



(12) **PATENT**

(19) NO

(11) **315670**

(13) B1

(51) Int Cl⁷

E 21 B 44/00

Patentstyret

(21) Søknadsnr	19953948	(86) Int. inng. dag og søknadsnummer	
(22) Inng. dag	1995.10.04	(85) Videreføringsdag	
(24) Løpedag	1995.10.04	(30) Prioritet	1994.10.19, US, 325846
(41) Alm. tilgj.	1996.04.22		
(45) Meddelt dato	2003.10.06		
(71) Patenthaver	Anadrill International SA, 8 Calle Aquilino de la Guardia, Panama City, PA		
(72) Oppfinner	John C. Rasmus, Richmond, TX 77469, US		
(74) Fullmektig	Bryn Aarflot AS, 0104 Oslo		

(54) Benevnelse **Fremgangsmåte og anordning for måling av boretilstander ved kombinasjon av nedihulls- og overflatemålinger**

(56) Anførte publikasjoner K. RAPPOLD: "DRILLING OPTIMIZED WITH SURFACE MEASUREMENT OF DOWNHOLE VIBRATIONS". OIL AND GAS JOURNAL, VOL. 91, NO. 7, 1993
EP A2 263644

(57) Sammendrag

Under boring av en brønn blir en tilstand på overflaten som bidrar til en tilstand nede i borehullet, identifisert. Et sett med observerte målinger blir innsamlet for tilstandene på overflaten og nede i hullet. Fra dette settet med observasjoner blir det utledet en prediktorligning som uttrykker tilstanden nede i borehullet som en funksjon av den målte tilstand på overflaten. Etter at prediktorligningen er blitt utviklet, blir den anvendt på en målt overflatetilstand til å anslå den resulterende tilstand nede i borehullet.

Fremgangsmåten vedrører generelt fremgangsmåter og apparater for måling av boretilstander nede i et borehull under en boreoperasjon, og spesielt en fremgangsmåte og et apparat for å kombinere målinger nede i hullet med en relatert måling ved brønnens overflate.

5 Tilstander nede i brønnen kan måles ved høye samplingsfrekvenser, men dataene kan ikke overføres hurtig opp gjennom hullet under boring. Disse målte tilstander blir typisk overført ved å sende trykkpulser gjennom boreslammet som fyller borestrengen som forbinder borkronen med overflaten. Sending av disse pulsene gjennom boreslammet tilveiebringer bare en overføringsvei, slik at data
10 må overføres i serie. Siden denne overføringsmetoden begrenser datahastighetene til bare noen databiter pr. sekund, og siden overføring av en enkelt måling nede i brønnen til overflaten krever et antall databiter, trengs det en overføringstid på flere sekunder til å sende et målesignal nede fra brønnen til overflaten.

 Det er også mange forskjellige tilstander nede i brønnen som det er interessant å måle under boring av en vanlig brønn. Serieoverføring krever at hver av
15 disse målingene må vente på sin tur til å bli overført.

 I tillegg til å være begrenset til en enkelt, seriemessig datavei for overføring av mange målinger, er det også en grense for overføringshastigheten langs dataveien. Et signal krever vanligvis 2-3 sekunder til overføring fra brønnen, opp gjennom
20 slammet i borestrengen og til overflaten. Selv om en tilstand nede i en brønn kan samples meget hyppigere ved hjelp av en måleanordning nede i brønnen, kan målingen av en enkelt tilstand nede i brønnen på grunn av disse andre begrensningene, oppdateres på overflaten bare omkring hvert 30. til 60. sekund.

 Utstyr for overvåkning av nedhulls borebetingelser er beskrevet i
25 K. Rappold: "Drilling optimized with surface measurement of downhole vibrations". Oil and Gas Journal, vol. 19, no. 7, 1993. EP A2 263644 beskriver teknikker for undersøkelse av vrимoment- og friksjonstap i boreprosessen.

 Av en rekke grunner er det ønskelig å overvinne de ovennevnte begrensninger for å oppnå en hurtig indikasjon på virkningen nede i borehullet av en overflatetilstand. En boreregistrering med hyppige oppdateringer kan være nyttig etter
30 boring for å tolke resultatene av boreoperasjonen. En operatør trenger også informasjon nede fra hullet for å foreta justeringer av styringen av boreprosessen slik at endrede tilstander kan detekteres og analyseres, slik som endringer i friksjonen

mellom borestrengen og borehullet, tilstanden til borkronen og formasjonens litologi. Disse justeringene er viktig for å maksimalisere inntrengningshastigheten og for å bore trygt for derved å minimalisere kostbar boretid.

Hovedformålet med oppfinnelsen er å tilveiebringe hyppige overflateoppdateringer av en målt tilstand nede i et borehull under boring for umiddelbart å indikere den virkning som en overflatetilstand har hatt nede i hullet.

Ifølge oppfinnelsen blir en tilstand på overflaten som frembringer eller bidrar til tilstanden nede i borehullet først identifisert. Et sett med observerte målinger blir innsamlet om tilstandene på overflaten og nede i hullet. Fra dette settet med observasjoner blir det utlignet en prediktor-ligning som uttrykker tilstanden nede i hullet som en funksjon av den målte overflatetilstand. Etter at prediktor-ligningen er blitt frembrakt, blir den anvendt på en målt overflatetilstand til å anslå den resulterende tilstand nede i hullet.

For på best mulig måte å hjelpe boreoperatøren kan det genereres en fremvisning av tilstanden nede i hullet, som kan være en grafisk eller numerisk fremvisning. Prediktor-ligningen kan anvendes på etterfølgende observasjoner av overflatetilstanden til å frembringe en systematisk oppdatert fremvisning. Prediktor-ligningen kan også oppdateres for å ta i betraktning endrede boretilstander ved å samle inn ytterligere sett med overflatemålinger og målinger nede i hullet og utlede en ny prediktorligning. De ytterligere målinger kan innsamles kontinuerlig, periodisk eller fra tid til tid.

Oppfinnelsen er definert i de vedføyde patentkrav.

