

(19)



(11)

EP 2 942 512 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
11.11.2015 Patentblatt 2015/46

(51) Int Cl.:
F02D 41/00 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **15158740.9**

(22) Anmeldetag: **12.03.2015**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
MA

(72) Erfinder:
• **Steinbrecher, Christian**
71032 Boeblingen (DE)
• **Reineke, Bastian**
71701 Schwieberdingen (DE)
• **Fischer, Wolfgang**
70839 Gerlingen (DE)
• **Grodde, Stefan**
70469 Stuttgart (DE)
• **Karrelmeyer, Roland**
74343 Sachsenheim (DE)

(30) Priorität: **01.04.2014 DE 102014206182**

(71) Anmelder: **ROBERT BOSCH GMBH**
70442 Stuttgart (DE)

(54) **VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG EINER KURBELWELLENPOSITION EINER BRENNKRAFTMASCHINE**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung einer Kurbelwellenposition einer Brennkraftmaschine, wobei ein Drehzahlverlauf der Kurbelwelle über einer Zeit erfasst wird; wobei die Kurbelwellenposition (OT*) durch Abgleich des Drehzahlverlaufs mit einem bekannten Drehzahlverlauf eines Arbeitsspiels der Brennkraftmaschine bestimmt wird; wobei der bekannte Drehzahlverlauf einen für die Kurbelwellenposition charakteristischen Abschnitt aufweist; wobei ein Signal einer mit der Kurbelwelle gekoppelten elektrischen Maschine

erfasst wird; wobei ein wenigstens einmal pro Arbeitsspiel auftretender Wert (OT', OT'', OT''') des Signals bei der Bestimmung der Kurbelwellenposition berücksichtigt wird; und wobei die Bestimmung der Kurbelwellenposition durch Überlagerung und/oder Kombination der Kurbelwellenposition, wie sie durch Abgleich mit dem Drehzahlverlauf bestimmt wird mit der Kurbelwellenposition, wie sie aus dem Wert (OT', OT'', OT''') bestimmt wird, erfolgt.

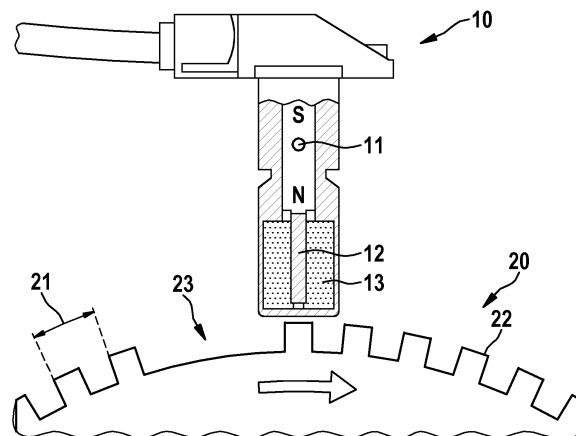


Fig. 1

EP 2 942 512 A2

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung einer Kurbelwellenposition einer Brennkraftmaschine.

Stand der Technik

[0002] Für den Betrieb einer modernen Brennkraftmaschine ist es notwendig, dass dem elektronischen Motorsteuergerät Informationen über die momentane Motordrehzahl zur Verfügung stehen. Dazu kann ein auf der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine montiertes Geberad, dessen Drehgeschwindigkeit zum Beispiel über einen induktiv wirkenden Sensor oder Hall-Geber erfasst wird, benutzt werden. Dieser registriert vorbeistreichende metallische Markierungen und bestimmt über die Zeitdifferenz zwischen zwei Marken die Rotationsgeschwindigkeit.

[0003] Für die Durchführung kurbelwinkelsynchroner Funktionen wird darüber hinaus die absolute Position der Kurbelwelle erfasst, um beispielsweise die Zeitpunkte für die Einspritzung und ggf. Zündung korrekt zu bestimmen. Dies wird über eine Zahnücke auf dem Geberrad erreicht, welche durch den Drehzahlsensor erkannt und somit einem definierten Kurbelwellenwinkel zugeordnet werden kann. Insbesondere die Erkennung des oberen Totpunkts (OT) ist dabei von Interesse.

[0004] Abhängig vom Typ der Brennkraftmaschine müssen über andere Sensoren weitere Größen erfasst werden. Bei einem Viertaktmotor mit einem Zylinder vollzieht die Kurbelwelle zwei vollständige Umdrehungen pro Arbeitsspiel, so dass über die Zahnücke zwar die Kurbelwellenposition, nicht jedoch der Arbeitstakt bestimmt werden kann. So ergeben sich bspw. ein oberer Totpunkt am Ende des Kompressionstakts und ein oberer Totpunkt am Ende des Ausblastakts, welche nicht durch die Zahnückeninformation unterschieden werden können. Diese Unterscheidung wird bei Motorrädern bspw. durch die Auswertung des Saugrohrdrucks getroffen.

[0005] Bei anderen Brennkraftmaschinen, insbesondere solchen mit mehr als einem Zylinder, kann die über einen Sensor erfasste Position der Nockenwelle ausgewertet werden, um weitere Informationen zur genauen Position zu erhalten.

