

(19)



(11)

EP 1 630 363 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
09.04.2008 Patentblatt 2008/15

(51) Int Cl.:
F01L 1/34^(2006.01) F01L 1/344^(2006.01)
F02D 13/02^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **05016634.7**

(22) Anmeldetag: **30.07.2005**

(54) **Verfahren zum Bestimmen der Phasenlage einer Nockenwelle einer Brennkraftmaschine**

Method to determine the phase of a camshaft in an internal combustion engine

Méthode pour déterminer la phase d'un arbre à cames dans un moteur à combustion interne

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI SK TR

(30) Priorität: **28.08.2004 DE 102004041712**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
01.03.2006 Patentblatt 2006/09

(73) Patentinhaber: **LuK Lamellen und Kupplungsbau Beteiligungs KG**
77815 Bühl (DE)

(72) Erfinder:

- **Stork, Holger, Dr.**
77815 Bühl (DE)
- **Dell, Heiko**
77830 Bühlertal (DE)
- **Nguyen, Minh Nam, Dr.**
77815 Bühl (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A-20/04007919 DE-A1- 10 236 506
DE-A1- 10 315 317 US-A- 5 462 022
US-A- 5 548 995 US-A1- 2003 226 529

EP 1 630 363 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen der Drehwinkellage der Nockenwelle einer Hubkolben-Verbrennungsmaschine relativ zur Kurbelwelle, wobei die Kurbelwelle über ein Verstellgetriebe mit der Nockenwelle in Antriebsverbindung steht, das als Dreiwellegengetriebe mit einer kurbelwellenfesten Antriebswelle, einer nockenwellenfesten Abtriebswelle und einer Verstellwelle ausgebildet ist, die mit einem Verstellmotor in Antriebsverbindung steht, wobei für mindestens einen Kurbelwellen-Messzeitpunkt ein Messwert für den Kurbelwellendrehwinkel erfasst wird, wobei für wenigstens zwei Verstellwellen-Messzeitpunkte jeweils ein Messwert für den Verstellwellendrehwinkel digital erfasst wird, wobei für mindestens einen Bezugszeitpunkt, der nach den Kurbelwellen- und Verstellwellen-Messzeitpunkten liegt, anhand mindestens eines Kurbelwellendrehwinkel-Messwerts, mindestens eines Verstellwellendrehwinkel-Messwerts und einer Getriebekenngröße des Dreiwellegengetriebes ein Wert für die Drehwinkellage der Nockenwelle relativ zur Kurbelwelle bestimmt wird.

[0002] Ein derartiges Verfahren ist aus der Praxis bekannt. Siehe z.B. DE 103 15 317 A1. Dabei ist als Verstellgetriebe ein Umlaufgetriebe vorgesehen, mit dessen Antriebswelle ein relativ zur Nockenwelle verdrehbar gelagertes Nockenwellenzahnrad drehfest verbunden ist, das über eine Antriebskette mit einem Kurbelwellenzahnrad in Antriebsverbindung steht. Eine Abtriebswelle des Verstellgetriebes steht mit der Nockenwelle und eine Verstellwelle mit einem Verstellmotor in Antriebsverbindung. Bei stillstehender Antriebswelle liegt zwischen der Verstellwelle und der Abtriebswelle eine durch das Verstellgetriebe vorgegebene Getriebeübersetzung vor, die so genannte Standgetriebeübersetzung. Wenn sich die Verstellwelle dreht, vergrößert bzw. verkleinert sich je nach Drehrichtung der Verstellwelle relativ zum Nockenwellenzahnrad die Getriebeübersetzung zwischen der Antriebs- und der Abtriebswelle, wodurch sich die Phasenlage der Nockenwelle relativ zur Kurbelwelle verändert. Im Vergleich zu einem Verfahren, bei welchem die Verbrennungsmaschine mit konstanter Phasenlage betrieben wird, kann durch die Anpassung der Phasenlage eine bessere Zylinderfüllung der Verbrennungsmaschine erreicht werden, wodurch Kraftstoff eingespart, der Schadstoffausstoß reduziert und/oder die Ausgangsleistung der Verbrennungsmaschine erhöht werden kann. Um die Phasenlage auf ein Sollwertsignal zu regeln, werden zunächst die Drehwinkel der Kurbelwelle und der Verstellwelle mit Hilfe von induktiven Sensoren gemessen und dann wird mit Hilfe der bekannten Standgetriebeübersetzung ein Istwertsignal für die Phasenlage der Nockenwelle relativ zur Kurbelwelle bestimmt. An einem Bezugszeitpunkt wird in einem mikroprozessorbasierten elektronischen Steuergerät ein Interrupt ausgelöst, bei welchem der Messwert für den Verstellwellendrehwinkel in eine Regeleinrichtung eingelesen und mit einem bereitgestellten Sollwertsignal verglichen wird. Beim Auftreten einer Abweichung zwischen dem Messwert und dem Sollwertsignal steuert die Regeleinrichtung den EC-Motor derart an, dass die Abweichung reduziert wird. Die Messung des Verstellwellendrehwinkels erfolgt mit Hilfe von Magnetfeldsensoren, welche die Lage von am Umfang des EC-Motor-Läufers angeordneten Magnetsegmenten digital detektieren. Aufgrund der Digitalisierung der Messwerte und des von den Verstellwellen-Messzeitpunkten abweichenden Bezugszeitpunkt kommt es jedoch zu Mess-Ungenauigkeiten, die dazu führen, dass die gemessene relative Drehwinkellage der Nockenwelle eine sägezahnförmige Schwingung um die tatsächliche Drehwinkellage durchführt. Dies wirkt sich nachteilig auf die Regelungsgenauigkeit aus und hat außerdem auch eine erhöhte Energieaufnahme des EC-Motors zur Folge.

[0003] Es besteht deshalb die Aufgabe, ein Verfahren der eingangs genannten Art zu schaffen, das eine genaue Bestimmung der Drehwinkellage der Nockenwelle relativ zur Kurbelwelle ermöglicht.

[0004] Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, dass aus mindestens zwei Verstellwellendrehwinkel-Messwerten, dem Zeitunterschied zwischen den Verstellwellen-Messzeitpunkten sowie dem Zeitabstand zwischen dem letzten Verstellwellen-Messzeitpunkt und dem Bezugszeitpunkt ein Schätzwert für den Drehwinkel, den die Verstellwelle an dem Bezugszeitpunkt aufweist, extrapoliert wird, und dass anhand des Schätzwerts, des mindestens einen Kurbelwellendrehwinkel-Messwerts und der Getriebekenngröße der Wert für die Drehwinkellage bestimmt wird.

[0005] In vorteilhafter Weise wird also die Genauigkeit der Werte für die Phasenlage dadurch erhöht, dass der Winkel, um den sich die Verstellwelle zwischen dem letzten Verstellwellen-Messzeitpunkt und dem jeweils aktuellen Bezugszeitpunkt weitergedreht hat, geschätzt und bei der Ermittlung der Werte für die Phasenlage berücksichtigt wird. Die Amplitude der sägezahnförmigen Schwingung, welche der gemessene Verstellwellendrehwinkelverlauf um den tatsächlichen Verstellwellendrehwinkelverlauf ausführt, reduziert sich dadurch entsprechend. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht dadurch eine hohe Präzision bei der Bestimmung der Phasenlage sowie eine geringe Energieaufnahme des Verstellmotors.

[0006] Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird zumindest für den jeweils letzten Verstellwellen-Messzeitpunkt ein Wert für die Winkelgeschwindigkeit der Verstellwelle ermittelt, wobei der Schätzwert für den Drehwinkel, den die Verstellwelle an dem Bezugszeitpunkt aufweist, aus dem letzten Verstellwellendrehwinkel-Messwert, der Zeitdifferenz zwischen dem Bezugszeitpunkt und dem letzten Verstellwellen-Messzeitpunkt sowie dem Winkelgeschwindigkeitswert bestimmt wird. Der Verstellwellendrehwinkel-Messwert zum Bezugszeitpunkt wird also durch lineare Interpolation aus dem jeweils letzten Verstellwellendrehwinkel-Messwert mit Hilfe des Winkelgeschwindigkeitswerts ermittelt. Der Winkelgeschwindigkeitswert kann aus der Winkeldifferenz der beiden zuletzt gemessenen Winkelgeschwindigkeitswerte und der Zeitdifferenz zwischen den diesen Winkelgeschwindigkeitswerten zugeordneten Messzeitpunkten be-

rechnet werden.

[0007] Bei einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist der Verstellmotor ein EC-Motor, der einen Stator mit einer Wicklung und einem drehfest mit der Verstellwelle verbundenen Läufer hat, an dem in Umfangsrichtung zueinander versetzte, abwechselnd in zueinander entgegen gesetzte Richtungen magnetisierte Magnetsegmente angeordnet sind, die Toleranzen hinsichtlich ihrer Positionierung und/oder ihrer Abmessungen haben, wobei zum Erfassen der Verstellwellendrehwinkel-Messwerte und/oder der Winkelgeschwindigkeitswerte die Lage der Magnetsegmente relativ zu dem Stator detektiert wird, wobei mindestens ein Korrekturwert zum Kompensieren des Einflusses wenigstens einer Toleranz auf die Verstellwellendrehwinkel-Messwerte erfasst wird, und wobei die Verstellwellendrehwinkel-Messwerte und/oder die Winkelgeschwindigkeitswerte mit Hilfe des Korrekturwerts korrigiert werden. Dieser Ausführungsform liegt die Erkenntnis zu Grunde, dass bei einem mehrfachen Vorbeibewegen eines toleranzbehafteten Magnetsegments des Läufers an einem ortsfest zum Stator angeordneten Magnet-Sensor, das mit Hilfe des Magnet-Sensors detektierte Lagemesssignal für das entsprechende Magnetsegment bei jedem Passieren des Magnet-Sensors stets denselben, durch die Toleranz des Magnetsegments bedingten Fehler aufweist. Dieser Fehler wird durch Messung oder auf andere Weise ermittelt, um dann einen Korrekturwert zu bestimmen, mit dem die Verstellwellendrehwinkel-Messwerte zu einem späteren Zeitpunkt korrigiert werden, wenn das betreffende Magnetsegment den Magnetfeldsensor erneut passiert. Somit kann eine durch eine Toleranz eines Magnetsegments hervorgerufene Mess- Ungenauigkeit auf einfache Weise in dem Drehzahlwert korrigiert werden. Dabei ist es sogar möglich, diese Korrektur online bei dem jeweils aktuell gemessenen Drehzahlwert durchzuführen, ohne dass zwischen dem korrigierten Drehzahlwert und dem unkorrigierten Drehzahlwert eine Zeitverzögerung auftritt.

[0008] Vorteilhaft ist, wenn die Lage der Magnetsegmente mit Hilfe einer Messeinrichtung detektiert wird, die an dem Stator mehrere Magnetfeldsensoren aufweist, die derart in Umfangsrichtung des Stators zueinander versetzt angeordnet sind, dass pro Umdrehung des Läufers relativ zu dem Stator eine Anzahl von Magnetsegment-Sensor-Kombinationen durchlaufen wird, und wenn für jede dieser Magnetsegment-Sensor-Kombinationen jeweils ein Korrekturwert ermittelt, gespeichert und zur Korrektur der Verstellwellendrehwinkel-Messwerte und/oder der Winkelgeschwindigkeitswerte verwendet wird. Die Phasenlage der Nockenwelle relativ zur Kurbelwelle kann dann mit noch größerer Präzision eingestellt werden. Die Anzahl der Magnetsegment-Sensor-Kombinationen entspricht vorzugsweise dem Produkt aus der Anzahl der Magnetfeldsensoren und der Anzahl der magnetischen Pole des Läufers.

[0009] Bei einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung wird der Läufer derart relativ zu dem Stator verdreht, dass eine Anzahl von Magnetsegment-Sensor-Kombinationen durchlaufen wird, wobei mit Hilfe der Messeinrichtung für diese Magnetsegment-Sensor-Kombinationen erste unkorrigierte Verstellwellendrehwinkel-Messwerte und/oder Winkelgeschwindigkeitswerte erfasst werden, wobei zusätzlich Referenzwerte für den Verstellwellendrehwinkel und/oder die Winkelgeschwindigkeit erfasst werden, die eine größere Genauigkeit aufweist als die ersten Verstellwellendrehwinkel-Messwerte bzw. Winkelgeschwindigkeitswerte, wobei mit Hilfe der ersten unkorrigierten Verstellwellendrehwinkel-Messwerte bzw. Winkelgeschwindigkeitswerte die Korrekturwerte als Korrekturfaktoren bestimmt werden, wobei die den ersten unkorrigierten Verstellwellendrehwinkel-Messwerten bzw. Winkelgeschwindigkeitswerten zugeordneten Magnetsegment-Sensor-Kombinationen erneut durchlaufen und dabei mit Hilfe der Messeinrichtung zweite unkorrigierte Verstellwellendrehwinkel-Messwerte bzw. Winkelgeschwindigkeitswerte erfasst werden, und wobei diese Werte mit Hilfe der zuvor ermittelten Korrekturfaktoren korrigiert werden. Die Korrekturwerte werden also in Form von Korrekturfaktoren ermittelt, wodurch eine Korrektur der durch die Toleranzen des Magnetsegments verursachten Messfehlern bei unterschiedlichen Drehzahlen möglich ist. Das Referenzsignal kann ein Messsignal sein, das beispielsweise bei der Fertigung des EC-Motors mit Hilfe einer zusätzlichen Lagemesseinrichtung erfasst wird. Das Referenzsignal kann auch ein Drehzahl- und/oder ein aufintegriertes Beschleunigungssignal einer Welle sein, die mit dem EC-Motor gekoppelt ist.

[0010] Bei einer zweckmäßigen Ausgestaltung der Erfindung werden die Referenzwerte dadurch gebildet, dass die ersten unkorrigierten Verstellwellendrehwinkel-Messwerte bzw. Winkelgeschwindigkeitswerte durch Filterung geglättet werden. Dadurch kann ein zusätzlicher Sensor zur Messung des Referenzsignals eingespart werden.

[0011] Vorteilhaft ist, wenn der Läufer derart relativ zu dem Stator verdreht wird, dass die einzelnen Magnetsegment-Sensor-Kombinationen mindestens zwei mal auftreten, wenn dabei für die einzelnen Magnetsegment-Sensor-Kombinationen jeweils ein Korrekturfaktor für die Verstellwellendrehwinkel-Messwerte bzw. Winkelgeschwindigkeitswerte ermittelt wird, wenn aus den für die einzelnen Magnetsegment-Sensor-Kombinationen ermittelten Korrekturfaktoren jeweils ein Mittelwert gebildet wird, und wenn die so erhaltenen Mittelwerte als neue Korrekturfaktoren gespeichert und die Verstellwellendrehwinkel-Messwerte bzw. Winkelgeschwindigkeitswerte bei einem erneuten Durchlaufen der Magnetsegment-Sensor-Kombinationen mit Hilfe dieser Korrekturfaktoren korrigiert werden. Die einzelnen Magnetsegment-Sensor-Kombinationen werden dabei bevorzugt möglichst oft durchlaufen, was bei einem EC-Motor für eine elektronische Nockenwellenverstellung problemlos möglich ist, da sich dieser während des Betriebs der Verbrennungsmaschine ständig dreht.

[0012] Bei einer Ausführungsform der Erfindung wird als Mittelwert jeweils der arithmetische Mittelwert gebildet. Dabei gehen sämtliche für die Mittelwertbildung verwendeten Korrekturfaktoren mit demselben Gewicht in den Mittelwert ein.

[0013] Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird als Mittelwert jeweils ein gleitender Mittelwert ge-

bildet, vorzugsweise derart, dass das Gewicht, mit dem die Korrekturfaktoren in den Mittelwert eingehen, mit zunehmendem Alter der Korrekturfaktoren abnimmt. Neue Korrekturfaktoren werden also in dem Mittelwert stärker berücksichtigt als Korrekturfaktoren, die einem weiter zurückliegenden Zeitpunkt zugeordnet sind. Sollte einmal ein Fehler auftreten, der dazu führt, dass eine Magnetsegment—Sensor—Kombination nicht erkannt und dadurch die bereits ermittelten Korrekturfaktoren den falschen Magnetsegmenten zugeordnet werden, wirkt sich die falsche Korrekturfaktorzuordnung nur kurzzeitig auf die Korrektur des Drehzahlsignals aus, d.h. die falschen Korrekturfaktoren werden relativ schnell "vergessen".

[0014] Vorteilhaft ist, wenn die gleitenden Mittelwerte $F_{\text{Neu}}[i(t-T)]$ für die einzelnen Magnetsegment-Sensor-Kombinationen zyklisch nach der Formel $F_{\text{Neu}}[i(t-T)] = \lambda F_{\text{Alt}}[i(t-T)] + (1-\lambda) F[i(t-T)]$ bestimmt werden, wobei i ein die jeweilige Magnetsegment-Sensor-Kombination identifizierender Index, t die Zeit, T eine Verzögerungszeit zwischen der tatsächlichen Winkelgeschwindigkeit und der gemessenen Winkelgeschwindigkeitswerten, $F_{\text{Alt}}[i(t-T)]$ der bei der letzten Mittelwertbildung am Index i ermittelte Mittelwert und λ ein Vergessensfaktor bedeuten, der größer als Null und kleiner als 1 ist und vorzugsweise im Intervall zwischen 0,7 und 0,9 liegt. Eine derartige Mittelwertbildung ist für eine Online-Berechnung gut geeignet. Die Zeit T ist von der Drehzahl abhängig und nimmt mit zunehmender Drehzahl ab (ereignisgesteuertes System).

