

(19) DANMARK



Patentdirektoratet
TAASTRUP

(12) PATENTSKRIFT

(11) 167713 B1

(21) Patentansøgning nr.: 5735/83

(51) Int.Cl.5

G 01 B 7/10

(22) Indleveringsdag: 13 dec 1983

E 21 B 47/08

(41) Alm. tilgængelig: 14 jun 1984

(45) Patentets meddelelse bkg. den: 06 dec 1993

(86) International ansøgning nr.: -

(30) Prioritet: 13 dec 1982 US 449016 13 dec 1982 US 449015

(73) Patenthaver: *SCHLUMBERGER LIMITED; 277 Park Avenue; New York; N.Y. 10017, US

(72) Opfinder: Gerald N. *Minerbo; US, R. Bruce *McCann; FR, Gary A. *Hazen; US

(74) Fuldmægtig: Lehmann & Ree A/S

(54) Fremgangsmåde og apparat til elektrisk bestemmelse af den indvendige diameter af et rør

(56) Fremdragne publikationer

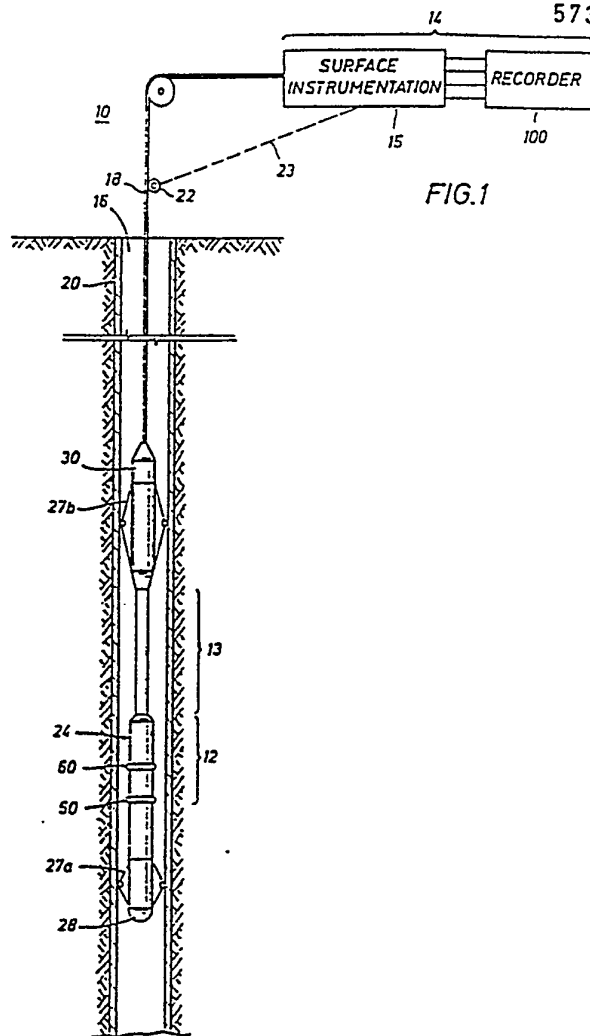
US pat. nr. 3417325

(57) Sammendrag:

5735-83

Ved en fremgangsmåde og et apparat til elektrisk måling af den indvendige diameter af et metalrør (20), såsom et olie- eller gasborehulsforingsrør bliver transimpedansen af to koaksiale spoler (50,60) i røret bestemt og derpå opløst i dens i fase- og kvadraturkomponenter. Størrelserne af disse to komponenter anvendes til at frembringe et korrigeret måleudgangssignal. Et signal, som repræsenterer den indvendige diameter af røret, frembringes i afhængighed af det korrigerede måleudgangssignal og kan optegnes som en funktion af vandringsafstanden i røret. Frembringelsen af det korrigerede måleudgangssignal kan også omfatte den samtidige løsning af to ulineære ligninger, som udtrykker størrelserne af i fase- og kvadraturkomponenterne som funktioner af $8(a_1)$, den indvendige radius af røret, og (τ) en faktor, der er proportional med forholdet mellem rørets permeabilitet og konduktivitet.

5735-83



Den foreliggende opfindelse angår en fremgangsmåde til måling af den indvendige diameter af et metalrør omfattende frembringelse af et impedanssignal mellem to koaksiale spoler i røret, hvor impedansen er forholdet mellem strømmen, som aktiverer en sender-
5 spole, og spændingen, som induceres i en modtagerspole, og hvor senderspølen og modtagerspølen er understøttet af et cylindrisk hus i en sonde, der kan bevæges gennem foringsrør i olieborehuller eller lignende. Opfindelsen angår endvidere et apparat til måling af den indvendige diameter af et metalrør omfattende et understøtningsor-
10 gan, et senderorgan indbefattende en senderspole anbragt på understøtningsorganet for frembringelse af en sendervekselstrøm, og et modtagerorgan indbefattende en modtagerspole anbragt på understøtningsorganet i afstand fra senderspølen for frembringelse af en modtagerspænding i afhængighed af senderstrømmen, når sender- og
15 modtagerspølerne er anbragt i et sådant rør.

Det er ofte nødvendigt at måle den indvendige diameter af et rør. Dette gælder særlig for foringsrøret i et olieborehul eller for en rørstreng, der er anbragt i et olieborehul, f.eks. for at udtage olie eller gas fra borehullet.

20 Sådanne metalrør er begravet i jorden og er derfor ikke tilgængelige for måling. Både indersiden og ydersiden af sådanne metalrør er udsat for korrosionsbeskadigelse. Korrosionen kan forårsages af indsprøjtede væsker eller af korroderende væsker i jorden. Desuden kan røret udsættes for indvendigt slid fra stængerne
25 i pumperne eller fra slid på grund af wireudstyr, der kan sendes ned i borehullet. Slid kan også forårsages af borings- eller fiskeoperationer ved anvendelse af et borerør.

Måling af beskadigelsen af et rør på grund af korrosion eller slid er vigtig for at anvende beskyttelsesforanstaltninger eller for
30 at reparere eller udskifte røret, når det er passende.

Det skal naturligvis erkendes, at den indvendige diameter af røret i et olieborehul kan variere på grund af tilladelige afvigelser i vægtykkelsen og i den nominelle rørdiameter.

