



(12) PATENT

(11) 347231

(13) B1

NORGE

(19) NO

(51) Int Cl.

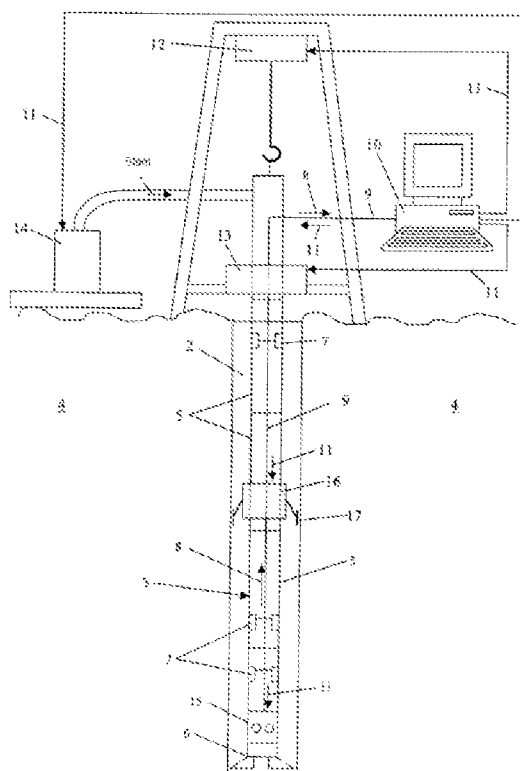
E21B 44/00 (2006.01)

E21B 47/12 (2012.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20101565	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2009.05.01 PCT/US2009/042577
(22)	Inng.dag	2010.11.08	(85)	Videreføringsdag	2010.11.08
(24)	Løpedag	2009.05.01	(30)	Prioritet	2008.05.02, US, 61/049,915 2009.04.30, US, 12/432,834
(41)	Alm.tilgj	2010.11.24			
(45)	Meddelt	2023.07.17			
(73)	Innehaver	Baker Hughes Holdings LLC, 17021 Aldine Westfield Road, TX77073 HOUSTON, USA			
(72)	Oppfinner	John D MacPherson, 25203 Arcane Court, TX77389 SPRING, USA Dmitriy Dashevskiy, Storcheweg 20, 29336 NIENHAGEN, Tyskland Chakradhar R Byreddy, 1699 Romano Park Lane, Apt. 521, TX77090 HOUSTON, USA BRYN AARFLOT AS, Stortingsgata 8, 0161 OSLO, Norge			
(74)	Fullmektig				
(54)	Benevnelse	Adaptivt borestyringssystem			
(56)	Anførte publikasjoner	US 2002120401 A1, EP 1193366 A2, US 2005194183 A1, US 6233524 B1, EP 1193366 A2, US 2005194183 A1			
(57)	Sammendrag				

Et system for optimering av en penetrasjonshastighet til en borestreng, hvilket system omfatter: en flerhet av sensorer i funksjonsdyktig kommunikasjon med 5 borestrengen; og en kontroller i funksjonsdyktig kommunikasjon med flerheten av sensorer, idet kontrolleren kan forbindes til en borestreng-bevegelsesgiver og er i stand til utmating av et signal til borestreng-bevegelsesgiveren for optimering av penetrasjonshastigheten til borestrengen, idet signalet er konfigurert til å tilveiebringe i det minste det ene av vekt på borkronen, en størrelse av hastighet for å 10 rotere borestrengen, en størrelse av dreiemoment for påføring på borestrengen, og en størrelse av slamstrøm til borestrengen



1. Oppfinnelsens område

[0001] Den oppfinnelse som her offentliggjøres vedrører boring av et borehull inn i jorden, og, særlig, styring av boringen på en optimal måte.

2. Beskrivelse av beslektet teknikk

[0002] Leting etter og produksjon av hydrokarboner krever generelt at et borehull bores dypt inn i jorden. Borehullet gir adgang til en geologisk formasjon som kan inneholde et reservoar med olje eller gass.

[0003] Boreoperasjoner krever mange ressurser, så som en borerigg, et boremannskap og støttetjenester. Disse ressursene kan være svært kostbare. I tillegg, kan kostnaden til og med bli mye høyere hvis boreoperasjonene utføres offshore. Det er således et insitament til å begrense kostnader ved effektiv boring av borehullet.

[0004] Effektivitet kan måles på forskjellige måter. På en måte måles effektivitet av hvor raskt borehullet kan bores. Boring av borehullet for raskt kan dog føre til problemer. Hvis boring av borehullet ved en høy penetrasjonshastighet resulterer i en høy sannsynlighet for å skade utstyr, så kan ressurser bli sløst bort på nedtid og reparasjoner. I tillegg kan forsøk på boring av borehullet for raskt føre til abnorme borehendelser som kan sette ned hastigheten på boreprosessen. US 2002/0120401 A1 og EP 1 193 366 A2 vedrører et boresystem som benytter et nevralt nettverk for prediktiv styring av boreoperasjoner. En nedihullsprosessor styrer driften av de forskjellige innretningene i en bunnhullsplan for å forårsake endringer i boreparametere og boreretning for autonomt å optimalisere boreeffektiviteten. Det nevrale nettverket oppdaterer iterativt en prediksjonsmodell av boreoperasjonene og gir anbefalinger for borekorrigeringer til en boreoperatør. US 2005/0194183 A1 beskriver en fremgangsmåte og et apparat for tilveiebringelse av en lokal respons på en lokal tilstand i en oljebrønn. En sensor er tilveiebrakt for deteksjon av en lokal tilstand i en borestreng. Et kontrollerbart element er tilveiebrakt for modulering av energi i borestrengen. En kontroller er koblet til sensoren og til det kontrollerbare elementet. Kontrolleren mottar et signal fra sensoren, idet signalet indikerer tilstedeværelsen av den lokale tilstanden. Kontrolleren behandler deretter signalet for bestemmelse av en lokal energimodulasjon i borestrengen for å modifisere den lokale tilstanden, og sender til slutt et signal til det kontrollerbare elementet for å forårsake den bestemte lokale energimodulasjonen. US 6,233,524 B1 angår et lukket sløyfe-boresystem for boring av oljefeltborehull. Systemet innbefatter en bore-

sammenstilling med en borkrone, et flertall av sensorer for tilveiebringelse av signaler relatert til parametere relatert til boresammenstillingen, borehull og formasjoner rundt boresammenstillingen. Prosessorer i boresystemets prosessfølere signaliserer og beregner boreparametere basert på modeller og programmerte instruksjoner gitt til boresystemet som vil gi ytterligere boring med økte borehastigheter og med forlenget levetid for boresammenstillingen. Boresystemet justerer deretter automatisk boreparameterne for kontinuerlig eller uavbrutt boring. Systemet gjentar denne prosessen kontinuerlig eller periodisk under boreoperasjonene. Boresystemet tilveiebringer også en alvorlighetsgrad for visse dysfunksjoner til operatøren og et middel for simulering av boresammenstillingens oppførsel før endringer i boreparameterne utføres.

[0005] Det som er nødvendig er derfor teknikker for å optimere en penetrasjonshastighet under boring av et borehull. Teknikkene optimerer fortrinnsvis penetrasjonshastigheten automatisk.

KORT SAMMENFATNING AV OPPFINNELSEN

[0006] Hovedtrekkene ved den foreliggende oppfinnelse fremgår av de selvstendige patentkrav. Ytterligere trekk ved oppfinnelsen er angitt i de uselvstendige krav. Det offentliggjøres et system for optimering av en penetrasjonshastighet til en borestreng, hvor systemet inkluderer: en flerhet av sensorer i funksjonsdyktig kommunikasjon med borestrengen; og en kontroller i funksjonsdyktig kommunikasjon med flerheten av sensorer, idet kontrolleren kan forbindes til en borestreng-bevegelsesgiver og er i stand til utmating av et signal til borestreng-bevegelsesgiveren for optimering av penetrasjonshastigheten til borestrengen, idet signalet er konfigurert til å tilveiebringe i det minste det ene av vekt på borkronen, en størrelse av hastighet for å rotere borestrengen, en størrelse av dreiemoment for påføring på borestrengen, og en størrelse av slamstrøm til borestrengen.

[0007] Det offentliggjøres også en fremgangsmåte for optimering av en penetrasjonshastighet til en borestreng i et borehull, hvilken fremgangsmåte inkluderer: mottaking av en måling fra minst én sensor i en flerhet av sensorer i operativ kommunikasjon med borestrengen; og sending av et signal fra en kontroller til en borestreng-bevegelsesgiver for optimering av penetrasjonshastigheten til borestrengen, idet signalet er konfigurert til å tilveiebringe i det minste det ene av vekt på bor-

kronen, en størrelse av hastighet for å rotere borestrengen, en størrelse av dreiemoment for påføring på borestrengen, og en størrelse av slamstrøm til borestrengen.