[0015] Bei einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass

a) der Läufer relativ zu dem Stator verdreht und die Korrekturfaktoren für die einzelnen Magnetsegment-Sensor-Kombinationen ermittelt und gespeichert werden,

b) dass danach die entsprechenden Magnetsegment-Sensor-Kombinationen erneut durchlaufen werden, wobei ein Satz neuer Korrekturfaktoren ermittelt wird,

c) dass die Korrekturfaktoren des alten Korrekturfaktorsatzes relativ zu denen des neuen Korrekturfaktorsatzes zyklisch vertauscht und die Korrekturfaktorsätze danach miteinander verglichen werden,

d) dass Schritt c) wiederholt wird, bis alle Vertauschungskombinationen des alten Korrekturfaktorsatzes mit dem neuen Korrekturfaktorsatz verglichen wurden,

e) dass die Vertauschungskombination, bei der eine maximale Übereinstimmung mit dem neuen Korrekturfaktorsatz auftritt, ermittelt wird,

f) und dass mit der dieser Vertauschungskombination zugeordneten Anordnung der Korrekturwerte des alten Korrekturfaktorsatzes die Winkelgeschwindigkeitswerte korrigiert werden.

[0016] Auf diese Weise kann die Zuordnung der Korrekturfaktoren zu den Magnetsegmenten wiederhergestellt werden, falls sie beispielsweise aufgrund einer Störung des Messsignals unbeabsichtigt verändert worden sein sollte. Somit können die bereits ermittelten Korrekturfaktoren auch nach dem Auftreten der Störung weitergenutzt werden. Dabei kann eine Kennung an dem Läufer des EC-Motors, die eine absolute Messung der Lage des Läufers relativ zum Stator ermöglicht, eingespart werden. In vorteilhafter Weise kann das Verfahren aber auch nach dem Wiedereinschalten des EC-Motors zur Anwendung kommen, um Korrekturfaktoren, die während einer früheren Einschaltphase des EC-Motors ermittelt und in einem nichtflüchtigen Speicher abgelegt wurden, denjenigen Magnetsegment-Sensor-Kombinationen zuzuordnen, für die sie während der früheren Einschaltphase ermittelt wurden.

[0017] Gegebenenfalls können die Korrekturfaktoren auch unter Idealbedingungen bei der Fertigung des EC-Motors ermittelt werden, vorzugsweise in einem Endstadium der Fertigung.

[0018] Vorteilhaft ist, wenn aus den bei der Vertauschungskombination, bei der eine maximale Übereinstimmung zwischen den Korrekturfaktorsätzen auftritt, jeweils einander zugeordneten Korrekturfaktoren des alten Korrekturfaktorsatzes und des neuen Korrekturfaktorsatzes jeweils ein Mittelwert gebildet und als neuer Korrekturfaktor gespeichert wird, und wenn mit dem durch diese Mittelwertbildung erhaltenen Korrekturfaktorsatz die Winkelgeschwindigkeitswerte korrigiert werden. Es werden also sowohl die Korrekturfaktoren des ersten Datensatzes als auch die des zweiten Datensatzes bei der Korrektur der Winkelgeschwindigkeitswerte berücksichtigt.

[0019] Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass

a) dass der Läufer derart relativ zu dem Stator verdreht wird, dass alle Magnetsegment-Sensor-Kombinationen mindestens einmal durchlaufen werden,

b) dass dabei ein Lagemesssignal der Magnetfeldsensoren derart generiert wird, dass pro Umdrehung des EC-Motors für jedes Polpaar des Läufers jeweils eine Anzahl von Messsignal-Zuständen durchlaufen wird,

EP 1 630 363 B1

c) dass ein erster Datensatz mit einer der Anzahl der Magnetsegment-Sensor-Kombinationen entsprechenden Anzahl Wertekombinationen, jeweils bestehend zumindest aus einem Korrekturfaktor für die betreffende Magnetsegment-Sensor-Kombination und einem dieser zugeordneten Messsignal-Zustand, ermittelt und gespeichert wird,

5 d) dass danach die entsprechenden Magnetsegment-Sensor-Kombinationen erneut durchlaufen werden, wobei ein neuer, zweiter Datensatz mit Wertekombinationen ermittelt und gespeichert wird,

10 e) dass bei einer Abweichung zwischen den Messsignal-Zuständen des ersten und denen des zweiten Datensatzes die Wertekombinationen des ersten Datensatzes derart zyklisch relativ zu denen des zweiten Datensatzes verschoben werden, dass die Messsignal-Zustände der Datensätze übereinstimmen,

f) dass danach die jeweils einander zugeordneten Korrekturfaktoren der Datensätze miteinander verglichen werden,

15 g) dass die Korrekturfaktoren des einen Datensatzes um eine der doppelten Anzahl der Magnetfeldsensoren entsprechende Anzahl Schritte relativ zu den Korrekturfaktoren des anderen Datensatzes zyklisch vertauscht und danach die jeweils einander zugeordneten Korrekturfaktoren der Datensätze miteinander verglichen werden,

h) dass Schritt g) gegebenenfalls wiederholt wird, bis alle Vertauschungskombinationen bearbeitet wurden,

20 i) dass eine Vertauschungskombination, bei der eine maximale Übereinstimmung zwischen den Korrekturfaktoren der Datensätze auftritt, ermittelt wird,

25 j) und dass mit der dieser Vertauschungskombination zugeordneten Anordnung der Korrekturwerte des ersten Datensatzes die Winkelgeschwindigkeitswerte korrigiert werden.

[0020] Durch diese Maßnahmen kann mit relativ wenig Vertauschungs- bzw. Verschiebeoperationen und somit entsprechend geringem Zeitaufwand die Zuordnung der Korrekturfaktoren zu den Magnetsegment-Sensor-Kombinationen wiederhergestellt werden.

30 **[0021]** Dabei ist es sogar möglich, dass aus den bei der Vertauschungskombination, bei der eine maximale Übereinstimmung zwischen den Korrekturfaktoren der Datensätze auftritt, jeweils einander zugeordneten Korrekturfaktoren des ersten und zweiten Datensatzes jeweils ein Mittelwert gebildet und als neuer Korrekturfaktor gespeichert wird und dass mit dem durch diese Mittelwertbildung erhaltenen Korrekturfaktorsatz Winkelgeschwindigkeitswerte korrigiert werden. Somit werden sowohl die Korrekturfaktoren des ersten Datensatzes als auch die des zweiten Datensatzes bei der Korrektur des Drehzahlsignals berücksichtigt.

35 **[0022]** Bei einer zweckmäßigen Ausgestaltung des Verfahrens werden die Schwankungswerten der unkorrigierten Winkelgeschwindigkeitswerte und der korrigierten Winkelgeschwindigkeitswerte jeweils in einem Zeitfenster ermittelt und miteinander verglichen, wobei für den Fall, dass die Schwankungswerte der korrigierten Winkelgeschwindigkeitswerte größer ist als die der unkorrigierten Winkelgeschwindigkeitswerte, die Korrekturfaktoren neu ermittelt und/oder die Zuordnung der Korrekturfaktoren zu den Magnetsegment-Sensor-Kombinationen wiederhergestellt wird. Dabei wird 40 davon ausgegangen, für den Fall, dass die Schwankung der korrigierten Winkelgeschwindigkeitswerte größer ist als die der unkorrigierten Winkelgeschwindigkeitswerte, ein Fehler bei der Zuordnung der Korrekturfaktoren zu den einzelnen Magnetsegment-Sensor-Kombinationen aufgetreten ist, beispielsweise durch EMV-Einstrahlung. Zur Korrektur dieses Fehlers können die Korrekturfaktoren auf den Wert 1 zurückgesetzt und danach neu adaptiert worden oder die ursprüngliche Zuordnung wird beispielsweise durch zyklisches Vertauschen der Korrekturfaktoren wiederhergestellt.

45 **[0023]** Zweckmäßigerweise werden die Korrekturfaktoren auf einen vorgegebenen Wertebereich begrenzt, der vorzugsweise zwischen 0,8 und 1,2 beträgt. Dadurch können Ausreißer in dem korrigierten Drehzahlsignal, die durch nicht plausible, außerhalb des vorgegebenen Wertebereichs liegende Korrekturfaktoren verursacht sind, unterdrückt werden.

50 **[0024]** Bei einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird ein Trägheitsmomentwert für das Massenträgheitsmoment des Läufers bestimmt, wobei ein Stromsignal I erfasst wird, indem für die einzelnen Verstellwellen-Messzeitpunkte jeweils ein Stromwert $I(k)$ für den elektrischen Strom in der Wicklung bestimmt wird, wobei für die einzelnen Winkelgeschwindigkeitswerte $\omega(k)$ jeweils aus einem einem früheren Verstellwellen-Messzeitpunkt zugeordneten Winkelgeschwindigkeitswert $\omega_k(k-1)$, dem Stromsignal I und dem Trägheitsmomentwert ein Schätzwert $\omega_s(k)$ für den Winkelgeschwindigkeitswert $\omega(k)$ bestimmt wird, wobei diesem Schätzwert $\omega_s(k)$ ein Toleranzband zugeordnet wird, in dem der Schätzwert $\omega_s(k)$ enthalten ist, und wobei für den Fall, dass der Winkelgeschwindigkeitswert $w(k)$ außerhalb des Toleranzbands liegt, der Winkelgeschwindigkeitswert $w(k)$ durch einen innerhalb des Toleranzbands befindlichen Winkelgeschwindigkeitswert $\omega_k(k)$ ersetzt wird. Es werden also Winkelgeschwindigkeitswerte $w(k)$, die außerhalb des Toleranzbands liegen und die somit nicht plausibel sind, auf das Toleranzband begrenzt, wobei die Grenzwerte für das Toleranzband dynamisch ermittelt werden. Dadurch können Schwankungen in den Winkelgeschwindigkeitswerten auf

EP 1 630 363 B1

einfache Weise geglättet werden, ohne dass es zu einer nennenswerten Zeitverzögerung zwischen dem geglätteten bzw. korrigierten Winkelgeschwindigkeitssignal und dem gemessenen Winkelgeschwindigkeitssignal kommt. Der Begrenzung liegt die dynamische Gleichung der elektrischen Maschine zugrunde:

5

$$J \cdot d \omega / dt = K_t \cdot I$$

[0025] J ist das Massenträgheitsmoment des Läufers, ω die Läufer-Drehzahl, K_t eine Konstante der elektrischen Maschine, I der Wicklungsstrom und t die Zeit. Der Drehzahl-Schätzwert $\omega_s(k)$ lässt sich wie folgt bestimmen, wobei T eine Abtastdauer bedeutet:

15

$$\omega_s(k) = \omega_k(k-1) + \frac{T \cdot K_t \cdot I(k-1)}{J}$$

20

[0026] Wenn die Breite des Toleranzbands auf $\pm \Delta\omega_{Grenz}$ festgelegt wird, können der obere Randwert $\omega_{HighLim}(k)$ und der untere Randwert $\omega_{LowLim}(k)$ des Toleranzbands für den k-ten Drehzahlmesswert $\omega(k)$ ausgehend von dem Schätzwert ω_s wie folgt ermittelt werden:

25

$$\omega_{HighLim}(k) = \omega_s + \Delta\omega_{Grenz} = \omega(k-1) + T K_t \cdot I(k-1) / J + \Delta\omega_{Grenz}$$

$$\omega_{LowLim}(k) = \omega_s - \Delta\omega_{Grenz} = \omega(k-1) + T K_t \cdot I(k-1) / J - \Delta\omega_{Grenz}$$

30

[0027] Dabei wird die Breite $\pm\Delta\omega_{Grenz}$ des Toleranzbands vorzugsweise deutlich kleiner gewählt als die Schwankungsweite der Drehzahlmesswerte $\omega(k)$, um eine spürbare Reduzierung der Schwankung der Winkelgeschwindigkeitswerte zu erreichen.

35

[0028] Bei einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird der Läufer mit einem Lastmoment belastet, wobei für das Lastmoment ein Lastmomentsignal M_L bereitgestellt wird, und wobei der Schätzwert $\omega_s(k)$ jeweils aus dem dem früheren Abtastzeitpunkt zugeordneten Winkelgeschwindigkeitswert $\omega_k(k-1)$, dem Stromsignal I, dem Lastmomentsignal M_L und dem Trägheitsmomentwert bestimmt wird. Die dynamische Gleichung des EC-Motors lautet dann:

40

$$J \cdot d\omega / dt = K_t \cdot I - M_L$$

[0029] Daraus lassen sich der Winkelgeschwindigkeits-Schätzwert $\omega_s(k)$ sowie der obere Randwert $\omega_{HighLim}(k)$ und der untere Randwert $\omega_{LowLim}(k)$ des Toleranzbands wie folgt bestimmen:

45

$$\omega_s(k) = \omega_k(k-1) + \frac{T \cdot K_t \cdot I(k-1)}{J} - \frac{T \cdot M_L(k-1)}{J}$$

50

$$\omega_{HighLim}(k) = \omega_s + \Delta\omega_{Grenz} = \omega(k-1) + T / J [K_t \cdot I(k-1) - M_L(k-1)] + \Delta\omega_{Grenz}$$

55

$$\omega_{LowLim}(k) = \omega_s - \Delta\omega_{Grenz} = \omega(k-1) + T / J [K_t \cdot I(k-1) - M_L(k-1)] - \Delta\omega_{Grenz}$$

[0030] Bei einer zweckmäßigen Ausführungsform der Erfindung wird die an der Wicklung anliegende elektrische Spannung erfasst, wobei die Stromwerte $I(k)$ indirekt aus der Spannung, der Impedanz der Wicklung, dem gegebenenfalls korrigierten Drehzahlmesswert $w(k)$ und einer Motorkonstanten K_e bestimmt wird. Die entsprechende Systemgleichung lautet:

5

$$U = R_A \cdot I + L_A \cdot dI/dt + K_e \cdot \omega_k$$

[0031] Dabei ist R_A der ohmsche Widerstand der Wicklung, L_A die Induktivität der Wicklung und K_e die Motorkonstante des EC-Motors. Das Verfahren kommt bevorzugt bei EC-Motoren zum Einsatz, bei denen der Wicklungsstrom durch Pulsweitenmodulation einer an die Wicklung angelegten elektrischen Spannung eingestellt wird.

[0032] Vorteilhaft ist, wenn die Breite und/oder Lage des Toleranzbands in Abhängigkeit von dem dem früheren Verstellwellen-Messzeitpunkt zugeordneten Winkelgeschwindigkeitswert $\omega_k(k-1)$ gewählt wird und vorzugsweise mit zunehmender Winkelgeschwindigkeit reduziert und/oder mit abnehmender Winkelgeschwindigkeit vergrößert wird. Wenn für das Lastmoment der Nockenwelle ein Mittelwert vorliegt, dessen Genauigkeit von der Drehzahl abhängig ist, kann die Drehzahlabhängigkeit der Genauigkeit bei der Bestimmung der Breite des Toleranzbands berücksichtigt werden.

[0033] Bei einer zweckmäßigen Ausgestaltung der Erfindung wird die Breite und/oder Lage des Toleranzbands in Abhängigkeit von dem Stromsignal I gewählt und vorzugsweise mit zunehmendem Strom vergrößert und/oder mit abnehmendem Strom reduziert. Dabei wird davon ausgegangen, dass bei einem großen Wicklungsstrom der Läufer in der Regel beschleunigt wird, so dass die Drehzahl entsprechend ansteigt. Die Breite und/oder Lage des Toleranzbands wird also an die aufgrund der Bestromung der Wicklung zu erwartenden Drehzahländerungen des Läufers angepasst.

[0034] Wenn das Drehzahlsignal mit Störungen, wie zum Beispiel einer Welligkeit behaftet ist, schwankt meistens der Wicklungsstrom entsprechend. In diesem Fall kann es vorteilhaft sein, das Stromsignal I durch Filterung, insbesondere durch eine gleitende Mittelwertbildung, geglättet wird, und wenn die Schätzwerte $\omega_s(k)$ für die Winkelgeschwindigkeitswerte $w(k)$ mit Hilfe des gefilterten Stromsignals I bestimmt werden.

[0035] Bei einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird jeweils aus mindestens zwei Kurbelwellendrehwinkel-Messwerten, dem Zeitunterschied zwischen den diesen Messwerten zugeordneten Kurbelwellendrehwinkel-Messzeitpunkten sowie dem Zeitabstand zwischen dem letzten Kurbelwellen-Messzeitpunkt und dem Bezugszeitpunkt ein Schätzwert für den Drehwinkel, den die Kurbelwelle an dem Bezugszeitpunkt aufweist, extrapoliert, wobei die Zeitdifferenz zwischen dem Bezugszeitpunkt und dem letzten Kurbelwellen-Messzeitpunkt ermittelt wird, und wobei der Schätzwert aus dem Kurbelwellendrehwinkel-Messwert am letzten Kurbelwellen-Messzeitpunkt, der Zeitdifferenz und dem Winkelgeschwindigkeitswert bestimmt wird. Durch diese Maßnahme kann in Kombination mit der Extrapolation der Verstellwellen-Messzeitpunkte eine besonders hohe Präzision bei der Einstellung der Phasenlage erreicht werden.