[0006] Es ist daher wünschenswert, eine Möglichkeit anzugeben, eine genaue Position der Kurbelwelle auch ohne zusätzliche Bauteile bereitzustellen.

Offenbarung der Erfindung

[0007] Erfindungsgemäß wird ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 vorgeschlagen. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

Vorteile der Erfindung

[0008] Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Bestimmung einer Kurbelwellenposition, insbesondere eines oberen Totpunktes, einer Brennkraftmaschine wird ein Drehzahlverlauf der Kurbelwelle (d.h. Drehzahl über Zeit) erfasst. Dabei wird die Kurbelwellenposition durch Abgleich des Drehzahlverlaufs mit einem bekannten Drehzahlverlauf eines Arbeitsspiels der Brennkraftmaschine bestimmt. Ein solcher bekannter Drehzahlverlauf kann bspw. an einem Prüfstand ermittelt werden. Dabei weist der bekannte Drehzahlverlauf einen (insbesondere genau einen) für die Kurbelwellenposition charakteristischen Abschnitt auf, so dass aus dem Auftreten des Abschnitts im erfassten Drehzahlverlauf die Kurbelwellenposition bestimmt werden kann.

[0009] Diese Art der Kreuzkorrelation eines bereits bekannten, insbesondere für das Anlassen einer Brennkraftmaschine typischen, Drehzahlverlaufs während eines Arbeitsspiels mit einem momentan an der Kurbelwelle gemessenen Drehzahlverlauf ermöglicht die Bestimmung der Kurbelwellenposition, da der Drehzahlverlauf während eines Arbeitsspiels üblicherweise keine sich wiederholende Bereiche aufweist. Insbesondere die wichtige Kurbelwellenposition des Zündoberen-Totpunkts (ZOT), die nur einmal pro Arbeitsspiel auftritt, ist im Drehzahlverlauf durch einen charakteristischen Abschnitt gekennzeichnet. In der Regel tritt der ZOT bei oder kurz nach einem Drehzahlminimum auf, insbesondere einem Minimum, an das sich ein monoton steigender (näherungsweise linearer) Verlauf, in welchem die Drehzahl signifikant (nahezu auf den doppelten Wert) ansteigt, anschließt.

[0010] Damit wird eine Unterscheidung zwischen den zwei oberen Totpunkten, die während eines Arbeitsspiels auftreten, ermöglicht, was allein durch Geberrad mit zugehörigem Sensor nicht möglich ist.

[0011] Weiter wird erfindungsgemäß ein Signal einer mit der Kurbelwelle gekoppelten elektrischen Maschine erfasst und dabei ein wenigstens einmal pro Arbeitsspiel, insbesondere bei Erreichen der interessierenden Kurbelwellenposition, auftretender Wert des Signals bei der Bestimmung der Kurbelwellenposition berücksichtigt. Dies kann insbesondere dadurch erreicht werden, dass die elektrische Maschine entsprechend in Bezug auf die Kurbelwelle der Brennkraftmaschine justiert wird. Da eine Brennkraftmaschine bei modernen Fahrzeugen mit einer elektrischen Maschine, die meist als Generator oder sog. Startergenerator ausgebildet ist, gekoppelt ist, können deren Signale zusätzlich zur genaueren Bestimmung der Kurbelwellenposition herangezogen werden. Signale der elektrischen Maschine liefern genauere Kurbelwellenpositionen, jedoch meist nur mehrdeutig, da üblicherweise mehrere der Werte pro Arbeitsspiel auftreten. Dies hängt damit zusammen, dass üblicherweise mehrpolige elektrische Maschinen verwendet werden. In Überlagerung und/oder Kombination mit der eindeutigen, jedoch meist etwas ungenaueren Bestimmung der Kurbelwel-

lenposition aus dem Drehzahlverlauf, lässt sich so sehr genau eine bestimmte Kurbelwellenposition bestimmen.

[0012] Ein solches Signal, vorzugsweise ein Spannungssignal einer Phase der elektrischen Maschine, lässt sehr genaue Rückschlüsse auf die exakte Winkelstellung der Kurbelwelle zu. Insbesondere kann ein Nulldurchgang einer steigenden Flanke, ein Nulldurchgang einer fallenden Flanke, ein Minimum oder ein Maximum als Wert mit einer Kurbelwellenposition, bspw. einem oberen Totpunkt korreliert werden, indem die elektrische Maschine und die Kurbelwelle, zweckmäßigerweise beim Zusammenbau, entsprechend justiert werden.

[0013] Vorzugsweise umfasst der charakteristische Abschnitt des Drehzahlverlaufs ein Minimum, ein Maximum, eine Steigung und/oder einen Schwellwert. Je nachdem, welche Kurbelwellenposition ermittelt werden soll, können unterschiedliche Arten von Abschnitten charakteristisch sein und/oder besonders gut detektiert werden.