35 Da der er et virkeligt behov for at bestemme den indvendige diameter af underjordiske metalrør, er der hidtil blevet udviklet forskellige instrumenter til dette formål. De fleste af disse instrumenter anvender mekaniske følere, som af fjederorganer presses imod rørets indvendige væg. Når en af følerne afbøjes eller slår ud på grund af tilstedeværelsen af huller, revner og andre virkninger

af korrosion eller erosion af røret, kan der frembringes et elektrisk signal, som anvendes til at registrere denne afvigelse. Dette kan f.eks. udføres ved at forsyne følerne med en magnet. Magneten drejes rundt sekventielt forbi de forskellige følere, så at en
5 afbøjning af føleren ændrer den magnetiske reluktans i magnetvejen, som igen inducerer et elektrisk signal, der kan registreres. Alternativt kan et potentiometer anbringes i forbindelse med en føler for at frembringe et signal, der er proportionalt med følerens udslag.

Nogle af disse mekaniske følerrørmålere anvender to sæt følere, et til måling af den maksimale indtrængning af følere, medens det
10 andet kontinuerligt måler middelindtrængningen af følerne. En rørmåler af typen med mekaniske følere har imidlertid en række ulemper. Eksempelvis kan et sådant instrument ikke detektere langsgående spalter eller revner i røret. Røret kan være belagt med
15 paraffin, skæl eller andet ikke metallisk materiale, som kan skjule fejl i røret. Føleren kan naturligvis ikke skelne mellem et metalrør og ikke-metallisk materiale, som kan dække røret. Visse huller, som er dækket af hærdede carbonhydrider og lignende, kan derfor ikke detekteres.

Endelig kan hver af de mange følere ridse røret eller skrabe den beskyttende belægning i røret af. Selv om røret ikke er blevet
20 belagt med en beskyttende belægning, kan ridserne forårsaget af følerne indlede yderligere korrosion. Følgelig kan det mekaniske instrument af følertypen forårsage ændring i rørets indvendige
25 diameter, som det skal måle.

US patentskrift nr. 3.417.325 viser en rent elektrisk rørmåler til bestemmelse af den indvendige diameter af et metalrør, hvori en
30 senderspøle og en modtagerspøle er understøttet på et cylindrisk hus i en sonde, der er indrettet til bevægelse gennem foringsrør i olieborehuller og lignende. Senderen aktiveres med vekselstrøm med en frekvens af størrelsesordenen 10 til 50 kHz. Spændingen, som induceres i modtagerspølen, tages som et mål for den indvendige middeldiameter af røret, som måles.

Det har imidlertid i praksis vist sig, at apparatet omhandlet i
35 det nævnte US patentskrift nr. 3.417.325 giver fejlbehæftede resultater, når enten konduktiviteten eller permeabiliteten eller både konduktiviteten og permeabiliteten af røret, som måles, varierer. I praksis inden for olieindustrien varierer konduktiviteten af rørvarer af stål fra omkring $2,6 \times 10^6$ mho/meter til $7,8 \times 10^6$ mho/meter.

Som det er velkendt, varierer permeabiliteten af rørvarer indenfor olieindustrien også betydeligt på grund af de mekaniske stød, varmebehandling osv., som varerne udsættes for.

Formålet med den foreliggende opfindelse er at tilvejebringe en indvendig rørmåler, der arbejder efter elektriske principper, og som afhjælper ulemperne ved de kendte instrumenter ved at frembringe et signal, der repræsenterer den indvendige diameter af røret, og som er i det væsentlige ufølsom for variationer i rørets konduktivitet og permeabilitet.

Ifølge opfindelsen opnås dette ved en fremgangsmåde af den indledningsvis angivne art, som er ejendommelig ved opløsning af impedanssignalet i dets vektorkomponenter indbefattende et kvadraturimpedanssignal og et i fase impedanssignal, frembringelse af et differenssignal, som er proportionalt med forskellen i størrelserne af kvadraturimpedanssignalet og i fase impedanssignalet, og frembringelse af et indvendig diametersignal, som repræsenterer den indvendige diameter af røret i afhængighed af i det mindste det nævnte differenssignal.

Det for apparatet af den indledningsvis angivne art ejendommelige er, at det har organer, der er indrettet til i afhængighed af modtagerorganet og senderorganet at frembringe et impedanssignal, som er proportionalt med forholdet mellem modtagerspændingen og senderstrømmen, organer til opløsning af impedanssignalet i dets kvadraturkomponent og dets i-fase komponent, organer, der er indrettet til i afhængighed af komponenterne at frembringe et korrigeret måleudgangssignal, og organer, der er indrettet til i afhængighed af det korrigerede måleudgangssignal at frembringe et signal, som repræsenterer den indvendige diameter af røret.

Medens den indvendige diameter af røret tidligere blot blev bestemt ud fra størrelsen af modtagerspændingen, hvor nøjagtigheden af målingen påvirkes af rørets permeabilitet og konduktivitet, er den foreliggende opfindelse baseret på den erkendelse, at forskellen mellem den reelle og imaginære del af impedansen, defineret som forholdet mellem modtagerspænding og senderstrøm, giver en bedre indikation af rørets indvendige diameter, idet dette forhold er i det væsentlige ufølsomt for permeabiliteten og konduktiviteten af røret. Den indvendige diameter er en funktion af forskellen mellem i-fase- og kvadratur-komponenterne af impedansen.

Opfindelsen skal herefter forklares nærmere under henvisning

til tegningen, hvor

- fig. 1 skematisk viser en udførelsesform for apparaturet nede i hullet og overfladeinstrumenterne for et rørmåleapparat ifølge opfindelsen,
- 5 fig. 2 en teoretisk model af sender- og modtagerspøler til måling af den indvendige diameter af et rørformet metalorgan,
- fig. 3 elektronisk apparatur, som er egnet til at udføre målingen ifølge opfindelsen,
- 10 fig. 4A og 4B fejlkorrektionseffektiviteten i henhold til en udførelsesform for opfindelsen og
- fig. 5 virkningen af første og anden ordenskorrektio-
ner for rør med varierende indvendige diametre som en
funktion af forholdet mellem rørenes permeabilitet og
15 konduktivitet.

På tegningen viser fig. 1 skematisk et elektrisk rørmåleudstyr 10, der er udført i henhold til opfindelsen. Udstyret 10 bestemmer den indvendige diameter af rørformede emner vist skematisk som et foringsrør 20 i et borehul 16.