[0036] Nachfolgend sind Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1: eine schematische Darstellung eine Kurbelwellen-Nockenwellenanordnung eines Hubkolben-Verbrennungsmotors, die eine Verstellvorrichtung zum Verändern der Drehwinkelage der Nockenwelle relativ zur Kurbelwelle aufweist,

Fig. 2 eine graphische Darstellung des tatsächlichen Drehwinkelverlaufs und von Drehwinkel-Messwerten des Rotors eines Verstellmotors der Verstellvorrichtung, wobei auf der Abszisse die Zeit und auf der Ordinate der Drehwinkel aufgetragen ist,

Fig. 3 eine graphische Darstellung des tatsächlichen Drehwinkelverlaufs des Verstellmotors, wobei die Stellen, an denen Hallsensor-Pulse auftreten, im Drehwinkelverlauf markiert sind, wobei auf der Abszisse die Zeit und auf der Ordinate der Drehwinkel aufgetragen ist,

Fig. 4 eine schematische Ansicht auf die Stirnseite des Läufers eines EC-Motors, wobei am Umfang des Läufers Magnetsegmente angeordnet sind, und wobei eine Lagemesseinrichtung zur Detektion der Lage des Läufers relativ zum Stator vorgesehen ist,

Fig. 5 eine graphische Darstellung eines mit Hilfe der Lagemesseinrichtung erfassten Lagemesssignals,

Fig. 6 ein Ablaufdiagramm, welches die einzelnen Schritte bei der Korrektur eines aus dem Lagemesssignal erzeugten Winkelgeschwindigkeitssignals verdeutlicht, und

Fig. 7 eine graphische Darstellung von Korrekturfaktoren, wobei die Beträge der Korrekturfaktoren als Balkendiagramm dargestellt sind, wobei unterhalb des Balkens jeweils ein Wert eines dem betreffenden Korrekturfaktor zugeordneten Lagemesssignals und darunter jeweils ein Index abgebildet sind, der den betreffenden Korrekturfaktor einer Magnetsegment-Sensor-Kombination zuordnet.

5
[0037] Eine Verstellvorrichtung zum Verstellen der Drehwinkel- oder Phasenlage der Nockenwelle 11 einer Hubkolben-Verbrennungsmaschine relativ zur Kurbelwelle 12 weist ein Verstellgetriebe 13 auf, das als Dreiwellengetriebe mit einer kurbelwellenfesten Antriebswelle, einer nockenwellenfesten Abtriebswelle und einer mit dem Rotor eines Verstellmotors in Antriebsverbindung stehenden Verstellwelle ausgebildet ist. Zum Bestimmen von Messwerten für die Phasenlage wird an Kurbelwellen-Messzeitpunkten jeweils ein Messwert für den Kurbelwellendrehwinkel erfasst. Außerdem wird an Verstellwellen-Messzeitpunkten jeweils ein Messwert für den Verstellwellendrehwinkel gemessen. Aus den Messwert für den Kurbelwellendrehwinkel und den Verstellwellendrehwinkel wird mit Hilfe einer bekannten Standgetriebeübersetzung des Dreiwellengetriebes ein Wert für die Phasenlage bestimmt.

10
[0038] In Fig. 1 ist erkennbar, dass zur Messung des Kurbelwellendrehwinkels ein induktiver Sensor 15 vorgesehen ist, der die Zahnflanken eines aus einem magnetisch leitenden Werkstoff bestehenden, auf der Kurbelwelle 12 angeordneten Zahnkranzes 16 detektiert. Eine der Zahnlücken oder Zähne des Zahnkranzes 16 weist eine größere Breite auf als die anderen Zahnlücken bzw. Zähne und dient als Referenzmarke. Beim Vorbeilaufen der Referenzmarke an dem Sensor 15 wird der Messwert für den Kurbelwellendrehwinkel auf einen Startwert gesetzt. Danach wird der Messwert bis zum Erneuten Vorbeilaufen der Referenzmarke an dem Sensor 15 bei jedem Detektieren einer Zahnflanke nachgeführt. Das Nachführen des Messwerts für den Kurbelwellenwinkel erfolgt mit Hilfe eines Steuergeräts, in dessen Betriebsprogramm jeweils beim Detektieren einer Zahnflanke ein Interrupt ausgelöst wird. Der Kurbelwellendrehwinkel wird also digital gemessen.

15
[0039] Als Verstellmotor ist ein EC-Motor 14 vorgesehen, der einen Läufer aufweist, an dessen Umfang eine Reihe von abwechselnd in zueinander entgegengesetzte Richtungen magnetisierten Magnetsegmenten angeordnet ist, die über einen Luftspalt mit Zähnen eines Stators magnetisch zusammenwirken. Die Zähne sind mit einer Wicklung bewickelt, die über eine Ansteuereinrichtung bestromt wird.

20
[0040] Die Lage der Magnetsegmente relativ zum Stator und damit der Verstellwellendrehwinkel wird mit Hilfe einer Messeinrichtung 17 detektiert, die an dem Stator mehrere Magnetfeldsensoren A, B, C aufweist, die derart in Umfangsrichtung des Stators zueinander versetzt angeordnet sind, dass pro Umdrehung des Läufers eine Anzahl von Magnetsegment-Sensor-Kombinationen durchlaufen wird. Als Referenzwertgeber für den Nockenwellendrehwinkel ist ein Hall-Sensor 18 vorgesehen, der mit einem auf der Nockenwelle 11 angeordneten Triggerrad 19 zusammenwirkt. Wenn der Hall-Sensor 18 eine Flanke des Triggerrads 19 detektiert, wird im Betriebsprogramm des Steuergeräts ein Interrupt ausgelöst, bei dem der Kurbelwellendrehwinkel und der Verstellwellendrehwinkel zwischengespeichert werden. Dieser Interrupt wird nachstehend auch als Nockenwellen-Interrupt bezeichnet.

25
[0041] Der nockenwellengetriggerte Absolutwinkel ε_{Abs} und der relative Verstellwinkel $\Delta\varepsilon_{Rel}$ werden zum aktuellen Verstellwinkel $\varepsilon_{aktuell}$ verrechnet. Ein den aktuellen Verstellwinkel $\varepsilon_{aktuell}$ repräsentierendes Signal liegt an einem Istwert-Eingang eines für die Regelung der Phasenlage vorgesehenen Regelkreises an. Der Absolutwinkel ε_{Abs} ist der Kurbelwellenwinkel zu einem Zeitpunkt t_{TrigNW} , an dem der Nockenwellen-Interrupt ausgelöst wird:

$$\varepsilon_{Abs} = \varepsilon_{KW}(t_{TrigNW})$$

30
[0042] Die Drehwinkelage $\Delta\varepsilon_{Rel}$ der Nockenwelle 11 relativ zur Kurbelwelle 12 wird dabei aus den zeitsynchronen Änderungen (Reglerabtastung) der Winkelzähler von Rotor $\Delta\varphi_{Em}$ und Kurbelwelle $\Delta\varphi_{KW}$ bezogen auf die Referenzwerte bei Nockenwellen-Triggerung über die Getriebegrundgleichung des Dreiwellengetriebes berechnet:

$$\varepsilon_{Aktuell} = \varepsilon_{Abs} + \varepsilon_{Rel} = \varepsilon_{Abs} + \frac{1}{i_g} \cdot (\Delta\varphi_{KW} - 2 \cdot \Delta\varphi_{Em})$$

$$\varepsilon_{Aktuell} = \varphi_{KW, TrigNW} + \frac{1}{i_g} \cdot ([\varphi_{KW} - \varphi_{KW, TrigNW}] - 2 \cdot [\varphi_{Em} - \varphi_{Em, TrigNW}]) \quad (1.1)$$

35
[0043] Dabei ist i_g die Standgetriebeübersetzung zwischen der Nockenwelle 11 und der Verstellwelle:

$$i_g = \frac{n_{Em}}{n_{NW}} \Big|_{n_{Kw}=0}$$

5
[0044] Um die Drehwinkellage $\Delta\varepsilon_{Rel}$ berechnen zu können, werden die Winkel der Kurbelwelle $\varphi_{KW,TrigNW}$ und des EC-Motor-Rotors bzw. der Verstellwelle $\varphi_{Em,TrigNW}$ zum Zeitpunkt des Nockenwellentriggers gespeichert. Zu einem späteren Zeitpunkt wird dann im Betriebsprogramm des Steuergeräts ein Interrupt ausgelöst, bei dem die Drehwinkellage $\Delta\varepsilon_{Rel}$ mit Hilfe der zwischengespeicherten Winkel $\varphi_{KW,TrigNW}$ und $\varphi_{Em,TrigNW}$ berechnet wird. Dieser Interrupt wird nachstehend auch als zyklischer Interrupt bezeichnet.

10
[0045] Die Auflösung der relativen Drehwinkellage $\Delta\varepsilon_{Rel}$ ergibt sich durch eine Unsicherheitsbetrachtung der einzelnen Komponenten der Gl. (1.1). Der Kurbelwellendrehwinkel hat beispielsweise eine Unsicherheit von -0 bis +0.2°. Die Auflösung δ_{Em} der Messeinrichtung 17 ergibt sich aus der Anzahl der Polpaare P (z.B. P=7) und der Anzahl m (z.B. m=3) der Magnetfeldsensoren A, B, C:

$$15 \quad \delta_{Em} = \frac{360^\circ}{2 \cdot m \cdot P} = \frac{360^\circ}{2 \cdot 3 \cdot 7} = 8,57^\circ ,$$

20
wobei die Unsicherheitsband (bei positiver Drehzahl) einseitig von -0 bis +8,57° angesetzt werden darf, da der Winkel jeweils zum Zeitpunkt eines Wechsels der Magnetsegment-Sensor-Kombinationen als exakt angenommen wird und danach zunimmt. Würde man die relative Drehwinkellage $\Delta\varepsilon_{Rel}$ direkt aus dem Kurbelwellendrehwinkel $\varphi_{KW,TrigNW}$ und dem Verstellwellendrehwinkel $\varphi_{Em,TrigNW}$ berechnen, ergäbe sich eine Messunsicherheit für die relative Drehwinkellage $\Delta\varepsilon_{Rel}$ von -0,29° bis +0.49°:

$$25 \quad \varepsilon_{-0.29}^{+0.49} = \varphi_{KW,TrigNW}^{+0.2}_{-0} + \frac{1}{i_g} \left([\varphi_{KW}^{+0.2}_{-0} - \varphi_{KW,TrigNW}^{+0.2}_{-0}] - 2 \cdot [\varphi_{Em}^{+8.57}_{-0} - \varphi_{Em,TrigNW}^{+8.57}_{-0}] \right) .$$

30
[0046] Wie in Fig. 2 erkennbar ist, bewirkt die Digitalisierung des Verstellwellendrehwinkels eine Art Schwebung zwischen den Zeitpunkten, an denen der zyklische Interrupt auftritt, und den Zeitpunkten, an denen die Magnetsegment-Sensor-Kombinationen wechseln. Stationär dreht der EC-Motor 14 genau doppelt so schnell wie die Kurbelwelle 12. In der Regel unterscheiden sich die Zeitpunkte, an denen der zyklische Interrupt auftritt, von den Zeitpunkten, an denen die Magnetsegment-Sensor-Kombinationen wechseln. In Abb. 2 treten z.B. neun Wechsel der Magnetsegment-Sensor-Kombinationen innerhalb von acht Interruptzyklen auf, d.h. pro Interruptzyklus überstreicht der E-Motor einen Winkel von $(9/8) \cdot 8,57^\circ$. Da nur ein ganzzahliges Vielfaches von 8,57° im Steuergerät eingelesen wird, wird die Differenz zwischen wahrem Verstellwellendrehwinkel und dem im Steuergerät verarbeiteten Verstellwellendrehwinkel immer größer, bis bei einem zyklischen Interrupt ein Hallsensor-Puls mehr als sonst eingeht, und wahrer und gemessener Verstellwellendrehwinkel kurzzeitig wieder synchron sind.

35
[0047] Würde die relative Drehwinkellage $\Delta\varepsilon_{Rel}$ direkt aus dem Kurbelwellendrehwinkel $\varphi_{KW,TrigNW}$ und dem Verstellwellendrehwinkel $\varphi_{Em,TrigNW}$ berechnet, ergäben sich gemäß Gl. (1) Sprünge in der gemessenen Drehwinkellage $\Delta\varepsilon_{Rel}$, die etwa eine Größe von $\Delta\varepsilon = 2 \cdot \delta_{Em} / i_g = 0.29^\circ$ aufweisen und einen Reglereingriff verursachen würden. Dies ist speziell im stationären Betrieb unerwünscht.

40
[0048] Um die Höhe dieser Sprünge zu reduzieren oder sie sogar vollständig zu vermeiden, wird durch Extrapolation von jeweils mindestens zwei Verstellwellendrehwinkel-Messwerten ein Schätzwert für den Drehwinkel, den die Verstellwelle an Bezugszeitpunkt aufweist, der nach den Verstellwellen-Messzeitpunkten liegt. Als Bezugszeitpunkte werden einerseits die Zeitpunkte, an denen die Nockenwellen-Interrupts auftreten, und andererseits die Zeitpunkte, an denen die zyklischen Interrupts ausgelöst werden, gewählt.

45
[0049] Nachstehend wird die Extrapolation anhand von Fig. 3 erläutert. Zum Zeitpunkt t_{TrigNW} des Nockenwellen-Interrupt stehen der dem Verstellwellendrehwinkelwert entsprechende Zählerstand N_{TrigNW} der Messeinrichtung 17, die Zeit Δt_{TrigNW} sowie die Drehzahl $\omega_{Em,TrigNW}$ (vorzeichenbehaftet) beim letzten Wechsel der Magnetsegment-Sensor-Kombination zur Verfügung. Auf entsprechende Daten kann bei jedem zyklischen Interrupt t_i zugegriffen werden. Beispielsweise ist zur Zeit t_{18} der Zählerstand N_{t18} , die Differenzzeit Δt_{18} und die Drehzahl $\omega_{Em,t18}$ verfügbar.

50
[0050] Mit diesen Daten lässt sich der seit dem Auftreten des letzten Wechsels der der Magnetsegment-Sensor-Kombination überstrichene Winkel, und damit der EC-Motor- bzw. Verstellwellendrehwinkel beim Nockenwellentrigger und zum aktuellen Steuergeräteinterrupt t_j genauer als bisher bestimmen:

$$\varphi_{Em,TrigNW} = N_{TrigNW} \cdot \delta_{Em} + \Delta t_{TrigNW} \cdot \omega_{Em,TrigNW} \quad (2.1)$$

5

$$\varphi_{Em,t_i} = N_{t_i} \cdot \delta_{Em} + \Delta t_i \cdot \omega_{Em,t_i}$$

10 **[0051]** Der für die Berechnung des Phasenwinkels notwendige Differenzwinkel zum aktuellen Steuergeräteinterrupt t_i lautet dementsprechend:

15

$$\Delta\varphi_{Em,t_i} = \varphi_{Em,t_i} - \varphi_{Em,TrigNW} = (N_{t_i} - N_{TrigNW}) \cdot \delta_{Em} + [\Delta t_i \cdot \omega_{Em,t_i} - \Delta t_{TrigNW} \cdot \omega_{Em,TrigNW}]$$

20

[0052] Für die Extrapolation wird die aktuelle EC-Motordrehzahl benötigt. Sie kann am einfachsten aus der Zeitdauer Δt_{Hall} zwischen dem letzten und vorletzten Verstellwellen-Messzeitpunkt bzw. der Zeitdauer Δt_{Hall} zwischen dem letzten und vorletzten Wechsel der Magnetsegment-Sensor-Kombination gewonnen werden (diese Information steht ohne Zeitverzögerung direkt zur Verfügung). Zusammen mit dem Vorzeichen S der Zählrichtung ergibt sich:

25

$$\omega_{Em} = S \cdot \delta_{Em} / \Delta t_{Hall}$$

30

[0053] Diese Methode ist sehr einfach, kann jedoch stark schwankende Werte liefern, da die Zeiten Δt_{Hall} zwischen den Wechseln der Magnetsegment-Sensor-Kombination auch bei konstanter Drehzahl aufgrund von Fertigungstoleranzen sehr unregelmäßig sein können. Grundsätzlich ist zur Verbesserung des Ergebnisses eine Mittelung über mehrere Verstellwellendrehwinkelwerte möglich. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass der Mittelwert nur zeitverzögert berechnet werden kann, so dass bei Beschleunigung des EC-Motors 14 dieser Fehler in die Extrapolation einfließt. In dem Steuergeräteinterrupt wird die aktuelle Drehzahl ω_{Em} des EC-Motors 14 auch für die Regelung des Phasenwinkels berechnet.

35

[0054] Nachstehend wird anhand von Fig. 4 bis 7 erläutert, wie der Einfluss der durch die genannten Fertigungstoleranzen auftretenden Fehler auf die Drehwinkelage der Nockenwelle relativ zur Kurbelwelle ohne eine Zeitverzögerung reduziert werden kann.