Hovedformålet med oppfinnelsen og andre formål vil fremgå av den følgende detaljerte beskrivelse under henvisning til de vedføyde tegninger, hvor

fig. 1 viser et blokkskjema over apparatets komponenter;

fig. 2 skisserer flere anvendelser som er aktive i systemlageret til en datamaskin som er en komponent i apparatet;

fig. 3 skisserer grafisk et sett med observasjoner på overflaten og nede i hullet, og resultatene av databehandlingen av datasettet;

fig. 3(a) viser størrelsen av observerte overflatemålinger, S , og målinger nede i hullet, D , opptegnet som en funksjon av tiden, t ;

fig. 3(b) viser de samme observasjoner, S og D, opptegnet som funksjon av tiden for hver observasjon, idet målingene nede i borehullet er forskjøvet for å ta i betraktning tidsforsinkelsen mellom forekomsten av en overflatetilstand og mottakelsen på overflaten av den tilsvarende overførte måling fra borehullet;

5 fig. 3(c) viser den samme tidsforskjøvede måling D og en filtrert versjon $\bar{S}$, av overflatemålingen S, hvor begge er opptegnet som funksjon av tiden, t;

fig. 3(d) viser $\bar{S}$ og de tidsforskjøvede observasjoner av D med ytterligere interpolerte verdier av D, hvor alle er opptegnet som funksjon av tiden, t;

fig. 3(e) viser parene av observasjoner D og $\bar{S}$ opptegnet med D som ordinat og $\bar{S}$ som absisse. Fig. 3(e) viser også det geometriske sted for den deriverte ligning $\hat{D} = f(\bar{S})$;

fig. 3(f) viser ligningen $\hat{D} = f(\bar{S})$ anvendt for en enkel observasjon av S for umiddelbart å indikere den virkning som en overflatetilstand vil ha nede i hullet;

15 fig. 4 viser en nummerert sekvens av observasjoner av S og D i relasjon til en tidsskala,

fig. 5 er en mer generell skisse av sekvensen av observasjonene på fig. 4;

fig. 6 viser en trinnendring i tid, t, av et torsjonsmoment, T, påført borestrengen og systemets "responser", det vil si det resulterende torsjonsmoment, S, målt ved overflaten og det resulterende torsjonsmoment D målt nede i hullet;

20 fig. 7 viser en modell over målingene på fig. 6 hvor systemets responser er vist som overføringsfunksjoner C_S og C_D , og som også viser et filter, F, for generering av den filtrerte respons $\bar{S}$; og

fig. 8 viser en sekvens av observasjoner som på fig. 5, fulgt av en annen sekvens med observasjoner for en oppdatert analyse.

25 I et tilfelle hvor torsjonsmomentet og borkronen nede i hullet er den boretilstand som er av interesse, blir den torsjon som påføres borestrengen ved overflaten identifisert som en tilstand ved overflaten som frembringer eller bidrar til tilstanden nede i hullet. Etter en viss tidsforsinkelse mellom tidspunktet for påføring av torsjonsmomentet på borestrengen ved overflaten, overføring av torsjonen fra en ende av borestrengen til borkronen, og levering av torsjonsmomentet ved borkronen, vil den torsjon som leveres nede i hullet svare til den torsjon som påføres borestrengen ved overflaten, bortsett fra friksjonsvirkninger forårsaket av vekselvirkning mellom borestrengen og borehullet.

I tilfelle med en borestreng som omfatter en motordrevet borkrone nede i hullet, vil motordriveren også bidra til torsjon på borkronen. En tilstand som kan måles på overflaten og bidrar til motortorsjonsmomentet nede i borehullet, kan også innbefattes i analysen. Trykk på overflaten ved innløpet til et stigerør som leverer fluid for drift av motoren, kan f.eks. måles som en bidragsyter til torsjonen nede i hullet.

I et annet tilfelle kan den tilstand som er av interesse nede i hullet, være vekten på borkronen. I et slikt tilfelle antas det at vekten av borestrengen er kjent og at den vektstørrelse som understøttes ved overflaten, kan måles som det varierende overflatemålte bidrag til tilstanden nede i borehullet.

Det er velkjent hvordan tilstander nede i borehullet og på overflaten skal måles, slik som nettopp beskrevet. Vekten på en borkrone nede i borehullet blir målt f.eks. ved hjelp av en strekkklapp festet til et vektrør i borestrengen like over borkronen, som beskrevet i US patent nr. 4,359,898 som herved inntas som referanse. Den varierende vekt som understøttes ved overflaten, blir også målt ved hjelp av en strekkklapp forbundet med understøttelsesmekanismen på overflaten, som brukes til å regulere vekten på borkronen.

Det er også velkjent å overføre signaler som representerer slike nedhulls målinger til overflaten, f.eks. ved å omforme målingen til digitale informasjonsbiter og overføre bitene som pulser gjennom boreslam i borestrengen.

Fig. 1 viser et blokkskjema over komponentene til måleapparatet. Apparatet innbefatter en datamaskin 100 med en systembuss 101 til hvilken forskjellige komponenter er koblet og ved hjelp av hvilken kommunikasjon mellom de forskjellige komponentene blir gjennomført. En mikroprosessor 102 er forbundet med systembussen 101 og blir understøttet av et leselager (ROM) 103 og et direkte lager (RAM) 104 som også er forbundet med systembussen 101. Mikroprosessoren 102 er av Intel-familien som innbefatter mikroprosessorene 8088, 286, 386, 486 eller 586. Andre mikroprosessorer innbefattes, men ikke begrenset til Motorola's mikroprosessor-familie slik som 68000, 68020 eller 68030 og forskjellige RISC-mikroprosessorer fremstilt av IBM, Hewlett Packard, Digital, Motorola og andre, kan imidlertid også brukes.

Leselageret 103 inneholder kode innbefattende Basic Input/Output System (BIOS) som styrer grunnleggende maskinvareoperasjoner som vekselvirkninger mellom tastaturet 105 og diskdrivene 106 og 107. Direktelageret (RAM) 104 er

det hovedlager i hvilket operativsystemet og avbildningsprogrammene er lastet, innbefattet brukergrensesnittet ifølge foreliggende oppfinnelse. Lager-administrasjonsbrikken 108 er forbundet med systembussen 101 og styrer tilgangsoperasjoner til direktelageret innbefattet overføring av data mellom RAM 104 og et hard-disk-driv 106 og diskett-drivet 107.

Forbundet med systembussen 101 er også fire ytre styreenheter: Tastatur-styreenheten 109, mus-styreenheten 110, video-styreenheten 111 og inn/ut-styreenheten 112. Tastatur-styreenheten 109 er maskinvare-grensesnittet for tastaturet 105, mus-styreenheten 108 er maskinvare-grensesnittet for musen 114, video-styreenheten 111 er maskinvare-grensesnittet for skjermen 115 og inn/ut-styreenheten 112 er maskin-grensesnittet for transduserne 116 og 117.