20 Udstyret indbefatter en sonde 12 nede i hullet, en elektronisk patron 13 nede i hullet og overfladeudstyr 14. Sonden 12 er indrettet til at ophænges i og bevægelig gennem det rørformede emne eller foringsrøret 20 ved hjælp af et armeret kabel eller en wireledning 18. Borehullet 16 har som nævnt et foringsrør 20 med en indvendig
25 diameter, som udstyret 10 er indrettet til at måle som en funktion af borehulsdybden, når udstyret hæves eller sænkes i foringsrøret 20. Wireledningen eller kablet 18 kan være en enkelt leder (betegnet som et monokabel) eller en flerleder (der kan være et heptakabel med syv ledere).

30 Overfladeudstyret 14 står i forbindelse med sonden 12 over kablet 18 med henblik på styring af positionen af sonden 12 i foringsrøret 20 og for at modtage, behandle eller registrere signaler, som sendes fra sonden 12.

En mekanisk kabelfølgetransducer 22 og et ledssystem 23 til-
35 vejbringer positionssignaler, som indikerer dybden af sonden 12 i borehullet 16. Transduceren 22 er typisk i form af et kalibreret trykhjul, som presses mod wireledningen 18 og frembringer elektriske impulser, når hjulet roterer på grund af vandringen af sonden 12 i foringsrøret.

Udstyret nede i hullet omfatter sonden 12, en elektronisk patronsektion 13, et par centreringsorganer 27a, 27b, et spids-eller næseorgan 28 og en kabelendeafslutningsadaptor 30.

5 Sonden 12 indeholder målespoler 50, 60 til at udføre elektromagnetiske målinger som en funktion af dybden af sonden i foringsrøret. Der frembringes et signal, som er proportionalt med den indvendige diameter af foringsrøret. Der frembringes andre signaler, som repræsenterer forholdet mellem foringsrørets permeabilitet og konduktivitet.

10 Før beskrivelsen af det specifikke apparatur, som findes i den elektroniske patron 13 eller overfladeapparatet 14, skal der henvises til fig. 2 for en redegørelse for det teoretiske grundlag for opfindelsen.

Fig. 2 viser en teoretisk model af to koaksiale spoler 50, 60, 15 der er adskilt fra hinanden med en langsgående afstand L, og begge spoler er anbragt koaksialt i røret eller foringsrøret 20. Den indvendige radius af røret er repræsenteret ved a_1 , dets ydre radius ved a_2 . Radius af modtagerspølen 60 er angivet ved b_2 og radius af senderspølen 50 ved b_1 . De elektriske egenskaber ved mediet 1 inden 20 i røret er ϵ_1 , μ_1 , σ_1 , permittiviteten, permeabiliteten og konduktiviteten for mediet. Ligeledes er egenskaberne ved røret repræsenteret ved ϵ_2 , μ_2 , σ_2 .

Ved at bruge fig. 2 som grundlag for anvendelsen af Maxwell's ligninger kan det vises, at

$$25 \quad Z = \frac{V}{J} \quad (1)$$

hvor Z repræsenterer impedansforholdet mellem spolerne 60 og 50, og V repræsenterer spændingen, som induceres i modtagerspølen 60 i 30 afhængighed af strøm J, der løber i spølen 50. Impedansen Z kan skrives som

$$Z = Z_0 + Z_p \quad (2)$$

hvor Z_0 er den del af impedansen, som forårsages af direkte kobling 35 mellem sender- og modtagerspølerne, og Z_p er den del af impedansen, som forårsages af virkningen af røret 20.

Det kan vises, at

$$Z_0 = -2i\mu_1 b_1 b_2 \int_0^\infty I_1(\lambda b_2) K_1(\lambda b_1) \cos \lambda L d\lambda \quad (3)$$

6

$$Z_p = -2i^1 \mu_1 b_2 \int_0^\infty I_1(\lambda b_1) I_1(\lambda b_2) \Gamma_1(\lambda) \cos \lambda L d\lambda \quad (4)$$

hvor

$$\Gamma_1(\lambda) = \frac{-K_1(\lambda_1) - \lambda a_1 T K_0(\lambda a_1)}{I_1(\lambda a_1) + \lambda a_1 T I_0(\lambda a_1)} \quad (5)$$

$$i = \sqrt{-1}$$

$$T = \frac{1-i}{\sqrt{2}} \frac{\mu_2}{\mu_1} \frac{1}{a_1 \sqrt{\sigma_2 \mu_2 \omega}} - \frac{i}{2} \frac{1}{\sigma_2 \mu_1 \omega a_1^2} + \dots \quad (6)$$

og hvor I_1 , K_1 , I_0 , K_0 er Besselfunktioner.

Ligning (4) kan udvides ved anvendelse af ligning (5) for Γ og ligning (6) for T ,

$$Z_p = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} Z_1 &= +2i\omega\mu_1 b_1 b_2 \int_0^\infty I_1(\lambda b_1) I_1(\lambda b_2) \frac{K_1(\lambda a_1) \cos \lambda L d\lambda}{I_1(\lambda a_1)} \\ Z_2 &= -2i\omega\mu_1 b_1 b_2 T \int_0^\infty \frac{I_1(\lambda b_1) I_1(\lambda b_2) \cos \lambda L d\lambda}{I_1^2(\lambda a_1)} \\ Z_3 &= +2i\omega\mu_1 b_1 b_2 T^2 \int_0^\infty \frac{\lambda a_1 I_1(\lambda b_1) I_1(\lambda b_2) I_0(\lambda a_1) \cos \lambda L d\lambda}{I_1^2(\lambda a_1)} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Når konduktiviteten af røret er stor, fås

$$T = \frac{1-i}{\sqrt{2}} \frac{\mu_2}{\mu_1} \frac{1}{a_1 \sqrt{\sigma_2 \mu_2 \omega}} \quad (9)$$

Den målte impedans mellem spolerne $Z_{\text{målt}}$ har en reel og en imaginær (kvadratur-) del

$$Z_{\text{målt}} = \text{Re} Z_{\text{målt}} + i \text{Im} Z_{\text{målt}} \quad (10)$$

For lille værdi af T , er T^2 således meget lille, og $Z_3 = 0$,

7

$$\operatorname{Re} Z_{\text{målt}} + i \operatorname{Im} Z_{\text{målt}} = i(|Z_1| - |Z_0|) + \operatorname{Re} Z_2 + i \operatorname{Im} Z_2$$

$\operatorname{Re} Z_{\text{målt}} = \operatorname{Re} Z_2 = \operatorname{Im} Z_2$ fordi ud fra (9) har T
ens reel og kvadraturdel. Følgelig er