40

[0055] Bei dem in Fig. 4 gezeigten Ausführungsbeispiel hat der Läufer acht Magnetsegmente 1..8, die in einem Raster von 45° in Umfangsrichtung eines Trägerteils 9, an dem die Magnetsegmente 1..8 fixiert sind, zueinander versetzt sind. Die Magnetsegmente 1..8 bilden am Umfang des Läufers jeweils einen Magnetpol, wodurch sich insgesamt über den Umfang eine Anzahl von p Polpaaren ergibt. In Fig. 4 ist dies beispielhaft für ein Läufer mit $p=4$ Polpaaren dargestellt. Auf dem durch die Magnetsegmente 1..8 gebildeten Ring wechselt die Magnetisierung also 8 mal pro Umdrehung ihre Richtung. Wie bereits erwähnt wurde, weisen die Magnetsegmente 1..8 sowohl hinsichtlich ihrer Lage auch hinsichtlich ihrer Abmessungen in Umfangsrichtung Toleranzen auf. Der mechanische Winkel α zwischen zueinander korrespondierenden Stellen zueinander benachbarter Magnetsegmente 1..8 kann also von dem Sollwert $180^\circ/p$ (hier: 45°) abweichen. Die Drehrichtung des Läufers ist in Fig. 4 mit dem Pfeil Pf angedeutet.

45

[0056] Das Ausgangssignal des Magnetfeldsensors A ändert sich jeweils bei einer Drehung des Läufers um den Winkel α . Mit Hilfe des Magnetfeldsensors A alleine könnte somit eine Auflösung des Läufers-Drehwinkels von α erreicht werden. Wie in Fig. 4 erkennbar ist, sind die Sensoren A, B, C am Umfang des Läufers versetzt zueinander angeordnet. Der Versatz ist derart gewählt, dass das mit Hilfe der Sensoren A, B, C detektierte Lagemesssignal eine Auflösung von $180^\circ/(p-m)$ aufweist. Dies wird dadurch erreicht, dass der Magnetfeldsensor B um einen mechanischen Winkel von $180^\circ/(m-p)$ zuzüglich eines ganzzahligen Vielfaches von $\beta=180^\circ/m$ gegenüber dem Magnetfeldsensor A und der Magnetfeldsensor C um das Doppelte dieses mechanischen Winkels gegenüber dem Magnetfeldsensor A in Vorwärtsdrehrichtung Pf versetzt ist.

50

[0057] In Fig. 5 ist ein Abschnitt des aus den Ausgangssignalen A', B', C' der Sensoren A, B, C zusammengesetzten Verstellwellendrehwinkelsignals für eine Rechtsdrehung in Richtung des Pfeils Pf graphisch dargestellt. Dabei ist das Ausgangssignal A' dem Magnetfeldsensor A, das Ausgangssignal B' dem Magnetfeldsensor B usw. zugeordnet. Bei den Ausgangssignalen A', B', C' handelt es sich um Digitalsignale, welche die logischen Werte 1 oder 0 annehmen können. Dabei tritt der Wert 1 auf, wenn dem betreffenden Sensor A, B, C ein Nordpol bildendes Magnetsegment 1..8 gegenüberliegt. In entsprechender Weise nimmt das Ausgangssignal A', B', C' den logischen Wert 0 an, wenn dem

betreffenden Sensor A, B, C ein einen Südpol bildendes Magnetsegment 1..8 gegenüberliegt.

[0058] Um die Zuordnung der einzelnen Werte eines Ausgangssignals zu den jeweils gerade an dem betreffenden Sensor A, B, C vorbeibewegten Magnetfeldabschnitt 1..8 zu verdeutlichen, ist an den Ausgangssignalwerten jeweils die Bezugszahl des betreffenden Magnetfeldabschnitts 1..8 wiedergegeben. In Fig. 5 sind unterhalb der Ausgangssignale auf den Abszissen jeweils der magnetische Drehwinkel $\varphi_{\text{magnetisch}}$ und der mechanische Drehwinkel $\varphi_{\text{mechanisch}}$ aufgetragen. Deutlich ist erkennbar, dass bei einer mechanischen Drehung von $360^\circ/p$ ($=90^\circ$) das Verstellwellendrehwinkelsignal nacheinander 2-m ($=6$) verschiedene Zustände annimmt, die sich danach wiederholen.

[0059] Das aus den Ausgangssignalen A', B' und C' zusammengesetzte Verstellwellendrehwinkelsignal wird zur Auswertung an das Steuergerät übermittelt, das mit den Magnetfeld-Sensoren A, B, C verbunden ist. Dem Steuergerät sind nur die Ausgangssignale A', B' und C' bekannt, nicht jedoch, welche Magnetsegmente 1..8 gerade an den Sensoren A, B, C vorbeibewegt werden.

[0060] In Fig. 5 ist erkennbar, dass immer eine der Magnetsegment-Sensor-Kombinationen gerade aktiv ist. In Fig. 5 sind dies von links nach rechts die Magnetsegment-Sensor-Kombinationen (1,6,3), (1,6,4), (1,7,4), (2,7,4), (2,7,5), (2,8,5) usw. Diese Abfolge von Magnetsegment-Sensor-Kombinationen wiederholt sich, nachdem 2-p Magnetsegmente 1..8 an einem Magnetfeld-Sensor A, B, C vorbeigelaufen sind, also nach einer mechanischen Voldrehung.

[0061] Durch Zählen der Wechsel, an denen das Lagemesssignal seinen Wert ändert, wird der Gesamtdrehwinkel des Läufers bestimmt. Ausgehend von einem Startwert wird der Gesamtwinkel bei jedem Wechsel inkrementiert.

[0062] Das so ermittelte Verstellwellendrehwinkelsignal wird zur Bildung eines Drehzahlsignals differenziert. Dies kann beispielsweise derart erfolgen, dass die Zeit Δt zwischen zwei Änderungen des Verstellwellendrehwinkelsignals gemessen und das Drehzahl ω wie folgt bestimmt wird:

$$\omega = \pi / (m \cdot p \cdot \Delta t) \quad [\text{rad/s}].$$

[0063] Aufgrund der Toleranzen der Magnetsegmente 1..8 ist das so ermittelte Drehzahlsignal $\omega_{\text{Mess},i}$ mit Fehlern behaftet, die beispielsweise bei konstanter tatsächlicher Drehzahl des Läufers dazu führen, dass das Drehzahlsignal Sprünge aufweist.

[0064] In dem Steuergerät werden die Magnetsegment-Sensor-Kombinationen von 1 bis 2-m-p durchnummeriert, so dass der Zählwert, der nachstehend kurz als "Index i" bezeichnet wird, hochläuft und bei Erreichen von 2-m-p dann auf 1 springt. Beim Einschalten des EC-Motors wird der Index i auf einen Startwert gesetzt, z.B. auf den Wert 1.

[0065] Für jede Magnetsegment-Sensor-Kombination wird nun ein Korrekturfaktor $F_{\text{Adap}}[i]$ ermittelt, der über den Index i dem entsprechenden Magnetsegment 1..8 zugeordnet wird. Dieser Korrekturfaktor $F_{\text{Adap}}[i]$ entspricht dem Verhältnis zwischen dem Drehzahlwert $\omega_{\text{Mess},i}$, der mit Hilfe des Verstellwellendrehwinkelsignals für die i-te Magnetsegment-Sensor-Kombination ermittelt wurde, und einem Referenzdrehzahlwert ω_{Ref} , von dem angenommen wird, dass er eine größere Genauigkeit aufweist als der Drehzahlwert $\omega_{\text{Mess},i}$. Die Korrekturfaktoren $F_{\text{Adap}}[i]$ werden in einem Datenspeicher des Steuergeräts abgelegt.

[0066] Mit Hilfe des Korrekturfaktors $F_{\text{Adap}}[i]$ wird für jeden Drehzahlwert $\omega_{\text{Mess},i}$ jeweils wie folgt ein korrigierter Drehzahlwert $\omega_{\text{Korr},i}$ ermittelt:

$$\omega_{\text{Korr},i} = \omega_{\text{Mess},i} / F_{\text{Adap}}[i],$$

[0067] Die Korrekturfaktoren $F_{\text{Adap}}[i]$ werden in einem Lernvorgang ermittelt. Beim Start des Lernvorgangs werden alle Korrekturfaktoren $F_{\text{Adap}}[i]$ jeweils auf den Wert 1 gesetzt, d.h. die korrigierte Drehzahl $\omega_{\text{Korr},i}$ entspricht zunächst der gemessenen Drehzahl $\omega_{\text{Mess},i}$. Während des Lernvorgangs werden die Korrekturfaktoren $F_{\text{Adap}}[i]$ auf einen Wertebereich zwischen 0,8 und 1,2 begrenzt, um bei einer eventuellen Fehladaptation, die in der Praxis nicht ganz auszuschließen ist, das Fehlermaß zu begrenzen.

[0068] Wie aus Fig. 6 ersichtlich ist, wird die folgende Sequenz immer dann durchlaufen, wenn eine Änderung des Verstellwellendrehwinkelsignals erkannt wird. Der aktuelle Zeitpunkt wird mit t bezeichnet.

A: Die Differenzzeit Δt zwischen dem letzten und dem aktuellen Wechsel der Magnetsegment-Sensor-Kombination wird gespeichert. Sie zeigt an, wie lange das Überstreichen der zuvor aktiven Magnetsegment-Sensor-Kombination gedauert hat. Auf den dieser Magnetsegment-Sensor-Kombination zugeordneten Messwert des Lagemesssignals zeigt der Index i, der jeweils am Ende Sequenz für den Aufruf der nächsten Sequenz angepasst wird.

B: Berechnung der unkorrigierten Drehzahl $\omega_{\text{Mess},i} = \pi / (m \cdot p \cdot \Delta t)$.

EP 1 630 363 B1

C: Filtern der unkorrigierten Drehzahl: Da die wahre Drehzahl ω_{True} unbekannt ist, wird das Referenzsignal für die Drehzahl durch Filterung der unkorrigierten Drehzahl gebildet. Das Ergebnis ω_{Ref} der Filterung stimmt relativ gut mit der tatsächlichen Geschwindigkeit vor T Sekunden überein, $\omega_{\text{Ref}}(t) \approx \omega_{\text{True}}(t-T)$. Dabei ist T die Verzögerungszeit des Filters, die von der Art und der Ordnung des Filters abweicht.

D: Überprüfen der Adaptionvoraussetzungen. Beispielsweise wird der Korrekturfaktor nicht adaptiert, wenn sich die Drehrichtung des Läufers geändert hat. Auch wird während einer Phase starker Beschleunigung und/oder Verzögerung des Läufers die Adaption des Korrekturfaktors ausgesetzt, da die gefilterte Drehzahl dann wahrscheinlich mit der tatsächlichen Drehzahl nicht genau übereinstimmt.

E: Der tatsächliche Korrekturfaktor zu der letzten Magnetsegment-Sensor-Kombination ergibt sich als Quotient aus der berechneten Drehzahl $\omega_{\text{Mess},i}(t)$ und dem wahren Drehzahlsignal $\omega_{\text{True}}(t)$,

$$F_{\text{True}}[i] = \omega_{\text{Mess},i}(t) / \omega_{\text{True}}(t)$$

Da die wahre Drehzahl ω_{True} nur mit einer Verzögerung T in Form der Referenzdrehzahl ω_{Ref} zur Verfügung steht, müssen alle anderen beteiligten Größen ebenfalls verzögert werden. Deshalb sind der Index i und die unkorrigierten Drehzahlwerte $\omega_{\text{Mess},i}$ in einem Schieberegister gespeichert, damit ihre Verzögerungswerte jetzt zur Verfügung stehen. Somit ergibt sich der Korrekturfaktor zu:

$$F[i(t-T)] = \omega_{\text{Mess},i}(t-T) / \omega_{\text{Ref}}(t).$$

F: Mittelwertbildung für den Korrekturfaktor: Der Korrekturfaktor F weist noch eine gewisse Ungenauigkeit auf, da der Drehzahl-Referenzwert ω_{Ref} mit dem tatsächlichen Drehzahlwert ω_{True} nur näherungsweise übereinstimmt. Bei den einzelnen Umdrehungen des Läufers werden deshalb jeweils neue Korrekturfaktoren ermittelt, wobei diese nach und nach für die jeweilige Magnetsegment—Sensor—Kombination ermittelten Korrekturfaktoren durch Bildung eines gleitenden Mittelwerts gemittelt werden:

$$F_{\text{Neu}}[i(t-T)] = \lambda F_{\text{Alt}}[i(t-T)] + (1-\lambda) F[i(t-T)]$$

Dabei bedeuten F_{Neu} der jeweils aktuelle Korrekturfaktor-Mittelwert, F_{Alt} der bei dem jeweils vorherigen Taktzyklus ermittelte Mittelwert und λ ein Vergessensfaktor, der zwischen 0 und 1 liegen kann. Je größer λ ist, desto länger werden vergangene Werte $\omega_{\text{Mess},i}(t)$ berücksichtigt.

G: Die Korrektur wird mit den aktuellen Werte i(t) und $\omega_{\text{Mess},1}(t)$ durchgeführt. Mit dem bis dahin adaptierten Korrekturfaktor F[i] wird der Messwert korrigiert:

$$\omega_{\text{Korr},i} = \omega_{\text{Mess}}(t) / F[i].$$

Die Korrektur des Drehzahlsignals wird mit Hilfe der zu der gerade zuvor überstrichenen Magnetsegment—Sensor—Kombination durchgeführt, während für die Adaption der Korrekturfaktoren F[i] ältere Werte verwendet werden.

H: Speichern von i und $\omega_{\text{Mess},i}$ in das Schieberegister, um später erneut auf diese Werte als Vergangenheitswerte zugreifen zu können.

J: Zur Vorbereitung der nächsten Sequenz wird anhand der alten Magnetsegment-Sensor-Kombination der Index i erhöht. Überschreitet der Index i dabei das Intervall [1 .. 2-p-m], so wird er auf 1 gesetzt. Der Index i benennt jetzt die aktuelle Magnetsegment-Sensor-Kombination.

turfaktor mit dem Index $i=5$ des zweiten Datensatzes, usw.

- 5 • In einem weiteren Schritt werden die Korrekturfaktoren des ersten Datensatzes um eine der doppelten Anzahl der Magnetfeld-Sensoren entsprechende Anzahl Schritte (also $2 \cdot p=6$ Schritte) relativ zu den Korrekturfaktoren des anderen Datensatzes zyklisch vertauscht und danach die jeweils einander zugeordneten Korrekturfaktoren der Datensätze miteinander verglichen. Dieser Schritt wird wiederholt, bis alle Vertauschungskombinationen bearbeitet wurden.
- 10 • Danach wird die Vertauschungskombination, bei der eine maximale Übereinstimmung zwischen den Korrekturfaktorsätzen erreicht wird, ermittelt. Mit dieser Vertauschungskombination wird jeweils aus den einander zugeordneten Korrekturfaktoren der Korrekturfaktorsätze ein Mittelwert gebildet und als neuer Korrekturfaktor gespeichert wird. Mit den so ermittelten neuen Korrekturfaktoren wird dann das Drehzahlmesssignal korrigiert.

15 **[0076]** Es muss also nicht $2 \cdot p \cdot m$ mal geschoben werden. Es muss lediglich herausgefunden werden, welche der p magnetischen Perioden am besten passt. Während der Zeit, in der die neuen Korrekturfaktoren adaptiert werden, wird die korrigierte Drehzahl entweder mit dem Faktor 1 oder mit den bis dahin neu adaptierten Korrekturfaktoren berechnet.

Bezugszeichenliste

20 **[0077]**

	1..8	Magnetsegment
	9	Trägerteil
	11	Nockenwelle
25	12	Kurbelwelle
	13	Verstellvorrichtung
	14	EC-Motor
	15	induktiver Sensor
	16	Zahnkranz
30	17	Messeinrichtung
	18	Hall-Sensor
	19	Triggerrad
	α	Winkel zwischen zwei Magnetsegmenten
	β	Winkel
35	A	Magnetfeldsensor
	B	Magnetfeldsensor
	C	Magnetfeldsensor
	A'	Ausgangssignal des Magnetfeldsensors A
	B'	Ausgangssignal des Magnetfeldsensors B
40	C'	Ausgangssignal des Magnetfeldsensors C
	Pf	Drehrichtung

Patentansprüche

- 45
1. Verfahren zum Bestimmen der Drehwinkellage der Nockenwelle (11) einer Hubkolben-Verbrennungsmaschine relativ zur Kurbelwelle (12), wobei die Kurbelwelle (12) über ein Verstellgetriebe mit der Nockenwelle (11) in Antriebsverbindung steht, das als Dreiwellengetriebe mit einer kurbelwellenfesten Antriebswelle, einer nockenwellenfesten Abtriebswelle und einer Verstellwelle ausgebildet ist, die mit einem Verstellmotors in Antriebsverbindung steht,
- 50 wobei für mindestens einen Kurbelwellen-Messzeitpunkt ein Messwert für den Kurbelwellendrehwinkel erfasst wird, wobei für wenigstens zwei Verstellwellen-Messzeitpunkte jeweils ein Messwert für den Verstellwellendrehwinkel digital erfasst wird, wobei für mindestens einen Bezugszeitpunkt, der nach den Kurbelwellen- und Verstellwellen-Messzeitpunkten liegt, anhand mindestens eines Kurbelwellendrehwinkel-Messwerts, mindestens eines Verstellwellendrehwinkel-Messwerts und einer Getriebekenngröße des Dreiwellengetriebes ein Wert für die Drehwinkellage
- 55 der Nockenwelle (11) relativ zur Kurbelwelle (12) bestimmt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** aus mindestens zwei Verstellwellendrehwinkel-Messwerten, dem Zeitunterschied zwischen den Verstellwellen-Messzeitpunkten sowie dem Zeitabstand zwischen dem letzten Verstellwellen-Messzeitpunkt und dem Bezugszeitpunkt ein Schätzwert für den Drehwinkel, den die Verstellwelle an dem Bezugszeitpunkt aufweist, extrapoliert wird, und dass anhand des

EP 1 630 363 B1

Schätzwerts, des mindestens einen Kurbelwellendrehwinkel-Messwerts und der Getriebekenngröße der Wert für die Drehwinkellage bestimmt wird.