[0008] Et datamaskinprogramprodukt lagret på maskinlesbare media for optimering av en penetrasjonshastighet til en borestreng, hvilket produkt har maskinutførbare

5 instruksjoner for: mottaking av en måling fra minst én sensor i en flerhet av sensorer i operativ kommunikasjon med borestrengen; sending av et signal fra en kontroller til en borestreng-bevegelsesgiver for optimering av penetrasjonshastigheten til borestrengen, idet signalet er konfigurert til å tilveiebringe i det minste det ene av vekt på borkronen, en størrelse av hastighet for å rotere borestrengen, en størrelse av dreie-

10 moment for påføring på borestrengen, og en størrelse av slamstrøm til borestrengen; og i det minste det ene av registrering og visning av penetrasjonshastigheten til en bruker.

KORT BESKRIVELSE AV TEGNINGENE

15 **[0009]** Den foreliggende gjenstand, som anses som oppfinnelsen, pekes særlig på og kreves uttrykkelig beskyttet i kravene ved avslutningen av patentskriftet. De foregående og andre trekk og fordeler ved oppfinnelsen er åpenbare fra den følgende detaljerte beskrivelse sett sammen med de ledsagende tegninger, hvor:

Figur 1 illustrerer en eksemplifiserende utførelse av en borestreng anordnet i et borehull som penetrerer jorden;

20

figur 2 illustrerer en eksemplifiserende utførelse av borestrengen som inkluderer en kontroller;

figur 3 viser et eksempel på rotasjonshastighetforvrengning opplevet av en bunnhullsanordning anordnet på borestrengen;

25 **figurene 4A, 4B og 4C**, i fellesskap referert til som **figur 4**, viser aspekter av kontrolleren som bruker modell-referanse adaptiv styring;

figurene 5A, 5B og 5C, i fellesskap referert til som **figur 5**, viser aspekter av kontrolleren som bruker modell-fri adaptiv (MFA) styring;

figur 6 viser aspekter av en forsinkelsesprediktor til bruk med en MFA-kontroller; og

30 **figur 7** presenterer et eksempel på en fremgangsmåte for optimering av en penetrasjonshastighet til borestrengen.

DETALJERT BESKRIVELSE AV OPPFINNELSEN

[0010] Det offentliggjøres teknikker for optimering av en penetrasjonshastighet under boring av et borehull. Teknikkene sørger for automatisk optimering av penetrasjonshastigheten ved bruk av data fra sensorer som overvåker en borestreng og styring av i det minste en innmating til borestrengen basert på dataene.

[0011] Teknikkene, som inkluderer apparat og fremgangsmåter, bruker sensorer i funksjonsdyktig kommunikasjon med borestrengen som brukes til boring av borehullet. Sensorene tilveiebringer data relatert til borestrengen, så som vibrasjon eller rotasjonshastighet i forskjellige deler av borestrengen. Andre sensorer kan brukes til å overvåke ytelse for en maskin (eller borestreng-bevegelsesgiver) som mater inn energi eller påfører en kraft på borestrengen, så som en rotasjonsinnretning for dreining av borestrengen.

[0012] I tillegg til sensorene bruker teknikkene en kontroller til å motta dataene fra sensorene og for tilveiebringelse av et styringssignal til borestreng-bevegelsesgiveren for å optimere penetrasjonshastigheten. En optimal penetrasjonshastighet er generelt en funksjon av flere variabler. Ikke-begrensende eksempler på disse variabler inkluderer borkronens rotasjonshastighet, vertikal kraft påført på borkronen (vekt på borkronen), typen av borkrone, innretting av borkronen i borehullet og litologien til formasjonen som blir boret. Således, ved optimering av variablene som kan styres, kan også penetrasjonshastigheten optimeres. For eksempel, en måte som penetrasjonshastigheten kan optimeres på er å tilveiebringe den høyeste vekt på borkronen som likevel tillater borkronen å rotere over en minimum konstant hastighet (dvs. minimering av hastighetsoscillasjoner). I tillegg kan penetrasjonshastigheten overvåkes ved måling av bevegelsen av borestrengen inne i borehullet. I en utførelse kan penetrasjonshastigheten brukes som et tilbakemeldings-styringssignal til kontrolleren. Kontrolleren kan være lokalisert i det minste det ene av fjerntliggende i forhold til og ved borestrengen. I tillegg kan styring distribueres til flere lokaliseringer.

[0013] Vibrasjon av borestrengen kan hemme oppnåelse av den optimale penetrasjonshastighet. Teknikkene inkluderer følgelig begrenning av en størrelse av vibrasjon som oppleves av borestrengen. Vibrasjon kan styres ved justering eller innstilling av utmatingen fra minst én borestreng-bevegelsesgiver. I tillegg kan kontrolleren styre minst én aktiv vibrasjonsstyringsinnretning anordnet ved borestrengen i borehullet.

[0014] Teknikkene sørger også for detektering av en abnorm borehendelse og for innmating av et passende styringssignal til borestreng-bevegelsesgiveren, for å avslutte den abnorme borehendelse.

[0015] Av praktiske årsaker tilveiebringes visse definisjoner. Uttrykket "penetrasjons-
5 hastighet" vedrører en avstand boret inn i jorden dividert på en tidsperiode som avstanden ble oppnådd over. Uttrykket "borestreng" vedrører i det minste det ene av ett borerør og en bunnhulls-anordning. Generelt inkluderer borestrengen en kombinasjon av borerøret og bunnhulls-anordningen. Bunnhulls-anordningen kan være en borkrone, samplingsapparat, loggeapparat eller et annet apparat for gjennomføring av
10 andre funksjoner nede i hullet. Som et eksempel kan bunnhulls-anordningen inkludere en borkrone og et vektør inneholdende et apparat for måling under boring (measurement while drilling (MWD)).

[0016] Uttrykket "vibrasjon" vedrører oscillasjoner eller vibrerende bevegelse av borestrengen. En vibrasjon av en borestreng kan inkludere i det minste det ene av aksial
15 vibrasjon, så som hopping, sideveivibrasjon og torsjonsvibrasjon. Torsjonsvibrasjon kan resultere i at borkronen roterer med oscillerende hastigheter når borestrengen ved overflaten roterer med en konstant hastighet. Vibrasjon kan inkludere vibrasjoner ved en resonansfrekvens for borestrengen. Vibrasjon kan opptre ved en eller flere frekvenser og ved en eller flere lokaliseringer på borestrengen. For eksempel, i en
20 lokalisering på borestrengen, kan det opptre en vibrasjon ved en frekvens, og i en annen lokalisering kan det opptre en annen vibrasjon ved en annen frekvens. Uttrykket "begrense vibrasjonen" vedrører tilveiebringelse av en innmating til et apparat eller et system i funksjonsdyktig kommunikasjon med borestrengen for i det minste det ene av å redusere en amplitude av vibrasjonen eller forandre frekvensen av
25 vibrasjonen.

[0017] Uttrykket "sensor" vedrører en innretning for måling av minst én parameter tilknyttet borestrengen. Ikke-begrensede eksempler på typer av målinger gjennomført av en sensor inkluderer akselerasjon, hastighet, avstand, vinkel, kraft, moment, temperatur, trykk og vibrasjon. Etter som disse sensorer er kjent innen teknikken, blir
30 de her ikke omtalt i detalj.

[0018] Uttrykket "kontroller" vedrører en styringsinnretning med minst én enkelt inngang og minst én enkelt utgang. Ikke-begrensede eksempler på typen av styring som gjennomføres av kontrolleren inkluderer proporsjonalstyring, integralstyring, differensialstyring, modell-referanse adaptiv styring, modell-fri adaptiv styring, obser-

vatørbasert styring og tilstandsromstyring. Ett eksempel på en observatørbasert kontroller er en kontroller som bruker en observatøralgoritme til å estimere interne tilstander i borestrengen ved bruk av inngangs- og utgangsmålinger som ikke måler den indre tilstand. I enkelte tilfeller kan kontrolleren lære fra målingene fremskaffet fra det distribuerte styringssystem for å optimere en styringsstrategi. Uttrykket "observerbar" vedrører gjennomføring av en eller flere målinger av parametere tilknyttet bevegelsen av borestrengen, hvor målingene setter en matematisk modell eller en algoritme i stand til å estimere andre parametere ved borestrengen som ikke måles. Uttrykket "tilstand" vedrører et sett av parametere som brukes til å beskrive borestrengen ved et øyeblikk i tid.