5

$$\operatorname{Im} Z_{\text{målt}} = |Z_1| - |Z_0| + \operatorname{Re} Z_{\text{målt}} \quad (11)$$

eller

10

$$\Delta Z = \operatorname{Re} Z_{\text{målt}} - \operatorname{Im} Z_{\text{målt}} = |Z_0| - |Z_1| \quad (12)$$

Ligning (12) angiver, at

15

$$\Delta Z = \operatorname{Re} Z_{\text{målt}} - \operatorname{Im} Z_{\text{målt}} = 2\omega\mu_0 b^2 (Z_{\text{INT}0} - Z_{\text{INT}1}) \quad (13)$$

hvor spolerne 50 og 60 har samme diameter b , mediet 1's permea-
bilitet er lig med permeabiliteten for det frie rum μ_0 og

20

og

$$\left. \begin{aligned} Z_{\text{INT}0} &= \int_0^\infty I_1(\lambda b) K_1(\lambda b) \cos \lambda L d\lambda \\ Z_{\text{INT}1} &= \int_0^\infty I_1^2(\lambda b) \frac{K_1(\lambda a_1) \cos \lambda L d\lambda}{I_1(\lambda a_1)} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

25

Når T fra ligning (9) ikke er lille nok til at kunne lades ude af
betragtning, kan det vises, at

30

$$\frac{\operatorname{Re} Z - \operatorname{Im} Z}{2\omega\mu_0 b^2} = (Z_{\text{INT}0} - Z_{\text{INT}1}) + \tau^2 Z_{\text{INT}3} - \sqrt{2} \tau^3 Z_{\text{INT}4} + \tau^4 Z_{\text{INT}5} + \dots \quad (15)$$

35

hvor

$$Z_{\text{INT}0} = \int_0^\infty I_1(\lambda b) K_1(\lambda b) \cos \lambda L d\lambda \quad (16)$$

$$Z_{\text{INT}1} = \int_0^\infty I_1^2(\lambda b) \frac{K_1(\lambda a_1) \cos \lambda L d\lambda}{I_1(\lambda a_1)} \quad (17)$$

$$\text{ZINT2} \quad \int_0^\infty \frac{I_1^2(\lambda b) \cos \lambda L d\lambda}{I_1^2(\lambda a_1)} \quad (18)$$

$$5 \quad \text{ZINT3} \quad = \quad \frac{\int_0^\infty (\lambda a_1) I_1^2(\lambda b) I_0(\lambda a_1) \cos \lambda L d\lambda}{I_1^3(\lambda a_1)} \quad (19)$$

$$\text{ZINT4} \quad = \quad \frac{\int_0^\infty (\lambda a_1)^2 I_1^2(\lambda b) I_0^2(\lambda a_1) \cos \lambda L d\lambda}{I_1^4(\lambda a_1)} \quad (20)$$

$$10 \quad \text{ZINT5} \quad = \quad \frac{\int_0^\infty (\lambda a_1)^3 I_1(\lambda b) I_0^2(\lambda a_1) \cos \lambda L d\lambda}{I_1^5(\lambda a_1)} \quad (21)$$

$$15 \quad \tau = \frac{1}{a_1} \sqrt{\frac{1}{\omega \mu_0}} \sqrt{\frac{\mu_r}{\sigma}} \quad (22)$$

hvor a_1 repræsenterer den indvendige radius af røret, b repræsenterer radius af sender- og modtagerspolerne, L er afstanden mellem senderspølen og modtagerspølen, $I_1(\lambda b)$ er en modificeret Besselfunktion af første art, $K_1(\lambda a_1)$ er en modificeret Besselfunktion af anden art, $I_0(\lambda a_1)$ er en modificeret Besselfunktion af første art, λ er en integrationsvariabel, μ_0 er permeabiliteten af det tomme rum, $\omega = 2\pi f$ er vinkelfrekvensen af sendervekselstrømmen, μ_r er den relative permeabilitet af røret, som måles, og σ er konduktiviteten af røret, som måles.

Ud fra ligningerne (13) og (14) kan en nøjagtig bestemmelse af a_1 , den indvendige radius i røret 20, således udføres ved måling af impedansen mellem spolerne, opløsning af impedansen i dens kvadratur- (imaginære) og i-fase- (reelle) komponenter, dannelse af differensen mellem disse komponenter og bestemmelse af a_1 , som tilfredsstiller ligning (14).

Ligning (14) kan med fordel forudberegnes for forskellige ΔZ værdier som en funktion af a_1 . Et polynomium kan tilpasses til det funktionelle forhold mellem a_1 og ΔZ eller

$$a_1 = f(\Delta Z) \quad (23)$$

Polynomiet kan lagres i hukommelsen i en digital datamat

anbragt i overfladeudstyret 14, så at når ΔZ måles som en funktion af dybden i borchullet 16, kan a_1 let bestemmes.

Alternativt kan ligning (13) bestemmes på forhånd over et område af værdier af ΔZ og a_1 for at frembringe en tabel af værdier, som kan lagres i en digital hukommelse i overfladeudstyret 14. Den digitale hukommelse kan derefter adresseres med en målt ΔZ værdi for at frembringe et signal a_1 , som repræsenterer den indvendige diameter af røret.

Når T ikke er lille nok til, at der kan ses bort fra den, kan ligningerne (15) og (16) til (22) løses ved først at tilvejebringe et begyndelsesestimat af a_1 , den indvendige radius af røret, ved at sætte $\tau = 0$. Ved anvendelse af begyndelsesestimaterne af a_1 bliver ZINT2, ZINT3, ZINT4 og ZINT5 derefter evalueret (det antages at τ er tilstrækkeligt lille til, at man kan se bort fra faktorer af højere orden i udviklingen).

Derefter bliver τ fra ligningen

$$\frac{\text{Re}Z}{2\omega\mu_0 b^2} = \frac{\tau}{\sqrt{2}} \text{ZINT2} + \tau^2 \text{ZINT3} - \frac{\tau^3}{\sqrt{3}} \text{ZINT4}$$

af ligning (15) bestemt. Den nye τ værdi anvendes i ligningen

$$\begin{aligned} \frac{\text{Re}Z - \text{Im}Z}{2\omega\mu_0 b^2} &= (\text{ZINT0} - \text{ZINT1}) + \tau^2 \text{ZINT3} \\ &- \sqrt{2} \tau^3 \text{ZINT4} + \tau^4 \text{ZINT5} + \dots \end{aligned}$$

af ligning (15).

