

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
20. September 2012 (20.09.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/123445 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
H01F 7/18 (2006.01) *F02D 41/20* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/054366
- (22) Internationales Anmeldedatum:
13. März 2012 (13.03.2012)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2011 005 672.6 17. März 2011 (17.03.2011) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH** [DE/DE]; Vahrenwalder Straße 9, 30165 Hannover (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **KOCH, Michael** [DE/DE]; Karpatenstr. 13A, 93057 Regensburg (DE). **RÖSEL, Gerd** [DE/DE]; In der oberen Au 21, 93055 Regensburg (DE).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: **CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH**; Postfach 22 16 39, 80506 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: MODIFIED ELECTRICAL ACTUATION OF AN ACTUATOR FOR DETERMINING THE TIME AT WHICH AN ARMATURE STOPS

(54) Bezeichnung : MODIFIZIERTE ELEKTRISCHE ANSTEUERUNG EINES AKTUATORS ZUR BESTIMMUNG DES ZEITPUNKTS EINES ANKERANSCHLAGS

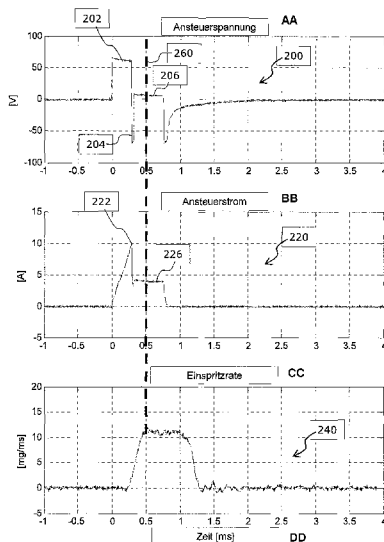


Fig. 2a

Fig. 2b

Fig. 2c

(57) Abstract: The invention describes a method for operating an actuator having a coil and a displaceably mounted armature, which is driven by a magnetic field which is generated by the coil, in a measurement operating mode for ascertaining a time (260) at which the armature reaches its stop position after activation of the actuator. The method comprises (a) applying to the coil an actuation voltage signal (200) which is dimensioned in such a way that the expected time (260) at which the armature stops falls in a time window (206) in which a temporally constant voltage is applied to the coil, (b) detecting the time profile (220) of the intensity of the current which flows through the coil within the time window (206), and (c) determining the time (260) at which the armature reaches its stop position, based on an evaluation of the detected time profile (220) of the intensity of the current. The invention also describes a method for operating an actuator of this kind, wherein information about the stop time is obtained in a measurement operating mode and this information can be used in a series operating mode for the purpose of optimized actuation of the actuator. The invention also describes an apparatus and a computer program for ascertaining a time at which a displaceably mounted armature reaches a stop position after activation of an actuator.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

FIG. 2a:
AA Actuation voltage
FIG. 2b:
BB Actuation current
FIG. 2c:
CC Injection rate
DD Time [ms]

WO 2012/123445 A1



RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, **Veröffentlicht:**
CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

Es wird ein Verfahren zum Betreiben eines Aktuators mit einer Spule und einem verschiebbar gelagerten Anker, welcher von einem von der Spule erzeugten Magnetfeld angetrieben wird, in einem Mess-Betriebsmodus zum Ermitteln eines Zeitpunkts (260), zu dem der Anker nach einer Aktivierung des Aktuators seine Anschlagposition erreicht, beschrieben. Das Verfahren weist auf (a) ein Beaufschlagen der Spule mit einem Ansteuer-Spannungssignal (200), welches derart dimensioniert ist, dass der zu erwartende Zeitpunkt (260) des Anschlags des Ankers in ein Zeitfenster (206) fällt, in dem an die Spule eine zeitlich konstante Spannung angelegt wird, (b) ein Erfassen des zeitlichen Verlaufs (220) der Stärke des Stroms, welcher innerhalb des Zeitfensters (206) durch die Spule fließt, und (c) ein Ermitteln des Zeitpunkts (260), zu dem der Anker seine Anschlagposition erreicht, basierend auf einer Auswertung des erfassten zeitlichen Verlaufs (220) der Stärke des Stromes. Es wird ferner ein Verfahren zum Betreiben eines derartigen Aktuators beschrieben, wobei in einem Mess-Betriebsmodus Erkenntnisse über den Anschlagzeitpunkt gewonnen und diese Erkenntnisse in einem Serien-Betriebsmodus in Hinblick auf eine optimierte Ansteuerung des Aktuators verwendet werden können. Außerdem werden beschrieben eine Vorrichtung sowie ein Computerprogramm zum Ermitteln eines Zeitpunkts, zu dem ein verschiebbar gelagerter Anker nach einer Aktuator-Aktivierung eine Anschlagposition erreicht.

