

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 0 816 629 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
14.05.2003 Bulletin 2003/20

(51) Int Cl.7: **E21B 44/00, E21B 45/00**

(21) Numéro de dépôt: **97401297.3**

(22) Date de dépôt: **09.06.1997**

(54) **Méthode et système d'estimation en temps reel d'au moins un paramètre lié au déplacement d'un outil de forage**

Verfahren und Einrichtung zur Echtzeit-Einschätzung von mindestens eines Parameters, der mit dem Bohrfortschritt eines Bohrwerkzeuges zusammenhängt

Method and system for real time estimation of at least one parameter connected to the rate of penetration of a drilling tool

(84) Etats contractants désignés:
GB IT NL

(30) Priorité: **24.06.1996 FR 9607915**

(43) Date de publication de la demande:
07.01.1998 Bulletin 1998/02

(73) Titulaire: **INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE**
92852 Rueil-Malmaison Cedex (FR)

(72) Inventeurs:
• **Pavone, Didier**
69130 Ecully (FR)

• **Desplans, Jean-Pierre**
91250 Saint Germain Les Corbeil (FR)

(56) Documents cités:
EP-A- 0 289 068 EP-A- 0 709 546
FR-A- 2 645 205 FR-A- 2 666 845
FR-A- 2 688 026 GB-A- 2 264 562
GB-A- 2 269 457 GB-A- 2 270 385

• **M.R. REZA: "the drilling model evaluation"**
SPE15109, 2 avril 1986, XP002042764

EP 0 816 629 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] La présente invention concerne le domaine des mesures en cours de forage, en particulier des mesures concernant le déplacement d'un outil de forage fixé à l'extrémité d'un train de tiges de forage. La méthode selon l'invention propose une solution pour estimer notamment la vitesse de rotation instantanée de l'outil au fond du puits, lesdites estimations étant obtenues par le moyen d'un programme de calcul prenant en compte des mesures effectuées au sommet du train de tiges, c'est-à-dire sensiblement à la surface du sol, généralement par le moyen de capteurs ou d'un raccord instrumenté situés dans le voisinage des moyens d'entraînement en rotation de la garniture.

[0002] On connaît des techniques de mesure pour l'acquisition d'informations liées au comportement dynamique de la garniture de forage, qui utilisent un ensemble de capteurs de fond reliés à la surface par un conducteur électrique. Dans le document FR-2 688 026, il est utilisé deux ensembles de capteurs de mesure reliés par un câble du type logging, l'un étant situé au fond du puits, l'autre au sommet de la garniture de forage. Cependant, la présence d'un câble le long de la garniture de forage est gênante pour les opérations de forage proprement dites.

[0003] On connaît le document EP-A-709546 qui décrit une méthode prédictive de mesures de fond de puits consécutives à des mesures de surface, à partir d'une équation prédictive obtenue à la suite de collectes de mesures de fond et de surface. Cette méthode impose une collecte de mesures de fond et deux des moyens de collecte de fond de puits.

[0004] On connaît par les documents FR 2645205 ou FR 2666845 des dispositifs de surface placés au sommet de la garniture qui déterminent certains dysfonctionnements de forage en fonction de mesures de surface, mais sans prendre en compte, de manière physique, le comportement dynamique de la garniture et de l'outil de forage dans le puits.

[0005] Entre le fond d'un puits et la surface du sol, il existe un train de tiges le long duquel ont lieu des phénomènes dissipatifs d'énergie (frottement sur la paroi, amortissement de torsion,...), des phénomènes conservatifs de flexibilité, notamment en torsion. Il y a ainsi une distorsion entre les mesures des déplacements de fond et de surface qui dépend principalement des caractéristiques intrinsèques de la garniture (longueur, raideur, géométrie), des caractéristiques de frottement à l'interface tiges/paroi et de phénomènes aléatoires.

[0006] C'est pourquoi, les informations contenues dans les mesures de surface ne suffisent pas à elles seules à résoudre le problème posé, c'est-à-dire connaître les déplacements instantanés de l'outil en connaissant les déplacements instantanés de la garniture en surface. Il faut compléter les informations de mesures de surface par des informations indépendantes, d'une autre nature, qui prennent en compte la structure

du train de tiges et son comportement entre le fond et la surface: c'est le rôle du modèle de connaissance qui établit les relations théoriques entre le fond et la surface.

[0007] La méthodologie de la présente invention utilise la conjonction d'un tel modèle, défini a priori, et de mesures de surface acquises en temps réel.

[0008] Ainsi, la présente invention concerne une méthode d'estimation du déplacement effectif d'un outil de forage fixé à l'extrémité d'une garniture de forage et entraîné en rotation dans un puits par des moyens d'entraînement situés en surface, dans laquelle on utilise un modèle physique non linéaire du processus de forage fondé sur des équations générales de la mécanique. Dans la méthode, on effectue les étapes suivantes:

- on identifie les paramètres dudit modèle en prenant en compte les paramètres dudit puits et de ladite garniture,
- on linéarise ledit modèle autour d'un point de fonctionnement,
- on réduit ledit modèle linéarisé en ne conservant que certains des modes propres de la matrice d'état dudit modèle,
- on calcule, en temps réel, le déplacement de l'outil de forage à l'aide du modèle réduit et d'au moins un paramètre mesuré en surface.

[0009] Le modèle peut prendre en compte essentiellement les déplacements en rotation et ledit modèle réduit peut calculer en temps réel la vitesse de rotation instantanée de l'outil de forage, ledit paramètre mesuré en surface peut être pris parmi au moins: la vitesse de rotation de la garniture ou le couple.