De ovenfor angivne trin gentages, indtil værdier for τ og a_1 konvergerer, dvs. indtil ændringen er tilstrækkeligt lille fra den ene iteration til den næste.

Fig. 3 viser det elektroniske kredsløb, som er nødvendigt til implementering af opfindelsen. Målespoler 50, 60 er vist skematisk i foringsrøret 20. Senderspolen 50 aktiveres ved hjælp af en 65,5 kHz krystaloscillator 100 over en summerende forstærker 101 og en drivforstærker 102. For at sikre at en konstant strøm aktiverer senderspolen 50, tilvejebringer en strømaffølelse modstand 103 et udgangssignal til en affølingsforstærker 104 proportionalt med strømmen gennem senderspolen 50. Udgangssignalet fra affølingsforstærkeren 104 føres til en ensretter 105, hvor et ensrettet

fejlsignal føres til en differensfejlførstærker 106 for sammenligning med et referencesignal. Fejlsignalet fra fejlførstærkeren 106 føres tilbage til den summerende førstærker 101 for at fuldende tilbagekoblingskonstantstrømskredsløbet.

5 Signalet fra den strømaffølede modstand 103 føres til en faselåst sløjfeoscillator 110, som frembringer referencesignaler i kvadratur (f.eks. 90° faseforskudt) med senderstrømmen på en ledning 111 og i fase (f.eks. 180° faseforskudt) med senderstrømmen på en ledning 112. Strømreferencesignalet føres også til et skiftenet 120.
10 Et jordsignal på en ledning 116 føres yderligere til skiftenettet 120. Over skiftenettet 120 er det muligt at føre ikke kun den modtagne spænding på ledninger 115 til en fasefølsom detektor 130, men også et strømsignal på en ledning 113 og et jordsignal 116 for derved at tilvejebringe brugsklare midler til at kalibrere det
15 fasefølsomme detektorsystem (PSD) 130 for dårlig centrering og drift med temperaturen og tiden. Signalet fra skiftenettet 120 føres til PSD 130 over en differensførstærker 121 og et båndpasfilter 122 med en båndpasfrekvens, der i det væsentlige er den samme som frekvensen af oscillatoren 100.

20 Udgangssignalet fra PSD 130 føres til et lavpasfilter 131, hvis udgangssignal under loggingoperationer skiftevis er i-fase- og kvadraturkomposanterne af spændingssignalet, som indikeres i spolen 60 målt i forhold til fasen af den drivende strømsenderspole 50. En omskifter S bliver skiftevis forbundet med ledningerne 111,112 mange
25 gange hvert sekund for derved at frembringe mange udgangs aflæsninger hvert sekund for effektivt at sikre, at der for hver dybdeposition, som spolerne 50,60 måler, er flere udgangssignaler af i-fase- og kvadraturkomposanterne til rådighed for yderligere behandling som tidligere beskrevet for at frembringe en indvendig diametermåling og
30 en τ måling, der indikerer forholdet mellem rørets permeabilitet og konduktivitet.

 Kredsløbet i fig. 3 er fortrinsvis anbragt i den elektroniske patron 13, men kan alternativt delvis eller fuldstændigt være beliggende i overfladeudstyret bortset fra indgangs- og udgangsledninger til spolerne 50 og 60. Fortrinsvis bliver signaler fra den
35 fasefølsomme detektor 130 ført til overfladeinstrumentkredsløbene 14 ved hjælp af telemetrikredsløb nede i hullet og demodulationskredsløb ovenfor hullet svarende til dem, der er vist i USA patentskrift nr. 4.292.588, hvortil der henvises.

Spolerne 50 og 60 kan være afskærmet på sædvanlig måde for således at forhindre elektrisk feltkobling, når logning udføres i et saltvandsfyldt milieu.

Borehulslogs af den indvendige diameter af foringsrør udføres ved hjælp af apparatet vist i fig. 1 og 3, og behandlingstrinnene angivet ovenfor udføres fortrinsvis i overfladeudstyret 14. Logs frembringes ved korrelering af dybdesignalerne fra spolerne 50,60 ved anvendelse af målehjulet 22, der skematisk er vist forbundet med overfladeudstyret 15, som det er velkendt indenfor borehulslogning. Et registreringsapparat 100 er tilvejebragt for at frembringe logs af den indvendige diameter af foringsrøret i forhold til dybden af spolerne 50,60. Parametren τ , der er proportional med permeabilitets/ konduktivitetsforholdet kan også optegnes som en funktion af loggingdybden.

Fig. 4A og 4B viser virkningsfuldheden af opfindelsen ved frembringelse af målinger af den indvendige diameter af rørformede varer med store variationer i konduktivitet. Fig. 4A viser, at der fremkommer væsentlige fejl i den tilsyneladende indvendige rørdiameter for rørformede messing-, rustfrit stål-, aluminium- og andre jernholdige rør med forskellige permeabilitets/ konduktivitetsforhold. Resultaterne i fig. 4A blev frembragt på den tidligere kendte måde ved estimering af den indvendige diameter alene på grundlag af størrelsen af den modtagne spænding i modtagerspølen 60. Fig. 4B viser, at ved tilvejebringelse af korrektionerne angivet ved ligningerne (13) og (14) ovenfor bliver fejl i estimatet af den indvendige rørdiameter betydeligt reduceret.

Fig. 5 viser den forventede fejl i målingen ved anvendelse af første ordenskorrektionen i ligningerne (13) og (14) og anden ordenskorrektionen i ligningerne (15) til (22). Fejlkurverne er angivet som en funktion af μ/σ for det undersøgte rør og viser kurver over indre foringsrørdiameter på 4,5,6 og 7 tommer (10,2, 12,7, 15,2 og 17,8 centimeter). Det vil ses, at en betydelig reduktion i de indvendige foringsrørdiameterfejl er opnået for store μ/σ forhold.

Selv om opfindelsen er blevet beskrevet specifikt for den indvendige diametermåling af foringsrør nede i olie- eller gasborehuller, kan opfindelsen også umiddelbart finde anvendelse ved måling af den indvendige diameter af et hvilket som helst rør, hvor adgang til indersiden er den eneste praktiske måling. Den heri beskrevne

opfindelse kan umiddelbart finde anvendelse ved måling af f.eks.
olie- og gasrørledninger.

5

10

15

20

25

30

35

P A T E N T K R A V.

