

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
**INSTITUT NATIONAL  
 DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**  
 PARIS

①1 N° de publication : **2 876 194**  
 (à n'utiliser que pour les  
 commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **05 09621**

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : G 05 D 3/12 (2006.01), B 62 D 3/12, 5/04

①2 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

**A1**

②2 Date de dépôt : 19.09.05.

③0 Priorité : 02.10.04 DE 102004048107.5.

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 07.04.06 Bulletin 06/14.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été établi à la date de publication de la demande.*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : ZF LENKSYSTEME GMBH — DE.

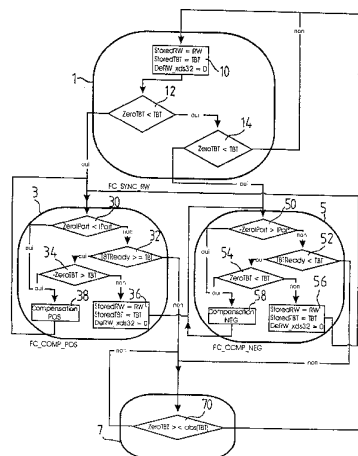
⑦2 Inventeur(s) : HEILIG ARNULF, HIEGLER STEPHAN, BISCHOFBERGER MICHAEL et HILLER DIETMAR.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : CABINET NITHARDT ET ASSOCIES.

⑤4 **PROCEDE DE COMPENSATION D'UN ECART D'ANGLE DE ROTOR D'UN MOTEUR ET SYSTEME DE DIRECTION UTILISANT CE PROCEDE.**

⑤7 La présente invention concerne un procédé permettant la compensation (1, 3, 5, 7) d'un écart d'angle de rotor (110, 120, 122, 210, 220, 222) d'un moteur, utilisé plus particulièrement comme un servo-actionneur dans un système de direction. L'écart d'angle du rotor est compensé à l'aide d'une régulation (38, 58) linéarisée par segments de la différence entre un angle de rotor de consigne, basé sur un couple manuel appliqué sur un volant et sur un angle de rotor enregistré, et un angle de rotor mesuré, un facteur de régulation de la régulation (38, 58) pouvant être modifié en fonction de l'amplitude de la régulation.



FR 2 876 194 - A1



## PROCEDE DE COMPENSATION D'UN ECART D'ANGLE DE ROTOR D'UN MOTEUR ET SYSTEME DE DIRECTION UTILISANT CE PROCEDE

La présente invention concerne un procédé de compensation d'un écart d'angle  
5 de rotor d'un moteur, notamment d'un actionneur dans un système de direction.

Elle concerne également un système de direction utilisant ce procédé.

Les systèmes de direction, par exemple les systèmes de direction électronique  
10 assistés, présentent des écarts entre le couple prédéterminé par le volant du véhicule et l'angle de rotor réellement ajusté par le système de direction. Le couple, également appelé couple manuel, est entré, par l'intermédiaire d'une manipulation de direction, par exemple d'un volant ou d'une manette de contrôle ou similaire, dans le système de direction. Un angle de rotor de consigne (RW  
15 souhaité) est déduit du couple manuel. De manière idéale, on suppose une relation linéaire entre le couple manuel et l'angle de consigne du rotor. Le couple manuel est transmis par l'intermédiaire d'un élément de torsion appelé barre de torsion (TB). A l'aide d'un moteur ou d'un actionneur électrique ou hydraulique, le volant du véhicule est assisté afin que le couple manuel à fournir puisse être  
20 inférieur. L'actionneur transmet à un arbre d'actionneur un angle de rotor (RW). Le système de direction ne suit cependant pas complètement le couple manuel prédéterminé. Les écarts peuvent avoir différentes causes. Généralement, ces écarts sont dus à des écarts statiques et dynamiques liés à des frottements statiques, à un comportement en hystérésis du système de direction, à des  
25 pertes de liquide à des pertes de vitesse et à beaucoup d'autres causes.

Le document DE 199 56 713 A1 décrit un dispositif de direction assistée dont le dispositif de contrôle calcule une valeur de contrôle du courant pour le moteur du  
30 dispositif de direction assistée. Les écarts de la valeur de contrôle du courant ajusté par rapport au contrôle réel du dispositif de direction assistée sont dus à différentes charges provoquées par des réactions de la surface de la chaussée

sur le train de direction à crémaillère. Ces réactions peuvent être absorbées à l'aide d'un élément supplémentaire tel qu'un corps élastique.