[0010] Le modèle réduit peut être affiné par un filtrage auto adaptatif qui minimise la différence entre une mesure réelle d'un paramètre lié au déplacement de la garniture en surface et la sortie correspondante obtenue par ledit modèle réduit.

[0011] Le filtrage peut prendre en compte le couple mesuré en surface ou la vitesse de rotation mesurée en surface.

[0012] L'invention concerne également un système d'estimation du déplacement effectif d'un outil de forage fixé à l'extrémité d'une garniture de forage et entraîné en rotation dans un puits par des moyens d'entraînement situés en surface, dans lequel une installation de calcul comporte des moyens de modélisation physique non linéaire du processus de forage fondé sur des équations générales de la mécanique. Les paramètres desdits moyens de modélisation sont identifiés en prenant en compte les paramètres dudit puits et de ladite garniture, et l'installation de calcul comporte des moyens de linéarisation dudit modèle autour d'un point de fonctionnement, des moyens de réduction dudit modèle linéarisé afin de ne conserver que certains des modes propres de la matrice d'état dudit modèle, des moyens de calcul, en temps réel, du déplacement de l'outil de forage à l'aide des moyens de modélisation une fois linéarisés et

réduits et des moyens de mesure d'au moins un paramètre lié au déplacement de la garniture en surface.

[0013] Les moyens de modélisation peuvent ne prendre en compte que la torsion, et les paramètres peuvent être la vitesse de rotation et/ou le couple.

[0014] La présente invention sera mieux comprise et ses avantages apparaîtront clairement à la lecture de la description d'un exemple, nullement limitatif, illustré par les figures ci-après annexées, parmi lesquelles:

- la figure 1 représente schématiquement les moyens mis en oeuvre pour une opération de forage,
- la figure 2 représente un exemple de diagramme d'un modèle physique en torsion,
- la figure 3 représente un diagramme d'un estimateur en boucle ouverte,
- la figure 4 représente un diagramme d'un estimateur avec recalage,
- la figure 5 représente schématiquement la méthodologie de la constitution de l'estimateur selon l'invention.
- la figure 6 illustre les résultats obtenus avec l'estimateur.

[0015] La figure 1 illustre un appareil de forage sur lequel on mettra en oeuvre l'invention. L'installation de surface comprend un appareil de levage 1 comprenant une tour de levage 2, un treuil 3 qui permettent le déplacement d'un crochet de forage 4. Sous le crochet de forage sont suspendus des moyens d'entraînement 5 en rotation de l'ensemble de la garniture de forage 6 placée dans le puits 7. Ces moyens d'entraînement peuvent être du type tige d'entraînement ou kelly accouplée à une table de rotation 8 et les motorisations mécaniques, ou du type tête d'entraînement motorisée ou "power swivel" suspendue directement au crochet et guidée longitudinalement dans la tour.

[0016] La garniture de forage 6 est constituée conventionnellement par des tiges de forage 10, d'une partie 11 appelée couramment BHA pour "Bottom Hole Assembly" comportant principalement des masses-tiges, un outil de forage 12 en contact avec le terrain en cours de forage. Le puits 7 est rempli d'un fluide, dit de forage, qui circule de la surface au fond par le canal intérieur de la garniture de forage et remonte en surface par l'espace annulaire entre les parois du puits et la garniture de forage.

[0017] Pour la mise en oeuvre de l'invention, on peut intercaler un raccord instrumenté 13 entre les moyens d'entraînement et le sommet de la garniture. Ce raccord permet de mesurer le couple, la vitesse de rotation, éventuellement le déplacement longitudinal du sommet de la garniture. Ces mesures, dites de surface, sont transmises par câble ou radio vers une installation électronique d'enregistrement, de traitement, d'affichage, non représentée ici. A la place du raccord 13, on pourra utiliser d'autres capteurs tels un tachymètre sur la table de rotation pour mesurer la vitesse de rotation et un ap-

pareil de mesure du couple sur l'appareil de motorisation, si la précision des mesures ainsi obtenues est suffisante.

[0018] La partie 11 de la BHA peut plus précisément comporter, des masses-tiges, des stabilisateurs, un amortisseur de chocs, et un second raccord instrumenté 14 qui ne sera utilisé que pour contrôler expérimentalement la présente invention en permettant la comparaison entre le déplacement de l'outil de forage 12 effectivement mesuré par le raccord instrumenté 14 et le déplacement estimé grâce à la mise en oeuvre de la présente invention. Il est donc clair que l'application de la présente invention n'utilise pas de raccord instrumenté placé au fond du puits.

[0019] Le foreur qui conduit une opération de forage avec les appareils décrits sur la figure 1 a trois principales actions possibles, qui sont donc les variables de commande possibles permettant de contrôler le processus de forage. Ce sont, le poids sur l'outil qui est réglé par le treuil lequel contrôle la position du crochet, la vitesse de rotation de la table de rotation ou équivalent, et le débit de fluide de forage injecté.

[0020] Pour illustrer un exemple de la présente invention, on utilisera un modèle du système mécanique composé des éléments technologiques suivants:

- un ensemble d'entraînement: organe de régulation et motorisation,
- un ensemble de tiges,
- un ensemble de masses-tiges,
- un terrain représentant le contact outil/roche.

[0021] Le modèle décrit traitera le train de tiges comme un élément monodimensionnel vertical. Seuls les déplacements en rotation seront considérés, les déplacements verticaux et latéraux étant négligés.