[0019] Uttrykket "modell-referanse adaptiv styring" vedrører bruk av en modell av en prosess for å bestemme et styringssignal. Modellen er generelt et system av ligninger som matematisk beskriver prosessen. Uttrykket "modell-fri adaptiv styring" vedrører styring av et system hvor ligninger som styrer systemet er ukjente, og hvor en kontroller estimeres uten å forutsette en modell for systemet. Generelt konstrueres kontrolleren ved bruk av en funksjonsapproksimator så som et nevralt nettverk eller et polynom.

[0020] Uttrykket "borestreng-bevegelsesgiver" vedrører et apparat eller et system som brukes til å operere borestrengen. Ikke-begrensede eksempler på en borestreng-bevegelsesgiver inkluderer et "løftesystem" for bæring av borestrengen, en "rotasjonsinnretning" for rotering av borestrengen, en "slampumpe" for pumping av boreslam gjennom borestrengen, en "aktiv vibrasjonsstyringsinnretning" for begrenning av vibrasjon til borestrengen, og en "strømningsavlederinnretning" for avledning av en strøm av slam inne i borestrengen. Uttrykket "vekt på borkronen" vedrører den kraft som påtvinges på bunnhullsanordningen, så som en borkrone. Vekt på borkronen inkluderer en kraft påtvunget av løftesystemet og en størrelse av kraft forårsaket av strømmen av slam som treffer bunnhullsanordningen. Strømningsavlederen og slampumpen kan derfor påvirke vekt på borkronen ved styring av størrelsen av slam som treffer bunnhullsanordningen. Uttrykket "optimering av en penetrasjonshastighet" vedrører tilveiebringelse av et styringssignal fra en kontroller til en borestreng-bevegelsesgiver for å fremskaffe hovedsakelig den høyeste penetrasjonshastighet. En optimert penetrasjonshastighet er generelt i samsvar med å hindre skade på boreutstyr.

[0021] Uttrykket "bredbånds kommunikasjonssystem" vedrører et system for kommunisering i sann tid. Uttrykket "sann tid" vedrører overføring av et signal nede i hullet med liten tidsforsinkelse. Bredbåndskommunikasjonssystemet bruker generelt elektriske ledere eller en fiberoptikk som et overføringsmedium. Som her brukt, over-

5 føring av signaler i "sann tid" skal bety overføring av signalene ved en hastighet som nyttig eller tilstrekkelig for optimering av penetrasjonshastigheten. Det skal følgelig innses at "sann tid" skal ses i sammenheng, og ikke nødvendigvis angir den øyeblikkelige overføring av målinger eller øyeblikkelige overføring styringssignaler.

[0022] Uttrykket "kople" vedrører i det minste det ene av direkte forbindelse og en

10 indirekte forbindelse mellom to innretninger. Uttrykket avkopling vedrører å ta hånd om prosessinteraksjoner (statiske og dynamiske) i en kontroller.

[0023] **Figur 1** illustrerer en eksemplifiserende utførelse av en borestreng 3 anordnet i et borehull 2 som penetrerer jorden 4. Borehullet 2 kan penetrere en geologisk formasjon som inkluderer et reservoar av olje eller gass. Borestrengen 3 inkluderer et

15 borerør 5 og en bunnhulls-anordning 6. Bunnhulls-anordningen 6 kan inkludere en borkrone eller boreinnretning for boring av borehullet 2. I tilførselen på **figur 1** er en flerhet av sensorer 7 anordnet langs en lengde av borestrengen 3. Flerheten av sensorer 7 måles aspekter relatert til operasjon av borestrengen 3, så som bevegelse av borestrengen 3. Et bredbåndskommunikasjonssystem 9 sender data 8 fra

20 sensorene 7 til en kontroller 10. Dataen 8 inkluder målinger utført av sensorene 7. Kontrolleren 10 er konfigurert til å tilveiebringe et styringssignal 11 til en borestreng-bevegelsesgiver. Bredbåndskommunikasjonssystemet 9 kan inkludere et fiberoptisk eller "ledningsforsynt rør" for overføring av dataen 8 og styringssignalet 11.

[0024] I en utførelse av det ledningsforsynte rør, er borerøret 5 modifisert til å inkludere en bredbånds kabel beskyttet av en forsterket stålkappe. Ved enden av hvert

25 borerør 5 er det en induktiv spole, som bidrar til kommunikasjon mellom to borerør 5. I denne utførelse brukes bredbåndskabelen til å overføre dataene 8 og styringssignalet 11. For ca hver 500 meter er en signalforsterker anordnet i funksjonsdyktig kommunikasjon med bredbåndskabelen for å forsterke kommunikasjonssignalet for å

30 ta hånd om signaltap.

[0025] Ett eksempel på ledningsforsynt rør er INTELLIPIPE® som er kommersielt tilgjengelig fra Intellipipe, Provo, Utah, en avdeling av Grant Prideco. Ett eksempel på bredbåndskommunikasjonssystemet 9 som bruker ledningsforsynt rør er INTELLISERV® NETWORK, også tilgjengelig fra Grant Prideco. Intelliserv Network

har dataoverføringshastigheter fra femtisju tusen bit per sekund til en million bit per sekund eller mer. Bredbåndskommunikasjonssystemet **9** muliggjør samplingshastigheter for sensorene **7** på opp til 200 Hz eller høyere, hvor hvert sampel blir sendt til kontrolleren **10** ved en lokalisert fjernt fra sensorene **7**.

5 **[0026]** Forskjellige borestreng-bevegelsesgivere kan brukes til å operere borestrengen **3**. Borestreng-bevegelsesgiverne vist på **figur 1** er et løftesystem **12**, en rotasjonsinnretning **13**, en slampumpe **14**, en strømningsavleder **15** og en aktiv vibrasjonsstyringsinnretning **16**. Hver av borestreng-bevegelsesgiverne vist på **figur 1** er koplet til kontrolleren **10**. Kontrolleren **10** kan tilveiebringe styringssignalet **11** til
10 hver av disse borestreng-bevegelsesgivere, for å styre i det minste et aspekt av deres operasjon. For eksempel kan styringssignalet **11** forårsake at løftesystemet **12** overfører en viss kraft på borestrengen **3**. Kontrolleren **10** kan også styre: rotasjonsinnretningen **13** til i det minste det ene av styring av rotasjonshastigheten til borestrengen **3** og styring av dreiemomentet som påtvinges på borestrengen **3**;
15 strømmen av slam fra slampumpen **14**; størrelsen av slam som avledes av strømningsavlederen **15**; og operasjon av den aktive vibrasjonsstyringsinnretning **16**.

[0027] Det vises til **figur 1**, idet den aktive vibrasjonsstyringsinnretning **16** inkluderer vibrasjonsstyringselementer **17**. I en utførelse kan minst ett element **17** strekkes fra innretningen **16** ved mottak av styringssignalet **11**, for å absorbere eller styre vibra-
20 sjon. Den aktive vibrasjonsstyringsinnretning **16** kan inkludere et vibrasjonsabsorberende apparat, så som hydrauliske støtdempere og vibrasjonsdempende materialer som kan trykkes sammen eller strekkes for å dempe vibrasjoner. I en annen utførelse kan den aktive vibrasjonsstyringsinnretning **16** inkludere en hydraulisk skyvekraftgiver. Styringssignalet **11** kan være konfigurert til å tilveiebringe en størrelse av kraft
25 som skal påføres av den aktive vibrasjonsstyringsinnretning **16** eller en størrelse av vibrasjon som skal dempes av den aktive vibrasjonsstyringsinnretning **16**.

[0028] **Figur 2** illustrerer en annen eksemplifiserende utførelse av teknikkene for optimering av penetrasjonshastigheten til borestrengen **3** inn i jorden **4**. I utførelsen på **figur 2** er kontrolleren **10** anordnet ved borestrengen **3** i borehullet **2**. Kontrolleren
30 **10** vist på **figur 2** styrer strømningsavlederen **15** for å styre vekten på borkronen og den aktive vibrasjonsstyringsinnretning **16**, for å begrense en størrelse av vibrasjon som oppleves av bunnhulls-anordningen **6**.