Beschreibung

Modifizierte elektrische Ansteuerung eines Aktuators zur Bestimmung des Zeitpunkts eines Ankeranschlags

5

Die vorliegende Erfindung betrifft das technische Gebiet von elektromagnetisch angetriebenen Aktuatoren, welche eine mit einem Ansteuersignal beaufschlagbare Spule und einen relativ zur Spule beweglich gelagerten Anker aufweisen. Die vorliegende
10 Erfindung betrifft insbesondere ein Verfahren zum Betreiben eines Aktuators mit (a) einer Spule und (b) einem verschiebbar gelagerten Anker, welcher von einem von der Spule erzeugten Magnetfeld angetrieben wird, in einem Mess-Betriebsmodus zum Zwecke der Ermittlung eines Zeitpunkts, zu dem der Anker nach
15 einer Aktivierung des Aktuators seine Anschlagposition erreicht. Die vorliegende Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Betreiben eines derartigen Aktuators, wobei in einem Mess-Betriebsmodus Erkenntnisse über den Anschlagzeitpunkt gewonnen und diese Erkenntnisse in einem Serien-Betriebsmodus in
20 Hinblick auf eine optimierte Ansteuerung des Aktuators verwendet werden können. Die vorliegende Erfindung betrifft außerdem eine Vorrichtung sowie ein Computerprogramm zum Ermitteln eines Zeitpunkts, zu dem ein verschiebbar gelagerter Anker eines eine Spule aufweisenden Aktuators nach einer Aktivierung des
25 Aktuators eine Anschlagposition erreicht.

Elektromagnetisch angetriebene Aktuatoren können mit geringer Toleranz im sog. Vollhub-Betriebsmodus betrieben werden. Dies bedeutet, dass ein Anker des Aktuators zwischen einer
30 Ausgangsposition und einer Endposition hin und her bewegt wird. Ausgangsposition und Endposition sind dabei typischerweise jeweils durch einen mechanischen Anschlag des Ankers an einem Gehäuse des Aktuators definiert. Am Beispiel eines Einspritzventils zur Kraftstoff-Einspritzung bedeutet dieser Betriebsmodus,
35 dass eine Ventalnadel des Einspritzventils jeweils bis zu einer Maximalauslenkung bewegt wird. Eine Variation der eingespritzten Kraftstoffmenge erfolgt dann durch eine geeignete Anpassung der Zeitdauer des Einspritzvorgangs.

Um Schadstoffemissionen und/oder den Kraftstoffverbrauch von Kraftfahrzeugen zu reduzieren, ist es bei modernen Einspritzsystemen jedoch erforderlich, den Betrieb von Einspritzventilen auch bei kleinen Einspritzmengen möglichst genau zu beherrschen. Dies bedeutet, dass auch der sog. ballistische Betrieb eines Einspritzventils beherrscht wird. Unter dem ballistischen Betrieb eines Einspritzventils versteht man in diesem Zusammenhang eine Teilauslenkung des Ankers bzw. der Ventilmadel in einer durch elektrische und/oder konstruktive Parameter vorgegebenen nach Beendigung der elektromagnetischen Krafteinleitung auf den Anker freien d.h. parabelförmigen Flugbahn ohne Erreichen des Vollanschlages.

Im Gegensatz zum Vollhub-Betrieb ist der ballistische Betrieb eines Einspritzventils deutlich stärker toleranzbehaftet, da hier sowohl elektrische als auch mechanische Toleranzen den Öffnungsverlauf wesentlich stärker beeinflussen, als dies im Vollhub-Betrieb der Fall ist. Für den ballistischen Betriebsmodus eines Einspritzventils, allgemein eines elektromagnetisch angetriebenen Ankers eines eine Spule aufweisenden Aktuators, können dabei folgende Toleranzen einzeln oder in Kombination miteinander auftreten:

a) Öffnungstoleranz: Der Zeitpunkt, zu dem sich der Anker nach dem Beaufschlagen der Spule mit einem definierten elektrischen Ansteuerpuls aus seiner Ausgangsposition entfernt, hängt von den elektrischen, magnetischen und/oder mechanischen Eigenschaften des individuellen Einspritzventils und/oder von dessen Betriebszustand (z.B. Temperatur) ab.

b) Schließtoleranz: Der Zeitpunkt, zu dem der Anker nach einer Teilauslenkung wieder in seine Ausgangsposition zurückkehrt, hängt von den elektrischen, magnetischen und/oder mechanischen Eigenschaften des individuellen Einspritzventils und/oder von dessen Betriebszustand ab.

c) Hubtoleranz: Bei einer Teilauslenkung des Ankers hängt der erreichte Maximalhub ebenfalls von den elektrischen, magnetischen und/oder mechanischen Eigenschaften des individuellen Einspritzventils und/oder von dessen Betriebszustand ab. Die Hubtoleranz führt zu einer individuellen Veränderung der parabelförmigen Flugbahn des Ankers mit der Möglichkeit einer ungewollten Abflachung bzw. Überhöhung der entsprechenden Auslenkungskurve.

10 Aus der DE 10 2006 035 225 A1 ist eine elektromagnetische Stellvorrichtung bekannt, welche eine Spule aufweist. Durch eine Auswertung von induzierten Spannungssignalen, welche durch externe mechanische Einflüsse verursacht werden, kann die tatsächliche Bewegung der Stellvorrichtung analysiert werden.