- 5 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest für den jeweils letzten Verstellwellen-Messzeitpunkt ein Wert für die Winkelgeschwindigkeit der Verstellwelle ermittelt wird, und dass der Schätzwert für den Drehwinkel, den die Verstellwelle an dem Bezugszeitpunkt aufweist, aus dem letzten Verstellwellendrehwinkel-Messwert, der Zeitdifferenz zwischen dem Bezugszeitpunkt und dem letzten Verstellwellen-Messzeitpunkt sowie dem Winkelgeschwindigkeitswert bestimmt wird.
- 10 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Verstellmotor ein EC-Motor (14) ist, der einen Stator mit einer Wicklung und einem drehfest mit der Verstellwelle verbundenen Läufer hat, an dem in Umfangsrichtung zueinander versetzte, abwechselnd in zueinander entgegen gesetzte Richtungen magnetisierte Magnetsegmente (1..8) angeordnet sind, die Toleranzen hinsichtlich ihrer Positionierung und/ oder ihrer Abmessungen haben, dass zum Erfassen der Verstellwellendrehwinkel-Messwerte und/oder der Winkelgeschwindigkeitswerte die Lage der Magnetsegmente (1..8) relativ zu dem Stator detektiert wird, dass mindestens ein Korrekturwert zum Kompensieren des Einflusses wenigstens einer Toleranz auf die Verstellwellendrehwinkel-Messwerte erfasst wird, und dass die Verstellwellendrehwinkel-Messwerte und/ oder die Winkelgeschwindigkeitswerte mit Hilfe des Korrekturwerts korrigiert werden.
- 15 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Lage der Magnetsegmente (1..8) mit Hilfe einer Messeinrichtung (17) detektiert wird, die an dem Stator mehrere Magnetfeldsensoren aufweist, die derart in Umfangsrichtung des Stators zueinander versetzt angeordnet sind, dass pro Umdrehung des Läufers relativ zu dem Stator eine Anzahl von Magnetsegment-Sensor-Kombinationen durchlaufen wird, und dass für jede dieser Magnetsegment-Sensor-Kombinationen jeweils ein Korrekturwert ermittelt, gespeichert und zur Korrektur der Verstellwellendrehwinkel-Messwerte und/oder der Winkelgeschwindigkeitswerte verwendet wird.
- 20 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Läufer derart relativ zu dem Stator verdreht wird, dass eine Anzahl von Magnetsegment-Sensor-Kombinationen durchlaufen wird, dass mit Hilfe der Messeinrichtung (17) für diese Magnetsegment-Sensor-Kombinationen erste unkorrigierte Verstellwellendrehwinkel-Messwerte und/oder Winkelgeschwindigkeitswerte erfasst werden, dass zusätzlich Referenzwerte für den Verstellwellendrehwinkel und/oder die Winkelgeschwindigkeit erfasst werden, die eine größere Genauigkeit aufweist als das die ersten Verstellwellendrehwinkel-Messwerte bzw. Winkelgeschwindigkeitswerte, dass mit Hilfe der ersten unkorrigierten Verstellwellendrehwinkel-Messwerte bzw. Winkelgeschwindigkeitswerte die Korrekturwerte als Korrekturfaktoren bestimmt werden, dass die den ersten unkorrigierten Verstellwellendrehwinkel-Messwerten bzw. Winkelgeschwindigkeitswerten zugeordneten Magnetsegment-Sensor-Kombinationen erneut durchlaufen und dabei mit Hilfe der Messeinrichtung (17) zweite unkorrigierte Verstellwellendrehwinkel-Messwerte bzw. Winkelgeschwindigkeitswerte erfasst werden, und dass diese Werte mit Hilfe der zuvor ermittelten Korrekturfaktoren korrigiert werden.
- 25 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Referenzwerte dadurch gebildet werden, dass die ersten unkorrigierten Verstellwellendrehwinkel-Messwerte bzw. Winkelgeschwindigkeitswerte durch Filterung geglättet werden.
- 30 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Läufer derart relativ zu dem Stator verdreht wird, dass die einzelnen Magnetsegment-Sensor-Kombinationen mindestens zwei mal auftreten, dass dabei für die einzelnen Magnetsegment-Sensor-Kombinationen jeweils ein Korrekturfaktor für die Verstellwellendrehwinkel-Messwerte bzw. Winkelgeschwindigkeitswerte ermittelt wird, dass aus den für die einzelnen Magnetsegment-Sensor-Kombinationen ermittelten Korrekturfaktoren jeweils ein Mittelwert gebildet wird, und dass die so erhaltenen Mittelwerte als neue Korrekturfaktoren gespeichert und die Verstellwellendrehwinkel-Messwerte bzw. Winkelgeschwindigkeitswerte bei einem erneuten Durchlaufen der Magnetsegment-Sensor-Kombinationen mit Hilfe dieser Korrekturfaktoren korrigiert werden.
- 35 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Mittelwert jeweils der arithmetische Mittelwert gebildet wird.
- 40 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Mittelwert jeweils ein gleitender Mittelwert gebildet wird, vorzugsweise derart, dass das Gewicht, mit dem die Korrekturfaktoren in den Mittelwert eingehen, mit zunehmendem Alter der Korrekturfaktoren abnimmt.
- 45 50 55

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die gleitenden Mittelwerte $F_{\text{Neu}}[i(t-T)]$ für die einzelnen Magnetsegment-Sensor-Kombinationen zyklisch nach der Formel $F_{\text{Neu}}[i(t-T)] = \lambda F_{\text{Alt}}[i(t-T)] + (1-\lambda) F[i(t-T)]$ bestimmt werden, wobei i ein die jeweilige Magnetsegment-Sensor-Kombination identifizierender Index, t die Zeit, T eine Verzögerungszeit zwischen der tatsächlichen Winkelgeschwindigkeit und der gemessenen Winkelgeschwindigkeitswerten, $F_{\text{Alt}}[i(t-T)]$ der bei der letzten Mittelwertbildung am Index i ermittelte Mittelwert und λ ein Vergessensfaktor bedeuten, der größer als Null und kleiner als 1 ist und vorzugsweise im Intervall zwischen 0,7 und 0,9 liegt.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass**
- a) der Läufer relativ zu dem Stator verdreht und die Korrekturfaktoren für die einzelnen Magnetsegment-Sensor-Kombinationen ermittelt und gespeichert werden,
 - b) dass danach die entsprechenden Magnetsegment-Sensor-Kombinationen erneut durchlaufen werden, wobei ein Satz neuer Korrekturfaktoren ermittelt wird,
 - c) dass die Korrekturfaktoren des alten Korrekturfaktorsatzes relativ zu denen des neuen Korrekturfaktorsatzes zyklisch vertauscht und die Korrekturfaktorsätze danach miteinander verglichen werden,
 - d) dass Schritt c) wiederholt wird, bis alle Vertauschungskombinationen des alten Korrekturfaktorsatzes mit dem neuen Korrekturfaktorsatz verglichen wurden,
 - e) dass die Vertauschungskombination, bei der eine maximale Übereinstimmung mit dem neuen Korrekturfaktorsatz auftritt, ermittelt wird,
 - f) und dass mit der dieser Vertauschungskombination zugeordneten Anordnung der Korrekturwerte des alten Korrekturfaktorsatzes die Winkelgeschwindigkeitswerte korrigiert werden.
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** aus den bei der Vertauschungskombination, bei der eine maximale Übereinstimmung zwischen den Korrekturfaktorsätzen auftritt, jeweils einander zugeordneten Korrekturfaktoren des alten Korrekturfaktorsatzes und des neuen Korrekturfaktorsatzes jeweils ein Mittelwert gebildet und als neuer Korrekturfaktor gespeichert wird, und dass mit dem durch diese Mittelwertbildung erhaltenen Korrekturfaktorsatz die Winkelgeschwindigkeitswerte korrigiert werden.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet,**
- a) **dass** der Läufer derart relativ zu dem Stator verdreht wird, dass alle Magnetsegment-Sensor-Kombinationen mindestens einmal durchlaufen werden,
 - b) **dass** dabei ein Lagemesssignal der Magnetfeldsensoren derart generiert wird, dass pro Umdrehung des EC-Motors (14) für jedes Polpaar des Läufers jeweils eine Anzahl von Messsignal-Zuständen durchlaufen wird,
 - c) **dass** ein erster Datensatz mit einer der Anzahl der Magnetsegment-Sensor-Kombinationen entsprechenden Anzahl Wertekombinationen, jeweils bestehend zumindest aus einem Korrekturfaktor für die betreffende Magnetsegment-Sensor-Kombination und einem dieser zugeordneten Messsignal-Zustand, ermittelt und gespeichert wird,
 - d) **dass** danach die entsprechenden Magnetsegment-Sensor-Kombinationen erneut durchlaufen werden, wobei ein neuer, zweiter Datensatz mit Wertekombinationen ermittelt und gespeichert wird,
 - e) **dass** bei einer Abweichung zwischen den Messsignal-Zuständen des ersten und denen des zweiten Datensatzes die Wertekombinationen des ersten Datensatzes derart zyklisch relativ zu denen des zweiten Datensatzes verschoben werden, dass die Messsignal-Zustände der Datensätze übereinstimmen,
 - f) **dass** danach die jeweils einander zugeordneten Korrekturfaktoren der Datensätze miteinander verglichen werden,
 - g) **dass** die Korrekturfaktoren des einen Datensatzes um eine der doppelten Anzahl der Magnetfeldsensoren entsprechende Anzahl Schritte relativ zu den Korrekturfaktoren des anderen Datensatzes zyklisch vertauscht und danach die jeweils einander zugeordneten Korrekturfaktoren der Datensätze miteinander verglichen werden,
 - h) **dass** Schritt g) gegebenenfalls wiederholt wird, bis alle Vertauschungskombinationen bearbeitet wurden,
 - i) **dass** eine Vertauschungskombination, bei der eine maximale Übereinstimmung zwischen den Korrekturfaktoren der Datensätze auftritt, ermittelt wird,
 - j) und **dass** mit der dieser Vertauschungskombination zugeordneten Anordnung der Korrekturwerte des ersten Datensatzes die Winkelgeschwindigkeitswerte korrigiert werden.
14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** aus den bei der Vertauschungskombination, bei der eine maximale Übereinstimmung zwischen den Korrekturfaktoren der Datensätze auftritt, jeweils einander zu-

EP 1 630 363 B1

geordneten Korrekturfaktoren des ersten und zweiten Datensatzes jeweils ein Mittelwert gebildet und als neuer Korrekturfaktor gespeichert wird, und dass mit dem durch diese Mittelwertbildung erhaltenen Korrekturfaktorsatz die Winkelgeschwindigkeitswerte korrigiert werden.

- 5 15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schwankungsweiten der unkorrigierten Winkelgeschwindigkeitswerte und der korrigierten Winkelgeschwindigkeitswerte in einem Zeitfenster ermittelt und miteinander verglichen werden, und dass für den Fall, dass die Schwankungsweite der korrigierten Winkelgeschwindigkeitswerte größer ist als die der unkorrigierten Winkelgeschwindigkeitswerte, die Korrekturfaktoren neu ermittelt und/oder die Zuordnung der Korrekturfaktoren zu den Magnetsegment-Sensor-Kombinationen wiederhergestellt wird.
- 10 16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Korrekturfaktoren auf einen vorgegebenen Wertebereich begrenzt werden, der vorzugsweise zwischen 0,8 und 1,2 beträgt.
- 15 17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Trägheitsmomentwert für das Massenträgheitsmoment des Läufers bestimmt wird, dass ein Stromsignal I erfasst wird, indem für die einzelnen Verstellwellen-Messzeitpunkte jeweils ein Stromwert $I(k)$ für den elektrischen Strom in der Wicklung bestimmt wird, dass für die einzelnen Winkelgeschwindigkeitswerte $\omega(k)$ jeweils aus einem einem früheren Verstellwellen-Messzeitpunkt zugeordneten Winkelgeschwindigkeitswert $\omega_k(k-1)$, dem Stromsignal I und dem Trägheitsmomentwert ein Schätzwert $\omega_s(k)$ für den Winkelgeschwindigkeitswert $\omega(k)$ bestimmt wird, dass diesem Schätzwert $\omega_s(k)$ ein Toleranzband zugeordnet wird, in dem der Schätzwert $\omega_s(k)$ enthalten ist, und dass für den Fall, dass der Winkelgeschwindigkeitswert $\omega(k)$ außerhalb des Toleranzbands liegt, der Winkelgeschwindigkeitswert $w(k)$ durch einen innerhalb des Toleranzbands befindlichen Winkelgeschwindigkeitswert $\omega_k(k)$ ersetzt wird.
- 20 25 18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Läufer mit einem Lastmoment belastet wird, dass für das Lastmoment ein Lastmomentsignal M_L bereitgestellt wird, und dass der Schätzwert $\omega_s(k)$ jeweils aus dem dem früheren Abtastzeitpunkt zugeordneten Winkelgeschwindigkeitswert $\omega_k(k-1)$, dem Stromsignal I , dem Lastmomentsignal M_L und dem Trägheitsmomentwert bestimmt wird.
- 30 19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** die an der Wicklung anliegende elektrische Spannung erfasst wird, und dass die Stromwerte $I(k)$ indirekt aus der Spannung, der Impedanz der Wicklung, den gegebenenfalls korrigierten Winkelgeschwindigkeitswerten $\omega_k(k)$ und einer Motorkonstanten bestimmt werden.
- 35 20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Toleranzband durch Randwerte begrenzt ist, und dass Winkelgeschwindigkeitswerte $w(k)$, die außerhalb des Toleranzbands liegen, auf den ihnen am nächsten liegenden Randwert des Toleranzbands korrigiert werden.
- 40 21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Breite und/oder Lage des Toleranzbands in Abhängigkeit von dem dem früheren Verstellwellen-Messzeitpunkt zugeordneten Winkelgeschwindigkeitswert $\omega_k(k-1)$ gewählt wird und vorzugsweise mit zunehmender Winkelgeschwindigkeit reduziert und/oder mit abnehmender Winkelgeschwindigkeit vergrößert wird.
- 45 22. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Breite und/oder Lage des Toleranzbands in Abhängigkeit von dem Stromsignal I gewählt wird und vorzugsweise mit zunehmendem Strom vergrößert und/oder mit abnehmendem Strom reduziert wird.
- 50 23. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 22, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Stromsignal I durch Filterung, insbesondere durch eine gleitende Mittelwertbildung, geglättet wird, und dass die Schätzwerte $\omega_s(k)$ für die Winkelgeschwindigkeitswerte $w(k)$ mit Hilfe des gefilterten Stromsignals I bestimmt werden.
- 55 24. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 23, **dadurch gekennzeichnet, dass** jeweils aus mindestens zwei Kurbelwellendrehwinkel-Messwerten, dem Zeitunterschied zwischen den diesen Messwerten zugeordneten Kurbelwellendrehwinkel-Messzeitpunkten sowie dem Zeitabstand zwischen dem letzten Kurbelwellen-Messzeitpunkt und dem Bezugszeitpunkt ein Schätzwert für den Drehwinkel, den die Kurbelwelle (12) an dem Bezugszeitpunkt aufweist, extrapoliert wird, dass die Zeitdifferenz zwischen dem Bezugszeitpunkt und dem letzten Kurbelwellen-Messzeitpunkt ermittelt wird, und dass der Schätzwert aus dem Kurbelwellendrehwinkel-Messwert am letzten Kur-

belwellen-Messzeitpunkt, der Zeitdifferenz und dem Winkelgeschwindigkeitswert bestimmt wird.