[0029] Penetrasjonshastigheten til borestrengen **3** inn i jorden **4** kan påvirkes av størrelsen av vibrasjon som oppleves at bunnhulls-anordningen **6**. Et eksempel på

vibrasjon er torsjonsvibrasjon. Torsjonsvibrasjon vedrører forskjellen i rotasjons-
hastighet eller – retning mellom borestrengen **3** ved overflaten av jorden **4** og bunn-
hullsanordningen **6** ved den andre ende av borestrengen **3**. **Figur 3** viser et eksem-
pel på torsjonsvibrasjon som oppleves av bunnhullsanordningen **6**. **Figur 3** illustrerer
5 en graf **31** over en overflatehastighet til borestrengen **3**, og en graf **32** over bor-
kronens hastighet ved bunnhullsanordningen **6**. Med henvisnings til **figur 3**, oscilla-
sjoner av borkronens hastighet i forhold til overflatehastigheten kan observeres som
torsjonsvibrasjonen. Disse oscillasjoner kan forringe penetrasjonshastigheten. Disse
oscillasjoner kan generelt forårsakes av dynamikken til borestrengen **3**, som er et
10 resultat av krefter som virker på borestrengen **3**. Fordi borestreng-bevegelsesgiverne
kan påføre en kraft på borestrengen **3**, kan borestreng-bevegelsesgiverne brukes til
å motvirke vibrasjon detektert av sensorene **7**.

[0030] Andre typer av abnorme hendelser kan også påvirke borestrengen **3**.

Eksempler på andre abnorme hendelser inkluderer "fastkjøring-løsning" og "virvling".

15 Fastkjøring-løsning vedrører at borestrengen **3** setter seg fast og løsner. Virvling ved-
rører den tilstand hvor bunnhullsanordningen **6** roterer i en retning motsatt rotasjons-
retningen til borestrengen **3** og rotasjonsinnretningen **13**. Virvling kan resultere i at
bunnhullsanordningen **6** frakoples fra et borerør **5**. De teknikker som her er presen-
tert krever at kontrolleren **10** detekterer en abnorm hendelse og fremskaffer styrings-
20 signalet **11** til minst én borestreng-bevegelsesgiver for å motvirke hendelsen. For
eksempel, hvis virvling detekteres av sensorene **7**, så kan styringssignalet **11** brukes
til å stoppe rotasjon av borestrengen **3** ved hjelp av rotasjonsinnretningen **13** og løfte
bunnhullsanordningen **6** bort fra bunnen av borehullet **2** ved bruk av løftesystemet
12. Kontrolleren **10** kan deretter på ny starte boring når virvlingen (eller den abnorme
25 hendelse) har opphørt.

[0031] Det vises nå til kontrolleren **10**, idet kontrolleren **10** kan inkludere et data-
maskin-behandlingssystem. Eksemplifiserende komponenter i datamaskin-
behandlingssystemet inkluderer, uten begrensning, minst én prosessor, lagring,
minne, inngangsinnretninger, utgangsinnretninger og lignende. Etter som disse
30 komponenter er kjent for de som har fagkunnskap innen teknikken, er disse her ikke
vist i detalj.

[0032] Noe av den lære som her fremsettes reduseres generelt til en algoritme som
er lagret på maskinlesbare media. Algoritmen implementeres av datamaskin-
behandlingssystemet og forsyner operatører eller brukere med ønsket utmating. Ett

eksempel på utmatingen er i det minste det ene av vising og registrering av en penetrasjonshastighet til borestrengen **3**.

[0033] Et økt antall av sensorer **7** og et økt antall av borestreng-bevegelsesgivere resulterer generelt i en økt penetrasjonshastighet. Således, i en foretrukket utførelse, har kontrolleren **10** flere innganger og flere utganger (multiple inputs and multiple outputs, MIMO). Eksempler på styringsmetoder for en MIMO-kontroller **10** inkluderer modell-referanse adaptiv styring og modell-fri adaptiv styring. **Figur 4** viser aspekter av kontrolleren **10** som bruker modell-referanse adaptiv (MRA) styring. **Figur 4A** illustrerer et blokkdiagram over et MRA-styringssystem **40** som inkluderer en modell-referanse **41** og et nevralt nettverk **42**. **Figur 4B** viser aspekter av det nevrale nettverk **42**. **Figur 4C** viser mer detaljerte aspekter av det nevrale nettverk **42**. Pilene av blokktype vist på **figur 4** angir at variablene er vektorer. Referanse-modellen **41** inkluderer ligninger som modellerer borestrengen **3**. Det nevrale nettverk **42** brukes til å kompensere for enhver ikke-linearitet for dynamikk i borestrengen **3** som ikke tas hensyn til i referanse-modellen **41**. Rollen til det nevrale nettverk **42** er å konstruere en linjearisert modell ved minimering av feil forårsaket av ikke-lineariteter i kontrolleren **10**, sensorene **7** og borestreng-bevegelsesgiverne.

[0034] Den modell-frie adaptive (MFA) styringsmetode brukes når ligningene for modellering av borestrengen **3** er ukjent. **Figur 5** viser aspekter av kontrolleren **10** ved bruk av MFA-styring (referert til som MFA-kontrolleren **10**). **Figur 5A** illustrerer et blokkdiagram over MFA-styring. Pilene av blokktype på **figur 5** angir at variablene er vektorer. **Figur 5B** viser aspekter av MFA-kontrolleren **10** som bruker kompensatorer C_{21} og C_{12} for avkopling av prosessinteraksjoner, betegnet som G_{21} og G_{12} . således, på grunn av karakteren til 2x2-prosessen vist på **figur 5B**, er inngangene u_1 og u_2 til 2x2-prosessen sammenkoblet med utganger i y_1 og y_2 . Forandringen i en inngang kan derfor forårsake at begge utgangene forandres.

[0035] **Figur 5C** viser aspekter av kjernearkitektur for MFA-kontrolleren **10** som har en enkelt inngang og en enkelt utgang (single input and single output, SISO). SISO-styring presenteres med henblikk på drøftelse. MFA-kontrolleren **10** vist på **figur 5C** har et flerlags perseptron-nevralt nettverk **50** som inkluderer et inngangslag **51**, et skjult lag **52** med N nevroner, og et utgangslag **53** med ett nevron. Innenfor det nevrale nettverk **50** er det grupper av vektingsfaktorer (w_{ij} og h_i) som kan oppdateres som nødvendig for å regjere oppførselen til MFA-kontrolleren **10**. En algoritme for oppdatering av vektingsfaktorene er basert på et mål med minimering av feil ($e(t)$)

mellom et settpunkt et en prosessvariabel. Siden målet er det samme som styringsformålet, kan tilpasningen av vektingsfaktorene assistere MFA-kontrolleren **10** mens prosessdynamikk forandrer seg. I tillegg lagrer MFA-kontrolleren **10**, inkludert det nevralt nettverk **50**, i det minste en del av prosessdata, hvilket tilveiebringer informasjon for prosessdynamikken.

[0036] **Figur 6** viser aspekter av en forsinkelsesprediktor **60** til bruk sammen med MFA-kontrolleren **10** når prosessen oppviser store tidsforsinkelser. Forsinkelsesprediktoren **60** produserer et dynamisk signal $y_c(t)$ som tilbakemeldingssignalet til MFA-kontrolleren **10**. Målet med forsinkelsesprediktoren **60** er å produsere feilsignalet $e(t)$ for MFA-kontrolleren **10**, slik at MFA-kontrolleren **10** kan oppleve en effekt av sin styringshandling uten mye forsinkelse. Med andre ord, det dynamiske signal $y_c(t)$ er et kunstig tilbakemeldingssignal som er i stand til å holde tilbakemeldingssløyfen virksom selv nå prosessen oppviser store tidsforsinkelser. Siden MFA-kontrolleren **10** tilpasser seg, kan forsinkelsesprediktoren **60** være av enkel form. Sammenlignet med et Smith prediktor, krever forsinkelsesprediktoren **60** ikke en nøyaktig modell. Forsinkelsesprediktoren **60** bruker en estimert tidsforsinkelse. Hvis den estimerte tidsforsinkelse har en manglende overensstemmelse med den faktiske prosess tidsforsinkelse, så er MFA-kontrolleren **10** adaptiv nok til å justere seg til forskjellen. Tilfredsstillende ytelse oppnås generelt i en situasjon hvor tidsforsinkelsen er to til fem ganger større eller mindre enn den faktiske tidsforsinkelse. I tillegg kan forsinkelsesprediktoren **60** brukes med generelt enhver størrelse av prosess-forholdet τ/T (hvor τ = tidsforsinkelse og t = tidskonstant).

[0037] Modell-fri adaptiv styring-programvare og forsinkelsesprediktor-programvare er kommersielt tilgjengelig fra CyboSoft, General Cybernation Group, Inc., Rancho Cordova, California. Denne programvare kan porteres til datamaskin-behandlings-systemer og kommersielt tilgjengelig kontrollere.