De nødvendige tilstander nede i hullet blir målt ved hjelp av transdusere 118. Signaler fra transduserne 118 blir matet via en multiplekser 119 til en mikroprosessor (CPU) 120 som styrer en likestrømsmotor 121 i en telemetri-anordning for måling under boring, slik som beskrevet i US patent 5,237,540 som herved inn-tas som referanse. Et elektrisk batteri eller en kraftgenererende turbin utgjør en kraftforsyning 122 for anordningen 123 nede i hullet. Modulasjon av likestrømsmotoren 121 styrer trykkmodulatoren 124 som genererer trykkpulssignalene som overføres opp gjennom slammet i borestrengen som representeres ved line 125, til en trykktransduser 116 på boreriggen (ikke vist). De nødvendige overflatetilstander blir målt ved hjelp av en transduser 117. Transduserne 116 og 117 frembringer innmatninger til inn/ut-styreenheten 112.

Det operativsystem som den foretrukne utførelsesform av oppfinnelsen er basert på, er Microsoft's WINDOWS NT, selv om kan vil forstå at oppfinnelsen kan realiseres ved hjelp av andre og forskjellige operativsystemer. Som vist på fig. 2, er et operativsystem 130 vist resident i RAM 104. Operativsystemet 130 er ansvarlig for å bestemme hvilke brukerinnmatninger fra tastaturet 105 og musen 114 på fig. 1 som går til hvilke av anvendelsene, idet disse innmatningene overføres til de riktige anvendelser og utfører de handlinger som spesifiseres ved hjelp av anvendelsen og svaret på innmatningen. F.eks. vil operativsystemet 130 fremvise resultatet av den grafiske fremvisningsanvendelse 134 for brukeren på den grafiske fremvisningsanordningen 115 på fig. 1. Blant de bruksområder som er residente i

RAM 104, er et antall brukerprogrammer 131 til 134 for behandling av innmatninger fra transdusere, omforming av behandlede innmatninger til historiske datatabeller og utførelse av numerisk analyse slik som filtrering, krysskorrelasjon og regresjonsanalyse.

5 Som vist på fig. 3(a) blir over en tidsperiode et sett med overflatemålinger S og nedhullsmålingene D innsamlet for den tilstand som er av interesse. Som diskutert ovenfor, på grunn av begrensninger med hensyn til overføringshastighet og fordi der er et antall tilstander som overvåkes nede i hullet, kan nedhullstilstanden bare oppdateres med lav hyppighet sammenlignet med overflatemålingen. Som
10 en illustrasjon blir tilstanden D i det foreliggende eksempel målt mange ganger i løpet av en periode på 30 sekunder, og en gjennomsnittlig samplingsverdi blir beregnet for de mange målingene. Som vist på fig. 4 blir det således i en periode på 120 sekunder målt totalt fire gjennomsnittssamplere nede i hullet. Med det formål å tildele en tidskorrespondanse mellom målingene nede i hullet og på overflaten, blir
15 gjennomsnittet av et sett med nedhulls-samplere antatt å ha inntruffet ved slutten av den periode på 30 sekunder fra hvilken den ble beregnet.

Tilstanden av interesse som måles på overflaten, blir her referert til som S . I dette eksempelet blir overflatetilstanden samlet én gang hvert halve sekund over den samme periode på 120 sekunder for totalt 240 målesamplere, $S_1, S_2, \dots$
20 S_{240} . Fire av de 240 samplene av S antas å være målt samtidig som de gjennomsnittlige, samlede verdier av D . For å indeksere tidskorrespondansen mellom observasjonene av D og S , blir de fire verdiene av D referert til som D_{60}, D_{120}, D_{180} og D_{240} , som vist på fig. 4.

Uttrykt mer generelt og som vist på fig. 5, er der r målesamplere av S , referert til som $S_1, S_2, \dots, S_r$, idet samplene er observert ved tidene $t_1, t_2, \dots, t_r$ over en
25 tidsperiode P_1 . Der er q gjennomsnittlige målesamplere av D .

En eller annen synkroniseringsteknikk må anvendes for å identifisere tids-overensstemmelsen mellom samplene nede i hullet og på overflaten. Forsinkelsen i forbindelse med innsamling av en måling nede i borehullet kan beregnes
30 basert på kjente karakteristikk av den komponent som er innblandet i avfølingen av tilstanden nede i borehullet, modulering av målingen, overføring av målesignalet og demulering. Den beregnede forsinkelsestid kan så brukes til å identifisere tidspunktet for en målesamplere nede i borehullet i forhold til en referansetid ved hvilken overflatemålingen blir samlet og eliminere den resulterende forskyvning i

datasettene som vist på fig. 3(b). Alternativt kan tidsforskyvningen mellom målingene på overflaten og nede i hullet bestemmes ved hjelp av krysskorrelasjon eller hurtige Fourier-transformasjonsalgoritmer. I henhold til en typisk krysskorrelasjonsalgoritme blir en referanse-tidsperiode valgt slik at perioden omfatter et antall
 5 sampler nede i hullet. For en første iterasjon blir så summen av produktene av tilsvarende sampler nede i hullet og på overflaten over referanse-tidsperioden beregnet. For samplene nede i hullet blir i den neste iterasjon referanse-tidsperioden forskjøvet til en starttid i en sampling nede i hullet senere enn i den første iterasjon. Perioden forblir fast for overflatesamplene. Forskyvning av tidsperioden
 10 med hensyn til samplene nede i borehullet, gir et nytt sett med korresponderende nedhulls- og overflate-sampler. En ny sum av produktene til det nye settet med korresponderende sampler nede i hullet og på overflaten, blir så beregnet og sammenlignet med summen fra den første iterasjonen. Denne prosessen blir gjentatt hvor den nye tidsperiode blir forskjøvet og en ny sum blir beregnet og sammenlignet med tidligere summer over et område med tidsforskyvninger. Området er basert på et anslag av den maksimale sampelforsinkelse nede i hullet. Innenfor dette område med tidsforskyvninger antas den tidsforskyvning som gir den største sum, å svare til sampel-forsinkelsestiden nede i hullet. Ifølge en typisk Fourier-transformasjonsalgoritme blir settene med målinger nede i hullet og på overflaten transformert til frekvensdomenet og en fasedreining blir bestemt som definerer tidsforskyvningen mellom signaler.

Fra dette settet med observasjoner blir det utledet en prediktorligning som uttrykker tilstanden nede i hullet som en funksjon av den målte overflatetilstand. Først blir overflatemålingene filtrert for å konformere frekvensresponsen til overflatemålingene med den for målingene nede i hullet, som vist på fig. 3(c). I vårt eksempel blir det brukt et responsfilter med endelig intervall. Et n-nivå, endelig intervall-responsfilter har formen:

$$\bar{S}_i = (A_{i-n} * S_{i-n}) + \dots + (A_i * S_i) + \dots + (A_{i+n} * S_{i+n})$$

30

Hvis et filter av denne typen med to nivåer blir brukt, så kan en første verdi av $\bar{S}$ beregnes som:

$$\bar{S}_2 = (A_0 * S_0) + (A_1 * S_1) + (A_2 * S_2) + (A_3 * S_3) + (A_4 * S_4)$$

Den neste observasjon av $\bar{S}$ vil være:

$$\bar{S}_3 = (A_1 * S_1) + (A_2 * S_2) + (A_3 * S_3) + (A_4 * S_4) + (A_5 * S_5)$$

og så videre.