[0014] Es ist von Vorteil, wenn der Drehzahlverlauf der Kurbelwelle erfasst wird, indem eine Zeitdifferenz zwischen zwei Auftrittszeitpunkten des Werts gemessen und mit einem während dieser Zeitdifferenz überstrichenen Winkel der Kurbelwelle verrechnet wird. Auf diese Art kann auch die Drehzahl an sich über die an der elektrischen Maschine abgreifbaren Signale ermittelt werden, wodurch das Geberrad mit zugehörigem Sensor nicht mehr nötig ist.

[0015] Vorteilhafterweise wird die Kurbelwellenposition durch Abgleich des Drehzahlverlaufs in einem initialen Arbeitsspiel bestimmt und die Kurbelwellenposition in folgenden Arbeitsspielen durch Abzählen der Auftreten des Werts bestimmt. Da der charakteristische Drehzahlverlauf üblicherweise beim Anlassen der Brennkraftmaschine auftritt, kann insbesondere hier die Kurbelwellenposition ermittelt werden. Im Folgenden kann einfach anhand der Anzahl der auftretenden Werte auf die gewünschte Kurbelwellenposition geschlossen werden. Tritt beispielsweise der Wert dreimal pro Kurbelwellenumdrehung auf, so tritt die gewünschte Kurbelwellenposition nach sechs aufeinanderfolgenden Auftreten des Werts ein.

[0016] Es ist von Vorteil, wenn das Spannungssignal der Phase durch mehrere magnetische Erreger der elektrischen Maschine erzeugt wird, wobei einer der magnetischen Erreger derart von den restlichen abweichend ausgebildet ist, dass der von ihm erzeugte Abschnitt des Spannungssignals genau einmal pro Umdrehung der Kurbelwelle bei der Kurbelwellenposition den Wert aufweist. Falls der Wert mehrmals pro Kurbelwellenumdrehung auftritt, was der Fall ist, wenn eine mehrpolige elektrische Maschine verwendet wird, so muss der der Kurbelwellenposition entsprechende Wert mittels Abgleich mit dem bekannten charakteristischen Verlauf ermittelt werden. Wird ein entsprechender magnetischer Erreger, d.h. der entsprechende Pol, etwas verändert, so verändert sich auch der von ihm erzeugte Abschnitt des Signals in der Amplitude. So lässt sich der zur gewünschten

Kurbelwellenposition gehörende Wert leichter erkennen. Hierfür ist jedoch eine Veränderung der elektrischen Maschine nötig, was möglicherweise unerwünscht ist.

[0017] Eine erfindungsgemäße Recheneinheit, z.B. ein Steuergerät eines Kraftfahrzeugs, ist, insbesondere programmtechnisch, dazu eingerichtet, ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen.

[0018] Auch die Implementierung des Verfahrens in Form von Software ist vorteilhaft, da dies besonders geringe Kosten verursacht, insbesondere wenn ein ausführendes Steuergerät noch für weitere Aufgaben genutzt wird und daher ohnehin vorhanden ist. Geeignete Datenträger zur Bereitstellung des Computerprogramms sind insbesondere Disketten, Festplatten, Flash-Speicher, EEPROMs, CD-ROMs, DVDs u.a.m. Auch ein Download eines Programms über Computernetze (Internet, Intranet usw.) ist möglich.

[0019] Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der beiliegenden Zeichnung.

[0020] Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachfolgend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0021] Die Erfindung ist anhand eines Ausführungsbeispiels in der Zeichnung schematisch dargestellt und wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnung ausführlich beschrieben.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0022]

Figur 1 zeigt schematisch ein Geberrad mit Sensor zur Drehzahlbestimmung gemäß dem Stand der Technik.

Figur 2 zeigt einen Drehzahlverlauf während eines Arbeitsspiels während des Starts einer Brennkraftmaschine

Figuren 3a bis 3c zeigen beispielhaft eine einphasige elektrische Maschine mit zugehörigem Signalverlauf und möglichen Kurbelwellenpositionen.

Figur 4 zeigt beispielhaft einen Signalverlauf einer dreiphasigen elektrischen Maschine mit möglichen Kurbelwellenpositionen.

Ausführungsform(en) der Erfindung

[0023] In Figur 1 sind schematisch ein Geberrad 20 und ein zugehöriger induktiver Sensor 10 dargestellt, wie sie im Stand der Technik zur Drehzahlbestimmung benutzt werden. Das Geberrad 20 ist dabei üblicherweise fest mit einer Kurbelwelle einer Brennkraftmaschine ver-

bunden und der Sensor 10 ist ortsfest an einer geeigneten Stelle angebracht.

[0024] Das Geberrad 20, üblicherweise aus einem ferromagnetischen Material, weist Zähne 22 auf, die an der Außenseite mit einem Abstand 21 zwischen zwei Zähnen 22 angeordnet sind. An einer Stelle auf der Außenseite weist das Geberrad 20 eine Lücke 23 in der Länge einer vorbestimmten Anzahl von Zähnen auf. Diese Lücke 23 dient als Bezugsmarke zur Erkennung einer absoluten Position des Geberrads 20.