[0038] **Figur 7** presenterer et eksempel på en fremgangsmåte **70** for optimering av en penetrasjonshastighet til borestrengen **3**. Fremgangsmåten **70** krever (trinn 71) mottaking av en måling fra minst én sensor **7** i operativ kommunikasjon med borestrengen **3**. Fremgangsmåten **70** krever videre (trinn 72) sending av styringssignalet **11** fra kontrolleren **10** til en borestreng-bevegelsesgiver for optimering av penetrasjonshastigheten til borestrengen **3**, hvor styringssignalet **11** er konfigurert til å tilveiebringe i det minste det ene av vekt på borkronen, en størrelse av hastighet for å

rotere borestrengen, en størrelse av dreiemoment for påføring på borestrengen, og en størrelse av slamstrøm til borestrengen.

[0039] For å støtte den lære som her fremsettes, kan det brukes forskjellige analysekomponenter, inkludert digitale og/eller analoge systemer. For eksempel kan

5 kontrolleren 10 inkludere digitale eller analoge systemer. Systemet kan ha komponenter så som en prosessor, lagringsmedia, minne, inngang, utgang, kommunikasjonslink (ledningsført, trådløs, optisk eller annen), brukergrensesnitt, dataprogrammer, signalprosessorer (digitale eller analoge) og andre slike komponenter (så som motstander, kondensatorer, induktorer og andre) for å sørge for operasjon og

10 analyse av apparatet og fremgangsmåten som her offentliggjøres på en hvilken som helst av flere måter som er godt anerkjent innen teknikken. Det anses at denne lære kan være, men ikke behøver å være, implementert i forbindelse med et sett av datamaskinutførbare instruksjoner lagret på et datamaskinlesbart medium, inkludert minne (ROM'er, RAM'er), optisk (CD-ROM'er), eller magnetisk (disker, harddisk-

15 stasjoner), eller en hvilken som helst annen type som når den utføres forårsaker at en datamaskin implementerer fremgangsmåten ifølge den foreliggende oppfinnelse. Disse instruksjoner kan sørge for utstyrets operasjon, styring, datainnsamling og analyse og andre funksjoner som anses relevante av systemdesigneren, operatøren, eieren, brukeren eller annet slikt personell, i tillegg til de funksjoner som er beskrevet

20 i denne offentliggjøring.

[0040] Videre kan forskjellige andre komponenter inkluderes og påkalles for å sørge for aspekter av den lære som her fremsettes. For eksempel kan en strømforsyning (eksempelvis i det minste det ene av en generator, en fjerntliggende forsyning og et batteri), vakuumforsyning, trykkforsyning, avkjølingskomponent, oppvarmingskomponent,

25 bevegende kraft (så som en translatorisk kraft, fremdriftskraft eller en rotasjonskraft), magnet, elektromagnet, sensor, elektrode, sender, mottaker, transsiver, antenne, kontroller, optisk enhet, mekanisk enhet (så som en støtdemper, vibrasjonsdemper eller hydraulisk skyvekraftgiver), elektrisk enhet eller elektromagnetisk enhet være inkludert til støtte for de forskjellige aspekter som her er omtalt eller til støtte for

30 andre funksjoner utover denne offentliggjøring.

[0041] Elementer av utførelsene har blitt introdusert enten med artiklene "en" eller "et". 'Artiklene er ment å bety at det er ett eller flere av elementene. Uttrykkene "inkluderer" og "har" er ment å være altomfattende, slik at det kan være ytterligere elementer bortsett fra de elementer som er opplistet. Uttrykket "eller" når det brukes

sammen med en liste over minst to elementer, er ment å bety ethvert element eller kombinasjon av elementer.

5 **[0042]** Det vil innses at de forskjellige komponenter eller teknologier kan tilveiebringe visse nødvendige eller fordelaktige funksjonaliteter eller trekk. Disse funksjonaliteter og trekk som kan være nødvendige for å støtte de vedføyde krav og variasjoner av disse, erkjennes følgelig som å være iboende inkludert som en del av den lære som her fremsettes og en del av den offentliggjorte oppfinnelse.

10 **[0043]** Selv om oppfinnelsen har blitt beskrevet med henvisning til eksemplifiserende utførelser, vil det forstås at forskjellige forandringer kan gjøres og at ekvivalenter kan brukes istedenfor elementer i denne uten å avvike fra oppfinnelsens omfang definert av de vedføyde patentkrav. I tillegg vil det forstås at mange modifikasjoner kan foretas for å tilpasse et bestemt instrument, situasjon eller materiale til oppfinnelsens lære uten å avvike fra dens essensielle omfang definert av de vedføyde patentkrav. Det er derfor meningen at oppfinnelsen ikke skal være begrenset til den bestemte
15 utførelse som er offentliggjort som den best tenkelige modus for utførelse av oppfinnelsen, men at oppfinnelsen vil inkludere alle utførelser som faller innenfor omfanget definert av de vedføyde krav.

P A T E N T K R A V

1. System for optimering av en penetrasjonshastighet for en borestreng (3), hvilket system omfatter:

- 5 - et bredbåndskommunikasjonssystem (9);
- et flertall av sensorer (7) i funksjonsdyktig kommunikasjon med borestrengen (3); og
- en kontroller (10) i funksjonsdyktig kommunikasjon med flertallet av sensorer (7) i sann tid ved bruk av bredbåndskommunikasjonssystemet (9), idet kontrolleren (10) er konfigurert til å forbindes til en nedihulls borestreng-bevegelsesgiver ved bruk av
10 bredbåndskommunikasjonssystemet (9) og er konfigurert til utmating av et signal (11), basert på utmating fra flertallet av sensorer (7), til nedihulls borestreng-bevegelsesgiveren i sann tid for optimering av penetrasjonshastigheten til borestrengen (3),

hvor kontrolleren (10) omfatter et flertall av innganger, et flertall av utganger,
15 modell-fri adaptiv styring som er konfigurert til å estimere styring uten å forutsette en modell for borestrengen (3), og et nevral nettverk (42; 50); og

hvor nedihulls borestreng-bevegelsesgiveren er responsiv til signalet (11) som er overført i sann tid, for utføring av en handling som i det minste endrer vekt på borkronen og/eller aktivt styrer vibrasjon til borestrengen (3) eller en bunnhulls-
20 anordning (6) som er anordnet ved eller koplet til borestrengen (3).

2. System som angitt i krav 1, hvor signalet (11) videre er konfigurert til å begrense vibrasjon av borestrengen (3).

25 3. System som angitt i krav 1, hvor nedihulls borestreng-bevegelsesgiveren er i det minste det ene av: en strømningsavleder (15) for avledning av en strøm av slam i borestrengen (3) og/eller en aktiv vibrasjonsstyringsinnretning (16).

4. System som angitt i krav 3, hvor signalet (11) videre er konfigurert til å tilveiebringe
30 en posisjon for strømningsavlederen (15).

5. System som angitt i krav 3, hvor signalet (11) videre er konfigurert til å tilveiebringe en inngangsparameter for den aktive vibrasjonsstyringsinnretningen (16).

6. System som angitt i krav 1, hvor sensorene (7) er sensitive for i det minste det ene av kraft, moment, akselerasjon, spenning, tøying, hastighet, avstand, vinkel, trykk, temperatur og vibrasjon.

5 7. System som angitt i krav 1, hvor et sett av sensorer innenfor flertallet av sensorer (7) er anordnet langs borestrengen (3).

8. System som angitt i krav 1, hvor minst én sensor i flertallet er sensitiv for en forflytningshastighet for borestrengen (3).

10

9. System som angitt i krav 1, videre omfattende en forsinkelsesprediktor (60).

10. System som angitt i krav 1, hvor bredbåndskommunikasjonssystemet omfatter minst én av: ledningsforsynt borerør (5) og/eller fiberoptikk.

15

11. Fremgangsmåte (70) for optimering av en penetrasjonshastighet til en borestreng (3) i et borehull (2), hvilken fremgangsmåte omfatter:

- mottaking (71) av målinger i sann tid ved bruk av et bredbåndskommunikasjonssystem (9) fra et flertall av sensorer (7) i operativ kommunikasjon med borestrengen (3); og

20

- utsending (72) av et signal (11) i sann tid, basert på målingene fra flertallet av sensorer (7), fra en kontroller (10) til en nedihulls borestreng-bevegelsesgiver for optimering av penetrasjonshastigheten til borestrengen (3),

hvor kontrolleren (10) omfatter et flertall av innganger, et flertall av utganger, modell-fri adaptiv styring som er konfigurert til å estimere styring uten å forutsette en modell for borestrengen (3), og et nevralt nettverk (42; 50); og

25

hvor nedihulls borestreng-bevegelsesgiveren er responsiv til signalet (11) som er overført i sann tid, for utføring av en handling som i det minste endrer vekt på borkronen og/eller aktivt styrer vibrasjon til borestrengen (3) eller en bunnhulls-anordning (6) som er anordnet ved eller koplet til borestrengen (3).