[0022] La figure 2 représente le schéma-bloc du modèle; ici de torsion. C'est un modèle classique aux différences finies qui comporte plusieurs dizaines de mailles représentées par les blocs 20. Chaque maille représente une partie du train de tiges, composé entre autres de tiges de forage et de masses-tiges. Il s'agit d'un triplet masse-ressort-amortissement figuré par les schémas référencés 21, 22, 23. Chaque bloc est muni de deux entrées et sorties représentées par les couples de flèches 24 et 25 qui représentent les couples d'entrée et de sortie et les vitesses de rotation d'entrée et de sortie. Cette représentation montre la manière de connecter numériquement plusieurs tiges (ou mailles) comme on connecte physiquement les tiges de la garniture.

[0023] Le bloc 26 représente les conditions aux limites en tête du train de tiges résultant de l'appareil de forage.

[0024] Le bloc 27 représente la loi de friction du contact outil/terrain déterminant les conditions aux limites au fond du puits. Il s'agit ici d'un dissipateur de puissance de type couple résistant. Les différentes courbes 28 représentent une loi non linéaire de l'interaction outil/

roche, en fonction de la vitesse instantanée de l'outil (entrée 29) du couple résistant (sortie 30) et du poids sur l'outil (entrée 31).

[0025] Ce modèle est validé en utilisant des données enregistrées sur chantier à l'aide des raccords instrumentés de fond et de surface.

[0026] Le fluide de forage et les parois du puits n'interviennent que dans la mesure où ils génèrent un couple résistant de friction. Par expérience, et en utilisant les mesures de fond et de surface, on pourra établir une loi de friction le long des tiges linéaire en fonction de vitesse de rotation.

[0027] Le modèle de torsion ainsi obtenu est généralement d'ordre élevé, c'est-à-dire de l'ordre de 50 à 100 pour reproduire la réalité avec une finesse suffisante.

[0028] Pour obtenir un modèle rapidement exécutable et robuste au changement de conditions de forage, par exemple le changement de terrains traversés, on procède aux étapes ci-après décrites.

[0029] On linéarise le modèle généralement non linéaire. Dans l'exemple ci-dessus décrit, on linéarise le modèle en choisissant un point de fonctionnement (une vitesse de rotation et un poids sur l'outil) représentatif des conditions de forage réelles. On peut vérifier que le comportement du modèle torsionnel de connaissance, une fois linéarisé, est correct dans le voisinage du point de fonctionnement.

[0030] La linéarisation autour d'un point de fonctionnement consiste à calculer le Jacobien du système d'état non-linéaire. Le système d'état linéaire obtenu est alors de la forme:

$$\dot{\underline{x}} = \underline{A} \cdot \underline{x} + \underline{B} \cdot \underline{e}$$

$$\underline{s} = \underline{C} \cdot \underline{x} + \underline{D} \cdot \underline{e}$$

avec:

$\underline{x} = \underline{X} - \underline{X}_0$ $\underline{X}_0$ = valeurs des états au point de fonctionnement

$\underline{e} = \underline{E} - \underline{E}_0$ $\underline{E}_0$ = valeurs des entrées au point de fonctionnement

$\underline{s} = \underline{S} - \underline{S}_0$ $\underline{S}_0$ = valeurs des sorties au point de fonctionnement

[0031] La mise sous forme modale se fait d'abord par un changement de base :

$$\underline{z} = \underline{P} \cdot \underline{x} \quad \dot{\underline{z}} = \underline{P} \cdot \dot{\underline{x}}$$

[0032] Après résolution on obtient:

$$\dot{\underline{z}} = \underline{P}^{-1} \cdot \underline{A} \cdot \underline{P} \cdot \underline{z} + \underline{P}^{-1} \cdot \underline{B} \cdot \underline{e} \quad \dot{\underline{z}} = \underline{\Lambda} \cdot \underline{z} + \underline{B}_{\Lambda} \cdot \underline{e}$$

$$\underline{s} = \underline{C} \cdot \underline{P} \cdot \underline{z} + \underline{D} \cdot \underline{e} \quad \underline{s} = \underline{C}_{\Lambda} \cdot \underline{z} + \underline{D} \cdot \underline{e}$$

$\underline{P}$ est la matrice des vecteurs propres de la matrice d'état $\underline{A}$,

$\underline{\Lambda}$ est la matrice diagonale des valeurs propres de la matrice d'état $\underline{A}$.

[0033] Après linéarisation, le modèle de torsion conserve le même ordre élevé. L'analyse des modes propres du modèle de torsion permet de quantifier la contribution de chaque mode sur les sorties dignes d'intérêt. On ne conserve alors que les modes pertinents; c'est-à-dire ceux qui ont une influence notable sur le comportement dynamique représenté par lesdites sorties.

[0034] Le modèle réduit doit reproduire les phénomènes dans une certaine bande de fréquences. Les critères de sélection des modes sont donc de deux ordres et reposent sur des concepts d'observabilité:

- suppression des modes non ou peu observables sur les sorties mesurées,
- suppression des modes hautes fréquences, n'entrant pas dans la bande de fréquence de la commande ou de l'estimateur.

[0035] La méthode de réduction employée est la méthode des perturbations singulières. Elle consiste à garder de la matrice d'état et de la matrice de commande, les lignes et les colonnes correspondant aux modes à garder. Pour conserver les gains statiques, les modes rapides sont remplacés par leur valeur statique, ce qui a pour conséquence d'introduire une matrice directe.