5 La publication US 2003/06088 A1 présente un tableau de compensation pour le frottement cinétique pour le contrôle d'un moteur.

Le document DE 102 21 678 A1, qui explique les pertes de frottement dans le système de direction par un couple d'hystérésis qui doit être pris en compte dans la prédétermination du couple de consigne, propose un procédé similaire. La  
10 courbe caractéristique de l'hystérésis est déterminée en fonction du couple de consigne non compensé.

Le document DE 199 20 975 A1 identifie mieux les pertes par frottement. Cinq types différents de frottements sont décrits et calculés. Une valeur d'estimation  
15 est admise pour le frottement statique. La régulation proposée estime donc l'écart de régulation de la direction dont l'actionneur est un moteur DC excité de manière séparée.

Dans l'ensemble, les directions mentionnées tentent d'améliorer la sensation du  
20 conducteur. Les compensations des frottements connues tendent à effectuer une surcompensation dans des systèmes de direction avec de faibles frottements.

L'objectif de la présente invention est donc de créer une compensation optimisée  
25 des frottements pour des systèmes de direction.

Cet objectif est atteint grâce au procédé tel que défini en préambule et caractérisé en ce que ledit écart d'angle de rotor peut être compensé à l'aide  
30 d'une régulation linéarisée par segments de la différence entre un angle de rotor de consigne, basé sur un couple manuel appliqué sur un volant et sur un angle de rotor enregistré, et un angle de rotor mesuré, un facteur de régulation de la régulation pouvant être modifié en fonction de l'amplitude de ladite régulation.

Du fait que l'écart d'angle du rotor du moteur utilisé dans un système de direction est régulé par l'intermédiaire d'une régulation linéarisée par segments sur la base d'un angle de rotor de consigne et d'un angle de rotor mesuré, au moins un des facteurs de la régulation étant modifié en fonction de l'amplitude de la régulation, lors du fonctionnement d'un système de direction selon le procédé de l'invention, la régulation du système de direction est optimisée. Le terme "amplitude de régulation" désigne l'écart à réguler. Grâce à la régulation, qui travaille avec des valeurs mesurées réelles du système de direction, la compensation nécessaire est déterminée. Une surcompensation est considérablement réduite, voire même évitée.

Un des facteurs de régulation de la régulation peut être modifié par l'intermédiaire d'une modification de gradient en fonction de l'amplitude de régulation. La modification de gradient fournit toujours le facteur de régulation optimal pour la position angulaire actuelle du rotor. Il change continuellement dans un domaine de valeurs admissibles. Lorsque, seules de faibles adaptations restent à effectuer, le facteur de régulation est modifié de façon à ce qu'une valeur de régulation de la régulation ne soit adaptée que de manière minimale.

Selon une conception avantageuse du circuit de régulation du système de direction, la régulation est conçue de façon à ce que, lors d'un dépassement de l'angle de rotor de consigne par la compensation, la régulation interrompe la compensation de l'écart de l'angle du rotor. Cela permet d'éviter une surcompensation, ce qu'on appelle une sur-oscillation de la régulation. Les directions à faible frottement ne sont ainsi pas surcompensées.

Contrairement à ce qui a été mentionné précédemment en ce qui concerne des régulations très complexes, qui effectuent toutes les estimations possibles avec beaucoup de grandeurs d'entrée, le système de direction peut fonctionner avec une seule régulation qui compense tous les écarts de l'angle du rotor dus aux frottements lors de l'application d'un couple manuel. Le degré de complexité

diminue, ce qui a des effets positifs sur la stabilité et sur l'influence oscillante mutuelle.

5 Le régulateur présente des domaines de valeurs dans lesquels il ne travaille plus de manière linéaire. Il est linéarisé par segments. Dans une conception particulièrement avantageuse, la régulation linéarisée par segments comporte un régulateur comprenant au moins un régulateur de type P ou de type I, plus particulièrement un régulateur PI. Avec un régulateur P, l'écart d'angle du rotor est supprimé de manière continue. Avec un régulateur PI, l'écart de régulation 10 est réduit. Lorsque le facteur de régulation du régulateur I est adaptable, la possibilité de modifier l'inclinaison de la sur-oscillation ou de la surcompensation est réduite. La possibilité de modifier le régulateur I est telle que la valeur absolue de la trajectoire de régulation du régulateur I est pourvue d'un facteur de régulation maximal lorsque la valeur absolue des grandeurs d'entrée est 15 éloignée de zéro, et telle que lorsque la trajectoire de régulation est dans un domaine de grandeurs d'entrée dont les valeurs absolues sont proches de zéro, elle est pourvue de facteurs de régulation variables, c'est-à-dire dont la valeur absolue diminue. Grâce la limitation des valeurs absolues du facteur de régulation, la régulation se déplace dans un domaine de valeurs techniquement 20 avantageux et ne dérive pas vers une position extrême.