[0025] Der Sensor 10 weist einen Stabmagnet 11 auf, an welchem ein weichmagnetischer Polstift 12 angebracht ist. Der Polstift 12 wiederum ist von einer Induktionsspule 13 umgeben. Bei Rotation des Geberrads 20 laufen abwechselnd Zähne 22 und zwischen jeweils zwei Zähnen liegende Leerräume an der Induktionsspule 13 des Sensors 10 vorbei. Da das Geberrad 20 und somit auch die Zähne 22 aus einem ferromagnetischen Material sind, wird bei der Rotation in der Spule ein Signal induziert, womit zwischen einem Zahn 22 und einem Luftspalt unterschieden werden kann.

[0026] Durch Korrelation einer Zeitdifferenz zwischen zwei Zähnen mit einem Winkel, den diese zwei Zähne einschließen, können die Winkelgeschwindigkeit bzw. die Drehzahl berechnet werden.

[0027] An der Lücke 23 weist das induzierte Signal in der Induktionsspule einen anderen Verlauf auf als bei den ansonsten sich mit Leerräumen abwechselnden Zähnen 22. Auf diese Art ist eine absolute Positionserkennung, jedoch nur in Bezug auf eine volle Kurbelwellenumdrehung, möglich.

[0028] In Figur 2 ist ein charakteristischer Drehzahlverlauf 60 einer Kurbelwelle einer als Ein-Zylinder-Motor ausgebildeten Brennkraftmaschine während des Anlassens für die Dauer eines Arbeitsspiels dargestellt.

[0029] Der obere Totpunkt (OT) des Zylinders wird zweimal, und zwar bei 0° und bei 360° (nach rechts aufgetragen) erreicht. Der Zünd-OT, der für einen Einspritzzeitpunkt entscheidend ist, entspricht dabei dem OT bei 0°. Dem Drehzahlverlauf 60 ist deutlich zu entnehmen, dass dem Zünd-OT bei 0° ein für diesen OT charakteristischer Abschnitt des Drehzahlverlaufs 60 entspricht, nämlich ein steiler, langer Anstieg nach einem Minimum. Damit lässt sich, zumindest in gewissem Maße, eine Kurbelwellenposition aus dem Drehzahlverlauf ermitteln. Durch den Bereich OT* ist eine gewisse Unsicherheit bei der Bestimmung berücksichtigt.

[0030] In Figur 3a ist eine als einphasiger Generator ausgebildete elektrische Maschine 30 dargestellt, welche einen Rotor 32 mit Umlaufrichtung 40 und einen Stator 33 umfasst. Der Rotor 32 umfasst sechs Pole, die jeweils als sich gegenüberliegende Nordpole 41 und Südpole 42 ausgebildet sind.

[0031] Die elektrische Maschine 30 ist dabei so mit der Kurbelwelle einer Brennkraftmaschine verbunden bzw. gekoppelt, dass sich an der mit OT bezeichneten Position der obere Totpunkt der Brennkraftmaschine befindet.

[0032] In Figur 3b ist die an der Spule am Stator 33

abgegriffene Spannung U_p als Spannungsverlauf dargestellt. Da die elektrische Maschine 30 sechspolig, also mit drei Polpaaren, ausgebildet ist, treten pro voller Umdrehung 45 des Rotors 32 drei volle Sinusschwingungen der Spannung auf, wobei hierzu eine gleichförmige Kreisbewegung des Rotors 32 angenommen wird.

[0033] Die Ausrichtung von elektrischer Maschine 30 und Kurbelwelle ist so, dass der obere Totpunkt OT bei einem Nulldurchgang einer steigenden Flanke des Spannungssignals U_p erreicht wird. Da jedoch, wie bereits erwähnt, drei volle Sinusschwingungen pro Umdrehung auftreten, treten auch drei Nulldurchgänge steigender Flanken auf.

[0034] Ein solcher Nulldurchgang kann zwar exakt erfasst werden, jedoch ist keine eindeutige Zuordnung eines der drei Nulldurchgänge zu dem einen oberen Totpunkt OT möglich. Vielmehr werden drei mögliche obere Totpunkte OT', OT'', OT''' erkannt.

[0035] In Figur 3c sind die drei möglichen oberen Totpunkte OT', OT'', OT''' während einer Umdrehung 45 (d.h. hier halbes Arbeitsspiel) erneut gezeigt. Es sei angenommen, dass diese Umdrehung den ersten 360° aus Figur 2 entspricht, so dass zusätzlich mit OT* ein Unsicherheitsbereich für den gewünschten oberen Totpunkt, dem Zünd-OT, aus Figur 2 eingezeichnet werden kann. Ein Arbeitsspiel würde sechs mögliche obere Totpunkte und einen Unsicherheitsbereich OT* aufweisen.

[0036] Durch die Kombination dieser beiden Verfahren lässt sich somit eine gewünschte Kurbelwellenposition exakt ermitteln. Eine Bedingung hierfür ist lediglich, dass der Unsicherheitsbereich OT* nur so breit ist, dass nur einer der möglichen oberen Totpunkte OT', OT'', OT''' usw. diesem zugeordnet werden kann.