Veiekoeffisientene A for filteret kan bestemmes på følgende måte. Som en illustrasjon betraktes det tilfelle hvor torsjonsmomentet på borkronen er tilstanden av interesse nede i borehullet, og det torsjonsmoment som påføres ved overflaten er den tilstand ved overflaten som frembringer tilstanden nede i hullet. Når en virkelig overflatetorsjon påført over tid er som vist på figur 6(a), kan torsjonsmomentet målt på overflaten være som vist i fig. 6(b). Denne responsen målt som diskrete observasjoner, kan moduleres som utgangen S av en responsfunksjon C_S , som har virkelig påført torsjonsmomentet T som inngang, slik at:

$$S_i = \sum_{j=1}^m g_j T_k$$

hvor:

m er det valgte nivå for responsfunksjonen

$$k = i + j - \frac{m+1}{2}$$

T_k er det virkelige torsjonsmoment som påføres ved tiden t_k , og g_j er en responskoeffisient som representerer den del av signalet S som kommer fra nivå m .

Denne responsfunksjonen C_S med T som inngang og S som utgang, er vist skjematisk på fig. 7.

Den målte respons nede i hullet som er et resultat over den påførte torsjonen, kan være som vist på fig. 6(c). Det observerte torsjonsmoment nede i borehullet er likeledes modellert som utgangen, D , av en responsfunksjon C_D , vist på fig. 7, hvor

$$D_i = \sum_{j=1}^n h_j T_k$$

og hvor n er det valgte nivå for modellen, og h_j er en responskoeffisient.

Antallet nivåer, n , for den modellerte respons nede i hullet vil være større enn antall nivåer for overflatemålingen siden overflatemålingen har en høyere frekvensrespons.

Filteret, F , for å konformere den høyfrekvente responsen til overflatemålingen med den lavfrekvente målingen nede i hullet, er vist på fig. 7. Filteret har overflatemålingen S som inngang og filtrert måling $\bar{S}$ som utgang. Filteret F er modellert som et responsfilter med endelig intervall, slik at:

$$\bar{S}_i = \sum_{j=1}^n f_j g_j T_k$$

hvor:

g_i er den samme responskoeffisienten som i responsfunksjonen av S , og f_i er en annen komponent slik at produktet $f_i g_i$ gir den totale veiekoeffisient for filteret F .

Ligningene ovenfor kan uttrykkes i matriseform:

$$\begin{aligned} S_i &= |g| \times |T| \\ D_i &= |h| \times |T| \\ \bar{S}_i &= |f| \times |g| \times |T| \end{aligned}$$

for at $\bar{S}_i$ skal passe til D_i , må $|f| \times |g| \times |T|$ være lik $|h| \times |T|$, som kan løses for $|f|$ for å gi $|f| = |h| / |g|$.

Siden filternivået n er større enn filternivået m , vil det resulterende system av ligninger $|f| = |h| / |g|$ være overbestemt. I et slikt tilfelle kan den beste tilpasningsløsning for $|f|$ beregnes ved en minste kvadraters optimalisering. Som bakgrunnsstoff eller lignende matriseberegninger av responsfunksjoner i en annen forbindelse, vises til Richard J. Nelson og William K. Mitchell, "Improved Vertical Resolution of Well Logs by Resolution Matching", The Log Analyst, juli-august 1991.

På fig. 4 vil det i det foreliggende eksempel med et tonivå filter og et sett med observasjoner S_1 til S_{240} målt over en 120 sekunders periode P_1 , være et sett verdier $\bar{S}_3$ til $\bar{S}_{238}$, idet verdiene er målt over en 118 sekunders tidsperiode P'_1 .

Når filterkoeffisientene er bestemt, kan verdier av $\bar{S}_i$ beregnes fra observasjonene av S . Det vil si at fra settet med r målte verdier av S under perioden P_1 , vil der være et mindre sett med w veide gjennomsnittsverdier av $\bar{S}$ som dekker en tidsperiode P'_1 , siden beregningen av en veid gjennomsnittsverdi for en viss observasjon av S krever observasjoner av S målt før og etter det tidspunkt ved hvilket den visse S er målt. Det vil også være et tilsvarende sett med w verdier av S_i for de w verdiene $\bar{S}_i$ under tiden P'_1 . I eksempelet på figur 4 er r , som er antall verdier av S_i under perioden P_1 og w , som er antall verdier av S_i og av $\bar{S}_i$ under perioden P'_1 , lik 236.

I det foreliggende eksempel hvor det bare er fire målte observasjoner av tilstanden D nede i hullet i løpet av perioden P_1 , vist som "X"er på fig. 3(a) til 3(d). Dessuten ble to av disse verdiene målt ved tiden utenfor den tidsperiode P'_1 for hvilke verdiene av $\bar{S}$ er beregnet fra filteret. For således å utføre regresjonsanalyse av D og $\bar{S}$, må foreløpige verdier av D anslås for å tilveiebringe et sett med verdier for D som svarer til settet med verdier for $\bar{S}$. Selv om andre interpolasjonsteknikker kan brukes, blir i dette eksempelet det foreløpige sett utviklet ved å bruke ikke-lineær interpolasjon for anslåtte verdier av G_{61} til D_{119} mellom målte verdier D_{60} og D_{120} , osv. Hvis målingen begynte før referansetiden t_0 i det foreliggende eksempelet, blir det selvsagt oppnådd en verdi av d som svarer til tiden like før tiden t_0 . Denne verdien kan brukes sammen med D_{60} for å anslå D_2 til D_{59} . De interpolerte verdier for D er vist som "O"er på fig. 3(d).

Deretter blir en regresjonsanalyse utført på de korresponderende par med observasjoner for $\bar{S}$ og D for å bestemme en beste tilpasningskurve (her også kalt en "prediktorligning") som tilnærmer D som en funksjon av $\bar{S}$ i henhold til den N. ordens lineære modell:

$$\hat{D} = B_0 + B_1 \bar{S} + B_2 \bar{S}^2 + \dots B_N \bar{S}^N$$

Se fig. 3(e) som indikerer observasjonene ($\bar{S}$, D) og $\hat{D} = f(\bar{S})$ -kurven. Regresjonsanalyse er en velkjent teknikk for kurvetilpasning hvor en tilpasset ligning blir valgt for å minimalisere summen av sekvensene av forskjellene mellom de virkelige observasjoner og den tilpassede ligning. Se f.eks. N. R. Draper og H. Smith, Applied Regression Analysis, 1981. Denne analysen bestemmer en tilpasningskoeffisient som tillater identifisering av hvor godt de to målingene korrelerer.