[0036] La méthode suppose que les modes rapides prennent leur équilibre en un temps négligeable, c'est-à-dire qu'ils s'établissent instantanément (hypothèse quasi-statique).

[0037] La figure 3 montre le bloc diagramme d'un système d'estimation du type boucle ouverte. Le bloc 40 schématise les moyens de mesures de paramètres de surface, ici, la vitesse de rotation de la garniture V_{ms} mesurée à la table ou à la tête d'injection motorisée, et le couple C_{ms} également mesuré en surface. Le bloc 41 représente le modèle réduit qui simule le modèle physique de torsion non linéaire en calculant la fonction de transfert entre l'entrée (V_{ms}) et les sorties C_{es} , C_{ef} et V_{ef} représentant respectivement le couple de surface estimé, le couple au fond estimé et la vitesse de fond estimée.

[0038] Cependant la fonction de transfert est toujours une approximation de la réalité et toute désadaptation entre le modèle et le processus réel de forage peut créer une divergence entre les valeurs estimées et les valeurs réelles par intégration des écarts. Aussi, dans la plupart

des cas, il est avantageux d'effectuer un réajustement, ou recalage, à l'aide d'au moins une comparaison entre une série de valeurs d'une sortie estimée et la même série réellement mesurée. Dans cet exemple, l'estimateur linéaire est recalé à partir du couple de surface.

[0039] Selon le même principe et de façon équivalente, il sera possible d'entrer le couple mesuré en surface Cms et de recalé à partir de la comparaison entre la vitesse de rotation estimée et la vitesse de rotation mesurée en surface.

[0040] La technique d'estimation repose sur les principes de filtrage de Luenberger et de Kalman ("Automatique des systèmes linéaires" par P. De Larminat et Y. Thomas-Flammarion Sciences; Paris IV, 1975). Le principe d'un estimateur linéaire peut être illustré par la figure 4 où la mesure du couple Cms et la valeur estimée Ces sont comparées dans les moyens 42, l'écart entre ces deux valeurs étant injecté dans un adaptateur 43 en temps réel. L'objectif est ici de reconstituer le plus fidèlement possible les sorties plutôt que d'avoir un modèle exact. C'est pourquoi on effectue un recalage d'état. Comme les sorties sont reliées directement aux états, le recalage d'état consiste à effectuer une pondération entre les états prédits par le modèle à l'instant t et les états reconstitués à partir des seules sorties mesurées. Cette pondération n'est pas une simple moyenne, mais elle prend en compte le degré de précision des estimations des états obtenus par ses deux voies indépendantes. Comme précisé plus haut, on peut utiliser comme entrée le couple mesuré Cms et effectuer le recalage par la vitesse de rotation.

[0041] Une fois recalés les états du modèle qui représentent la dynamique du processus de forage, toutes les sorties, qu'elles soient mesurées ou non peuvent être recalculées.

[0042] Cette estimation n'est pas seulement intéressante pour les variables non mesurées comme Cef et Vef, elle s'applique également aux variables mesurées (par exemple Cms ou Vms) qui ont servi au recalage. La valeur estimée Ces est l'équivalent d'une valeur filtrée sur la base d'un modèle: c'est pourquoi on utilise généralement le terme de filtrage (filtrage de Luenberger, filtrage de Kalman...).

[0043] La technique de recalage d'états, telle que décrite précédemment introduit un asservissement de Cms mesuré sur Ces estimé.

[0044] Ce bouclage supprime le risque de divergence mentionné ci-dessus, lorsque le modèle est simulé en boucle ouverte (figure 3).

[0045] Il y a ainsi une désensibilisation des variables estimées vis à vis des imperfections du modèle. Dans ce contexte, on n'a plus besoin d'avoir un modèle parfait : un modèle approché est suffisant.

[0046] En outre, on ne dispose ici que d'une mesure, le couple C, pour effectuer le recalage : il ne paraît pas possible de recalé un grand nombre d'états à partir de cette mesure. C'est pourquoi, le modèle de torsion non linéaire ne convient pas en dépit de sa plus grande pré-

cision.

[0047] Il existe donc un compromis à effectuer entre la précision et l'ordre du système. Il faut rechercher le modèle d'ordre minimum qui respecte les tolérances de précision souhaitables, et qui soit également facile à régler et robuste.

[0048] Le choix de l'ordre du modèle réduit dépend des critères qualitatifs suivants :

- 10 - il faut sauvegarder les modes propres de vibration en torsion qui sont prépondérants dans les sorties à ré estimer ;
- pour des raisons de cohérence et de stabilité numérique, il faut rejeter les modes de fréquences élevées supérieures à $f_{\max} = f_e/2$ où f_e est la fréquence d'échantillonnage des entrées et des sorties. On peut préciser ces notions en prenant par exemple le cas d'un train de tiges composée de 800m de tiges 5" (127 mm) et de 200m de masses-tiges 8" (203,2 mm) pour lequel le système d'acquisition a une fréquence d'échantillonnage de 10 Hz.

[0049] L'étude modale du modèle de connaissance, discrétisé en 35 mailles, situe les cinq premiers modes à 0.344 Hz, 1.86 Hz, 3.61 Hz, 5.37 Hz, 7.12 Hz.

[0050] $f_{\max}$ étant égal à la moitié de la fréquence d'échantillonnage, $f_{\max} = 5$ Hz. Mais compte tenu des possibilités des filtres anti-repliement, la fréquence maximale observable est de 2,8 Hz.