[0037] In Figur 4 sind Spannungsverläufe U_U , U_V , U_W der drei Phasen einer dreiphasigen elektrischen Maschine dargestellt. Zur Erkennung der möglichen oberen Totpunkte OT', OT'', OT''' muss hier eine der Phasen, vorliegend U_U , als sog. Indikatorphase ausgewählt werden. Dies wird bspw. durch einzelne Signalleitungen der einzelnen Phasen von der elektrischen Maschine zu einem auswertenden Steuergerät ermöglicht.

[0038] Zusätzlich ist beispielhaft eine Zeitdifferenz Δt zwischen den Werten OT' und OT'' eingetragen. Durch Erfassung dieser Zeitdifferenz Δt bzw. auch nachfolgender Zeitdifferenzen zwischen folgenden Werten, kann bei Verrechnung mit einem während dieser Zeitdifferenz Δt überstrichenen Winkel des Rotors oder der Kurbelwelle die Drehzahl ermittelt werden. Damit kann ein Geberrad mit zugehörigem Sensor entfallen. Hier kann die Auflösung erhöht werden, indem auch Werte von anderen Phasen benutzt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung einer Kurbelwellenposition einer Brennkraftmaschine, wobei ein Drehzahlverlauf der Kurbelwelle über ei-

- ner Zeit erfasst wird;
wobei die Kurbelwellenposition (OT^*) durch Abgleich des Drehzahlverlaufs mit einem bekannten Drehzahlverlauf (60) eines Arbeitsspiels der Brennkraftmaschine bestimmt wird;
wobei der bekannte Drehzahlverlauf (60) einen für die Kurbelwellenposition charakteristischen Abschnitt aufweist;
wobei ein Signal (U_P, U_U) einer mit der Kurbelwelle gekoppelten elektrischen Maschine (30) erfasst wird;
wobei ein wenigstens einmal pro Arbeitsspiel auftretender Wert (OT' , OT'' , OT''') des Signals (U_P, U_U) bei der Bestimmung der Kurbelwellenposition berücksichtigt wird; und
wobei die Bestimmung der Kurbelwellenposition durch Überlagerung und/oder Kombination der Kurbelwellenposition, wie sie durch Abgleich mit dem Drehzahlverlauf (60) bestimmt wird, mit der Kurbelwellenposition, wie sie aus dem Wert (OT' , OT'' , OT''') bestimmt wird, erfolgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der charakteristische Abschnitt ein Minimum, ein Maximum, eine Steigung und/oder einen Schwellwert umfasst.
 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die elektrische Maschine (30) in Bezug auf die Kurbelwelle derart justiert wird, dass der Wert (OT' , OT'' , OT''') pro Arbeitsspiel wenigstens einmal bei Erreichen der Kurbelwellenposition auftritt.
 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Signal (U_P, U_U) ein Spannungssignal einer Phase der elektrischen Maschine (30) umfasst.
 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Wert (OT' , OT'' , OT''') einen Nulldurchgang einer steigenden Flanke, einen Nulldurchgang einer fallenden Flanke, ein Minimum oder ein Maximum umfasst.
 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Drehzahlverlauf der Kurbelwelle erfasst wird, indem eine Zeitdifferenz (Δt) zwischen zwei Auftrittszeitpunkten des Werts (OT' , OT'' , OT''') gemessen und mit einem während dieser Zeitdifferenz (Δt) überstrichenen Winkel der Kurbelwelle verrechnet wird.
 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Kurbelwellenposition durch Abgleich des Drehzahlverlaufs in einem initialen Arbeitsspiel bestimmt wird und wobei die Kurbelwellenposition in folgenden Arbeitsspielen durch Abzählen der Auftreten des Werts (OT' , OT'' , OT''') bestimmt wird.
 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Spannungssignal (U_P, U_U) der Phase durch mehrere magnetische Erreger (41, 42) der elektrischen Maschine (30) erzeugt wird und wobei einer der magnetischen Erreger derart von den restlichen abweichend ausgebildet ist, dass der von ihm erzeugte Abschnitt des Spannungssignals genau einmal pro Umdrehung der Kurbelwelle bei der Kurbelwellenposition den Wert aufweist.
 9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Kurbelwellenposition eine genau einmal pro Arbeitsspiel auftretende Position umfasst und wobei ein Arbeitsspiel zwei volle Umdrehungen der Kurbelwelle umfasst.
 10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Kurbelwellenposition einen oberen Totpunkt der Brennkraftmaschine umfasst.
 11. Recheneinheit, die dazu eingerichtet ist, ein Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche durchzuführen.
 12. Computerprogramm, das eine Recheneinheit dazu veranlasst, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10 durchzuführen, wenn es auf der Recheneinheit ausgeführt wird.
 13. Maschinenlesbares Speichermedium mit einem darauf gespeicherten Computerprogramm nach Anspruch 12.