15

Aus der DE 198 34 405 A1 ist ein Verfahren zur Schätzung eines Nadelhubs eines Magnetventils bekannt. Bei der Bewegung der Ventilmadel relativ zu einer Spule des Magnetventils werden die in der Spule induzierten Spannungen erfasst und mittels eines Rechenmodells mit dem Hub der Ventilmadel in Beziehung gesetzt. Zur Ermittlung des Kontaktzeitpunktes kann die zeitliche Ableitung dU/dt der Spulenspannung verwendet werden, da dieses Signal im Umkehrpunkt der Nadel- bzw. Ankerbewegung große Sprünge aufweist.

25

Aus der DE 38 43 138 A1 ist ein Verfahren zur Steuerung und Erfassung der Bewegung eines Ankers eines elektromagnetischen Schaltorgans bekannt. Beim Abschalten des Schaltorgans wird ein Magnetfeld in dessen Erregerwicklung induziert, welches durch die Ankerbewegung verändert wird. Die darauf beruhenden zeitlichen Änderungen der an der Erregerwicklung anliegenden Spannung können dazu verwendet werden, um das Ende der Ankerbewegung zu erfassen.

35

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, bei einem elektromagnetisch angetriebenen eine Spule und einen verschiebbar gelagerten Anker aufweisenden Aktuator, welcher in Vollauslenkung betrieben wird, Kenntnisse über den genauen Zeitpunkt zu

erlangen, zu dem der Anker des Aktuators nach einer Aktivierung seine Anschlagposition erreicht.

5 Diese Aufgabe wird gelöst durch die Gegenstände der unabhängigen Patentansprüche. Vorteilhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

10 Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung wird beschrieben ein Verfahren zum Betreiben eines Aktuators mit (a) einer Spule und (b) einem verschiebbar gelagerten Anker, welcher von einem von der Spule erzeugten Magnetfeld angetrieben wird, in einem Mess-Betriebsmodus zum Ermitteln eines Zeitpunkts, zu dem der Anker nach einer Aktivierung des Aktuators seine
15 Anschlagposition erreicht. Das beschriebene Verfahren weist auf (a) Beaufschlagen der Spule mit einem Ansteuer-Spannungssignal, welches derart dimensioniert ist, dass der zu erwartende Zeitpunkt des Anschlags des Ankers in ein Zeitfenster fällt, in dem an die Spule eine zeitlich konstante Spannung angelegt wird,
20 (b) Erfassen des zeitlichen Verlaufs der Stärke des Stroms, welcher innerhalb des Zeitfensters durch die Spule fließt, und (c) Ermitteln des Zeitpunkts, zu dem der Anker seine Anschlagposition erreicht, basierend auf einer Auswertung des erfassten zeitlichen Verlaufs der Stärke des Stromes.

25

Dem beschriebenen Verfahren liegt die Erkenntnis zugrunde, dass ein im Betrieb befindlicher Aktuator zumindest zeitweise in einem bestimmten Mess-Betriebsmodus betrieben werden kann, in dem der Aktuator ein zumindest ähnliches Öffnungs- und ggf. auch
30 Schließverhalten aufweist, wie wenn der Aktuator in einem Serien-Betriebsmodus mit einer regulären Ansteuerung betrieben wird. Dabei kann sich der Mess-Betriebsmodus gegenüber dem Serien-Betriebsmodus insbesondere dadurch auszeichnen, dass während eines Zeitfensters, innerhalb dem der (mechanische)
35 Anschlag des Ankers erwartet wird, eine zeitlich zumindest annähernd konstante Spannung angelegt ist. Dann befindet sich nämlich das gesamte elektrische Messsystem des Aktuators in einem definierten und stabilen Zustand, so dass zeitliche Änderungen

in der Stromstärke durch die Spule innerhalb des Zeitfensters keine Artefakte sondern signifikante Anzeichen dafür sein können, welche charakteristisch für den mechanischen Anschlag des Ankers sind.

5

In diesem Zusammenhang kann der Begriff einer "zeitlich konstanten Spannung" insbesondere bedeuten, dass keine Taktung vorgenommen wird, bei der zeitlich aufeinander folgend jeweils ein kurzer erster Spannungspuls mit einer ersten Spannung und ein
10 kurzer zweiter Spannungspuls mit einer zweiten Spannung an die Spule angelegt wird. Dabei kann insbesondere die zweite Spannung auch "Null" sein, so dass im Ergebnis lediglich die erste Spannung in Form von zeitlich aufeinander folgenden diskreten Spannungspulsen angelegt wird. Eine an der Spule effektiv anliegende
15 Spannung wird u.a. bestimmt durch ein Tastverhältnis zwischen (a) einer ersten Zeitdauer, mit der die erste Spannung angelegt wird, und (b) einer Gesamtzeitdauer, welche sich aus der Summe der ersten Zeitdauer und einer zweiten Zeitdauer ergibt, zu der keine (oder die zweite Spannung) angelegt wird. Selbstverständlich
20 hängt die effektive Spannung auch wesentlich von den Niveaus der beiden Spannungen ab.