30

12. Fremgangsmåte som angitt i krav 11, hvor sensorene (7) er sensitive for i det minste det ene av kraft, moment, akselerasjon, spenning, tøying, hastighet, avstand, vinkel, trykk, temperatur og vibrasjon.

13. Fremgangsmåte som angitt i krav 11, hvor signalet (11) videre er konfigurert til å rotere en bunnhulls-anordning (6) anordnet ved borestrengen (3) ved en bestemt hastighet.

5

14. Fremgangsmåte som angitt i krav 11, hvor signalet (11) videre er konfigurert til å begrense vibrasjon av borestrengen (3).

15. Fremgangsmåte som angitt i krav 11, videre omfattende identifisering av en ugunstig borehendelse.

10

16. Fremgangsmåte som angitt i krav 15, videre omfattende stopping av boring som respons på identifisering av den ugunstige borehendelse.

17. Fremgangsmåte som angitt i krav 16, videre omfattende omstart av boring etter at den abnorme hendelse er avsluttet.

15

18. Fremgangsmåte som angitt i krav 11, hvor kontrolleren (10) videre omfatter en forsinkelsesprediktor (60).

20

19. Fremgangsmåte som angitt i krav 18, videre omfattende utsending av et tilbakemeldingssignal til kontrolleren (10) fra forsinkelsesprediktoren (60).

20. Datamaskinprogramprodukt lagret på maskinlesbare media for optimering av en penetrasjonshastighet til en borestreng (3), hvilket produkt omfatter maskinutførbare instruksjoner for:

25

- mottaking av målinger i sann tid ved bruk av et bredbåndskommunikasjonssystem (9) fra et flertall av sensorer (7) i operativ kommunikasjon med borestrengen (3);

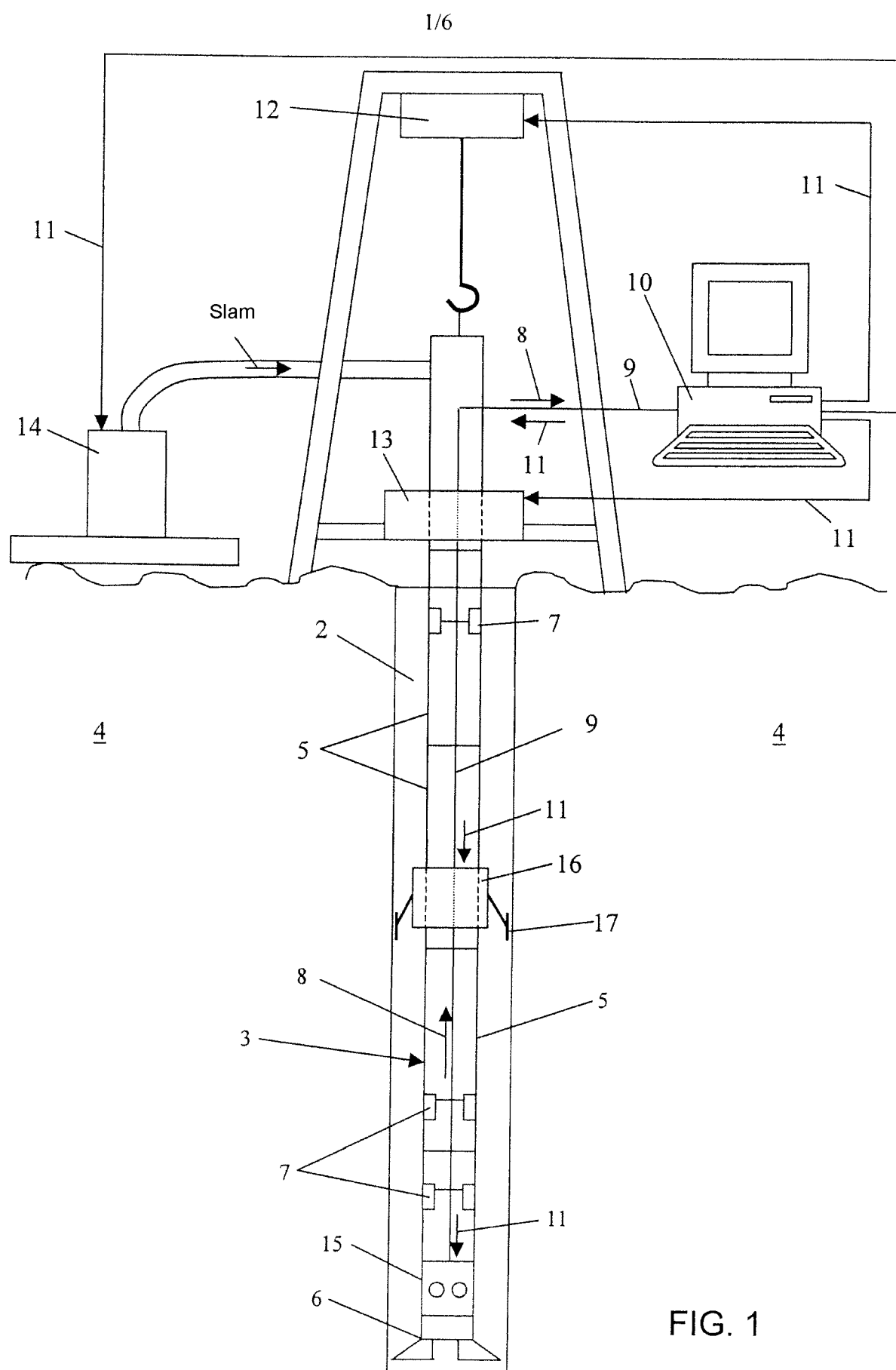
- utsending av et signal (11) i sann tid, basert på målingene fra flertallet av sensorer

30

(7), fra en kontroller (10) til en nedihulls-borestreng-bevegelsesgiver for optimering av penetrasjonshastigheten til borestrengen (3), hvor kontrolleren (10) omfatter et flertall av innganger, et flertall av utganger, modell-fri adaptiv styring som er konfigurert til å estimere styring uten å forutsette en modell for borestrengen (3), og et nevraltt nettverk (42; 50), og hvor nedihulls-borestreng-bevegelsesgiveren er responsiv til

signalet (11) som er overført i sann tid, for utføring av en handling som i det minste endrer vekt på borkronen og/eller aktivt styrer vibrasjon til borestrengen (3) eller en bunnhulls-anordning (6) som er anordnet ved eller koplet til borestrengen (3); og

- i det minste det ene av: registrering og/eller fremvisning av penetrasjonshastigheten til en bruker.