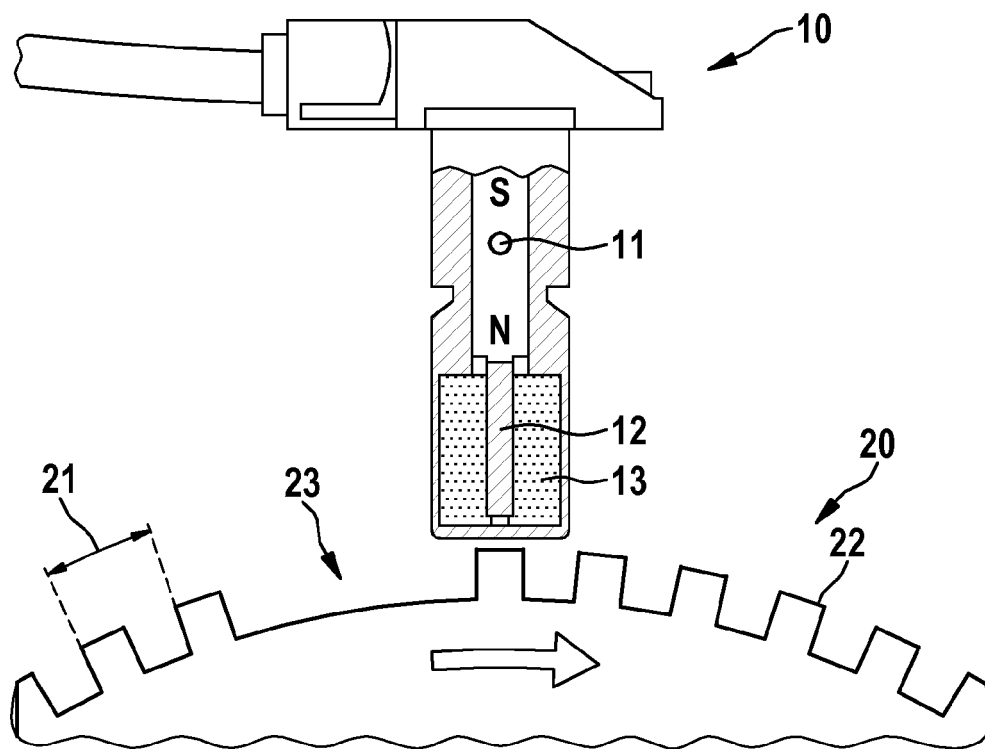


Fig. 1

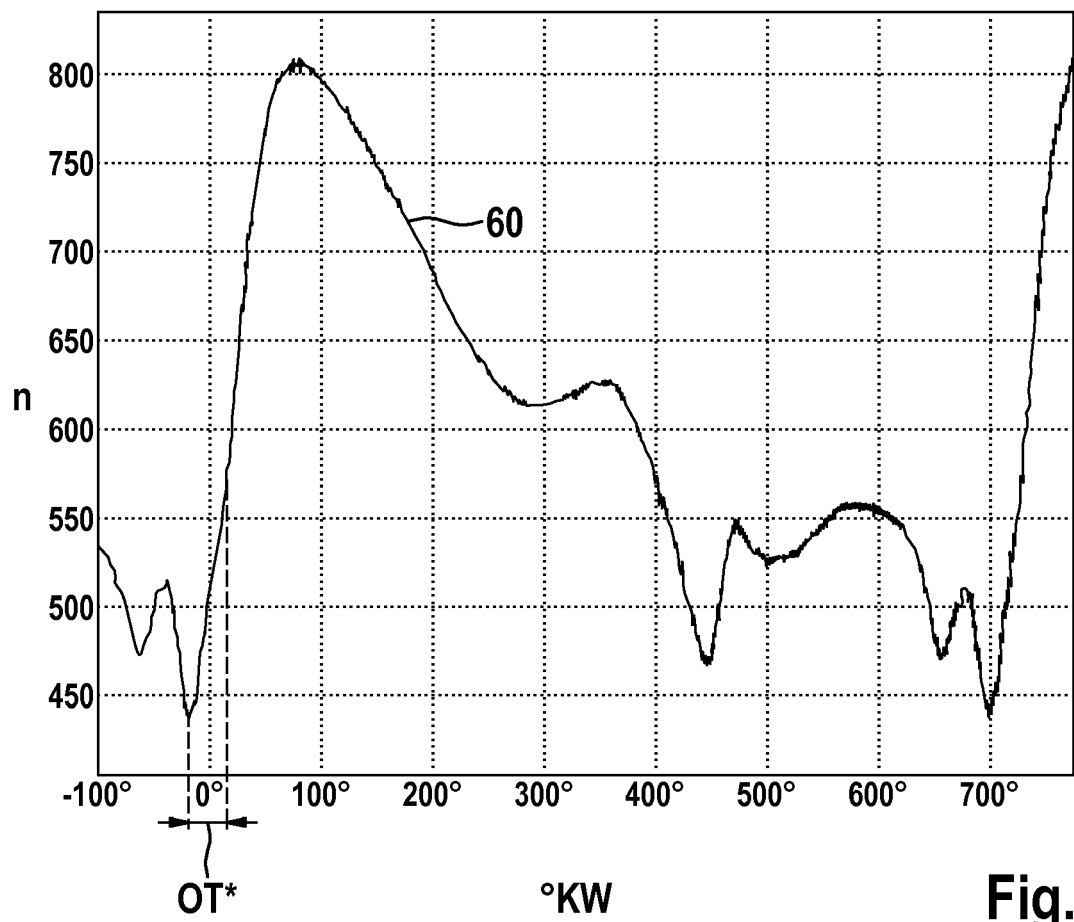