Bei dem beschriebenen Aktuator kann es sich um einen Injektor und insbesondere um einen Kraftstoff-Einspritzinjektor für ein
25 Kraftfahrzeug handeln. Der eingespritzte Kraftstoff kann Benzin oder ein Dieselkraftstoff sein.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung ist das Ansteuer-Spannungssignal hinsichtlich seiner Signalthöhe
30 und/oder seines zeitlichen Verlaufs derart dimensioniert, dass der zu erwartende Zeitpunkt des Anschlags des Ankers in das Zeitfenster fällt. Dies hat den Vorteil, dass mit der Signalthöhe und dem zeitlichen Verlauf zwei prinzipiell verschiedene Eigenschaften des Ansteuersignals in geeigneter Weise eingestellt
35 werden können, um den gewünschten stabilen Zustand des elektrischen Messsystems des Aktuators zu erreichen. Dabei kann die Signalthöhe bzw. der Spannungspegel ggf. unabhängig von dem zeitlichen Verlauf variiert werden, um ein möglichst optimales

Ansteuer-Spannungssignal im Hinblick auf (a) einen möglichst stabilen Zustand des elektrischen Messsystems innerhalb des Zeitfensters und auf (b) ein Bewegungsverhalten des Ankers zu erhalten, welches dem Bewegungsverhalten des Ankers in einem
5 Serien-Betriebsmodus mit einer regulären Aktuator-Ansteuerung möglichst ähnlich ist.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung weist das Ansteuer-Spannungssignal eine Verstärkungsphase und eine Halte-
10 phase auf, wobei (a) während der Verstärkungsphase eine Verstärkungsspannung an die Spule angelegt wird und (b) während der Haltephase eine Haltespannung an die Spule angelegt wird, wobei die Verstärkungsspannung größer ist als die Haltespannung.

15 Die Haltespannung kann insbesondere diejenige Spannung sein, welche von einer Batterie eines Kraftfahrzeugs bereitgestellt wird. Die Verstärkungsspannung ist dann eine gegenüber der Batteriespannung überhöhte Spannung, welche z.B. in bekannter Weise mittels einer elektrischen (Boost-)Schaltung aus der
20 Batteriespannung gewonnen wird. Die Verstärkungsspannung wird häufig auch als Boostspannung bezeichnet.

Die Verwendung einer Verstärkungsphase hat bei einem Serienbetrieb in bekannter Weise den Vorteil, dass der Injektor
25 mit hoher Energie aktiviert wird und der Anker somit zügig aus seiner Ausgangslage ausgelenkt wird. Auf diese Weise wird die Toleranz bezüglich des Öffnungsverhaltens von verschiedenen Aktuatoren desselben Typs reduziert und somit ein genauer definiertes Öffnungsverhalten und damit eine höhere Mengen-
30 genauigkeit von eingespritztem Kraftstoff erreicht. Bei dem in diesem Dokument beschriebenen Verfahren zum Betreiben des Aktuators in einem Mess-Betriebsmodus zum Zwecke der Bestimmung des Zeitpunkt des Ankeranschlags hat die Verwendung der Verstärkungsphase insbesondere den Vorteil, dass das An-
35 steuer-Spannungssignal derart maßgeschneidert werden kann, dass das Öffnungsverhalten des Aktuators im Mess-Betriebsmodus sehr ähnlich zu dem Öffnungsverhalten des Aktuators in einem Serien-Betriebsmodus sein kann. Damit ist das Ergebnis der

beschriebenen Ermittlung des Zeitpunkts des Ankeranschlags im Mess-Betriebsmodus in guter Näherung auf den Serien-Betrieb übertragbar, bei dem der Aktuator typischerweise ebenfalls unter Verwendung einer Verstärkungsphase angesteuert wird.

5

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung wird die Verstärkungsphase abgebrochen, sobald der Strom durch die Spule einen Maximalstrom erreicht. Dabei ist der Maximalstrom derart gewählt, dass der zu erwartende Zeitpunkt des Anschlags des Ankers in das Zeitfenster fällt. Dies hat den Vorteil, dass ein geeignetes Ansteuer-Spannungssignal auf einfache Weise realisiert werden kann.

10

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung wird die Verstärkungsphase mittels eines Spannungspulses mit im Vergleich zu der Verstärkungsspannung umgekehrter Polarität abgebrochen. Ferner folgt nach dem Ende des Spannungspulses die Haltephase. Dies hat den Vorteil, dass in der Haltephase hinsichtlich der tatsächlich an der Spule anliegenden Spannung besonders stabile Verhältnisse vorliegen. Dies hat zur Folge, dass in dem oben definierten Zeitfenster der Strom durch die Spule einen geringen Gradienten aufweisen wird, so dass eine besonders genaue Bestimmung des Zeitpunkts des Anschlags des Ankers möglich ist.

15

20

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung ist der Zeitpunkt, zu dem der Anker seine Anschlagposition erreicht, durch einen Extremwert der innerhalb des Zeitfensters erfassten Stärke des Stroms durch die Spule bestimmt. Der Extremwert kann insbesondere ein Minimum sein. Dies hat den Vorteil, dass der Zeitpunkt des Ankeranschlags auf besonders einfache Weise ermittelt werden kann.

25

30

Es wird darauf hingewiesen, dass der Extremwert im Vergleich zu dem gesamten Stromverlauf insbesondere ein lokaler Extremwert ist. In Bezug auf das Zeitfenster kann der Extremwert ein lokaler oder auch ein globaler Extremwert sein.