Etter at prediktorligningen er blitt utviklet ved å bruke settet med observasjoner innsamlet iløpet av tidsperioden P_1 , som ender ved tiden t_r , blir ligningen anvendt på en overflatetilstand målt ved et eller annet tidspunkt, si t_1 (vist på fig. 5) for å tilveiebringe et umiddelbart anslag av den resulterende tilstand nede i hullet, som vist på fig. 3(f). For å anvende prediktorligningen blir overflatetilstanden målt, den ufiltrerte måling blir innsatt for $\bar{S}$ i prediktorligningen og koeffisientene B_0 til B_N som ble beregnet tidligere, blir brukt. I tilfelle med en torsjonstilstand gir dette en umiddelbar prediksjon av den endelig torsjonen som vil bli levert ved borkronen på grunn av den målte torsjon som påføres på overflaten. Siden de eneste målinger nede i hullet som brukes til å generere prediksjonen, er tidligere målinger, og overflatemålingen er øyeblikkelig tilgjengelig, eliminerer prediksjonen tidsforsinkelsen for overføring av torsjonen ned i hullet og forsinkelsen for overføring av målingen nede i hullet til overflaten. Siden de data som innsamles og prediktorligningen som formuleres fra dataene empirisk tar i betraktning virkningene av torsjonstap, er torsjonstapene eliminert i den grad det er mulig innenfor analysens begrensninger.

For på best mulig måte å hjelpe boreoperatøren kan det genereres en fremvisning av tilstanden nede i hullet, som kan være en grafisk eller en numerisk fremvisning. Prediktorligningen kan anvendes på etterfølgende observasjoner av overflatetilstanden for å gi en systematisk oppdatert fremvisning.

Selve prediktorligningen kan også oppdateres for å ta i betraktning endrede boretilstander ved å innsamle ytterligere sett med målinger på overflaten og nede i hullet og utlede en ny prediktorligning. Men vender tilbake til torsjonseksempellet som tidligere er brukt, og viser nå til fig. 8 hvor en første oppdatering av prediktorligningen blir utført ved å samle inn et annet sett med torsjonsobservasjoner nede i hullet over en annen tidsperiode, stor P_2 , som slutter etter en tid t_r , og før tiden T_{11} , idet det annet sett med observasjoner blir målt ved q forskjellige tider i løpet av den annen periode. Under den samme periode P_2 blir et annet sett med observasjoner på overflaten av borestrengens torsjon innsamlet ved de samme q tider og også ved ytterligere tider, noe som resulterer i en annen samling med r observasjoner av torsjonen målt på overflaten. Det annet sett med r observasjoner av overflatetorsjon blir brukt til å beregne et annet sett med filtrerte verdier av torsjonen, og det annet sett med q observasjoner av torsjon nede i hullet blir brukt til å beregne ytterligere interpolerte verdier av torsjon nede i hullet for derved å tilveiebringe et annet sett med torsjonsverdier nede i hullet som svarer til det annet sett med filtrerte overflateverdier. Det nye sett med torsjonsverdier nede i hullet og filtrerte overflateverdier blir så brukt til å bestemme et nytt sett parametere for prediktorligningen.

Prediktorligningen som nå er oppdatert med nye parametere B_0 til B_n , kan så anvendes ved måling av en påfølgende torsjon av borestrengen på overflaten ved tiden t_{11} , for å erstatte den ufiltrerte måling for $\bar{S}$. Dette gir en umiddelbar prediksjon av den endelige torsjonen som vil bli frembrakt ved borkronen nede i borehullet på grunn av den torsjon som påføres på overflaten ved tiden t_{11} , idet prediksjonen er basert på et sett med parametere for prediktorligningen som er blitt oppdatert for de observerte tilstander under perioden P_2 .

Selv om det i beskrivelsen hovedsakelig er referert til torsjonsmålinger, vil man forstå at de samme prinsipper kan anvendes på en rekke målte parametere, slik som vekt på borkronen, borkronens rotasjonshastighet, borestreng-vibrasjon (innbefattet aksial og transversal), inntrengningshastighet, slamstrømningshastighet og slamtrykk. Når den interessante tilstand nede i hullet er slamstrømningshastighet, slamtrykk eller borestreng-vibrasjon (enten aksial eller transversal), bidrar den samme tilstand på overflaten til tilstanden nede i hullet. I det tilfelle hvor borestrengen har en motor nede i hullet, er vekten av borestrengen som understøttes på overflaten og trykket på overflaten ved innløpet til stigerøret som leverer

fluid for drift av motoren, målbare bidragsyttere på overflaten til borkronens rotasjonshastighet nede i hullet. Ellers er rotasjonshastigheten til borestrengen på overflaten en tilstand som bidrar til rotasjonshastigheten av borkronen nede i borehullet.

- 5 Borestrengens langsgående innføringshastighet ved toppen av borehullet er en målbar overflatetilstand som bidrar til inntrengningshastigheten nede i borehullet. Oppfinnelsen er derfor begrenset bare av de vedføyde krav.

PATENTKRAV

1. Fremgangsmåte for å estimere en tilstand (D) nede i et borehull i det minste ved et tidspunkt (t_i) under boring i en grunnformasjon, med en borkrone koplet til en borestreng, omfattende:

å innsamle målinger av tilstanden (D) nede i borehullet;

å innsamle målinger av en overflatetilstand (S) som vedrører borestrengen;

å interpolere ytterligere verdier av (D) fra målingene av (D);

karakterisert ved

å filtrere de målte verdiene av (S) til å utlede den filtrerte målte overflatetilstand ($\bar{S}$);

å bruke minst en del av de målte og interpolerte verdiene av (D) og av de filtrerte målte verdiene av (S) til å bestemme minst en parameter (D) for å forutsi (D) som en funksjon av ($\bar{S}$) i henhold til det N^{te} ordens forhold

$$\hat{D} = B_0 + B_1\bar{S} + B_2\bar{S}^2 + \dots B_N\bar{S}^N;$$

å sample verdien av (S) på overflaten ved tiden (t_i); og

å beregne en estimert verdi av (D) ved å benytte verdien av (S) målt ved (t_i) og parameteren (B).

2. Fremgangsmåte ifølge krav 1, hvor målingene av tilstanden (D) nede i borehullet er ved (q) forskjellige tider og målingen av overflatetilstanden (S) er ved (q) forskjellige tider og også ved ytterligere tider, og der målingen av tilstanden (D) nede i borehullet og tilstanden (S) på overflaten blir tidsforskjøvet for å identifisere målepar som korresponderer i tid.