[0051] Il est donc superflu de choisir un modèle réduit d'ordre supérieur à 4 (deux modes) si on veut intégrer le modèle à la cadence d'échantillonnage f_e .

[0052] Le choix définitif de l'ordre de réduction peut se faire par comparaison des résultats obtenus avec un modèle réduit à l'ordre 2 et un modèle réduit à l'ordre 4.

[0053] De plus, il ne faut pas oublier que le modèle réduit d'estimation doit, de préférence, satisfaire les contraintes technologiques du temps réel.

[0054] L'estimateur est donc construit selon les étapes suivantes :

- génération du modèle réduit,
- implantation des filtres passe-haut,
- agrégation des filtres passe-haut et du modèle réduit, l'ensemble devient le modèle d'estimation,
- calcul des gains de recalage,
- construction de l'estimateur complet.

[0055] La méthodologie pour la construction de l'estimateur selon l'invention peut être illustrée par la figure 5. Le bloc 50 représente un modèle physique représentant un processus de forage rotary, par exemple illustré par la figure 2. Ce modèle prend en compte une situation de fonctionnement déterminée en recevant notamment les caractéristiques mécaniques de la garniture de forage utilisée, symbolisation référencée 51, les conditions de puits et de surface, symbolisation référencée 52, et des lois de friction, symbolisation référencée 53.

Le bloc 54 représente le modèle de torsion principal une fois linéarisé et réduit selon la description ci-dessus. Toutes ces étapes rassemblées sous l'accolade DF s'exécutent en temps différé par rapport au déroulement du processus de forage rotary, les autres étapes ras-

ssemblées sous l'accolade TR sont exécutées en temps réel.

[0056] Le bloc 55 est directement ce que l'on a appelé l'estimateur. Des moyens de mesure 56 placés sur le sommet de la garniture de forage donnent les mesures de couple et vitesse de rotation au sommet des tiges, c'est-à-dire en surface. Ces mesures de surface sont prises en compte dans l'estimateur, comme décrit plus haut, pour donner une estimation des valeurs de déplacement de l'outil de forage, en particulier la vitesse de rotation de l'outil de forage Vef.

[0057] La présente invention est avantageusement mise en oeuvre sur un chantier de forage afin d'avoir une estimation aussi précise que possible de la vitesse de rotation de l'outil de forage en temps réel, et cela à partir des seules mesures de surface, notamment la vitesse de rotation des moyens conventionnels de mise en rotation de la garniture de forage, et d'une installation de surface équipée de moyens électroniques et informatiques. Il est très intéressant d'avoir une estimation des paramètres de fond de façon à détecter, et même à prévenir des dysfonctionnements connus, par exemple le comportement dit de "stick-slip" caractérisé par des variations très sensibles de la vitesse de rotation de l'outil au fond alors que celui-ci est entraîné par l'inter-

médiaire d'une garniture de forage mise en rotation à partir de la surface à une vitesse sensiblement constante. La vitesse de l'outil peut varier entre une vitesse pratiquement nulle et une valeur de la vitesse de rotation très supérieure à la vitesse appliquée en surface. Cela peut avoir pour conséquences des effets néfastes sur la durée de vie des outils, sur l'augmentation de la fatigue mécanique du train de tiges et la fréquence des ruptures des connexions.

[0058] La figure 6 montre un enregistrement F de la vitesse de rotation d'un outil de forage, enregistrement effectué à partir de capteurs de fond, par exemple à l'aide des moyens décrits dans le document FR/92-02273. Lesdits moyens permettent des mesures de la vitesse de rotation et du couple en surface, synchronisées avec des mesures de la vitesse de rotation et du couple au fond. Les mesures de surface sont utilisées comme entrées dans l'estimateur selon l'invention, et après avoir exécuté toutes les étapes de calcul nécessaires, on obtient l'enregistrement S correspondant à la vitesse de l'outil au fond estimée par l'estimateur selon l'invention. Sur la figure 6, les diagrammes F et S sont tracés avec, en abscisse le temps et en ordonnée la vitesse de rotation de l'outil. On peut ainsi comparer la mesure réellement effectuée F avec les valeurs S obtenues par l'estimateur selon l'invention.

[0059] Il est clair que le dysfonctionnement de "stick-slip" qui apparaît au temps 80 s est distinctement estimé

sur le diagramme S, ce qui permet au foreur d'être averti de l'existence de ce dysfonctionnement grâce à l'estimateur et sans avoir besoin de mesures de fond en temps réel. On peut remarquer sur cette figure, qu'entre 0 et 20 secondes, il y a une mauvaise estimation qui s'explique par le fait de l'initialisation du filtrage auto adaptatif. Cette constatation montre tout l'intérêt de la boucle de recalage.

[0060] Il faut également comprendre que la présente invention est également applicable à l'estimation de la vitesse de rotation instantanée d'éléments inclus dans la garniture de forage, éléments qui peuvent être situés à une certaine distance de l'outil de forage.

Revendications

1. Méthode d'estimation du déplacement effectif d'un outil de forage (12) fixé à l'extrémité d'une garniture de forage (6) et entraîné en rotation dans un puits (7) par des moyens d'entraînement (8) situés en surface, dans laquelle on utilise un modèle physique (50) non linéaire du processus de forage fondé sur des équations générales de la mécanique, **caractérisée en ce que** l'on effectue les étapes suivantes:

- on identifie les paramètres dudit modèle en prenant en compte les paramètres dudit puits et de ladite garniture (51, 52, 53),
- on linéarise ledit modèle autour d'un point de fonctionnement,
- on réduit ledit modèle linéarisé en ne conservant que certains des modes propres de la matrice d'état dudit modèle,
- on calcule, en temps réel, le déplacement de l'outil de forage à l'aide du modèle réduit (54) et d'au moins un paramètre mesuré en surface, et **en ce que** ledit modèle prend en compte essentiellement les déplacements en rotation et **en ce que** ledit modèle réduit calcule en temps réel la vitesse de rotation instantanée de l'outil de forage, ledit paramètre mesuré en surface est au moins pris parmi: la vitesse de rotation de la garniture ou le couple mesuré en surface.