Claims

- 5
1. Method for determining the rotational angle position of the camshaft (11) of a reciprocating piston internal combustion engine in relation to the crankshaft (12), wherein the crankshaft (12) has a drive connection to the camshaft (11) via an adjustable mechanism which is embodied as a triple shaft gear mechanism with a drive shaft which is fixed to the crankshaft, an output shaft which is fixed to the camshaft and an adjustment shaft which has a drive connection to an adjustment motor, wherein a measured value for the crankshaft rotational angle is registered for at least one measuring time for the crankshaft, wherein a measured value for the adjustment shaft rotational angle is digitally recorded for each of at least two measuring times for the adjustment shaft, wherein, for at least one reference time which follows the measuring times for the crankshaft and the adjustment shaft, a value for the rotational angle position of the camshaft (11) in relation to the crankshaft (12) is determined by means of at least one measured value for a crankshaft rotational angle, at least one measured value for an adjustment shaft rotational angle and one gear mechanism characteristic variable of the triple shaft gear mechanism, **characterized in that** an estimated value for the rotational angle which the adjustment shaft has at the reference time is extrapolated from at least two measured values for the adjustment shaft rotational angle, the time difference between the measuring times for the adjustment shaft, the time difference between the last measuring time for the adjustment shaft and the reference time, and **in that** the value for the rotational angle position is determined by means of the estimated value of the at least one measured value for the crankshaft rotational angle and the gear mechanism characteristic variable.
- 10
- 15
- 20
2. Method according to Claim 1, **characterized in that** a value for the angular speed of the adjustment shaft is acquired at least for the respectively last measuring time for the adjustment shaft, and **in that** the estimated value for the rotational angle which the adjustment shaft has at the reference time is determined from the last measured value for the adjustment shaft rotational angle, the time difference between the reference time and the last measuring time for the adjustment shaft and the angular speed value.
- 25
3. Method according to Claim 1 or 2, **characterized in that** the adjustment motor is an EC motor (14) which has a stator with a winding and a rotor which is connected in a rotationally fixed fashion to the adjustment shaft and at which magnet segments (1..8) are arranged which are offset with respect to one another in the circumferential direction, are alternately magnetized in opposite directions and have tolerances with respect to their positioning and/or the dimensions, **in that**, in order to register the measured values for the adjustment shaft rotational angle and/or the angular speed values, the position of the magnet segments (1..8) in relation to the stator is detected, **in that** at least one correction value for compensating the influence of at least one tolerance on the measured values of the adjustment shaft rotational angle is registered, and **in that** the measured values for the adjustment shaft rotational angle and/or the angular speed values are corrected using the correction value.
- 30
- 35
4. Method according to one of Claims 1 to 3, **characterized in that** the position of the magnet segments (1..8) is detected using a measuring device (17) which has a plurality of magnetic field sensors on the stator, which magnetic field sensors are arranged offset with respect to one another in the circumferential direction of the stator in such a way that, per revolution of the rotor in relation to the stator, a number of magnet segment/sensor combinations is run through, and **in that** for each of these magnet segment/sensor combinations in each case a correction value is acquired, stored and used to correct the measured values for the adjustment shaft rotational angle and/or the angular speed values.
- 40
- 45
5. Method according to one of Claims 1 to 4, **characterized in that** the rotor is rotated in relation to the stator in such a way that a number of magnet segment/sensor combinations is run through, that first uncorrected measurement values for the adjustment shaft rotational angle and/or angular speed values are registered for these magnet segment/sensor combinations using the measuring device (17), **in that** in addition reference values for the adjustment shaft rotational angle and/or the angular speed are registered which have a greater accuracy than the first measured values for the adjustment shaft rotational angle or angular speed values, **in that** the correction values are determined as correction factors using the first uncorrected measured values for the adjustment shaft rotational angle and/or angular speed values, **in that** the magnet segment/sensor combinations which are assigned to the first uncorrected measured values for the adjustment shaft rotational angle and/or angular speed values are run through again and in the process second uncorrected measured values for the adjustment shaft rotational angle and/or angular speed values are registered using the measuring device (17), and **in that** these values are corrected using the previously acquired correction factors.
- 50
- 55

6. Method according to one of Claims 1 to 5, **characterized in that** the reference values are formed by virtue of the fact that the first uncorrected measured values for the adjustment shaft rotational angle and/or angular speed values are smoothed by filtering.
- 5 7. Method according to one of Claims 1 to 6, **characterized in that** the rotor is rotated in relation to the stator in such a way that the individual magnet segment/sensor combinations occur at least twice, **in that** in the process in each case a correction factor for the measured values for the adjustment shaft rotational angle and/or angular speed values is acquired for the individual magnet segment/sensor combinations, **in that** in each case a mean value is formed from the correction factors acquired for the individual magnet segment/sensor combinations, and **in that** the mean values which are obtained in this way are stored as new correction factors and the measured values for the adjustment shaft rotational angle and angular speed values are corrected using these correction factors when the magnet segment/sensor combinations are run through again.
- 10 8. Method according to one of Claims 1 to 7, **characterized in that** in each case the arithmetic mean value is formed as a mean value.
- 15 9. Method according to one of Claims 1 to 8, **characterized in that** in each case a sliding mean value is formed as the mean value, preferably in such a way that the weighting with which the correction factors are included in the mean value decreases as the age of the correction factors increases.
- 20 10. Method according to one of Claims 1 to 9, **characterized in that** the sliding mean values $F_{\text{Neu}}[i(t-T)]$ for the individual magnet segment/sensor combinations are determined cyclically according to the formula $F_{\text{Neu}}[i(t-T)] = \lambda F_{\text{Alt}}[i(t-T)] + (1-\lambda)F[i(t-T)]$, wherein i is an index which identifies the respective magnet segment/sensor combination, t is the time, T is a delay between the actual angular speed and the measured angular speed values, $F_{\text{Alt}}[i(t-T)]$ is the mean value acquired during the last formation of a mean value at the index i and λ is a weighting factor which is greater than 0 and less than 1, and preferably in the interval between 0.7 and 0.9.
- 25 11. Method according to one of Claims 1 to 12, **characterized**
- 30 a) **in that** the rotor rotates in relation to the stator and the correction factors for the individual magnet segment/sensor combinations are acquired and are stored,
 b) **in that** the corresponding magnet segment/sensor combinations are then run through again, with a set of new correction factors being acquired,
 c) **in that** the correction factors of the old correction factor set are interchanged cyclically in relation to those of the new correction factor set, and the correction factor sets are then compared with one another,
 35 d) **in that** step c) is repeated until all the interchange combinations of the old correction factor set have been compared with the new correction factor set,
 e) **in that** the interchange combination at which there is maximum correspondence with the new correction factor set is acquired,
 40 f) and **in that** the angular speed values are corrected using the arrangement, assigned to this interchange combination, of the correction values of the old correction factor set.
12. Method according to Claim 11, **characterized in that** a mean value is formed from each of the correction factors of the old correction factor set and of the new correction factor set which are assigned to one another in the interchange combination at which there is maximum correspondence between the correction factor sets, and said mean value is stored as a new correction factor, and **in that** the angular speed values are corrected with the correction factor set which is obtained through this formation of mean values.
- 45 13. Method according to one of Claims 1 to 12, **characterized**
- 50 a) **in that** the rotor is rotated in relation to the stator in such a way that all the magnet segment/sensor combinations are run through at least once,
 b) **in that** in the process a position measuring signal of the magnet field sensors is generated in such a way that per revolution of the EC motor (14) for each pair of poles of the rotor a number of measurement signal states is run through in each case,
 55 c) **in that** a first data record with a number of value combinations which correspond to the number of magnet segment/sensor combinations, composed in each case at least of a correction factor for the respective magnet segment/sensor combination and a measurement signal state which is assigned thereto, is acquired and stored,

- d) **in that** the corresponding magnet segment/sensor combinations are then run through again, wherein a new second data record with value combinations is acquired and stored,
- e) **in that**, when there is a deviation between the measurement signal states of the first data record and those of the second data record, the value combinations of the first data record are shifted cyclically in relation to those of the second data record in such a way that the measurement signal states of the data records correspond,
- f) **in that** the correction factors of the data records which are respectively assigned to one another are then compared with one another,
- g) **in that** the correction factors of one of the data records is interchanged cyclically in relation to the correction factors of the other data record by a number of steps corresponding to twice the number of magnet field sensors, and the correction factors of the data records which are respectively assigned to one another are then compared with one another,
- h) **in that** step g) is possibly repeated until all the interchange combinations have been processed,
- i) **in that** an interchange combination at which there is maximum correspondence between the correction factors of the data records is acquired,
- j) and **in that** the angular speed values are corrected with the arrangement, assigned to this interchange combination, of the correction values of the first data record.
14. Method according to Claim 13, **characterized in that** a mean value is formed for each of the correction factors of the first and second data records which are respectively assigned to one another in the interchange combination in which there is maximum correspondence between the correction factors of the data records, and said mean value is stored as a new correction factor, and **in that** the angular speed values are corrected with the correction factor set which is obtained by this formation of mean values.
15. Method according to one of Claims 1 to 14, **characterized in that** the fluctuation ranges of the uncorrected angular speed values and of the corrected angular speed values are acquired in a time window and compared with one another, and **in that**, if the fluctuation range of the corrected angular speed values is greater than that of the uncorrected angular speed values, the correction factors are newly acquired and/or the assignment of the correction factors to the magnet segment/sensor combinations is restored.
16. Method according to one of Claims 1 to 15, **characterized in that** the correction factors are limited to a predefined value range which is preferably between 0.8 and 1.2.
17. Method according to one of Claims 1 to 16, **characterized in that** a value for the moment of inertia is determined for the moment of mass inertia of the rotor, **in that** a current signal I is measured by determining in each case a current value $I(k)$ for the electric current in the winding for the individual measuring times for the adjustment shaft, and **in that** an estimated value $\omega_s(k)$ for the angular speed value $\omega(k)$ is determined for the individual angular speed values $\omega(k)$, in each case from an angular speed value $\omega_k(k-1)$ assigned to an earlier measuring time for the adjustment shaft, from the current signal I and from the value for the moment of inertia, **in that** a tolerance band which contains the estimated value $\omega_s(k)$ is assigned to this estimated value $\omega_s(k)$, and **in that**, if the angular speed value $\omega(k)$ is outside the tolerance band, the angular speed value $\omega(k)$ is replaced by an angular speed value $\omega_k(k)$ which is within the tolerance band.
18. Method according to one of Claims 1 to 17, **characterized in that** the rotor is loaded with a load torque, **in that** a load torque signal M_L is made available for the load torque, and **in that** the estimated value $\omega_s(k)$ is determined in each case from the angular speed value $\omega_k(k-1)$ which is assigned to the earlier sampling time, the current signal I , the load torque signal M_L and the value for the moment of inertia.
19. Method according to one of Claims 1 to 18, **characterized in that** the electric voltage which is applied to the winding is measured, and **in that** the current values $I(k)$ are determined indirectly from the voltage, the impedance of the winding, the angular speed values $\omega_k(k)$, which are if appropriate corrected, and an engine constant.
20. Method according to one of Claims 1 to 19, **characterized in that** the tolerance band is limited by edge values, and **in that** angular speed values $\omega(k)$ which are outside the tolerance band are corrected to the edge value, which is closest to them of the tolerance band.
21. Method according to one of Claims 1 to 20, **characterized in that** the width and/or position of the tolerance band are/is selected as a function of the angular speed value $\omega_k(k-1)$ which is assigned to the earlier measuring time for the adjustment shaft, and is/are preferably reduced as the angular speed rises and/or increased as the angular

speed decreases.

22. Method according to one of Claims 1 to 21, **characterized in that** the width and/or position of the tolerance band are/is selected as a function of the current signal I and are/is preferably increased as the current rises and/or reduced as the current decreases.

23. Method according to one of Claims 1 to 22, **characterized in that** the current signal I is smoothed by filtering, in particular by forming sliding mean values, and **in that** the estimated values $\omega_s(k)$ for the angular speed values $\omega(k)$ are determined using the filtered current signal I.

24. Method according to one of Claims 1 to 23, **characterized in that** an estimated value for the rotational angle which the crankshaft (12) has at the reference time is extrapolated in each case from at least two measured values for the crankshaft rotational angle, the time difference between the measuring times for the crankshaft rotational angles which are assigned to these measured values and the time difference between the last measuring time for the crankshaft and the reference time, **in that** the time difference between the reference time and the last measuring time for the crankshaft is acquired, and **in that** the estimated value is determined from the measured value for the crankshaft rotational angle at the last measuring time for the crankshaft, from the time difference and from the angular speed value.

Revendications

1. Procédé pour déterminer la position d'angle de rotation de l'arbre à cames (11) d'un moteur à combustion interne à piston alternatif par rapport au vilebrequin (12), le vilebrequin (12) étant en liaison d'entraînement avec l'arbre à cames (11) par l'intermédiaire d'une boîte ajustable, qui est conçue sous la forme d'une boîte à trois arbres avec un arbre primaire stationnaire sur le vilebrequin, un arbre de sortie stationnaire sur l'arbre à cames et un arbre d'ajustage, qui est en liaison d'entraînement avec un moteur d'ajustage, pour au moins un moment de mesure sur le vilebrequin, une valeur mesurée pour l'angle de rotation du vilebrequin étant détectée, pour au moins deux moments de mesure sur l'arbre d'ajustage, chaque fois une valeur mesurée pour l'angle de rotation de l'arbre d'ajustage étant détectée de façon numérique, pour au moins un moment de référence, qui est postérieur aux moments de mesure sur le vilebrequin et sur l'arbre d'ajustage, à l'aide d'au moins une valeur mesurée pour l'angle de rotation du vilebrequin, d'au moins une valeur mesurée pour l'angle de rotation de l'arbre d'ajustage et d'une valeur caractéristique de la boîte à trois arbres, une valeur étant déterminée pour la position d'angle de rotation de l'arbre à cames (11) par rapport au vilebrequin (12), **caractérisé en ce que**, à partir d'au moins deux valeurs mesurées pour l'angle de rotation de l'arbre d'ajustage, de la différence de temps entre les moments de mesure sur l'arbre d'ajustage et de l'intervalle de temps entre le dernier moment de mesure sur l'arbre d'ajustage et le moment de référence, une valeur estimative est extrapolée pour l'angle de rotation que l'arbre d'ajustage présente au moment de référence, et **en ce que**, à l'aide de la valeur estimative, de l'au moins une valeur mesurée pour l'angle de rotation du vilebrequin et de la valeur caractéristique de la boîte, la valeur pour la position d'angle de rotation est déterminée.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'**au moins pour le dernier moment de mesure respectif sur l'arbre d'ajustage, une valeur est déterminée pour la vitesse angulaire de l'arbre d'ajustage et **en ce que** la valeur estimative pour l'angle de rotation que l'arbre d'ajustage présente au moment de référence est déterminée à partir de la dernière valeur mesurée pour l'angle de rotation de l'arbre d'ajustage, de la différence de temps entre le moment de référence et le dernier moment de mesure sur l'arbre d'ajustage, ainsi que de la valeur de vitesse angulaire.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le moteur d'ajustage est un moteur EC (14) qui dispose d'un stator avec un enroulement et avec un induit relié de façon solidaire en rotation avec l'arbre d'ajustage, sur lequel en direction périphérique sont disposés des segments d'aimants (1 ... 8) déportés les uns par rapport aux autres, aimantés en alternance dans des directions mutuellement opposées, qui présentent des tolérances au niveau de leur positionnement et/ou de leurs dimensions, **en ce que** pour la détection des valeurs mesurées pour l'angle de rotation de l'arbre d'ajustage et/ou des valeurs de vitesse angulaire, la position des segments d'aimants (1 ..8) par rapport au stator est détectée, **en ce qu'**au moins une valeur de correction pour la compensation de l'influence d'au moins une tolérance sur les valeurs mesurées pour l'angle de rotation de l'arbre d'ajustage est détectée et **en ce que** les valeurs mesurées pour l'angle de rotation de l'arbre d'ajustage et/ou les valeurs de vitesse angulaire sont corrigées à l'aide de la valeur de correction.