35

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung weist das Verfahren ferner ein Vergleichen des erfassten zeitlichen Verlaufs der Stärke des Stroms mit einem Referenzstromverlauf auf. In diesem Fall basiert das Ermitteln des Zeitpunkts, zu dem der Anker seine Anschlagposition erreicht, auf einer Auswertung des Vergleichs des erfassten zeitlichen Verlaufs der Stärke des Stroms mit dem Referenzstromverlauf.

Durch den beschriebenen Vergleich des Strommesssignals mit dem Referenzstromverlauf kann eine besonders hohe Genauigkeit hinsichtlich der Bestimmung des Zeitpunkts des Ankeranschlags erreicht werden. Dies kann insbesondere daran liegen, dass Artefakte, welche sowohl in dem erfassten Strommesssignal als auch in dem Referenzstromverlauf vorkommen, auf einfache Weise eliminiert werden können. Bevorzugt besteht das Vergleichen lediglich aus einer einfachen Differenzbildung (ggf. mit einer zusätzlichen Skalierung) zwischen dem erfassten zeitlichen Verlauf der Stärke des Stromes und dem Referenzstromverlauf.

Der beschriebene Referenzstromverlauf, welcher für einen bestimmten Typ von Aktuator oder sogar für einen individuellen Aktuator charakteristisch sein kann, kann z.B. in einem Teststand ermittelt werden. Der beschriebene Referenzstromverlauf kann beispielsweise in einer Motorsteuerung eines Kraftfahrzeugs hinterlegt sein.

Der Referenzstromverlauf kann charakteristisch sein für einen geklemmten Aktuator, bei dem der Anker in seiner Ausgangsposition mechanisch fixiert ist und sich trotz der Beaufschlagung der Spule mit dem Ansteuer-Spannungssignal relativ zu einem Gehäuse des Aktuators nicht bewegt. Die mechanische Fixierung kann insbesondere in einem Teststand durch einen deutlich erhöhten Kraftstoffdruck in einem Railsystem erreicht werden, an dem der betreffende Aktuator angeschlossen ist.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zum Betreiben eines Aktuators mit (a) einer Spule und (b) einem verschiebbar gelagerten Anker, welcher von einem von der Spule

erzeugten Magnetfeld angetrieben wird, beschrieben. Das beschriebene Verfahren weist auf (a) ein Betreiben des Aktuators in einem Serien-Betriebsmodus, wobei die Spule mit einem Serien-Ansteuer-Spannungssignal beaufschlagt wird, welches zum Zwecke einer Stromregelung zumindest zeitweise eine getaktete Spannung aufweist, und (b) ein Betreiben des Aktuators in einem Mess-Betriebsmodus zum Ermitteln eines Zeitpunkts, zu dem der Anker nach einer Aktivierung des Aktuators seine Anschlagposition erreicht. In dem Mess-Betriebsmodus wird das oben beschriebene Verfahren ausgeführt.

Dem beschriebenen Verfahren liegt die Erkenntnis zugrunde, dass während des laufenden Betriebs beispielsweise einer Brennkraftmaschine der Aktuator zwischenzeitlich nicht mit dem Serien-Ansteuer-Spannungssignal sondern mit dem oben beschriebenen Ansteuer-Spannungssignal beaufschlagt wird, welches zumindest in dem oben definierten Zeitfenster eine Ermittlung des Zeitpunkts ermöglicht, zu dem der Anker (in dem Mess-Betriebsmodus) seine Anschlagposition erreicht. Basierend auf dem ermittelten Zeitpunkt des tatsächlichen Ankeranschlags (in dem Mess-Betriebsmodus) können dann Rückschlüsse gewonnen werden, wie in einem nachfolgenden Serien-Betriebsmodus das Serien-Ansteuer-Spannungssignal ggf. angepasst werden kann, um in Hinblick auf ein gewünschtes Öffnungsverhalten des Aktuators eine optimierte Ansteuerung der Spule zu erreichen.

Das mit diesem zweiten Aspekt der Erfindung beschriebene Verfahren hat den Vorteil, dass eine Aktuator-individuelle Adaption für eine optimale Ansteuerung möglich ist. Auf diese Weise können Änderungen in dem Öffnungsverhalten eines Aktuators beispielsweise infolge von Verschleiß und/oder besonderen Betriebsbedingungen kompensiert werden. Geänderte Betriebsbedingungen können beispielsweise unterschiedliche Kraftstoffdrücke, eine unübliche Viskosität eines einzuspritzenden Kraftstoffs und/oder unübliche Temperaturen sein.

Da das Serien-Ansteuer-Spannungssignal typischerweise ein Signal sein wird, welches im Hinblick auf ein gewünschtes Öffnungs- und Schließverhalten optimiert ist, wird in diesem Dokument das oben beschriebene Ansteuer-Spannungssignal auch als
5 modifiziertes Ansteuer-Spannungssignal bezeichnet.