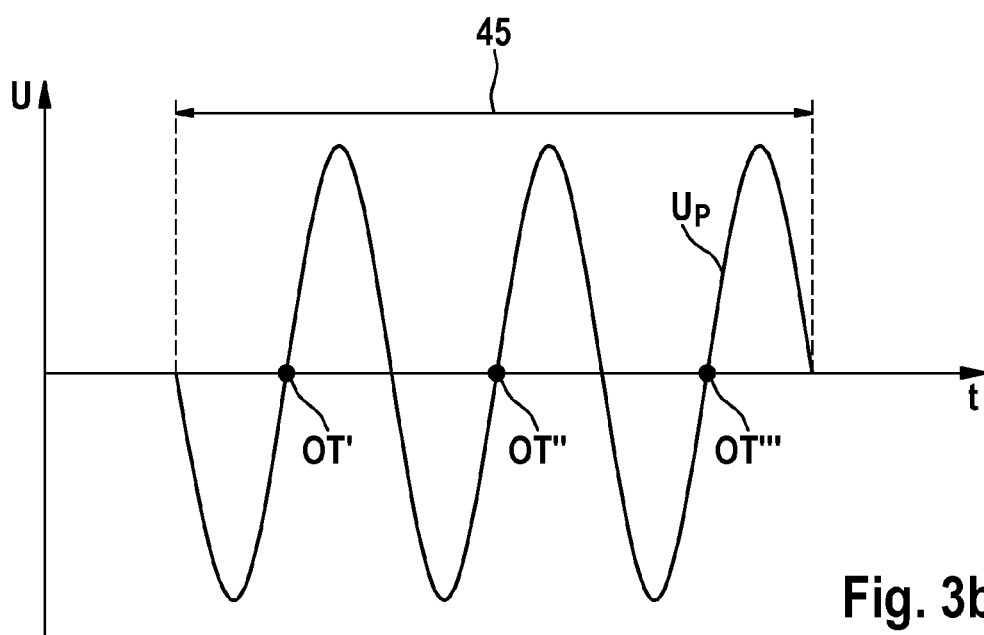
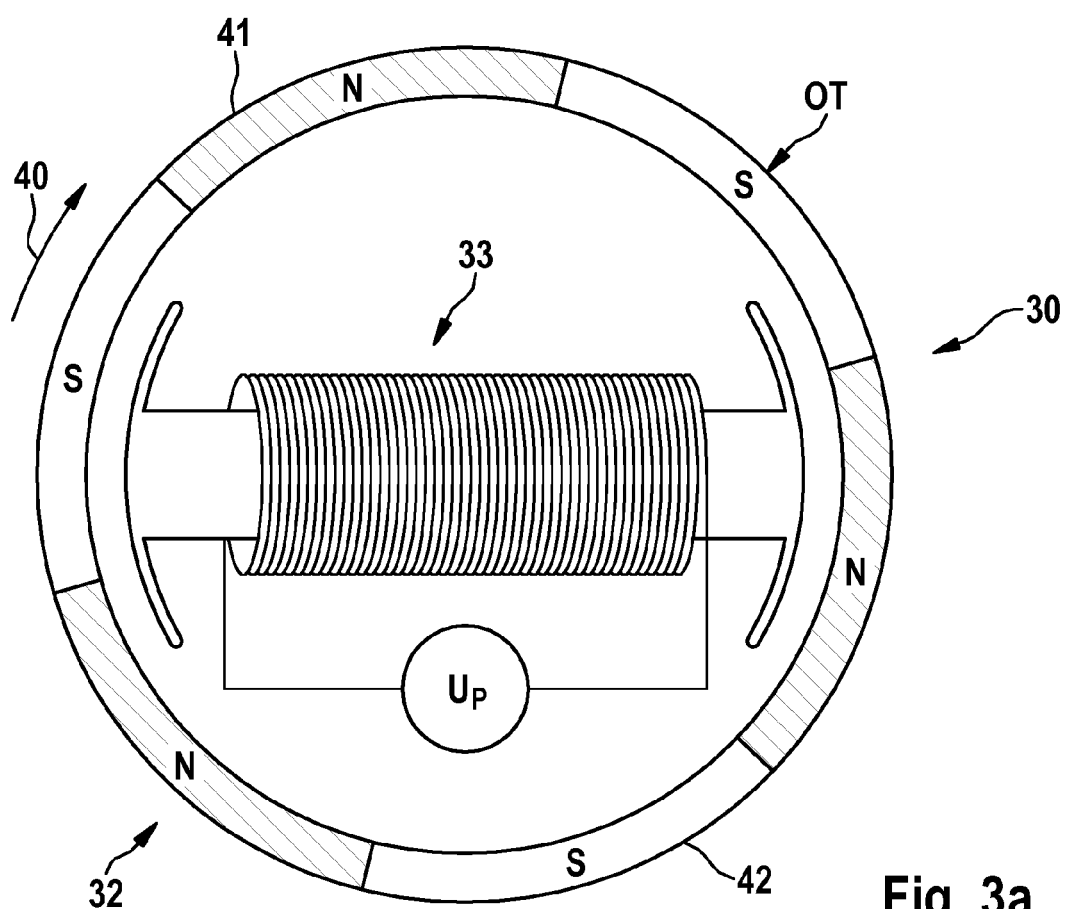