EP 1 630 363 B1

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** la position des segments d'aimants (1..8) est détectée à l'aide d'un dispositif de mesure (17) qui, sur le stator comporte plusieurs capteurs de champ magnétique, qui sont disposés en étant déportés les uns par rapport aux autres dans la direction périphérique du stator de sorte que, pour chaque rotation de l'induit par rapport au stator, un nombre de combinaisons de segment d'aimant/capteur est passé, et **en ce que** pour chacune desdites combinaisons de segment d'aimant/capteur on détermine, on mémorise et on utilise pour la correction des valeurs mesurées pour l'angle de rotation de l'arbre d'ajustage et/ou pour les valeurs de vitesse angulaire chaque fois une valeur de correction.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que**, l'induit se tourne par rapport au stator de sorte qu'un nombre de combinaisons segment d'aimant/capteur soit passé, **en ce qu'**à l'aide du dispositif de mesure (17) des premières valeurs mesurées pour l'angle de rotation de l'arbre d'ajustage et/ou des valeurs de vitesse angulaire non corrigées sont détectées pour lesdites combinaisons de segment d'aimant/capteur, **en ce que** en supplément, des valeurs de référence pour l'angle de rotation de l'arbre d'ajustage et/ou pour la vitesse angulaire sont détectées, qui font preuve d'une plus grande précision que les premières valeurs mesurées pour l'angle de rotation de l'arbre d'ajustage ou valeurs de vitesse angulaire non corrigées, **en ce qu'**à l'aide des premières valeurs mesurées pour l'angle de rotation de l'arbre d'ajustage ou des valeurs de vitesse angulaire non corrigées, les valeurs de correction sont déterminées en tant que coefficients de correction, **en ce que** les combinaisons de segment d'aimant/capteur associées aux premières valeurs mesurées pour l'angle de rotation de l'arbre d'ajustage, ou valeurs de vitesse angulaire non corrigées sont passées une fois encore et à cet effet, à l'aide du dispositif de mesure (17) des deuxièmes valeurs mesurées pour l'angle de rotation de l'arbre d'ajustage ou valeurs de vitesse angulaire non corrigées sont détectées et **en ce que** lesdites valeurs sont corrigées à l'aide des coefficients de correction précédemment déterminés.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** les valeurs de référence sont créées **en ce qu'**on lisse par filtrage les premières valeurs mesurées pour l'angle de rotation de l'arbre d'ajustage ou valeurs de vitesse angulaire non corrigées.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** l'induit se tourne par rapport au stator de sorte que les combinaisons individuelles segment d'aimant/capteur se présentent au moins deux fois, **en ce qu'**à cet effet, pour les combinaisons individuelles segment d'aimant/capteur chaque fois un coefficient de correction est déterminé pour les valeurs mesurées pour l'angle de rotation de l'arbre d'ajustage, respectivement pour les valeurs de vitesse angulaire, **en ce qu'**à partir des coefficients de correction déterminés pour les combinaisons individuelles segment d'aimant/capteur, une valeur moyenne est chaque fois formée, et **en ce que** les valeurs moyennes ainsi obtenues sont mémorisées en tant que nouveaux coefficients de correction, et **en ce que** les valeurs mesurées pour l'angle de rotation de l'arbre d'ajustage ou les valeurs de vitesse angulaire sont corrigées à l'aide desdits coefficients de correction, lors d'un nouveau passage des combinaisons segment d'aimant/capteur.
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** chaque fois la valeur arithmétique moyenne est formée en tant que valeur moyenne.
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce qu'**en tant que valeur moyenne, il est formé chaque fois une valeur moyenne mobile, de préférence de sorte que le poids, avec lequel les coefficients de correction se répercutent sur la valeur moyenne décroisse au fur et à mesure de l'avancement en ancienneté des coefficients de correction.
10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que** les valeurs moyennes mobiles $F_{\text{Nouv}}[i(t-T)]$ pour les combinaisons individuelles segment d'aimant/capteur sont déterminées de façon cyclique selon la formule $F_{\text{Nouv}}[i(t-T)] = \lambda F_{\text{Anc}}[i(t-T)] + (1-\lambda) F[i(t-T)]$, i étant un indice identifiant la combinaison respective segment d'aimant/capteur, t étant le temps, T étant une temporisation entre la vitesse angulaire réelle et les valeurs mesurées pour la vitesse angulaire, $F_{\text{Anc}}[i(t-T)]$ étant la valeur moyenne déterminée sur l'indice i lors du dernier calcul de la valeur moyenne et λ étant un coefficient d'oubli, qui est supérieur à zéro et inférieur à 1 et qui se situe de préférence dans l'intervalle entre 0,7 et 0,9.
11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, **caractérisé en ce que**
- a) l'induit se tourne par rapport au stator et les coefficients de correction sont déterminés et mémorisés pour les combinaisons individuelles segment d'aimant/capteur,
 - b) **en ce qu'**ensuite, les combinaisons correspondantes segment d'aimant/capteur sont passées une nouvelle

EP 1 630 363 B1

fois, un jeu de nouveaux coefficients de correction étant déterminé,

c) **en ce que** les coefficients de correction de l'ancien jeu de coefficients de correction sont cycliquement échangés contre ceux du nouveau jeu de coefficients de correction et **en ce que** les jeux de coefficients de correction sont ensuite comparés entre eux,

d) **en ce que** l'étape c) se répète jusqu'à ce que toutes les combinaisons de permutation de l'ancien jeu de coefficients de correction aient été comparées avec le nouveau jeu de coefficients de correction,

e) **en ce que** la combinaison de permutation, présentant une concordance maximum avec le nouveau jeu de coefficients de correction est déterminée,

f) et **en ce que** les valeurs de vitesse angulaire sont corrigées avec la structure des valeurs de correction de l'ancien jeu de coefficients de correction qui est affectée à cette combinaison de permutation.

12. Procédé selon la revendication 11, **caractérisé en ce qu'**à partir des coefficients de correction de l'ancien jeu de coefficients de correction et du nouveau jeu de coefficients de correction, respectivement mutuellement affectés lors de la combinaison de permutations au cours de laquelle il se produit une concordance maximale entre les jeux de coefficients de correction, il est calculé chaque fois une valeur moyenne qui est mémorisée en tant que nouveau coefficient de correction et **en ce qu'**avec le jeu de coefficients de correction obtenu par ledit calcul de la valeur moyenne, les valeurs de vitesse angulaire sont corrigées.

13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, **caractérisé en ce que**,

a) l'induit se tourne par rapport au stator de sorte que toutes les combinaisons segment d'aimant/capteur soient passées au moins une fois,

b) **en ce qu'**à cet effet, un signal de mesure de position des capteurs de champ magnétique est généré de sorte que, par rotation du moteur EC (14) pour chaque paire de pôles de l'induit, chaque fois un nombre d'états de signaux de mesure est passé,

c) **en ce qu'**un premier jeu de données, avec un nombre de combinaisons de valeurs correspondant au nombre de combinaisons segment d'aimant/capteur, consistant chacune en au moins un coefficient de correction pour la combinaison segment d'aimant/capteur concernée et un état de signal de mesure correspondant à cette dernière est déterminé et mémorisé,

d) **en ce qu'**ensuite, les combinaisons correspondantes segment d'aimant/capteur sont passées une nouvelle fois, un nouveau, deuxième jeu de données avec des combinaisons de valeurs étant déterminé et mémorisé,

e) **en ce que**, lors d'un écart entre les états des signaux de mesure du premier et du deuxième jeu de données, les combinaisons de valeurs du premier jeu de données sont déplacées cycliquement par rapport à celles du deuxième jeu de données, de sorte que les états de signaux de mesure des jeux de données concordent,

f) **en ce qu'**ensuite, les coefficients de correction chaque fois mutuellement affectés des jeux de données sont comparés entre eux,

g) **en ce que** les coefficients de correction d'un jeu de données sont échangés cycliquement d'un nombre d'étapes correspondant au double du nombre des capteurs de champ magnétique par rapport aux coefficients de correction de l'autre jeu de données et ensuite les coefficients de correction respectivement affectés les uns aux autres des jeux de données sont comparés entre eux,

h) **en ce que** l'étape g) se répète le cas échéant, jusqu'à ce que toutes les combinaisons de permutations aient été traitées,

i) **en ce qu'**une combinaison de permutations est déterminée, avec laquelle il se présente une concordance maximale entre les coefficients de correction des jeux de données,

j) et **en ce que** les valeurs de vitesse angulaire sont corrigées avec la structure des valeurs de correction du premier jeu de données qui est affectée à cette combinaison de permutations.

14. Procédé selon la revendication 13, **caractérisé en ce qu'**à partir des coefficients de correction du premier et du deuxième jeu de données respectivement mutuellement affectés lors de la combinaison de permutations, au cours de laquelle il se produit une concordance maximale entre les coefficients de correction des jeux de données, il est calculé chaque fois une valeur moyenne qui est mémorisée en tant que nouveau coefficient de correction, et **en ce que** les valeurs de vitesse angulaire sont corrigées avec le jeu de coefficients de correction obtenu par ce calcul de la valeur moyenne.

15. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, **caractérisé en ce que** les amplitudes de variation des valeurs de vitesse angulaire non corrigées et des valeurs de vitesse angulaire corrigées sont déterminées dans une fenêtre de temps et comparées les unes aux autres, et **en ce que** dans le cas où l'amplitude de variation des valeurs de vitesse angulaire corrigées est supérieure à celle des valeurs de vitesse angulaire non corrigées, les

coefficients de correction sont redéterminés et/ou l'affectation des coefficients de correction aux combinaisons segment d'aimant/capteur est réétablie.

- 5 16. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 15, **caractérisé en ce que** les coefficients de correction sont limités à une plage de valeurs prédéfinie, qui est comprise de préférence entre 0,8 et 1,2.
- 10 17. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, **caractérisé en ce qu'**une valeur de moment d'inertie pour le moment d'inertie des masses de l'induit est déterminée, **en ce qu'**un signal électrique I est déterminé, **en ce que** pour les moments de mesure individuels sur l'arbre d'ajustage, chaque fois une valeur de courant $I(k)$ est déterminée pour le courant électrique dans l'enroulement, **en ce que** pour les valeurs individuelles de vitesse angulaire $\omega(k)$, chaque fois à partir d'une valeur de vitesse angulaire $\omega_k(k-1)$, affectée à un moment de mesure ultérieur sur l'arbre d'ajustage, du signal électrique I et de la valeur du moment d'inertie une valeur estimative $w_s(k)$ est déterminée pour la valeur de vitesse angulaire $\omega(k)$, **en ce qu'**il est affecté à cette valeur estimative $w_s(k)$ une bande de tolérances dans laquelle la valeur estimative $w_s(k)$ est comprise, et **en ce que** dans le cas où la valeur de vitesse angulaire $\omega(k)$ se situe hors de la bande de tolérances, la valeur de vitesse angulaire $\omega(k)$ est remplacée par une valeur de vitesse angulaire $\omega_k(k)$ située dans la bande de tolérances.
- 15 18. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 17, **caractérisé en ce que** l'induit est contraint par un couple résistant, **en ce que**, pour le couple résistant, il est mis à disposition un signal de couple résistant M_L et **en ce que** la valeur estimative $w_s(k)$ est déterminée chaque fois à partir de la valeur de vitesse angulaire $\omega_k(k-1)$ affectée à l'ancien moment de balayage, à partir du signal électrique I , à partir du signal de couple résistant M_L et à partir de la valeur du moment d'inertie.
- 20 19. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 18, **caractérisé en ce que** la tension électrique appliquée sur l'enroulement est détectée et **en ce que** les valeurs de courant $I(k)$ sont déterminées indirectement à partir de la tension, de l'impédance de l'enroulement, des valeurs de vitesse angulaire $\omega_k(k)$ corrigées le cas échéant et d'une constante du moteur.
- 25 20. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 19, **caractérisé en ce que** la bande de tolérances est limitée par des valeurs marginales, et **en ce que** les valeurs de vitesse angulaire $\omega(k)$, qui se situent hors de la bande de tolérances, sont corrigées à la valeur marginale de la bande de tolérances la plus proche de celles-ci.
- 30 21. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 20, **caractérisé en ce que** la largeur et/ou la position de la bande de tolérance sont choisies en fonction de la valeur de vitesse angulaire $\omega_k(k-1)$ affectée à l'ancien moment de mesure sur l'arbre d'ajustage et **en ce qu'**elles sont de préférence réduites au fur et à mesure que la vitesse angulaire augmente et/ou augmentées au fur et à mesure que la vitesse angulaire se réduit.
- 35 22. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 21, **caractérisé en ce que** la largeur et/ou la position de la bande de tolérances sont choisies en fonction du signal électrique I et **en ce qu'**elles sont de préférence augmentées au fur et à mesure de l'augmentation du courant et/ou réduites au fur et à mesure de la réduction du courant.
- 40 23. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 22, **caractérisé en ce que** le signal électrique I est lissé par filtrage, notamment par un calcul de valeurs moyennes mobiles, et **en ce que** les valeurs estimatives $w_s(k)$ pour les valeurs de vitesse angulaire $\omega(k)$ sont déterminées à l'aide du signal électrique I filtré.
- 45 24. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 23, **caractérisé en ce que** respectivement à partir d'au moins deux valeurs mesurées pour l'angle de rotation du vilebrequin, à partir de la différence de temps entre les moments de mesure de l'intervalle de rotation du vilebrequin affectés auxdites valeurs mesurées, ainsi qu'à partir de l'écart de temps entre le dernier moment de mesure sur le vilebrequin et le point de référence, une valeur estimative pour l'angle de rotation, que présente le vilebrequin (12) au moment de référence, est extrapolée, **en ce que** la différence de temps entre le moment de référence et le dernier moment de mesure sur le vilebrequin est déterminée et **en ce que** la valeur estimative est définie à partir de la valeur mesurée pour l'angle de rotation du vilebrequin au dernier moment de mesure sur le vilebrequin, à partir de la différence de temps et de la valeur de vitesse angulaire.
- 50 55