Une autre mesure permettant de maintenir le régulateur dans un domaine de valeurs utilisable par l'actionneur est d'effectuer une limitation des valeurs au niveau de la grandeur de régulation de la régulation. La compensation de l'écart 25 de l'angle du rotor est limitée par l'influence de la valeur de régulation par l'intermédiaire d'un limiteur de valeur à l'intérieur d'un domaine de valeurs maximales admissibles. Le limiteur de valeur présente au moins trois domaines ou parties. A l'intérieur du premier domaine, il travaille de manière linéaire et à l'intérieur d'un deuxième et d'un troisième domaine, la valeur de régulation est 30 limitée à la valeur de régulation maximale.

De même qu'au niveau de la sortie du régulateur, des mesures particulières peuvent être prises pour la stabilité, le procédé peut également être stabilisé à l'aide de mesures pour les grandeurs d'entrée. Ainsi, dans un exemple de réalisation, le couple manuel peut être limité en valeur absolue à une valeur maximale. La régulation peut être utilisée lors de chaque modification du couple manuel. Cependant, il peut être avantageux que la régulation ne fonctionne que lors du dépassement d'une valeur limite du couple manuel. Les modifications minimales sont ainsi absorbées et la régulation ne fonctionne donc pas en permanence.

10

Il peut être admis qu'un écart d'angle de consigne du rotor soit déterminé à partir de la différence entre le couple manuel et un couple manuel préalablement enregistré, multiplié par une démultiplication de la transmission et divisé par un facteur de rigidité du système.

15

Dans un mode de réalisation particulièrement préféré, une première régulation, la régulation de compensation positive, est choisie lorsque le couple manuel se trouve au-dessus d'une valeur seuil et une deuxième régulation, la régulation de compensation négative, est choisie lorsque la valeur du couple manuel négatif se trouve au-dessus d'une valeur seuil. Les valeurs absolues de la valeur seuil du couple manuel pour la compensation positive et pour la compensation négative peuvent être identiques.

20

Bien entendu, ce modèle peut être utilisé dans un système de direction, plus particulièrement pour des véhicules automobiles comme des véhicules personnels. La compensation de l'écart d'angle du rotor en fonction du frottement est effectuée par le procédé avantageux selon l'invention.

25

La présente invention est décrite de manière plus détaillée à l'aide d'un exemple de réalisation et à l'aide des dessins annexés dans lesquels:

30

la figure 1 est un diagramme d'état d'une régulation de l'invention,

la figure 2 représente de façon schématique un régulateur pour le procédé de compensation d'un écart d'angle de rotor pour des écarts positifs de l'angle du rotor, et

5

la figure 3 représente de façon schématique un régulateur pour le procédé de compensation d'un écart d'angle du rotor pour des écarts négatifs de l'angle du rotor.

10 La figure 1 représente, sous la forme d'un diagramme d'état, le déroulement d'une régulation de l'invention pour des systèmes de direction. Dans l'état 1, les variables actuelles sont d'abord sécurisées par une copie 10 dans une étape de copie et d'initialisation. Il est ensuite vérifié, à l'aide d'une comparaison de valeurs, si le couple manuel appliqué, c'est-à-dire le couple qu'un conducteur de

15 véhicule transmettra en tant que couple d'entrée au système de direction, doit démarrer une autre étape de traitement dans un nouvel état, l'état de régulation 3 et l'état de régulation 5 afin d'atteindre une régulation 38, 58 de la régulation de compensation proprement dite. Dans le cadre de la copie 10, les valeurs de l'angle du rotor (RW), du couple manuel (TBT) et de l'angle de rotor souhaité

20 (desiredRW ou DeRW) sont décrites. L'angle du rotor (RW) et le couple manuel (TBT) sont décrits à l'aide des valeurs mesurées actuelles. L'angle de rotor souhaité (DeRW) est réglé à 0 afin qu'il puisse prendre la valeur calculée dans le cadre de la régulation 38, 58. Si le couple manuel est supérieur à une valeur limite du couple manuel 12 (ZeroTBT), on passe à l'état de régulation positive 3.