2. Méthode selon la revendication 1, dans laquelle le modèle réduit est affiné par un filtrage auto adaptatif qui minimise la différence entre une mesure réelle d'un paramètre lié au déplacement de la garniture en surface et la sortie correspondante obtenue par ledit modèle réduit.

3. Méthode selon la revendication 2, dans laquelle ledit filtrage prend en compte le couple mesuré en surface.

4. Méthode selon la revendication 3, dans laquelle le-

dit filtrage prend en compte la vitesse mesurée en surface.

5. Système d'estimation du déplacement effectif d'un outil de forage (12) fixé à l'extrémité d'une garniture de forage (6) et entraîné en rotation dans un puits (7) par des moyens d'entraînement (8) situés en surface, dans lequel une installation de calcul (9) comporte des moyens de modélisation physique non linéaire du processus de forage fondé sur des équations générales de la mécanique, en ce que des paramètres desdits moyens de modélisation sont identifiés en prenant en compte les paramètres dudit puits et de ladite garniture, en ce que l'installation de calcul comporte des moyens de linéarisation dudit modèle autour d'un point de fonctionnement, des moyens de réduction dudit modèle linéarisé afin de ne conserver que certains des modes propres de la matrice d'état dudit modèle, des moyens de calcul, en temps réel, du déplacement de l'outil de forage à l'aide des moyens de modélisation une fois linéarisés et réduits et des moyens de mesure d'au moins un paramètre lié au déplacement de la garniture en surface (13) : vitesse de rotation et/ou le couple, et dans lequel les moyens de modélisation ne prennent en compte que la torsion.

Claims

1. A method designed to estimate the effective displacement of a drill bit (12) fastened to the end of a drill string (6) and driven into rotation in a well (7) by surface driving means (8), wherein a non-linear physical model (50) of the drilling process based on general mechanics equations is used, **characterized in that** the following stages are carried out:
- the parameters of said model are identified by taking account of the parameters of said well and of said string (51, 52, 53),
 - said model is linearized about a working point,
 - said linearized model is reduced while keeping only some of the specific modes of the state matrix of said model,
 - the displacement of the drill bit is computed in real time by means of the reduced model (54) and of at least one parameter measured at the surface, and **in that** said model takes essentially account of the rotational displacements and said reduced model performs real-time computation of the instantaneous rotational speed of the drill bit, said parameter measured at the surface being selected at least from the

rotational speed of the string or the torque measured at the surface.

2. A method as claimed in claim 1, wherein the reduced model is fined down by means of self-adaptive filtering which minimizes the difference between a real measurement of a parameter linked with the displacement of the string at the surface and the corresponding output obtained by said reduced model.
3. A method as claimed in claim 2, wherein said filtering takes account of the torque measured at the surface.
4. A method as claimed in claim 3, wherein said filtering takes account of the speed measured at the surface.
5. A system designed to estimate the effective displacement of a drill bit (12) fastened to the end of a drill string (6) and driven into rotation in a well (7) by surface driving means (8), wherein a computing unit (9) comprises means intended for non-linear physical modelling of the drilling process based on general mechanics equations, **characterized in that** parameters of said modelling means are identified by taking account of the parameters of said well and of said string, **in that** the computing unit comprises means designed for linearization of said model about a working point, means for reducing said linearized model so as to keep only certain specific modes of the state matrix of said model, means for real-time computation of the displacement of the drill bit by means of the modelling means once linearized and reduced and means for measuring at least one parameter linked with the displacement of the string at the surface (13): rotational speed and/or torque, and wherein the modelling means only take account of the torsion.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Abschätzung der effektiven Verschiebung eines am Ende einer Bohrstangengarnitur (6) angebrachten Bohrwerkzeuges (12), das mittels an der Bodenoberfläche angebrachten Antriebsmittel (8) in einem Bohrloch (7) in drehende Bewegung gesetzt wird, in welchem ein auf allgemeinen Mechanikgleichungen beruhendes, nichtlinear physisches Modell (50) des Bohrvorganges verwendet wird, **dadurch gekennzeichnet, daß** die folgenden Stufen durchgeführt werden :
- die Parameter des besagten Modells werden durch Berücksichtigung der Parameter des besagten Bohrlochs und der besagten Garnitur

(51, 52, 53) identifiziert,

- das besagte Modell wird um einen Betriebspunkt linearisiert,

5

- das besagte linearisierte Modell wird reduziert, wobei nur einige Eigenmoden der Zustandsmatrix des besagten Modells behalten werden,

- die Verschiebung des Werkzeuges wird mittels des reduzierten Modells (54) und wenigstens eines an der Oberfläche gemessenen Parameters in Echtzeit berechnet, daß das besagte Modell hauptsächlich die Drehverschiebungen berücksichtigt und das besagte reduzierte Modell die Augenblicksdrehgeschwindigkeit des Bohrwerkzeuges in Echtzeit berechnet, wobei der an der Oberfläche gemessene Parameter wenigstens unter den Folgenden gewählt wird: die Drehgeschwindigkeit der Garnitur oder das an der Oberfläche gemessene Moment.