Fig. 2



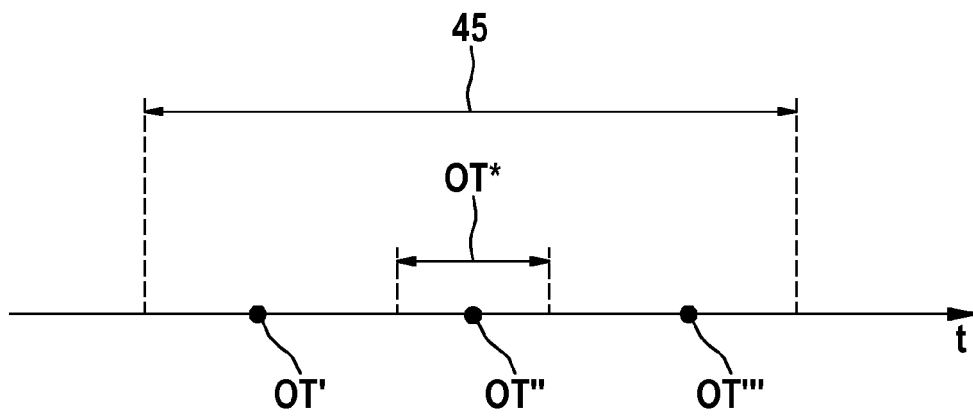


Fig. 3c

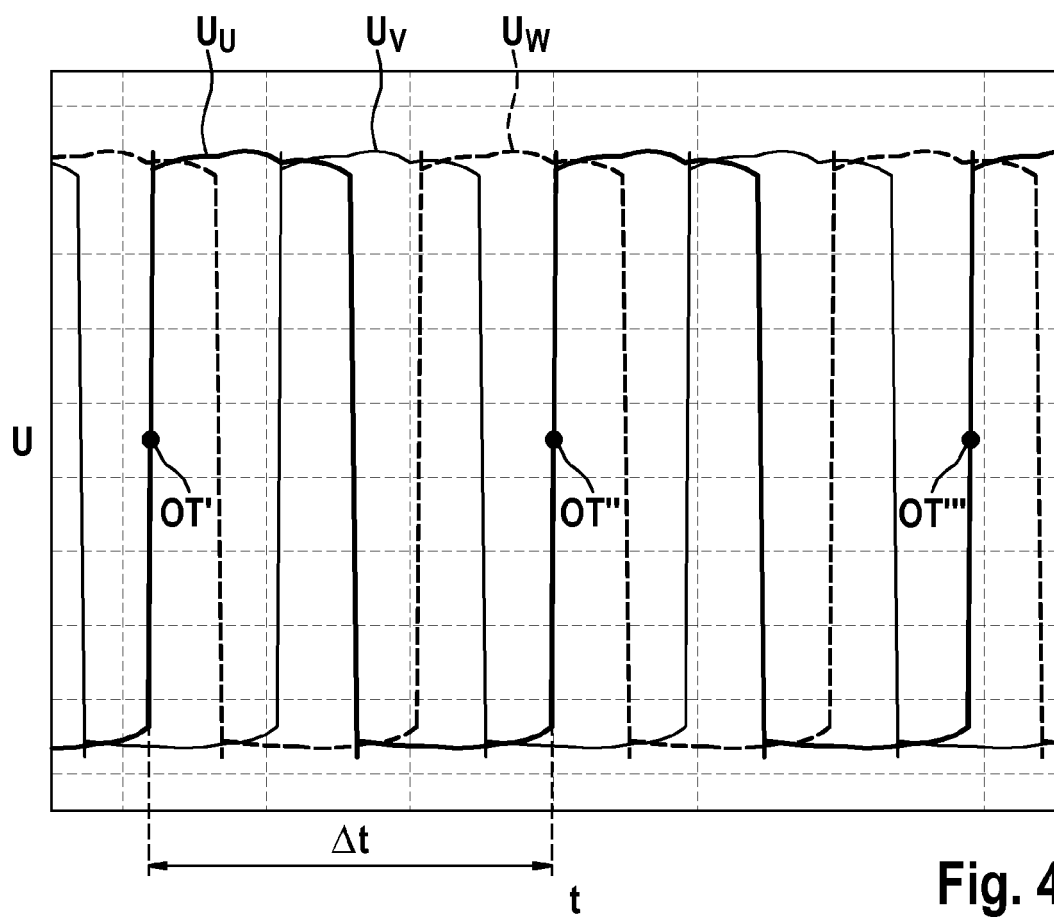


Fig. 4