3. Fremgangsmåte ifølge krav 2, hvor, ved innsamling av målingene av tilstanden (D) nedihulls, et gjennomsnitt av flere målinger nede i borehullet beregnes nedihulls og at gjennomsnittet overføres til overflaten.

4. Fremgangsmåte ifølge krav 3, hvor tilstanden (D) nede i borehullet omfatter torsjon på borkronen og overflatetilstanden (S) omfatter torsjon på borestrengen.
5. Fremgangsmåte ifølge krav 3, hvor tilstanden (D) nede i borehullet omfatter torsjon på borkronen og overflatetilstanden (S) omfatter trykk ved et innløp til et stigerør som leverer fluid til en motor nede i borehullet festet til borkronen.
6. Fremgangsmåte ifølge krav 3, hvor tilstanden (D) nede i borehullet omfatter slamstrømningshastighet og overflatetilstanden (S) omfatter slamstrømningshastighet på overflaten.
7. Fremgangsmåte ifølge krav 3, hvor tilstanden (D) nede i borehullet omfatter slamtrykk og overflatetilstanden (S) omfatter slamtrykk på overflaten.
8. Fremgangsmåte ifølge krav 3, hvor tilstanden (D) nede i borehullet omfatter aksial borestreng-vibrasjon og overflatetilstanden (S) omfatter aksial borestreng-vibrasjon på overflaten.
9. Fremgangsmåte ifølge krav 3, hvor tilstanden (D) nede i borehullet omfatter transversal borestreng-vibrasjon og overflatetilstanden (S) omfatter transversal borestreng-vibrasjon på overflaten.
10. Fremgangsmåte ifølge krav 3, hvor tilstanden (D) nede i borehullet omfatter borkronens rotasjonshastighet og overflatetilstanden (S) omfatter borestrengens rotasjonshastighet på overflaten.
11. Fremgangsmåte ifølge krav 3, hvor tilstanden (D) nede i borehullet omfatter borkronens rotasjonshastighet og overflatetilstanden (S) omfatter trykk ved et innløp til et stigerør som leverer fluid til en motor som er festet til borkronen nede i borehullet.

12. Fremgangsmåte ifølge krav 3, hvor tilstanden (D) nede i borehullet omfatter inntrengningshastighet i formasjonen og overflatetilstanden (S) omfatter borestren-
gens langsgående bevegelseshastighet ved overflaten.

5 13. Fremgangsmåte ifølge krav 1, videre
karakterisert ved

å innsamle et andre sett målinger av tilstanden (D) nede i borehullet, der
det andre settet målinger opptrer under en periode (P_2) som slutter etter tiden (t_i)
og før en tid (t_{II});

10 å innsamle et andre sett med målinger av overflatetilstanden (S), der det
andre settet overflatetilstandsmålinger opptrer under perioden (P_2);

å interpolere ytterligere verdier av (D) fra det andre settet med målinger av
(D);

å filtrere det andre settet med målte verdier av (S);

15 å bruke minst en del av de målte og interpolerte verdiene av (D) fra det
andre settet med målinger av (D), og av de filtrerte målte verdiene av (S) fra det
andre sett med målinger av (S) for å bestemme en ny verdi for den minst ene
parameter (B);

å sample verdien av (S) på overflaten ved tid (t_{II}); og

20 å beregne en estimert verdi av (D) i henhold til nevnte N^{te} ordens forhold
ved å bruke målingen av (S) ved tid (t_{II}) og parameteren (B).

14. Apparat for å styre en tilstand (D) nede i et borehull under boring i en grunn-
formasjon, omfattende:

25 en anordning for å samle inn målinger av nedihullstilstanden;

en anordning for å samle inn målinger av en tilstand på jordoverflaten (S)
som bidrar til tilstanden nede i borehullet;

karakterisert ved

en datamaskinanordning for å utlede et forhold mellom tilstanden nede i
30 borehullet og den målte overflatetilstanden i henhold til det N^{te} ordens forhold

$$\hat{D} = B_0 + B_1 \bar{S} + B_2 \bar{S}^2 + \dots B_N \bar{S}^N;$$

en datamaskinanordning for å anvende nevnte forhold på en måling av overflatetilstanden for å bestemme den resulterende tilstanden nede i borehullet; og

5 en anordning for å styre overflatetilstanden for å bevirke endringer i tilstanden nede i borehullet.