Unter dem Begriff getaktete Spannung ist insbesondere zu verstehen, dass die angelegte Spannung durch eine Folge von aufeinanderfolgenden kurzen Pulsen zwischen zwei verschiedenen
10 Spannungsniveaus diskret variiert, so dass sich im Ergebnis über die Zeit gemittelt eine effektive Spannung einstellt, welche zwischen den beiden Spannungsniveaus liegt. Wie vorstehend beschrieben, kann eines dieser Spannungsniveaus auch "Null" sein und der Wert der effektiven Spannung ergibt sich u.a. in bekannter
15 Weise, wie ebenfalls vorstehend beschrieben, aus dem Tastverhältnis.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung weist das Serien-Ansteuer-Spannungssignal eine Serien-Verstärkungsphase und eine Serien-Haltephase auf. Während der
20 Serien-Verstärkungsphase wird eine Serien-Verstärkungsspannung an die Spule angelegt und während der Serien-Haltephase wird eine Serien-Haltespannung an die Spule angelegt, wobei die Serien-Verstärkungsspannung größer ist als die
25 Serien-Haltespannung. Auch hier kann die Serien-Haltespannung insbesondere diejenige Spannung sein, welche von einer Batterie eines Kraftfahrzeugs bereitgestellt wird. Die Serien-Verstärkungsspannung ist dann eine gegenüber der Batteriespannung überhöhte Spannung, welche z.B. in bekannter
30 Weise mittels einer elektrischen (Boost-)Schaltung aus der Batteriespannung gewonnen wird. Die Serien-Verstärkungsspannung kann somit auch als Serien-Boostspannung bezeichnet werden.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung wird die
35 Serien-Verstärkungsphase abgebrochen, sobald der Strom durch die Spule einen Serien-Maximalstrom erreicht, wobei ein Maximalstrom zum Abbrechen einer Verstärkungsphase des Ansteuer-Spannungssignals kleiner ist als der

Serien-Maximalstrom. Dies hat den Vorteil, dass für den Mess-Betriebsmodus auf einfache Weise ein geeignetes (modifiziertes) Ansteuer-Spannungssignal realisiert werden kann, bei dem zum einen (a) die elektrische Ansteuerung stark genug modifiziert ist, um eine zuverlässige Ermittlung des Zeitpunkts des Ankeranschlags zu erreichen, und bei dem zum anderen (b) die elektrische Ansteuerung gegenüber dem Serien-Betriebsmodus nicht so stark modifiziert ist, als dass die über den tatsächlichen Anschlagzeitpunkt gewonnenen Erkenntnisse nicht auf den Serien-Betriebsmodus übertragen werden können.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird eine Vorrichtung zum Ermitteln eines Zeitpunkts, zu dem ein verschiebbar gelagerter Anker eines eine Spule aufweisenden Aktuators nach einer Aktivierung des Aktuators eine Anschlagposition erreicht, beschrieben. Die beschriebene Vorrichtung weist auf (a) eine Einrichtung zum Beaufschlagen der Spule mit einem Ansteuer-Spannungssignal, welches derart dimensioniert ist, dass der zu erwartende Zeitpunkt des Anschlags des Ankers in ein Zeitfenster fällt, in dem an die Spule eine zeitlich konstante Spannung angelegt wird, und (b) eine Einheit (b1) zum Erfassen des zeitlichen Verlaufs der Stärke des Stroms, welcher innerhalb des Zeitfensters durch die Spule fließt, und (b2) zum Ermitteln des Zeitpunkts, zu dem der Anker seine Anschlagposition erreicht, basierend auf einer Auswertung des erfassten zeitlichen Verlaufs der Stärke des Stromes.

Auch der beschriebenen Vorrichtung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass ein Aktuator zumindest zeitweise in einem bestimmten Mess-Betriebsmodus betrieben werden kann, in dem er ein ähnliches Öffnungsverhalten aufweist, wie wenn er in einem Serien-Betriebsmodus mit einer regulären Ansteuerung betrieben werden würde. Erfindungsgemäß liegt während eines Zeitfensters, innerhalb dem der (mechanische) Anschlag des Ankers erwartet wird, an der Spule eine zeitlich zumindest annähernd konstante Spannung an. Dann befindet sich nämlich das gesamte elektrische Messsystem des Aktuators in einem definierten und stabilen Zustand, so dass zeitliche Änderungen in der Stromstärke durch

die Spule innerhalb des genannten Zeitfensters keine Artefakte sondern signifikante Anzeichen dafür sein können, welche charakteristisch für den mechanischen Anschlag des Ankers sind.

5 Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird beschrieben ein Computerprogramm zum Ermitteln eines Zeitpunkts, zu dem ein verschiebbar gelagerter Anker eines eine Spule aufweisenden Aktuators nach einer Aktivierung des Aktuators eine Anschlagposition erreicht. Das Computerprogramm ist, wenn es von einem
10 Prozessor ausgeführt wird, eingerichtet zum Steuern des vorstehend beschriebenen Verfahrens zum Betreiben eines Aktuators in einem Mess-Betriebsmodus zum Ermitteln eines Zeitpunkts, zu dem der Anker nach einer Aktivierung des Aktuators seine Anschlagposition erreicht.