10

15

20

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, in welchem das reduzierte Modell durch selbsteinstellendes Filtern verfeinert wird, wobei der Unterschied zwischen einer effektiven Messung eines mit der Verschiebung der Garnitur an der Oberfläche verbundenen Parameters und der mittels des reduzierten Modells erhaltenen entsprechenden Ausgabe minimisiert wird.
3. Verfahren gemäß Anspruch 2, in welchem das besagte Filtern das an der Oberfläche gemessene Moment berücksichtigt.
4. Verfahren gemäß Anspruch 3, in welchem das besagte Filtern die an der Oberfläche gemessene Geschwindigkeit berücksichtigt.
5. System zur Abschätzung der effektiven Verschiebung eines am Ende einer Bohrstangengarnitur (6) angebrachten Bohrwerkzeuges (12), das mittels an der Bodenoberfläche angebrachten Antriebsmittel (8) in einem Bohrloch (7) in drehende Bewegung gesetzt wird, in welchem eine Rechenanlage (9) Mittel zur nichtlinearen physische Modellierung des Bohrungsvorganges beträgt, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Parameter der besagten Modellierungsmittel durch Berücksichtigung der Parameter des besagten Bohrloches und der besagten Garnitur identifiziert werden, daß die Rechenanlage Mittel zur Linearisierung des besagten Modells um einen Betriebspunkt beträgt, Mittel zur Reduzierung des besagten linearisierten Modells um nur einige Eigenmoden der Zustandsmatrix des besagten Modells zu behalten, Mittel zum Echtzeitrechnen der Bohrwerkzeugverschiebung mittels den linearisierten und reduzierten Modellierungsmittel,

25

30

35

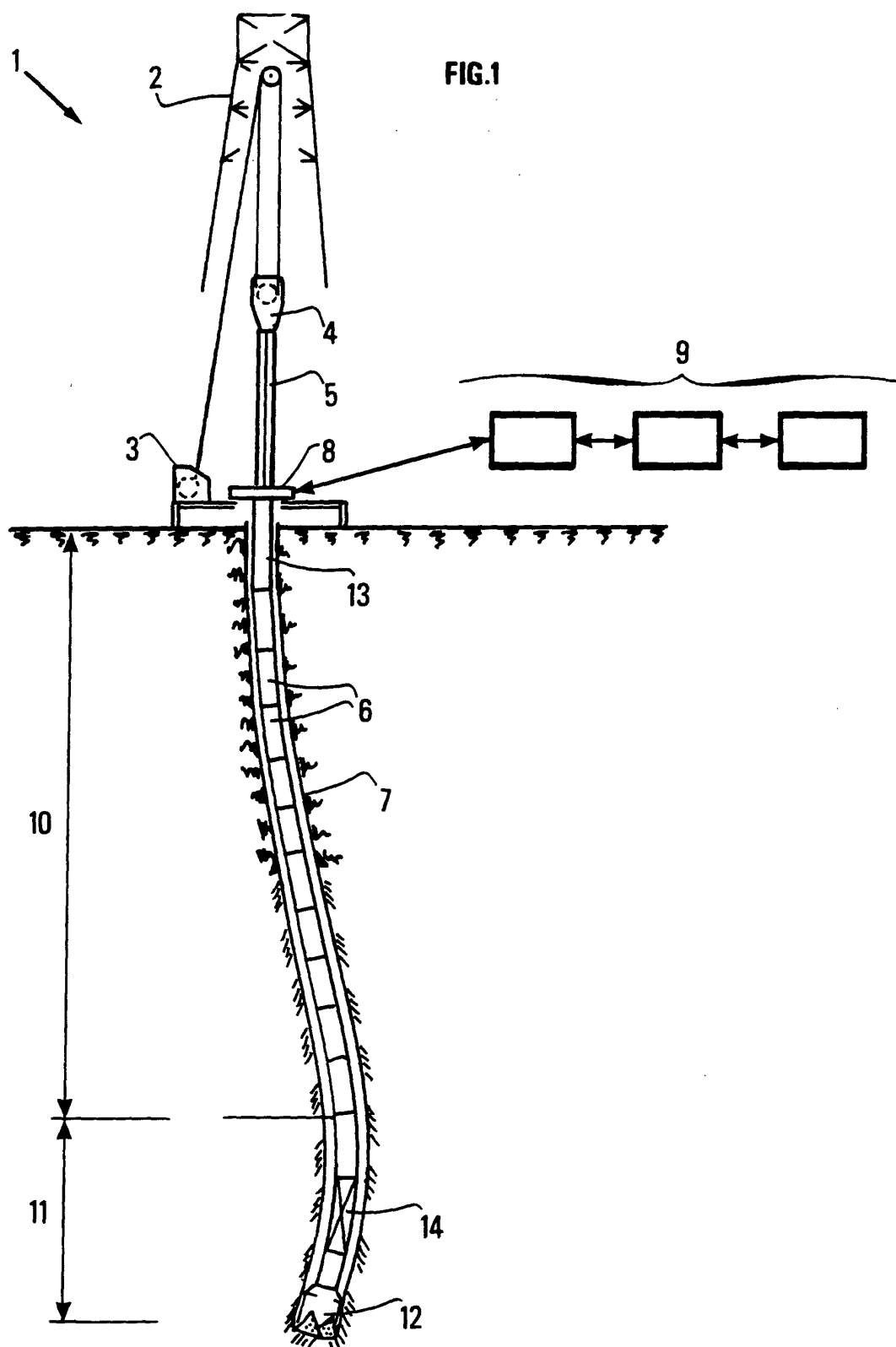
40

45

50

55

und Mittel zur Messung von wenigstens einem mit der Verschiebung der Garnitur an der Oberfläche verbundenen Parameter (13): Drehgeschwindigkeit und/oder Moment, und in welchem die Modellierungsmittel nur die Verdrehung berücksichtigen.