Fig. 1

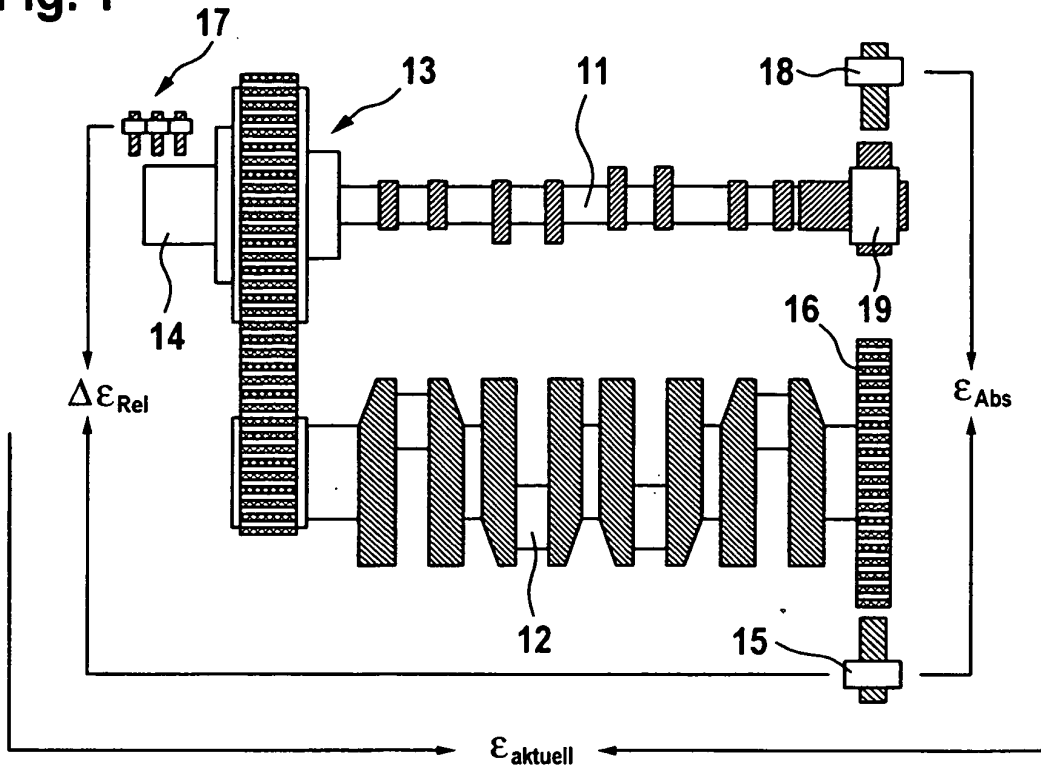


Fig. 2

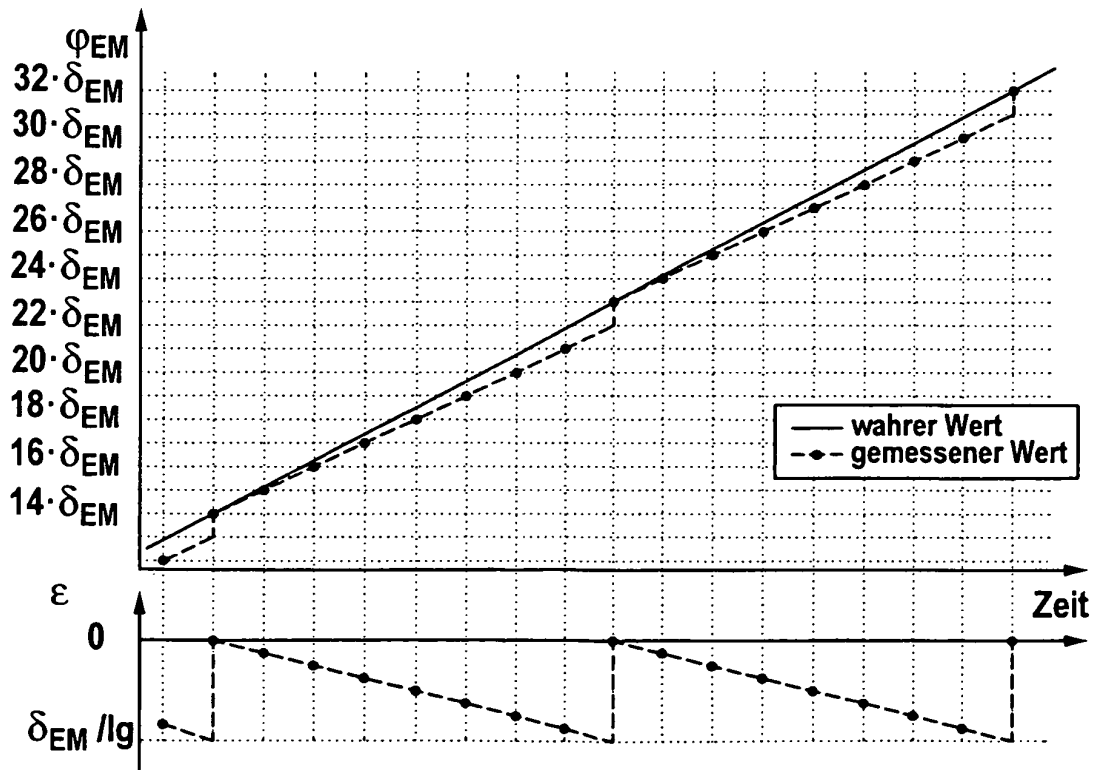


Fig. 3

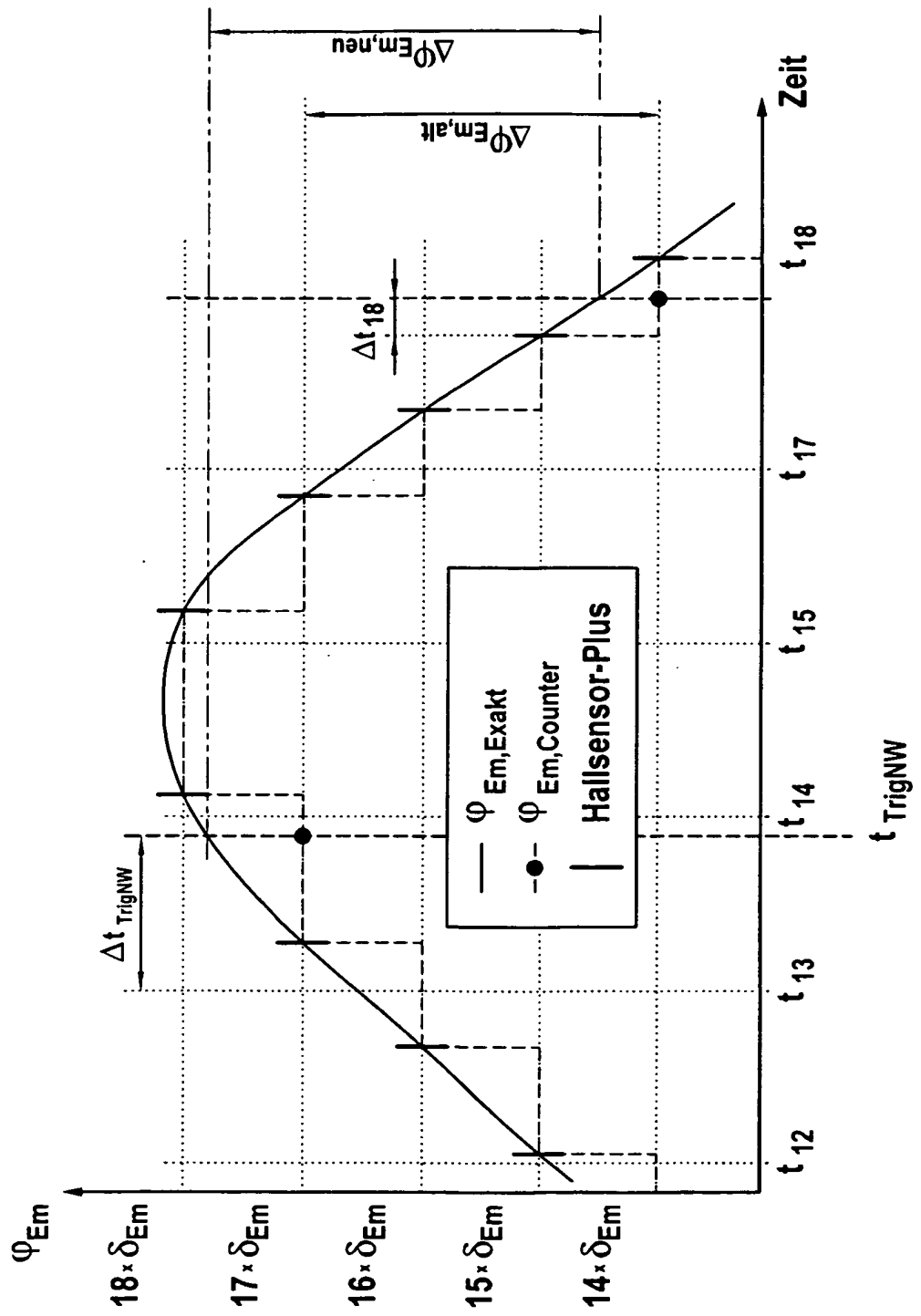


Fig. 4

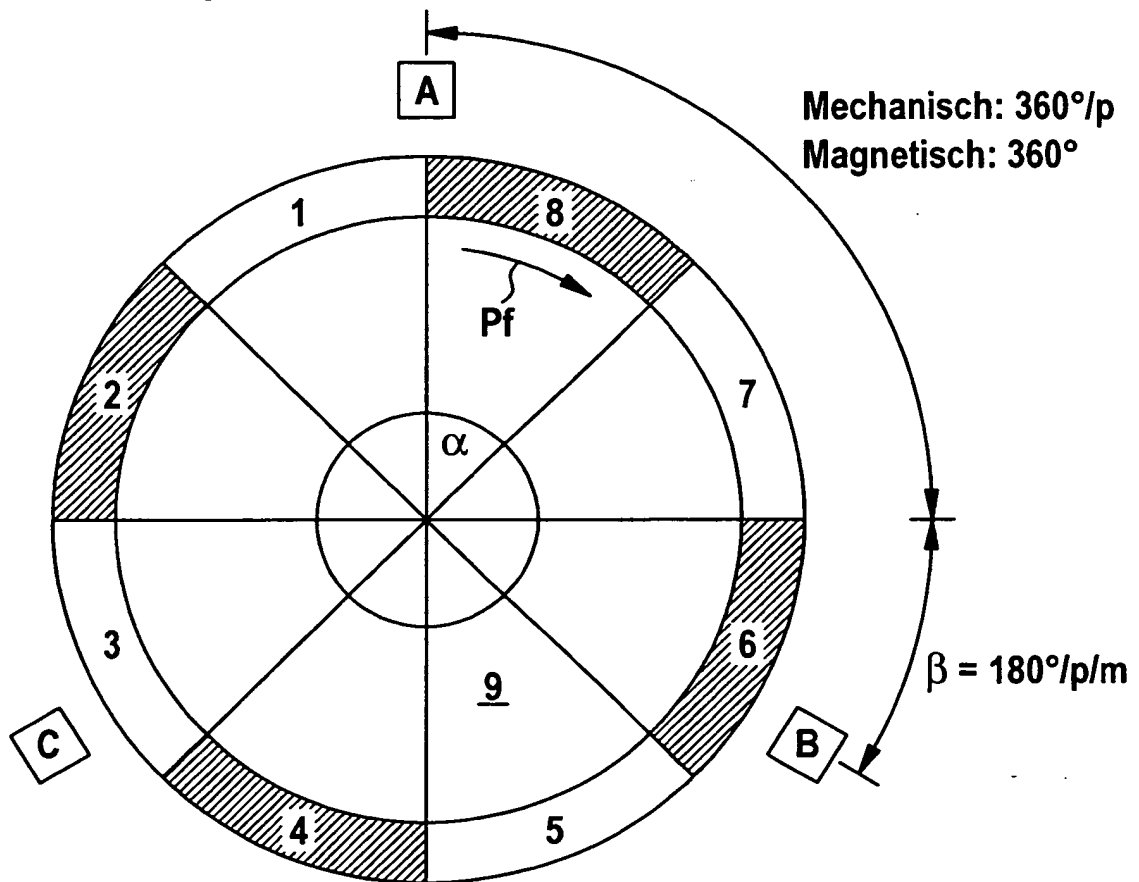


Fig. 5

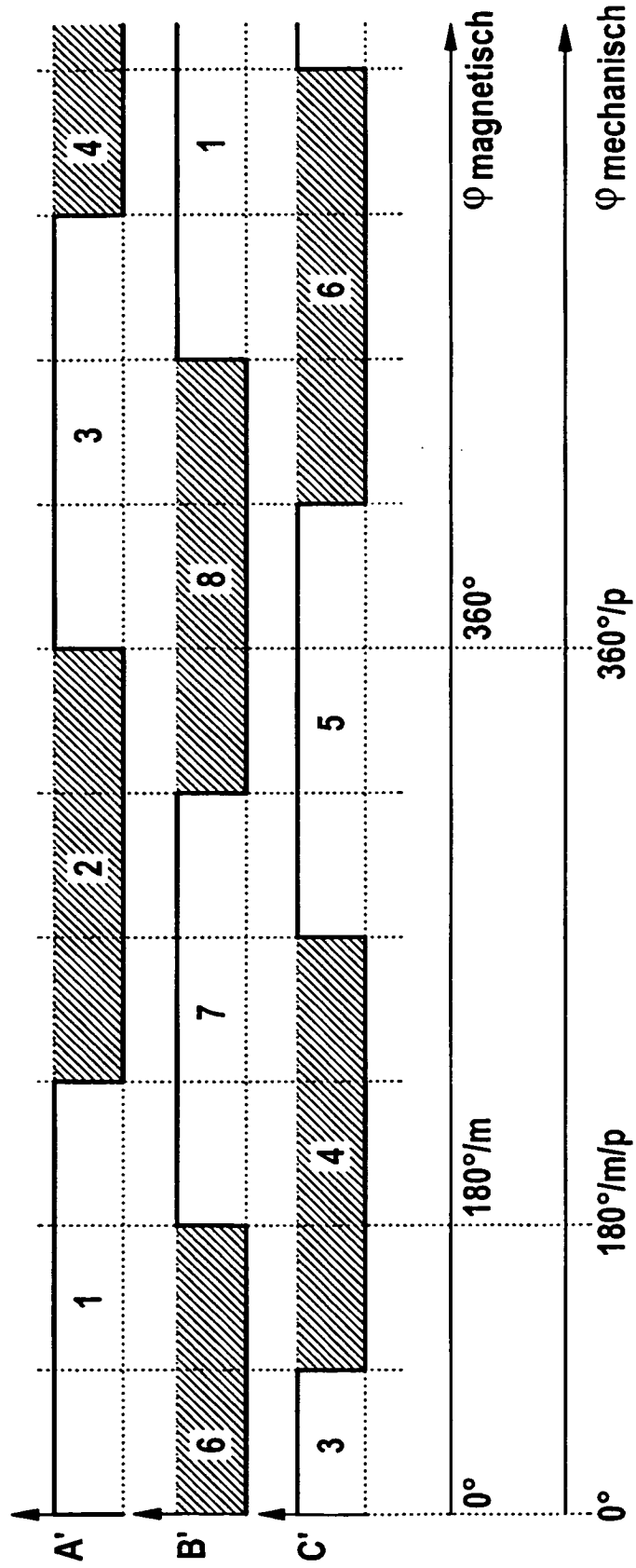
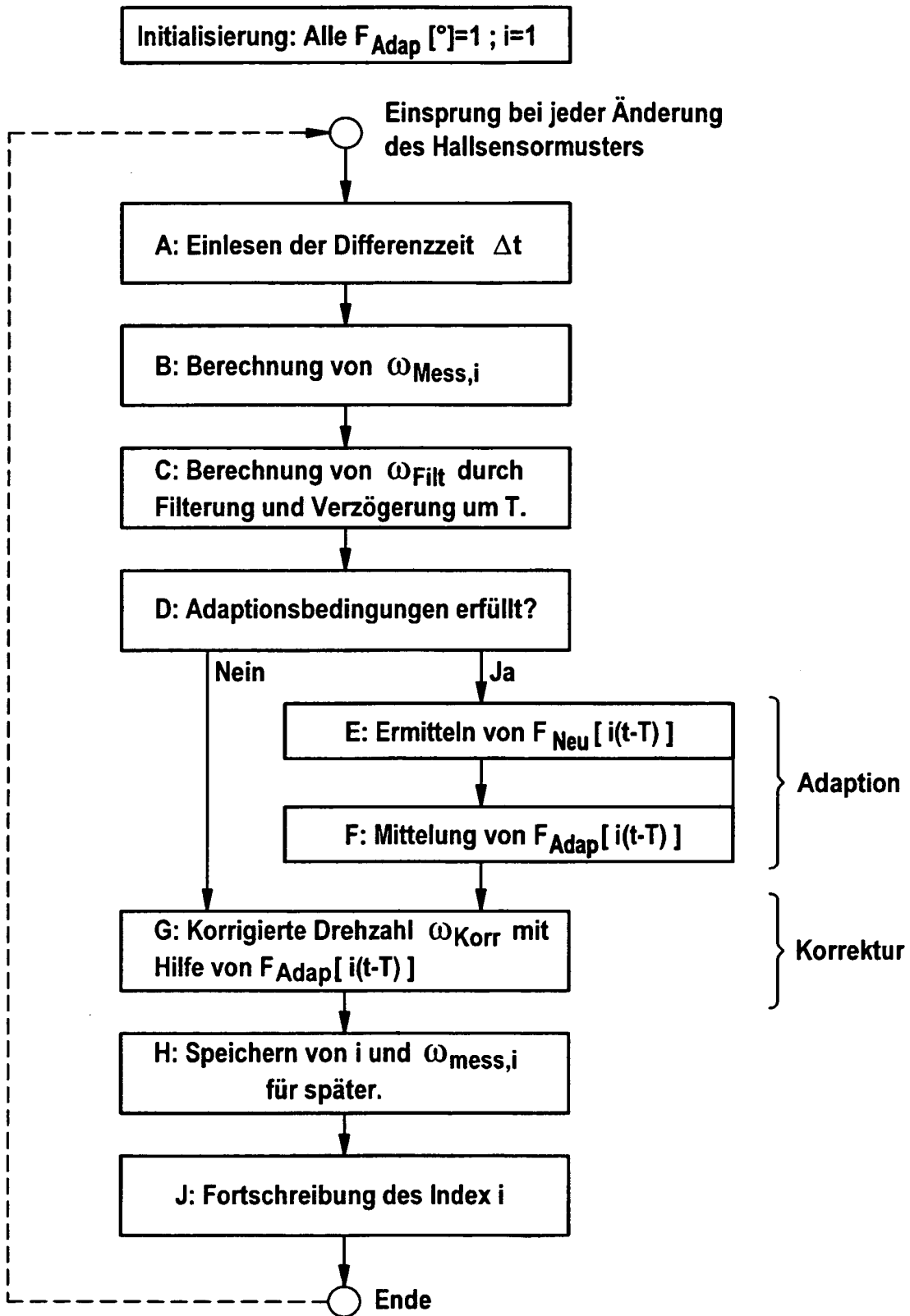


Fig. 6



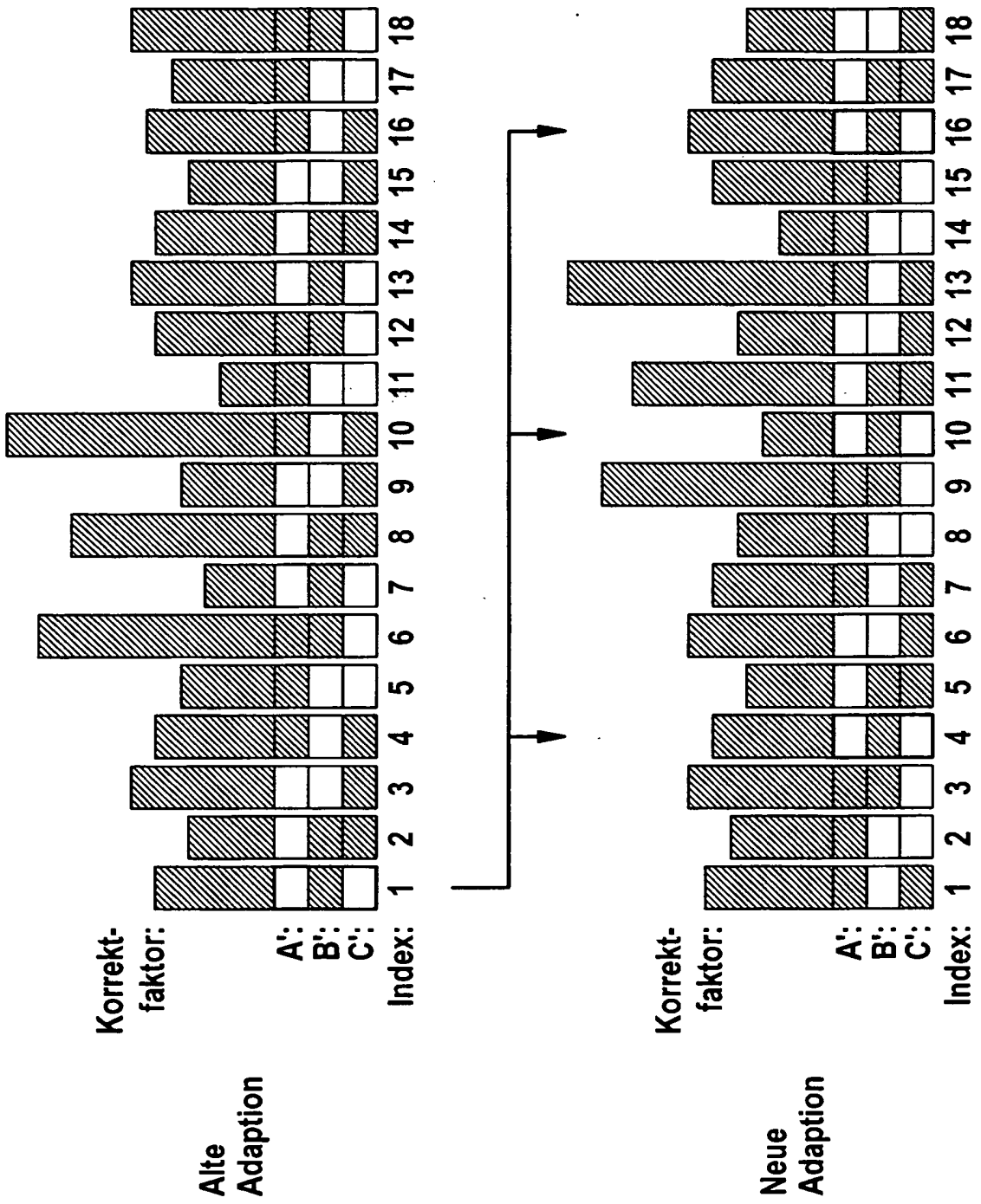


Fig. 7

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 10315317 A1 [0002]