25 Si la valeur absolue du couple manuel est supérieure à une valeur limite du couple manuel 14, on passe à l'état de régulation négative 5. Lorsque les valeurs limites du couple manuel (zeroTBT) ne sont pas dépassées, la régulation passe à l'état 1 qui peut également être appelé état d'archivage et d'initialisation pour la régulation.

30

La suite de la description concerne un régulateur selon les figures 2 et 3, constitué d'un intégrateur qui se présente sous la forme d'un régulateur I 124,

224 et d'un régulateur proportionnel (régulateur P) 136, 236 et qui constitue, grâce à une addition dans l'additionneur 144, 24, un régulateur PI. Bien entendu, l'invention n'est pas limitée à un régulateur PI, mais un régulateur PID ou toute sorte de régulateur à facteur de régulation variable, comme un régulateur P ou un régulateur d'ordre supérieur peut également être utilisé. Les autres modes de réalisation sont représentés, pour des raisons de simplicité, avec un régulateur PI constitué d'un régulateur I 124, d'un régulateur P 136 et d'un additionneur 144 avec intégration et compensation positive ou avec un régulateur PI constitué d'un régulateur I 224, d'un régulateur P 236 et d'un additionneur 244 avec intégration et compensation négative.

Les états 2 et 5 de la figure 1, qui constituent respectivement l'état de régulation positive pour la compensation d'une valeur de frottement positive, la valeur de régulation de la compensation du frottement (FrictionComp) 150, et l'état de régulation négative pour la compensation d'une valeur de frottement négative, la valeur de régulation de la compensation du frottement (FrictionComp) 250, sont très similaires dans leur structure. Cependant, le signe différent du couple manuel (TBT) est pris en compte par une multiplication avec (-1) ou par inversion des opérateurs de comparaison. Dans les états 3 et 5, il est déterminé, dans une première comparaison 30, 50, si la valeur absolue de la partie I du régulateur de position (IPart) est supérieure à une partie I déterminée pour une limite nulle (ZeroPart). Si la valeur absolue de la partie I (IPart) est supérieure à une valeur limite de la partie I (ZeroIPart), la régulation de compensation correspondante 38, 58, est démarrée. Lorsque la limite de la compensation (TBTReady) dépasse le couple manuel (TBT) 32 ou passe en dessous 52 et si la limite du couple manuel inférieur 34, 54 n'est pas dépassée, la régulation de compensation positive 38 ou la régulation de la compensation négative 58 peut également démarrer dans les états 3, 5. Dans le cas contraire, un respect de la valeur limite 70 dans l'état de sécurité 7 est vérifié et l'on passe de l'état de régulation 3 vers l'état de régulation 5 ou inversement après une étape d'enregistrement des variables 36, 56.

Les limites favorables pour une modification d'état stable sont par exemple des limites d'environ 0,1 Nm. En dessous d'un couple manuel (TBT) d'environ 0,1 Nm, la régulation détermine que le conducteur du véhicule n'a pas voulu effectuer de manœuvre. Le véhicule devient ainsi plus stable lors de petites variations du couple manuel en ligne droite. Les deux régulations des figures 2 et 3 sont similaires. Du fait des signes différents de la variable de l'angle de rotor mesuré (wrsRotangle) 110, 120 du couple manuel (mstTorsionBarTorque) 102, 202 et de l'angle de rotor enregistré (StoredRW) 100, 200, le régulateur I 124, 126 de la figure 2 ou le régulateur I 224, 226 de la figure 3 et le régulateur P 136 de la figure 2 ou le régulateur P 236 de la figure 3 sont munis de valeurs positives ou négatives. La valeur des régulateurs I 124, 126, 224, 226 est limitée, dans sa valeur maximale I (Ipart) avec la valeur limite 128, 228 dans le limiteur du régulateur I 126, 226 à une valeur maximale. A partir de la différence du soustracteur 112, 212 entre le couple manuel (StoredTBT) 104, 204, l'on obtient à l'aide d'une multiplication du multiplicateur 114, 214 avec un facteur de position (TBToPos) 106, 206 et un limiteur de valeur optionnel 116, 216 avec une valeur limite (maxOffsetangle) 100, 200, un angle qui peut être additionné à l'angle de rotor enregistré (storedRW) 100, 200 à l'aide d'un additionneur 118, 218.