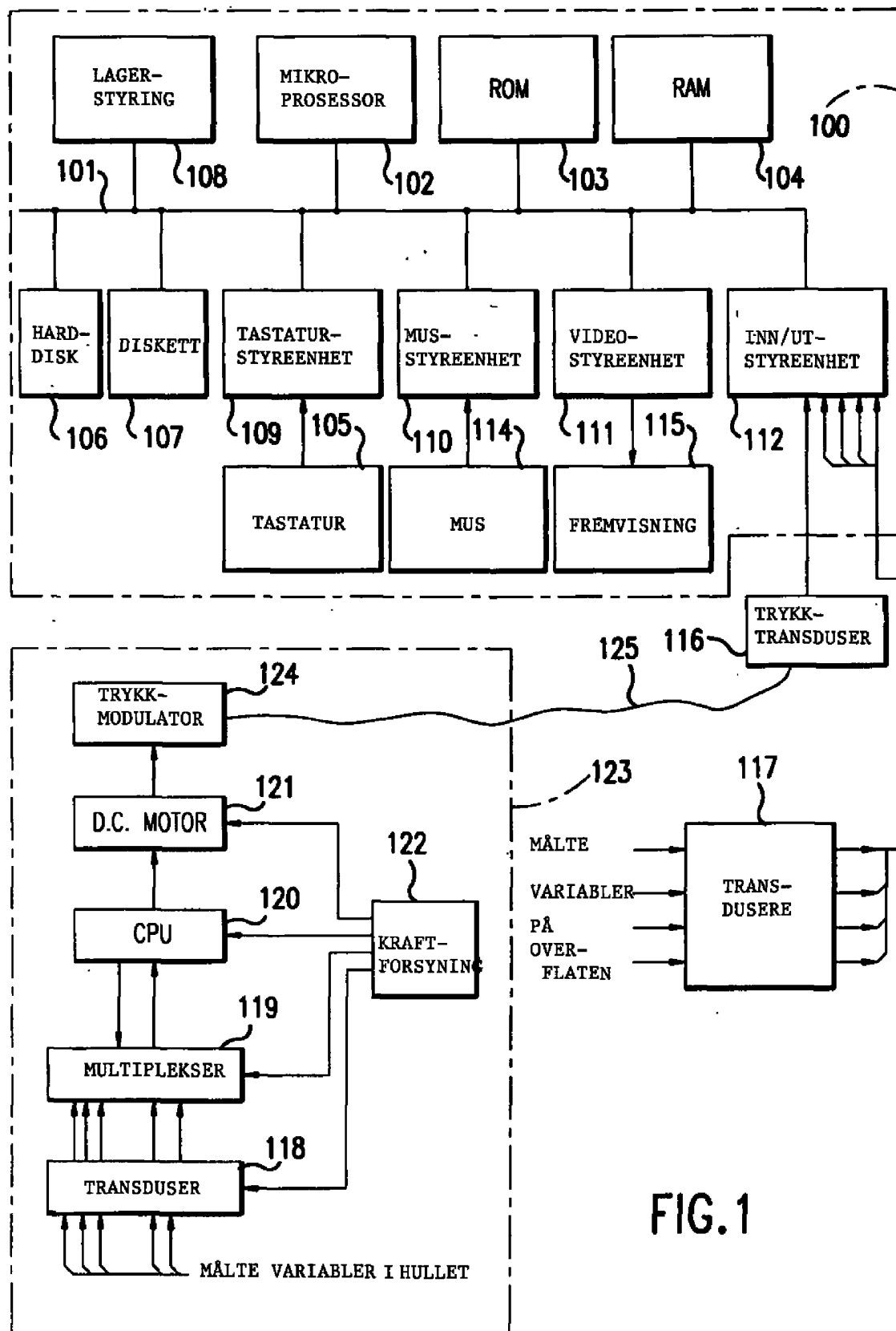


FIG. 1

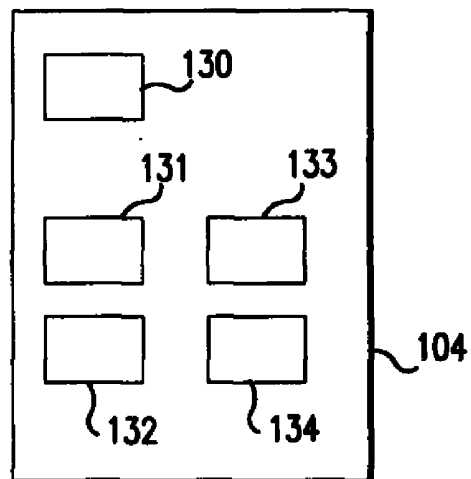


FIG.2

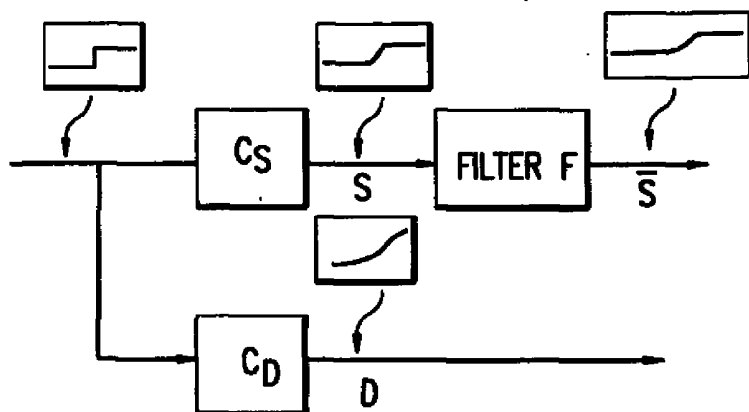


FIG.7

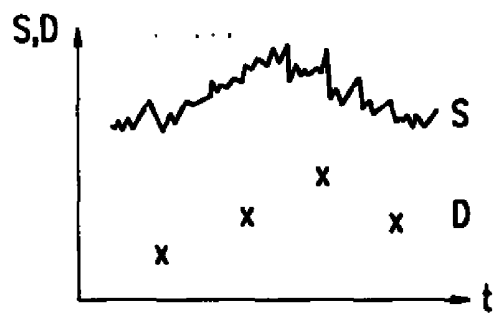


FIG.3(a)

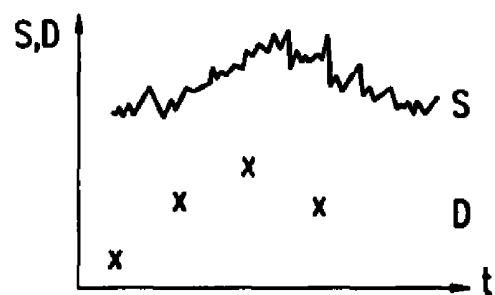


FIG.3(b)

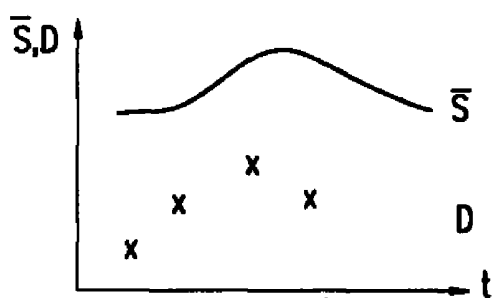


FIG.3(c)

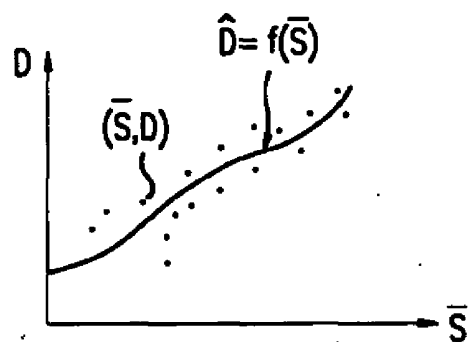


FIG.3(e)

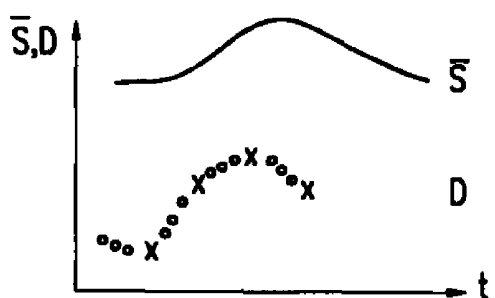
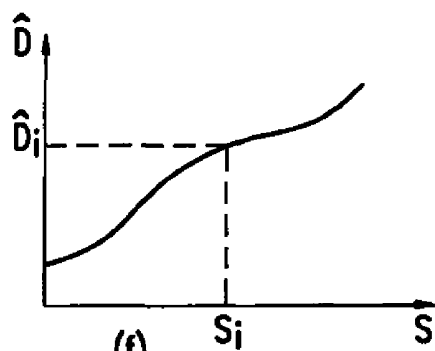


FIG.3(d)