1. Fremgangsmåde til måling af den indvendige diameter af et metalrør (20) omfattende frembringelse af et impedanssignal mellem
 5 to koaksiale spoler i røret, hvor impedansen er forholdet mellem strømmen, som aktiverer en senderspole (50), og spændingen, som induceres i en modtagerspole (60), og hvor senderspolen (50) og modtagerspolen (60) er understøttet af et cylindrisk hus i en sonde (12), der kan bevæges gennem foringsrør (20) i oliebohuller (16)
 10 eller lignende, k e n d e t e g n e t ved opløsning af impedanssignalet i dets vektorkomposanter indbefattende et kvadraturimpedanssignal og et i fase impedanssignal, frembringelse af et differenssignal (ΔZ), som er proportionalt med forskellen i størrelserne af kvadraturimpedanssignalet og i fase impedanssignalet, og frembringelse af et indvendig diametersignal, som repræsenterer den
 15 indvendige diameter af røret (20) i afhængighed af i det mindste det nævnte differenssignal (ΔZ).

2. Fremgangsmåde ifølge krav 1, k e n d e t e g n e t ved, at trinnet til frembringelse af et indvendig diametersignal omfatter
 20 samtidig løsning af to ulineære ligninger, som udtrykker størrelserne af kvadraturimpedanssignalet og i fase impedanssignalet som funktioner af (a_1) og (τ), hvor (a_1) repræsenterer den indvendige radius af røret (20), og (τ) er en faktor, som er proportional med forholdet mellem rørets permeabilitet og konduktivitet.

25 3. Fremgangsmåde ifølge krav 2, k e n d e t e g n e t ved, at trinnet til samtidig løsning af to ligninger omfatter

a) estimering af (a_1), den indvendige radius i røret (20) ved at sætte $\tau = 0$,

30 b) anvendelse af det estimerede (a_1) til at bestemme (τ) ud fra den anden ligning,

c) anvendelse af den nye (τ) værdi i den første ligning til at bestemme et forbedret estimat af (a_1) og

d) gentagelse af trin b og c, indtil værdierne for (τ) og (a_1) konvergerer.

35 4. Fremgangsmåde ifølge et hvilket som helst af kravene 1-3, og som yderligere omfatter bevægelse af senderspolen (50) og modtagerspolen (60) som en enhed aksialt i røret (20) og optegning af signalet for indvendig diameter som en funktion af afstand langs røret, k e n d e t e g n e t ved optegning af et signal, der er

proportionalt med forholdet mellem permeabilitet og konduktivitet som en funktion af afstand langs røret.

5. Apparat til måling af den indvendige diameter af et metalrør (20) omfattende et understøtningsorgan (12), et senderorgan indbefattende en senderspole (50) anbragt på understøtningsorganet for frembringelse af en sendervekselstrøm, og et modtagerorgan indbefattende en modtagerspole (60) anbragt på understøtningsorganet i afstand fra senderspølen for frembringelse af en modtagerspænding i afhængighed af senderstrømmen, når sender- og modtagerspølerne er anbragt i et sådant rør, k e n d e t e g n e t ved organer, der er indrettet til i afhængighed af modtagerorganet og senderorganet at frembringe et impedanssignal, som er proportionalt med forholdet mellem modtagerspændingen og senderstrømmen, organer til opløsning af impedanssignalet i dets kvadraturkomponent ($\text{Im}Z$) og dets i-fase komponent ($\text{Re}Z$), organer, der er indrettet til i afhængighed af ($\text{Im}Z$) og ($\text{Re}Z$) komponenterne at frembringe et korrigeret måleudgangssignal, og organer, der er indrettet til i afhængighed af det korrigerede måleudgangssignal at frembringe et signal, som repræsenterer den indvendige diameter af røret.

6. Apparat ifølge krav 5, k e n d e t e g n e t ved, at organerne til frembringelse af det korrigerede måleudgangssignal omfatter organer til lineær kombination af ($\text{Im}Z$) og ($\text{Re}Z$) komponenterne for at frembringe et korrigeret måleudgangssignal med en formindsket følsomhed for permeabiliteten og konduktiviteten af metalgenstande.

7. Apparat ifølge krav 6, k e n d e t e g n e t ved, at organerne til lineær kombination omfatter subtraktionsorganer til frembringelse af et differenssignal, som indikerer differensen mellem ($\text{Im}Z$) og ($\text{Re}Z$) komponenterne.

8. Apparat ifølge et hvilket som helst af kravene 5-7, k e n d e t e g n e t ved, at organerne til frembringelse af signalet for den indvendige rørdiameter omfatter organer til filtrering af det korrigerede måleudgangssignal.

9. Apparat ifølge krav 7, k e n d e t e g n e t ved, at organerne til frembringelse af et signal, som angiver den indvendige rørdiameter, indbefatter organer til lagring af numeriske indikationer af den indvendige diameter af røret som en funktion af differenssignalet, og organer til adressering af lagerorganerne med differenssignalet for at frembringe et signal for indvendig