15

Es wird darauf hingewiesen, dass Ausführungsformen der Erfindung mit Bezug auf unterschiedliche Erfindungsgegenstände beschrieben wurden. Insbesondere sind einige Ausführungsformen der Erfindung mit Vorrichtungsansprüchen und andere Ausführungsformen der Erfindung mit Verfahrensansprüchen beschrieben. Dem
20 Fachmann wird jedoch bei der Lektüre dieser Anmeldung sofort klar werden, dass, sofern nicht explizit anders angegeben, zusätzlich zu einer Kombination von Merkmalen, die zu einem Typ von Erfindungsgegenstand gehören, auch eine beliebige Kombination von Merkmalen möglich ist, die zu unterschiedlichen Typen von
25 Erfindungsgegenständen gehören.

Weitere Vorteile und Merkmale der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der folgenden beispielhaften Beschreibung einer derzeit
30 bevorzugten Ausführungsform.

Figuren 1a, 1b und 1c zeigen für eine Serien-Ansteuerung eines Kraftstoffinjektors mit einer Verstärkungsphase und einer Haltephase den zeitlichen Verlauf (a) der Ansteuerspannung und des
35 resultierenden Ansteuerstroms und (b) der resultierenden Einspritzrate.

Figuren 2a, 2b und 2c zeigen für eine Mess-Ansteuerung eines Kraftstoffinjektors mit einer modifizierten Verstärkungsphase und einer modifizierten Haltephase den zeitlichen Verlauf (a) der entsprechenden Ansteuerspannung und des resultierenden Ansteuerstroms und (b) der resultierenden Einspritzrate.

Figur 3a zeigt einen Vergleich zwischen dem in Figur 2b dargestellten Ansteuerstrom und einem Ansteuerstrom, welcher sich bei Verwendung der gleichen Ansteuerspannung im Falle eines hydraulisch blockierten Kraftstoffinjektors einstellt.

Figur 3b zeigt in einem vergrößerten Maßstab die Differenz zwischen den beiden in Figur 3a dargestellten Ansteuerströmen.

Es wird darauf hingewiesen, dass die nachfolgend beschriebene Ausführungsform lediglich eine beschränkte Auswahl an möglichen Ausführungsvarianten der Erfindung darstellt.

Die Figuren 1a, 1b und 1c zeigen für eine Serien-Ansteuerung eines Kraftstoffinjektors mit einer Verstärkungsphase und einer Haltephase den zeitlichen Verlauf (a) der Ansteuerspannung 100 und des resultierenden Ansteuerstroms 120 und (b) der resultierenden Einspritzrate 140. Es wird darauf hingewiesen, dass gemäß dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel die Serienansteuerung einer bekannten Boost-Phase aufweisenden Ansteuerung eines Kraftstoffinjektors entspricht. Gemäß dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel wird diese Serienansteuerung als Standard-Ansteuerung verwendet, welche jedoch zwischenzeitlich durch eine Mess-Ansteuerung ersetzt wird, um nach einer Aktivierung des Kraftstoffinjektors den Zeitpunkt des Ankeranschlags genau bestimmen zu können und um, basierend auf der gewonnenen Erkenntnis bzgl. des Ankeranschlags, die nachfolgende Serien-Ansteuerung optimieren zu können.

Wie aus den Figuren 1a, 1b und 1c ersichtlich, weist in der Serien-Ansteuerung die Ansteuerspannung 100 zu Beginn der Ansteuerung im Zeitbereich zwischen 0 ms und ca. 0,3 ms eine Verstärkungsphase 102 auf, mit der eine Boostspannung in der Höhe

von ca. 60 V an die Spule des Kraftstoffinjektors angelegt wird. Gleichzeitig beginnt der Ansteuerstrom 120 durch die Spule anzusteigen. Die Steilheit des Anstiegs hängt in bekannter Weise von der Induktivität der Spule des Kraftstoffinjektors ab. Bei Erreichen eines Maximalstromes 122, welcher gemäß dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel ca. 12,5 A beträgt, wird die Verstärkungsphase abgebrochen. Dabei fällt die Ansteuerspannung 100 schlagartig ab und der Ansteuerstrom 120 sinkt auf einen Wert von ca. 5 A. Der Bereich zwischen ca. 0,3 ms und 0,5 ms, in dem aufgrund der Induktivität der Spule der Ansteuerstrom 120 exponentiell absinkt, wird auch als Freilaufphase 124 bezeichnet.

Um eine zügige Bewegung des Ankers des Kraftstoffinjektors hin zu seinem mechanischen Anschlag zu erreichen, wird gemäß dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel sichergestellt, dass bis zu einem Zeitpunkt bei ca. 0,75 ms der Ansteuerstrom 120 nicht unter einen Strompegel von 5 A fällt. Dies wird dadurch erreicht, dass im Bereich von ca. 0,3 ms bis ca. 0,7 ms eine Spannungstaktung 105 durchgeführt wird. Es wird darauf hingewiesen, dass der Abfall der Ansteuerspannung 100 im Zeitbereich zwischen ca. 0,35 ms und 0,45 ms auf leicht negative Werte ein Messartefakt ist, und dass im gesamten Zeitbereich von ca. 0,3 ms bis 0,7 ms die tatsächliche an der Spule anliegende Spannung durch die Spannungstaktung 105 auf einen zumindest annähernd konstantem effektiven Spannungsniveau liegt.