(f)
FIG.3(f)

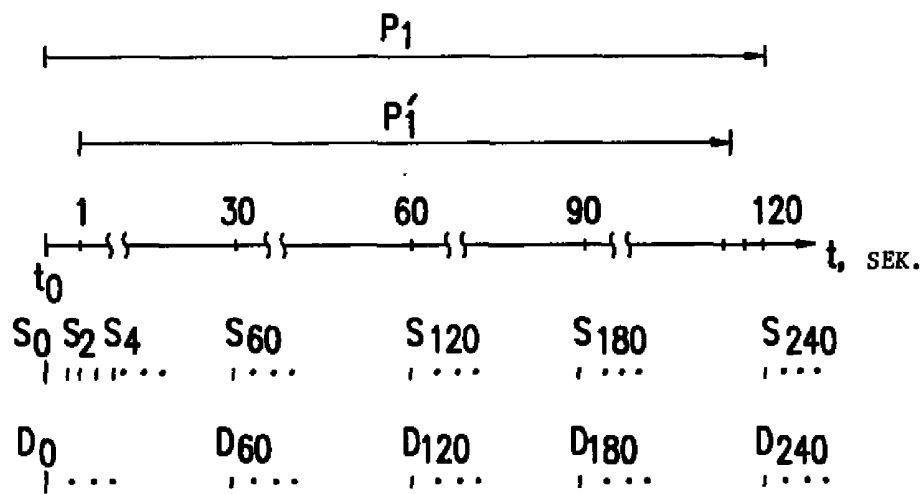


FIG.4 .

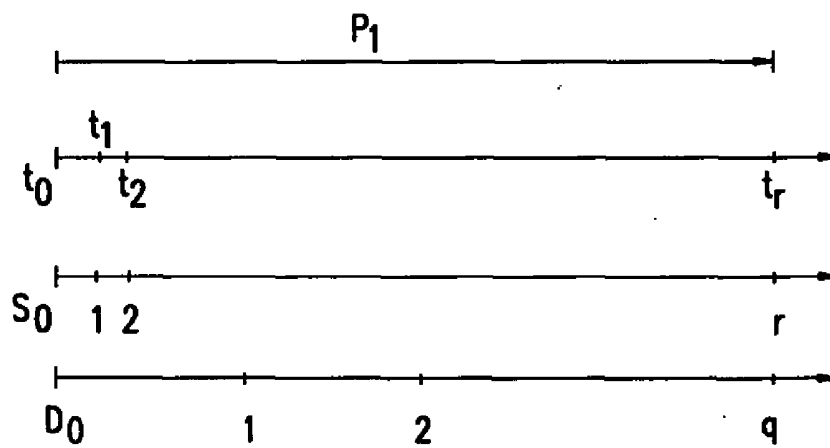


FIG.5



FIG.6(a)

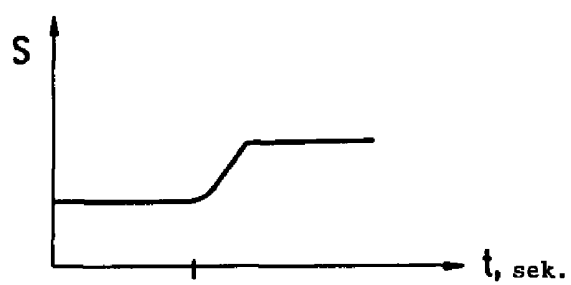


FIG.6(b)

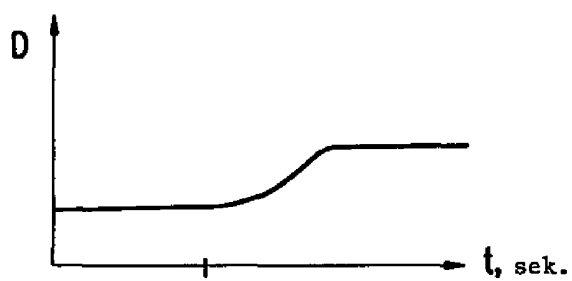


FIG.6(c)

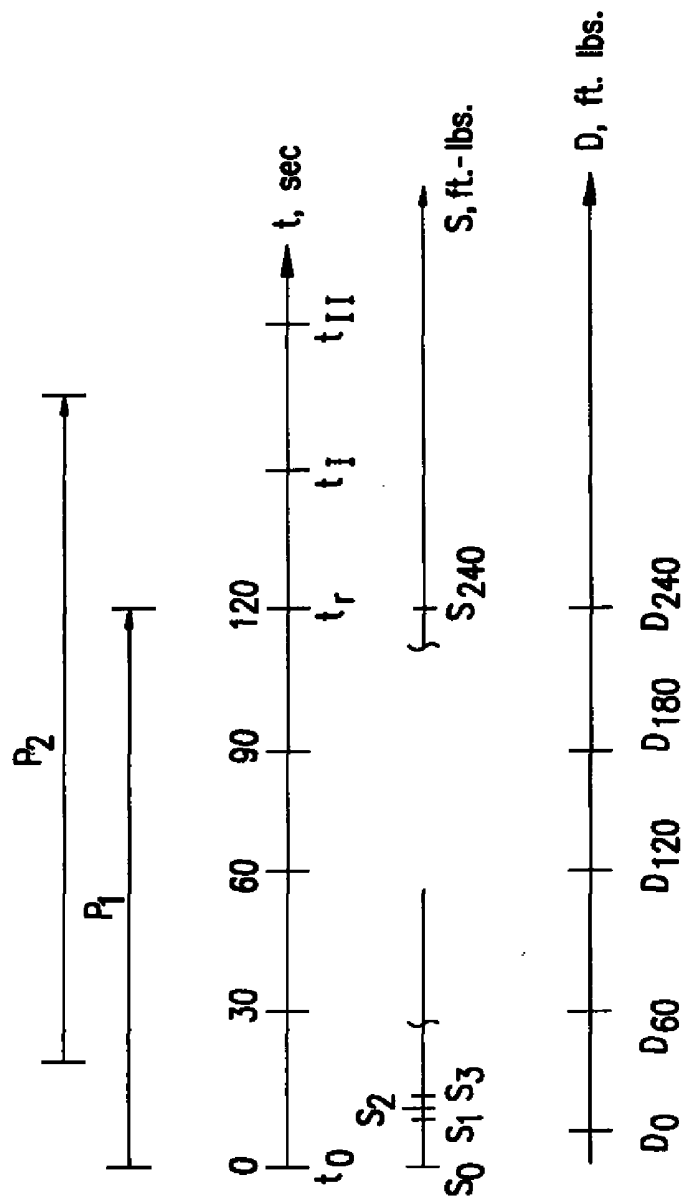


FIG.8