20

Après l'addition, l'angle de rotor souhaité (DesiredRW) 120, 220, duquel est soustrait l'angle de rotor mesuré (Rotorangle) 110, 210 par l'intermédiaire d'un soustracteur 122, 222, est disponible pour la régulation 38, 58. Le signal du soustracteur 122, 222 est parallèle à un régulateur I constitué des éléments 124, 126, 224, 226 et à un régulateur P 136, 236. Les signaux individuels après le régulateur I, constitué des éléments 124, 126, 224, 226 et après le régulateur P 136, 236, sont additionnés, à l'aide d'un additionneur 144, 244, à un signal d'un régulateur PI. Pour l'adaptation des valeurs, des multiplicateurs 130, 140, 230, 240, 132, 134, 232, 234 sont prévus. En même temps, les limiteurs de valeurs 146, 148, 246, 248 stabilisent la régulation et suppriment son inclinaison d'oscillation.

30

Les mesures de stabilisation par l'intermédiaire de signaux et de la limitation de signaux sont optionnelles et ne sont pas nécessaires pour une réalisation simple d'une régulation selon l'invention. Derrière l'additionneur 144, 244, la valeur de régulation de la compensation du frottement 150, 250, qui est entrée dans un  
5 actionneur de la direction, est prélevée.

La présente invention n'est pas limitée aux formes de réalisation préférées décrites, mais peut subir différentes modifications ou variantes évidentes pour l'homme du métier.

**REVENDICATIONS**

1. Procédé de compensation d'un écart d'angle de rotor d'un moteur, notamment d'un actionneur dans un système de direction, caractérisé en ce que ledit écart d'angle de rotor (110, 120, 210, 220, 222) peut être compensé à l'aide d'une régulation (38, 58) linéarisée par segments de la différence entre un angle de rotor de consigne (120, 220), basé sur un couple manuel (102, 202) appliqué sur un volant et sur un angle de rotor enregistré (100, 200), et un angle de rotor mesuré (110, 210), un facteur de régulation (126, 128, 226, 228) de la régulation (38, 58) pouvant être modifié en fonction de l'amplitude de ladite régulation.  
5
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le facteur de régulation (126, 128, 226, 228) de la régulation (38, 58) peut être modifié à l'aide d'une modification du gradient en fonction de l'amplitude de régulation.  
10
3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, lors du dépassement de l'angle de rotor de consigne (120, 220) par la compensation (150, 250), la régulation (38, 58) interrompt la compensation (150, 250) de l'écart de l'angle du rotor (110, 120, 122, 220, 222).  
15
4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'une seule régulation (38, 58) compense tous les écarts de l'angle du rotor (110, 210) dus aux frottements lors de l'application du couple manuel (102, 202).  
20
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que la régulation (38, 58) linéarisée par segments comporte un régulateur qui comprend au moins un régulateur soit d'un type P (136, 236), soit d'un type I (124, 224) ou un régulateur PI (124, 136, 144, 224, 236, 244).  
25  
30

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que la valeur absolue de la trajectoire de régulation du régulateur I (124, 224) est pourvue d'un facteur de régulation maximal (126, 226) lorsque la valeur absolue des grandeurs d'entrée est éloignée de zéro et, si la trajectoire de régulation est dans un domaine de grandeurs d'entrée dont les valeurs absolues sont proches de zéro, elle est pourvue de facteurs de régulation (126, 226) variables dont la valeur absolue diminue.  
5
7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que la compensation (150, 250) de l'écart de l'angle du rotor (110, 120, 210, 220, 222) est limitée par l'influence d'une valeur de régulation par l'intermédiaire d'un limiteur de valeur (146, 246) à l'intérieur d'un domaine de valeurs maximales admissibles.  
10
8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que le limiteur de valeur (146, 246) est linéaire à l'intérieur du premier domaine et limité, à l'intérieur d'un deuxième et d'un troisième domaine, à la valeur de régulation maximale.  
15
9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que le couple manuel (102, 202) est limité en valeur absolue à une valeur maximale (116, 216).  
20
10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que la régulation (38, 58) démarre lors d'une modification du couple manuel (102, 202).  
25
11. Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que la régulation (38, 58) ne démarre que lors du dépassement d'une valeur limite (12, 14) du couple manuel (102, 202).  
30

