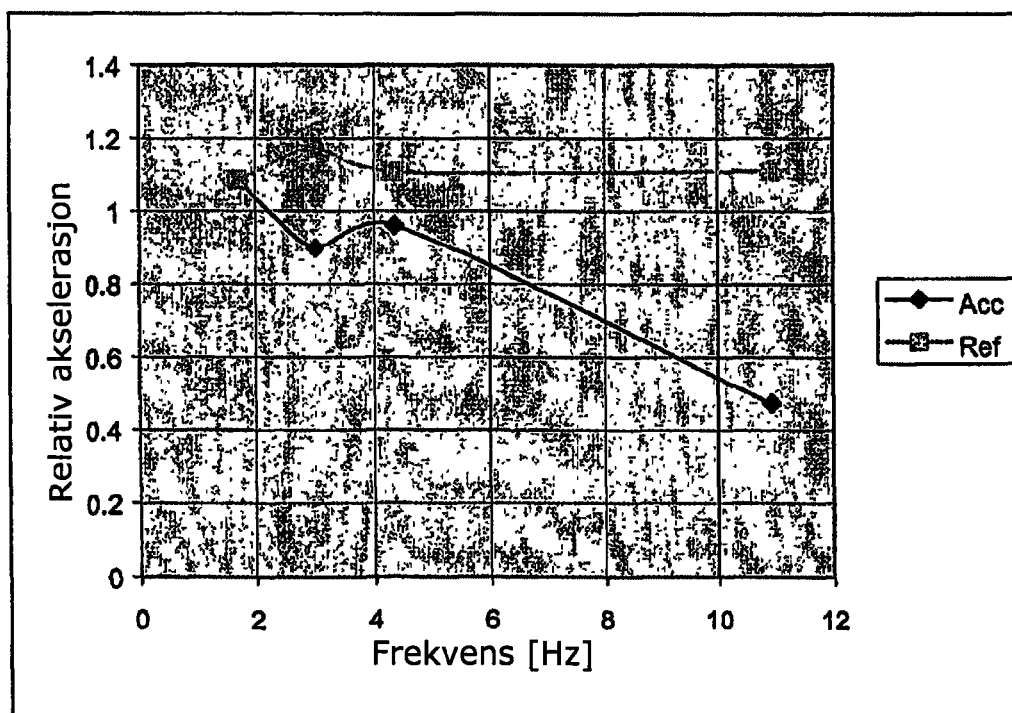


Fig. 13

9/9

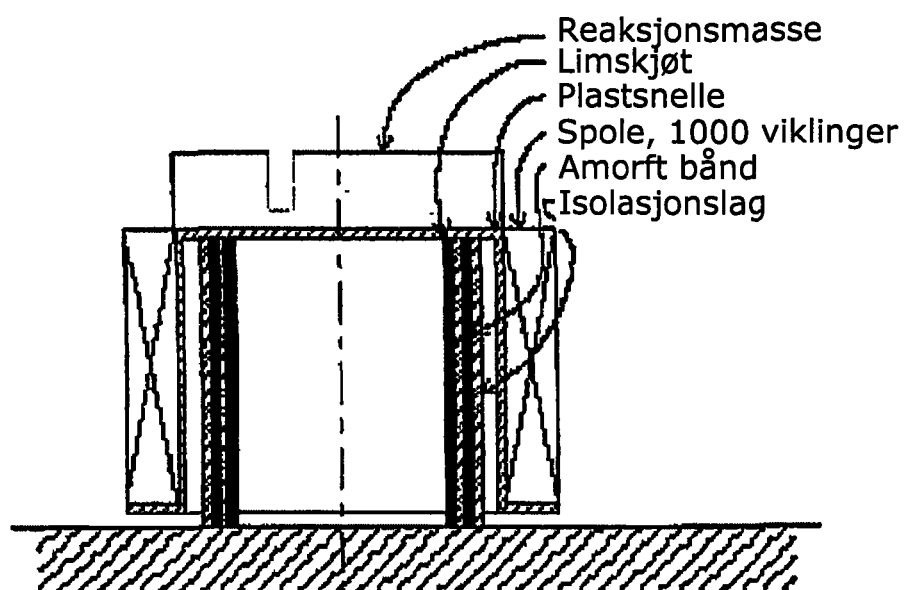


Fig. 14