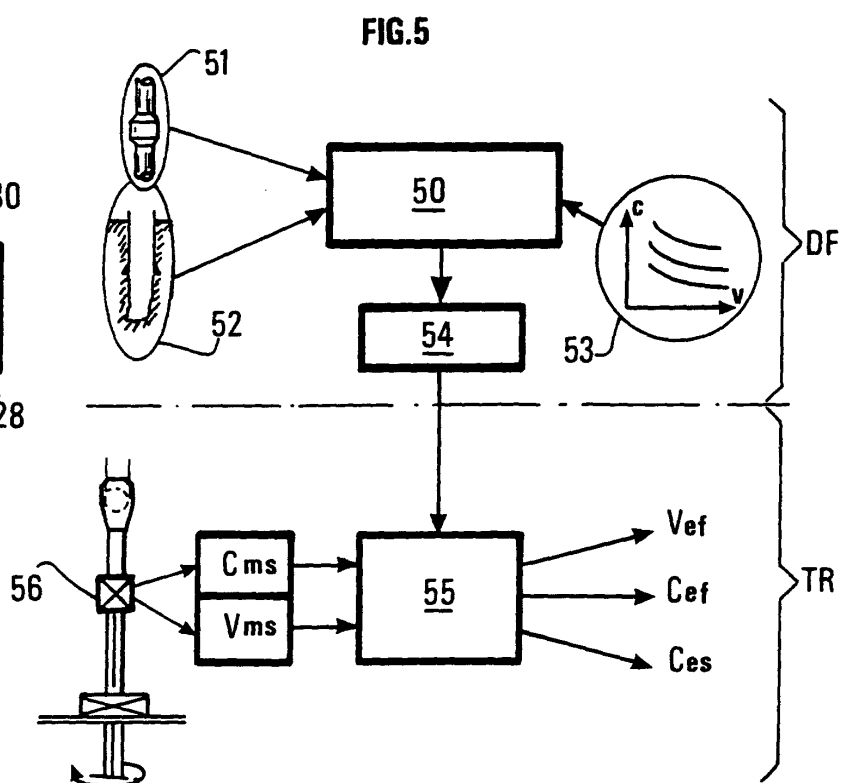
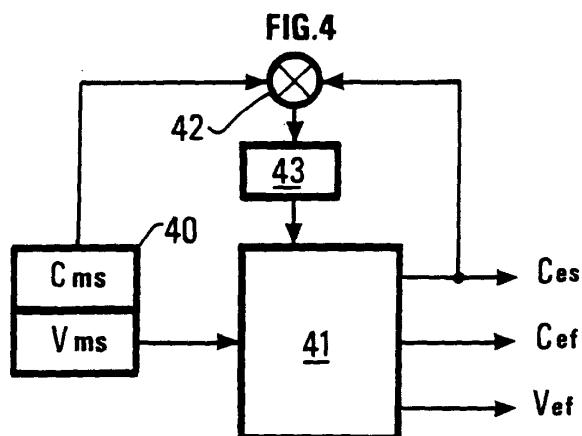
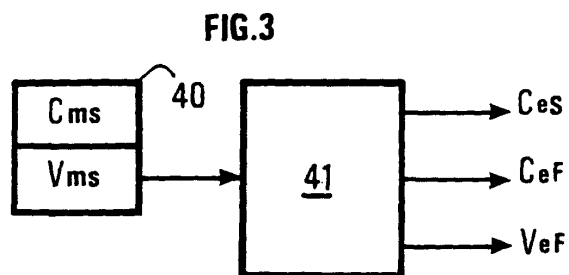
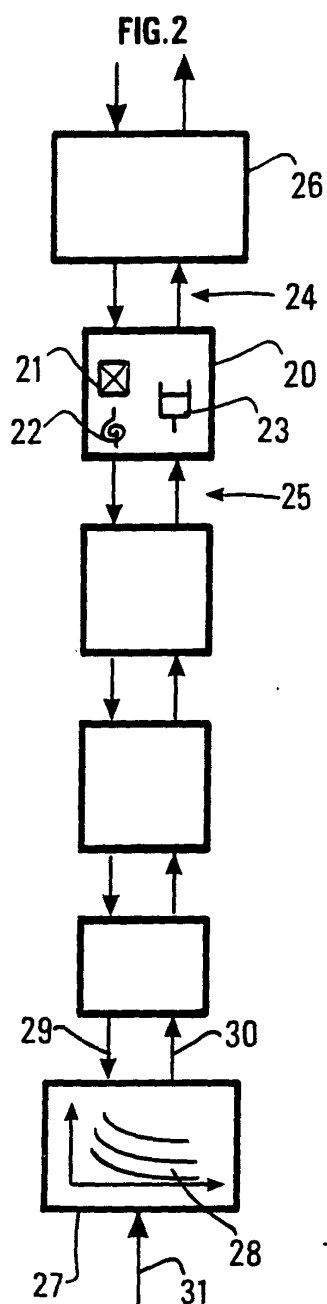


FIG. 6