12. Procédé selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce qu'un écart d'angle de rotor (120, 220) est déterminé à l'aide de la différence entre le couple manuel (102, 202) et un couple manuel (104, 204) préalablement enregistré, multipliée avec une démultiplication de transmission et divisée par un facteur pour la rigidité du système.
- 5
13. Procédé selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisé en ce qu'une première régulation (38), la régulation de compensation positive, est choisie lorsque le couple manuel (102) se trouve au-dessus d'une valeur seuil (12) et une deuxième régulation (58), la régulation de compensation négative, est choisie lorsque la valeur absolue du couple manuel (102) négatif se trouve au-dessus d'une valeur seuil (14).
- 10
14. Procédé selon la revendication 13, caractérisé en ce que les valeurs absolues de la valeur seuil (12, 14) du couple manuel (102, 202) pour la compensation positive et la compensation négative sont identiques.
- 15
15. Système de direction, plus particulièrement pour des véhicules automobiles, dont la compensation de l'écart d'angle du rotor dû aux frottements est effectuée par un procédé selon l'une des revendications 1 à 14.
- 20

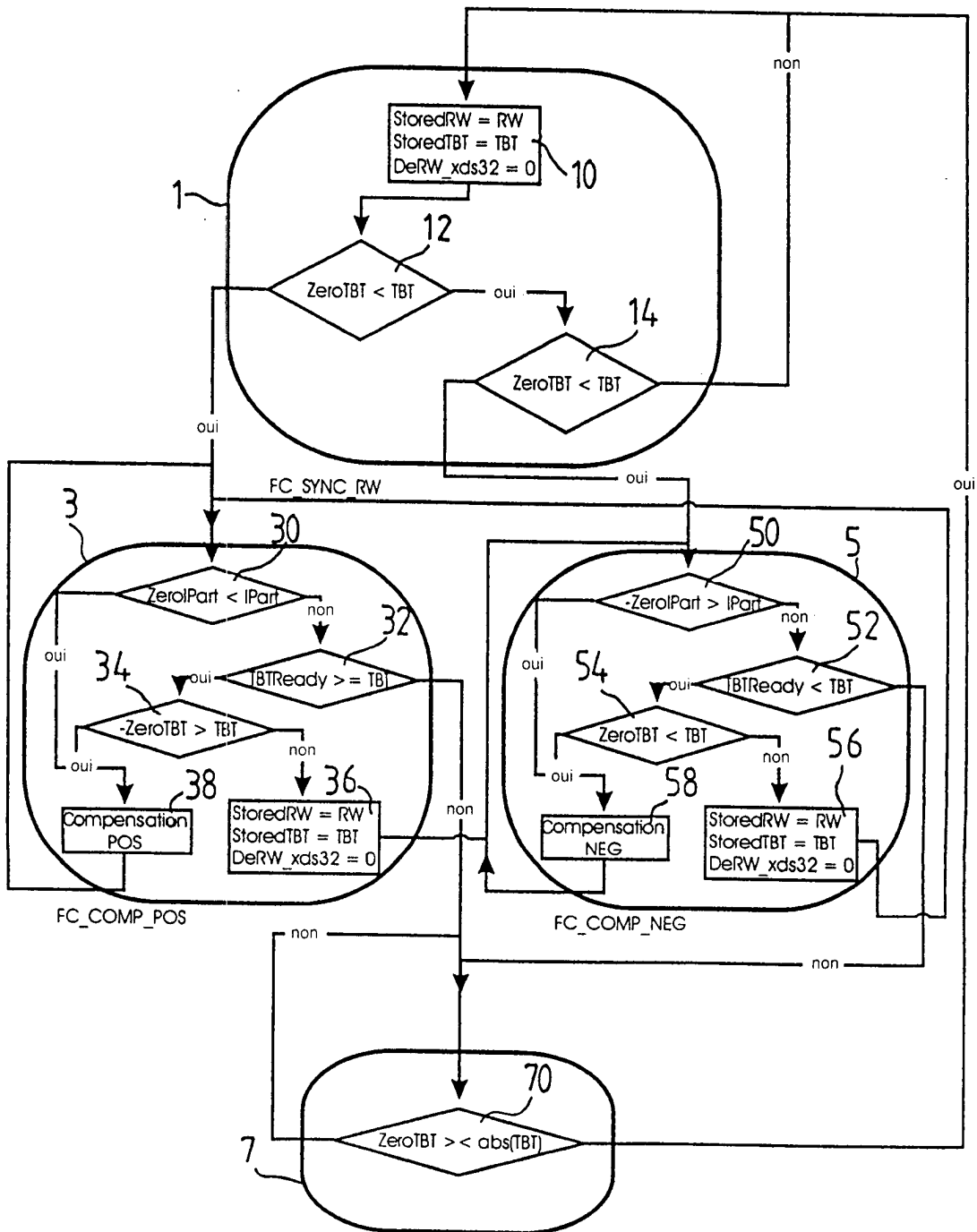


Fig. 1

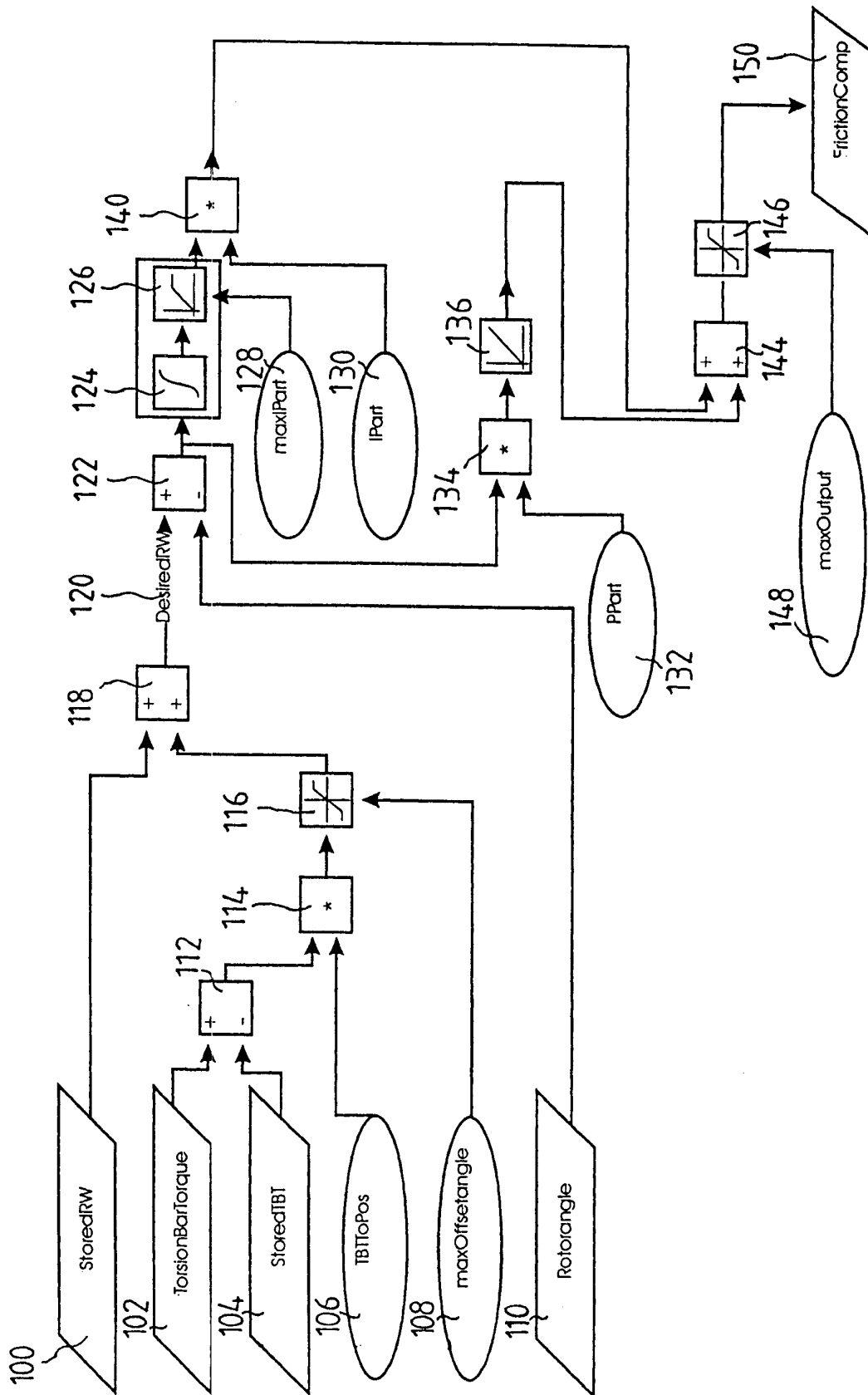


Fig. 2

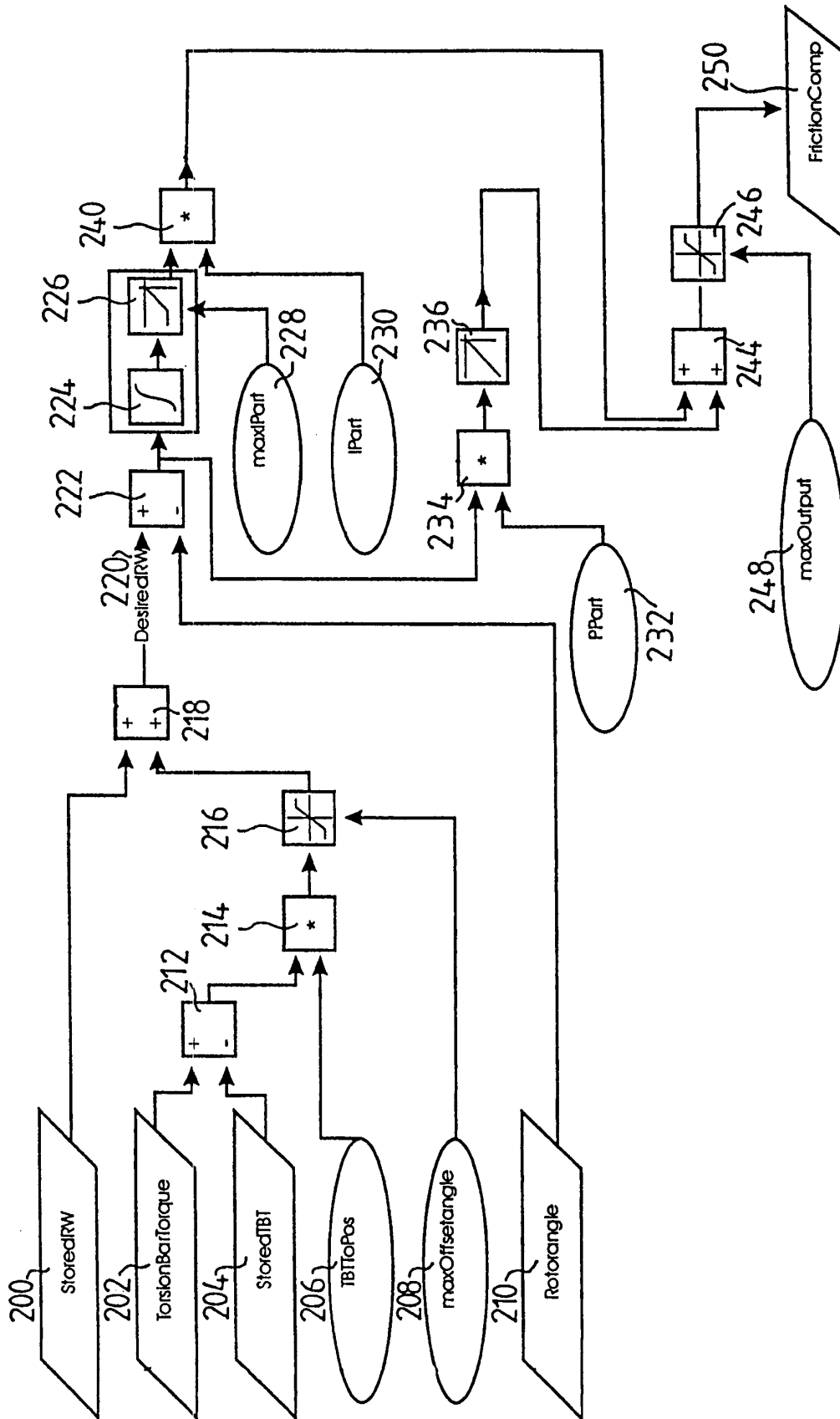


Fig. 3