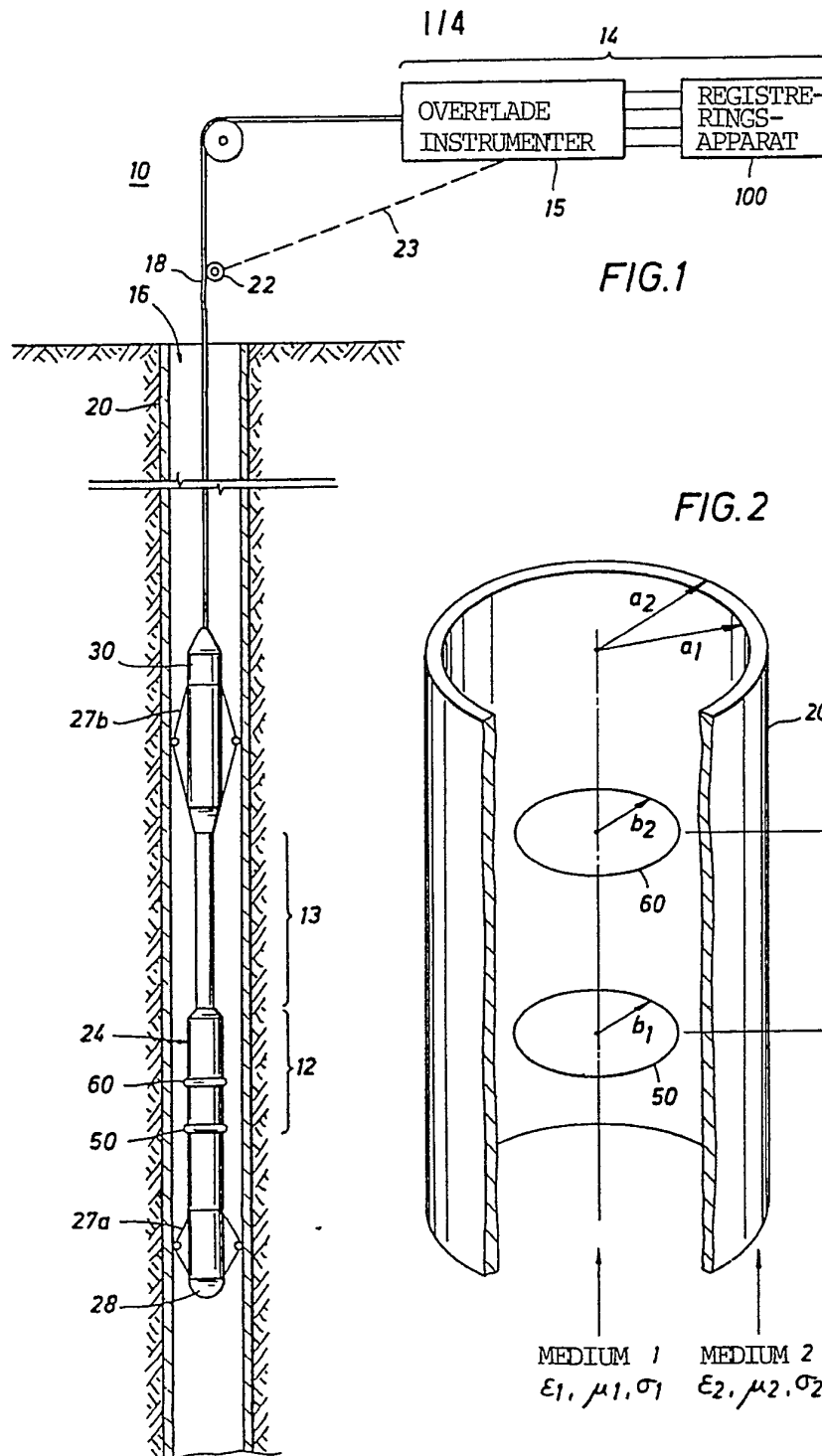
diameter, der er proportionalt med den indvendige diameter af røret.

10. Apparat ifølge krav 5, k e n d e t e g n e t ved, at organerne til frembringelse af det korrigerede måleudgangssignal omfatter organer til filtrering af (ImZ) og (ReZ) komponenterne
 5 baseret på en model for de respektive komponenter, som udtrykker hver komponent som en ulineær kombination af i det mindste to egenskaber ved metالرøret.

11. Apparat ifølge krav 10, k e n d e t g n e t ved, at filtreringsorganerne omfatter organer til samtidig løsning af to
 10 ulineære ligninger, som udtrykker (ImZ) komponenten og (ReZ) komponenten som funktioner af (a_1) og (τ), hvoraf (a_1) repræsenterer den indre radius i røret, og (τ) er en faktor, som er proportional med forholdet mellem rørets permeabilitet og konduktivitet.

12. Apparat ifølge et hvilket som helst af kravene 5,10 eller
 15 11, k e n d e t e g n e t ved organer, der er indrettet til i afhængighed af det korrigerede måleudgangssignal at frembringe et signal, der angiver forholdet mellem rørets permeabilitet og konduktivitet.

13. Apparat ifølge et hvilket som helst af kravene 5-12, hvor
 20 apparatet omfatter et borehulsloggeapparat, hvor metالرøret omfatter et borehulsforingsrør (20), hvor understøtningsorganet (12) er indrettet til at gå igennem borehulsforingsrøret, hvor sender- (50) og modtagerspolerne (60) er koaksialt anbragt på understøtningsorganet, og hvor sender- og modtagerorganet er forbundet med
 25 overfladeinstrumenter (15) over et wireledningskabel (18), og hvilket apparat yderligere omfatter organer (100) til at bevæge understøtningsorganet aksialt i røret, og organer til registrering af signalet, som repræsenterer den indvendige diameter af røret som en funktion af afstand langs røret, k e n d e t e g n e t ved, at
 30 frekvensen af sendedvekselstrømmen er ca. 65 kHz.