2/6

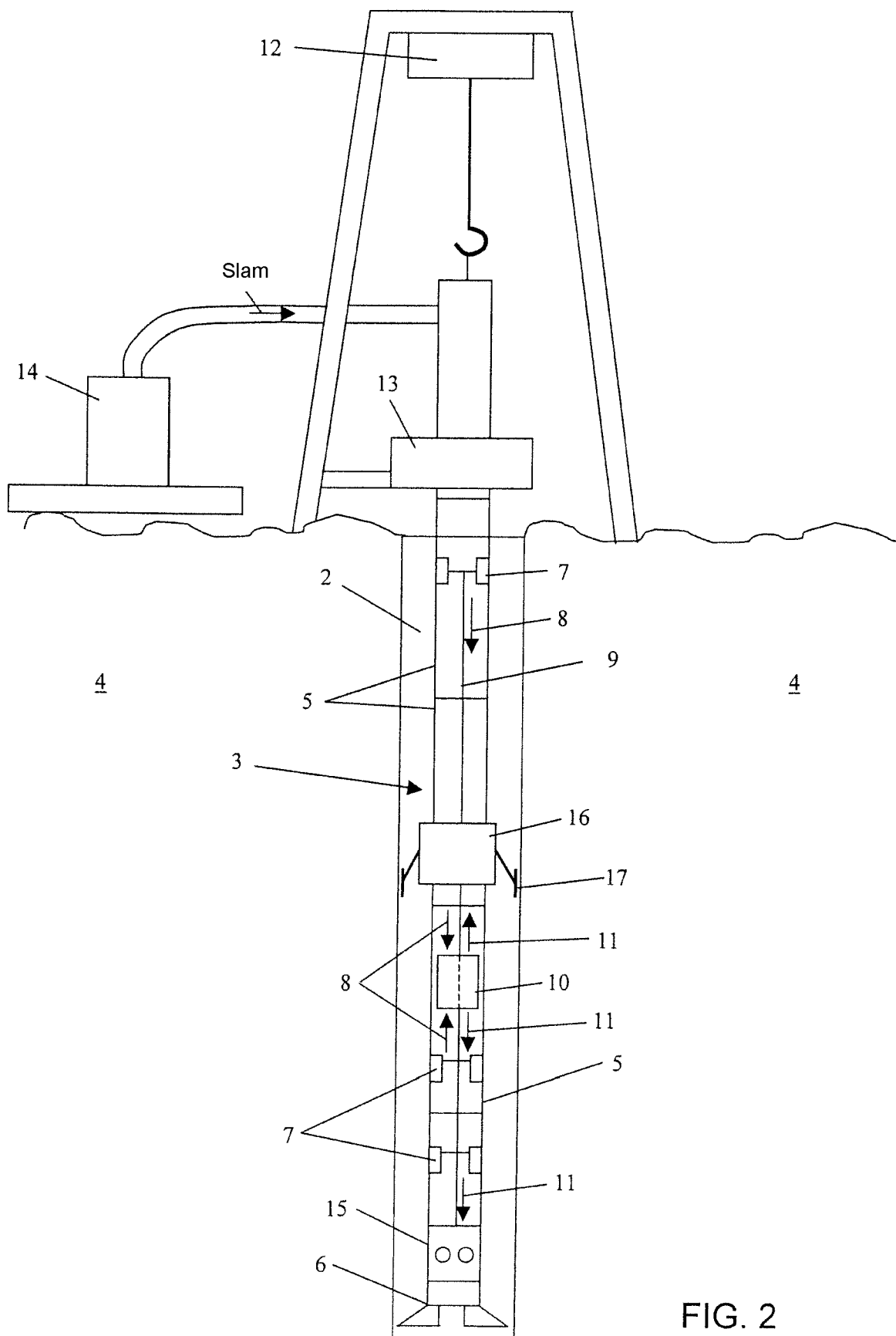


FIG. 2

3/6

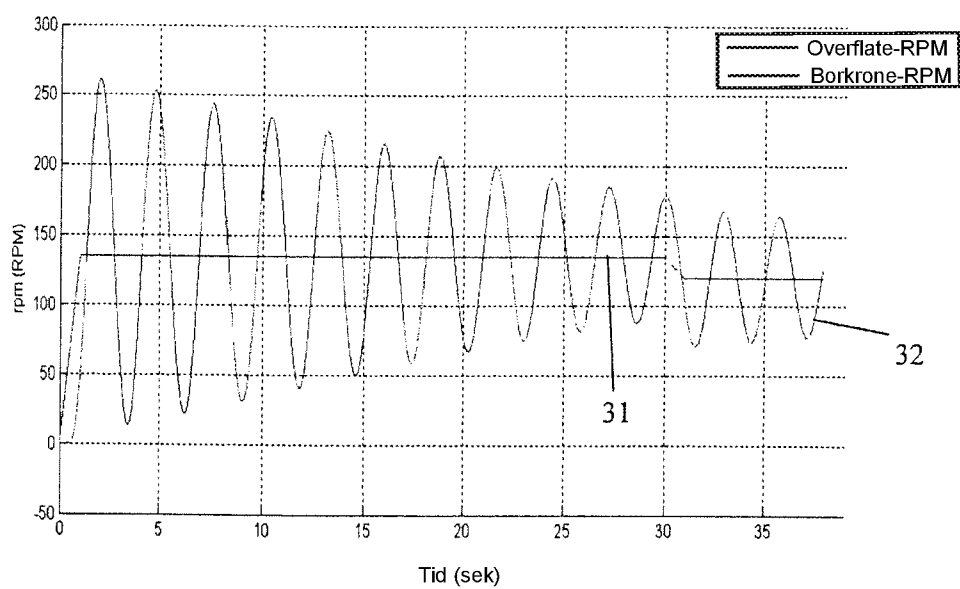


FIG. 3

4/6

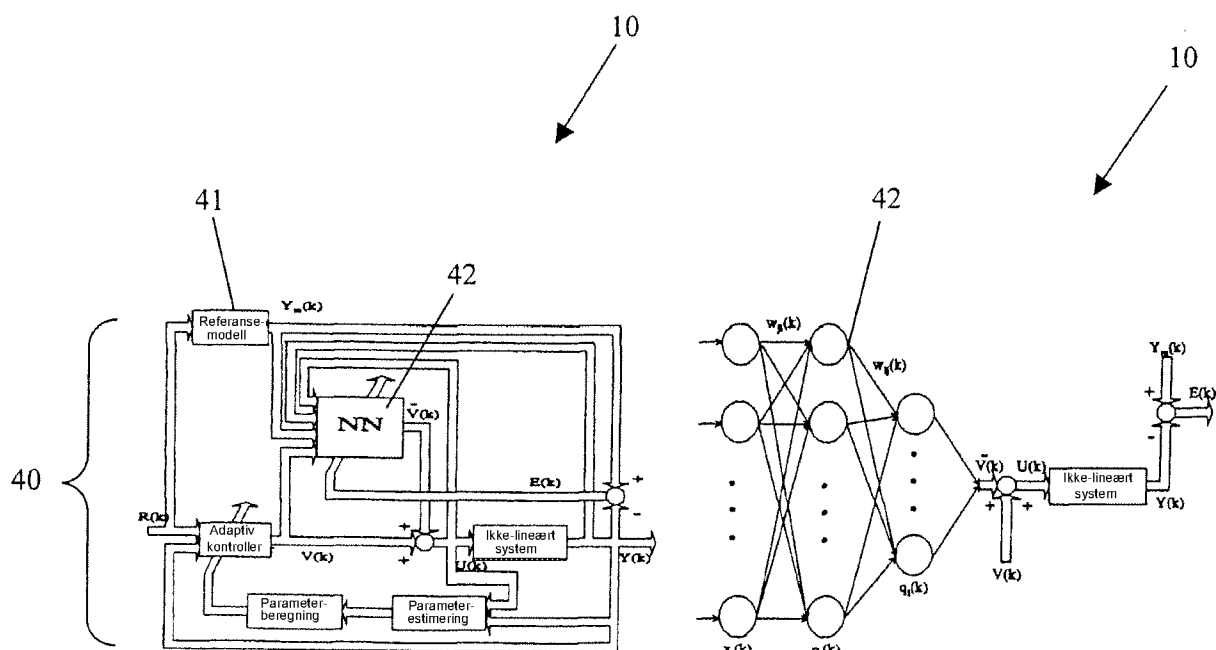


FIG. 4A

FIG. 4B

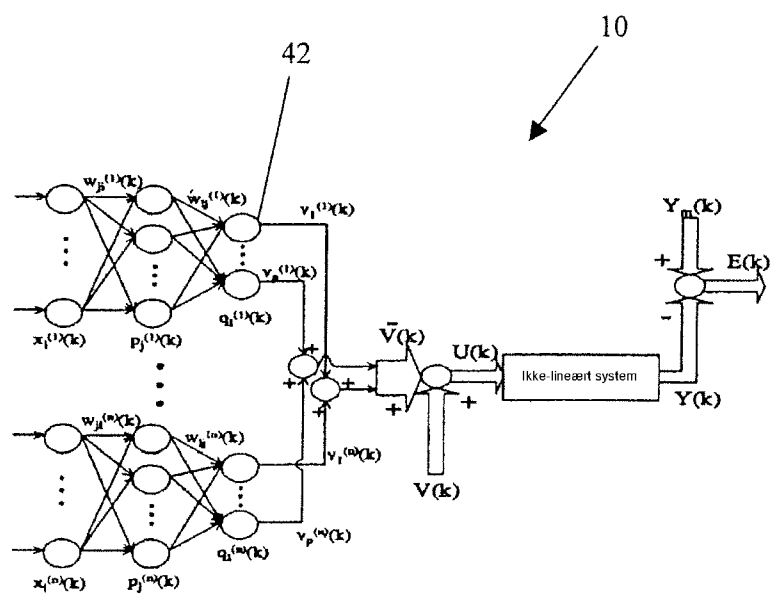


FIG. 4C

5/6