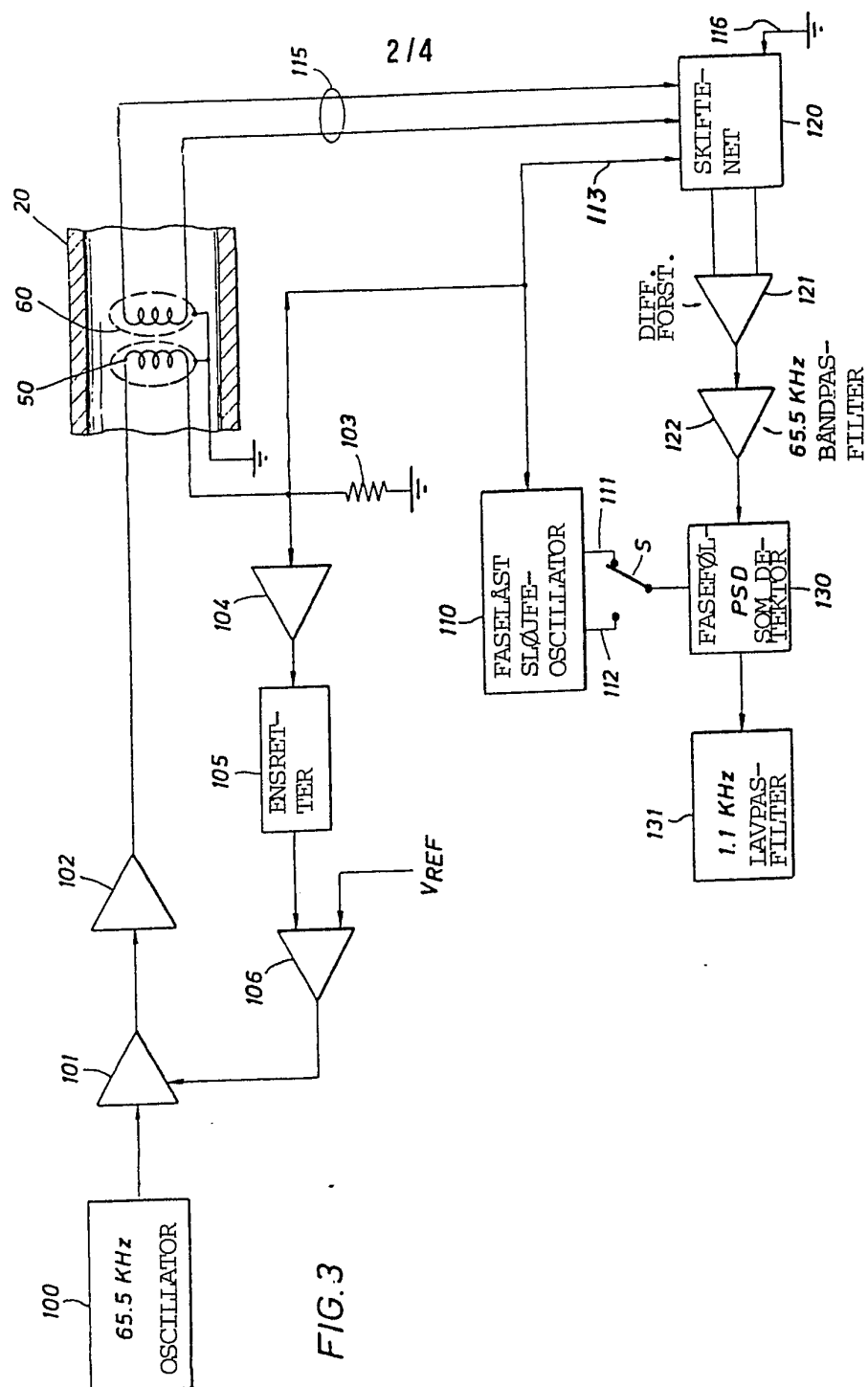


FIG. 3

3/4

FIG. 4A

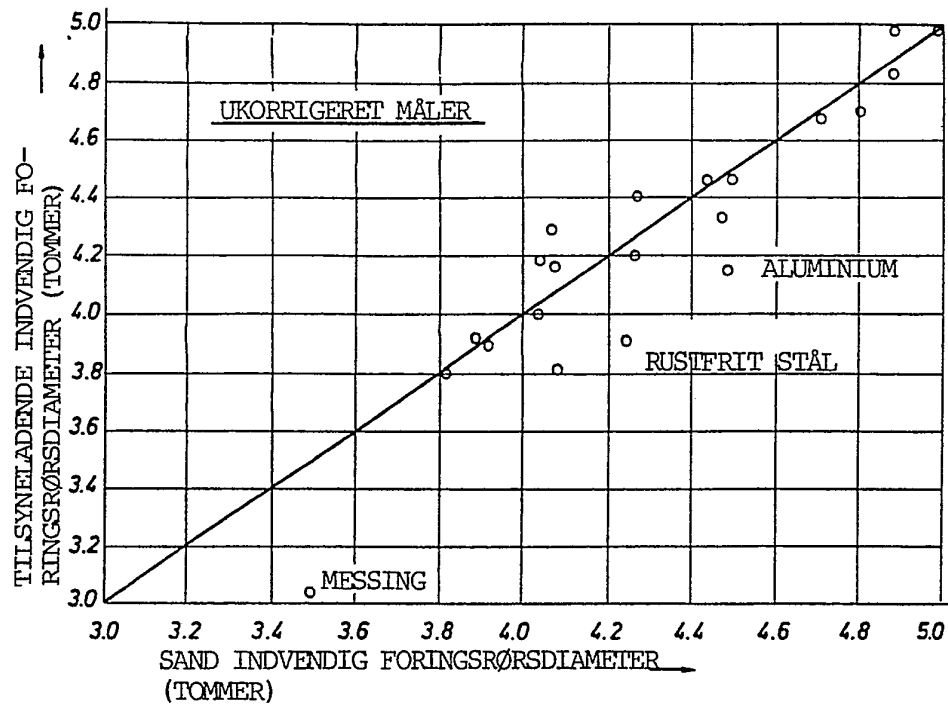


FIG. 4B

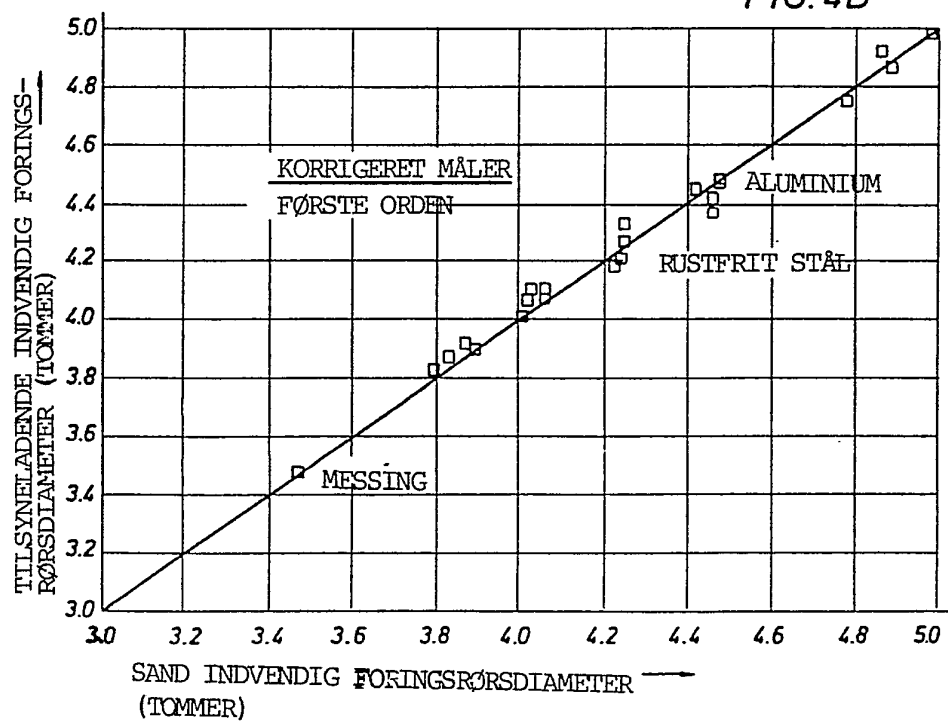


FIG. 5

MÅLERKORREKTIONSSAMMENLIGNINGER