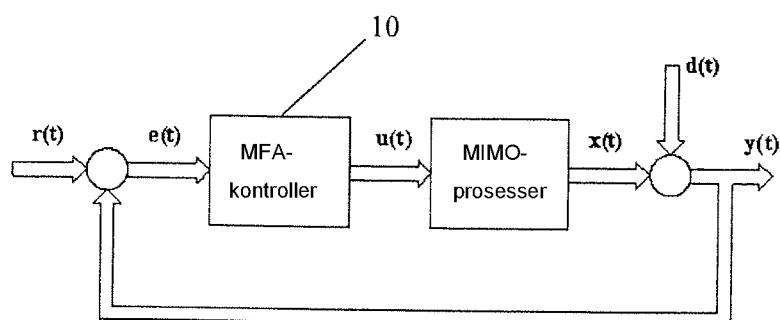


FIG. 5A

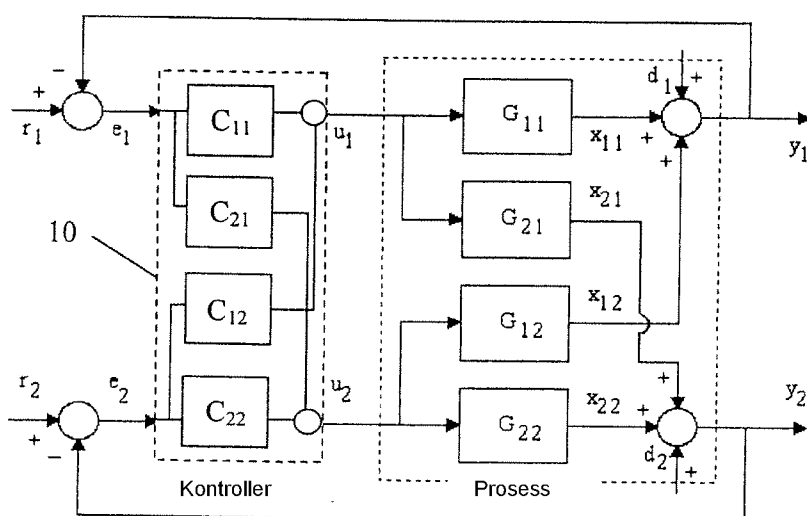


FIG. 5B

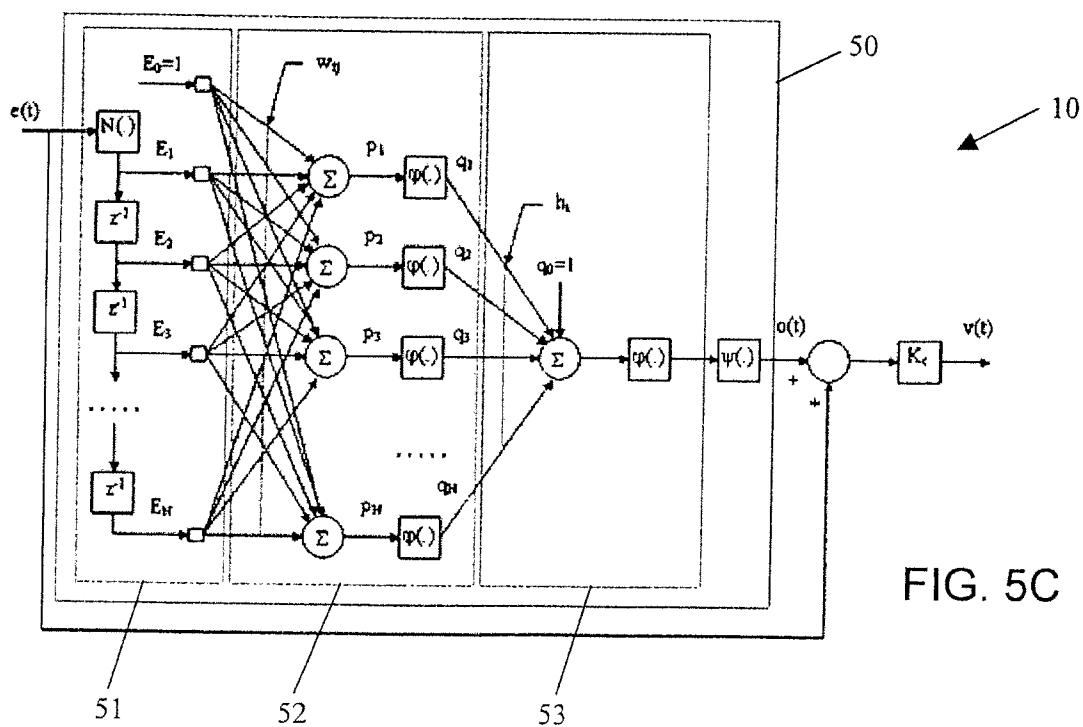


FIG. 5C

6/6

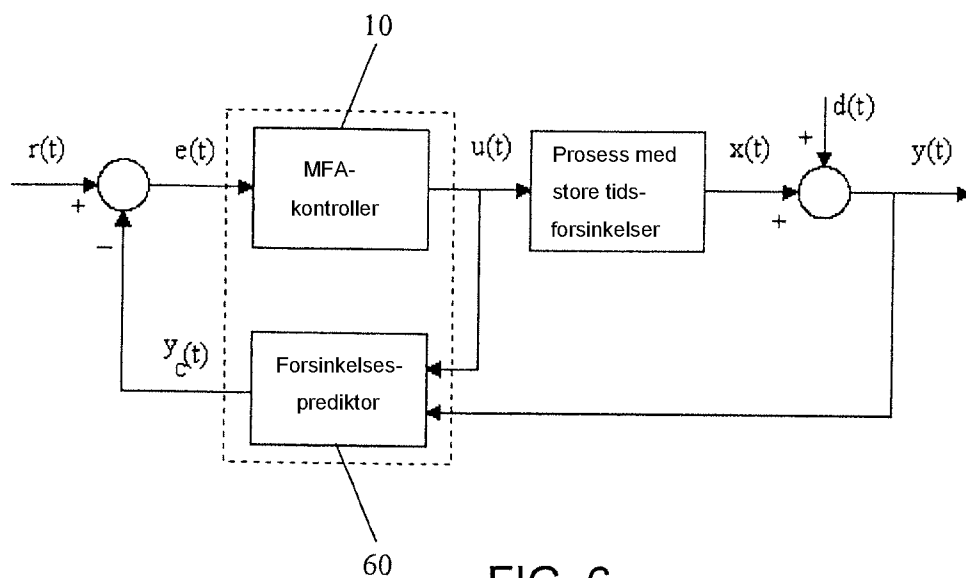


FIG. 6

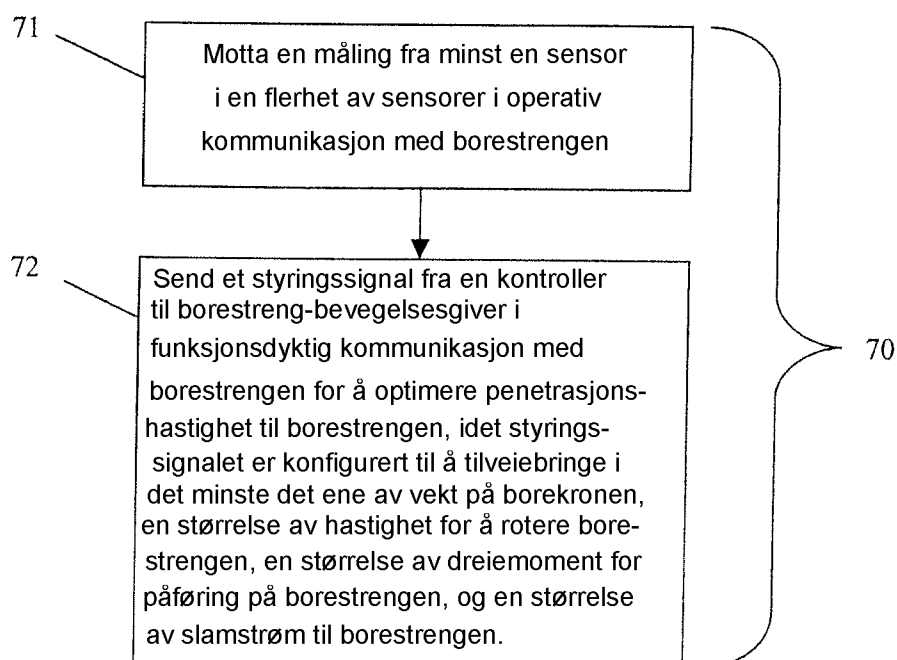


FIG. 7