Aus Figur 1c ist ersichtlich, dass zu einem Zeitpunkt bei ca. 0,5 ms die Einspritzrate 140 ihren maximalen Wert von ca. 12 mg/ms erreicht. Daraus kann geschlossen werden, dass gemäß dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel der Anker des Kraftstoffinjektors zu diesem Zeitpunkt, welcher durch eine gestrichelte Linie 160 dargestellt ist, seinen mechanischen Anschlag erreicht.

35

Wie aus Figur 1a ersichtlich, liegt bei der Serien-Ansteuerung der Zeitpunkt 160 des Ankeranschlages innerhalb eines Zeitfensters, in dem die oben beschriebene Spannungstaktung 105

stattfindet. Die Spannungstaktung 105 sorgt jedoch für eine "unruhige Messumgebung", so dass beispielsweise der Ansteuerstrom 120 nicht so genau ausgewertet werden kann, wie es für eine Bestimmung des Ankeranschlags 160 basierend lediglich auf elektrischen Daten notwendig ist. In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, dass die Einspritzrate 140 lediglich in einem Kraftstoffinjektor-Messstand gemessen werden kann. Im realen Betrieb des Kraftstoffinjektors sind entsprechende Durchflussmessungen i.d.R. nicht möglich.

10

Der Vollständigkeit halber wird an dieser Stelle noch kurz auf weitere Charakteristika der in den Figuren 1a und 1b dargestellten elektrischen Serien-Ansteuerung des Kraftstoffinjektors eingegangen: Um den elektrischen Energieeintrag in den Kraftstoffinjektor nicht unnötig zu erhöhen, wird nach dem Ankeranschlag 160 bei ca. 0,7 ms eine weitere Spannungstaktung 110 vorgenommen, welche infolge eines geänderten Tastverhältnisses eine geringere effektive (an der Spule des Kraftstoffinjektors anliegende) Spannung zur Folge hat. Gemäß dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel beginnt diese weitere Spannungstaktung 110 bei ca. 0,75 ms und endet bei ca. 1,45 ms. Wie aus Figur 1b ersichtlich, führt die weitere Spannungstaktung 110 im gezeigten Ausführungsbeispiel zu einem Ansteuerstrom 120 von ca. 2,5 A.

25

Der bei ca. 0.7 ms ersichtliche negative Spannungspuls (auch bezeichnet als negative Boostspannung) wird in diesem Fall aufgebracht, um ein schnelles Absinken des Spulenstromes zu erreichen (im dargestellten Fall sinkt der Spulenstrom von ca. 5 A auf ca. 2.5 A ab).

30

Gemäß dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel endet bei ca. 1,45 ms die elektrische Ansteuerung des Kraftstoffinjektors. Wie aus Figur 1a ersichtlich, entsteht durch das entsprechende Abschalten der Ansteuerspannung 100 an der Spule des Kraftstoffinjektors eine Selbstinduktionsspannung. Daraus resultiert wiederum ein Stromfluss durch die Spule, welcher nun das Magnetfeld abbaut. Nach Überschreiten einer hier negativ

35

dargestellten Rekuperationsspannung von ca. 70 V fließt kein Strom mehr. Dieser Zustand wird auch als "open coil" bezeichnet. Aufgrund der ohm'schen Widerstände des magnetischen Materials des Ankers klingen die beim Feldabbau der Spule induzierten
5 Wirbelströme ab. Die Abnahme der Wirbelströme führt wiederum zu einer Feldänderung in der Spule und somit zu einer Spannungsinduktion. Dieser Induktionseffekt führt dazu, dass der Spannungswert an der Spule des Kraftstoffinjektors ausgehend vom Niveau der Rekuperationsspannung nach dem Verlauf einer Exponentialfunktion 115 auf Null ansteigt. Der Kraftstoffinjektor schließt nach Abbau der Magnetkraft über die Federkraft und die durch den Kraftstoffdruck verursachte hydraulische Kraft.

Das Ende der elektrischen Ansteuerung erkennt man in Figur 1b
15 daran, dass bei ca. 1,45 ms der Ansteuerstrom 120 auf einen Wert Null absinkt. Aus Figur 1c ist ersichtlich, dass nach einer gewissen zeitlichen Verzögerung (vgl. oben beschriebene Schließtoleranz) der Anker des Kraftstoffinjektors bei ca. 1,75 ms beginnt zu schließen.

20 Um in dem Zeitfenster, in dem der Anschlag des Ankers des Kraftstoffinjektors erwartet wird, möglichst gute Messbedingungen für eine genaue elektrische Analyse des Stromsignals des Ansteuerstroms durch die Spule zu ermöglichen und um zumindest ein ähnliches Öffnungs- und ggf. auch Schließverhalten wie bei
25 der Serien-Ansteuerung zu erreichen, wird gemäß dem nachfolgend anhand der Figuren 2a, 2b und 2c beschriebenen Ausführungsbeispiel die Spule des Kraftstoffinjektors derart angesteuert, dass auf eine Spannungstaktung verzichtet werden
30 kann.

Die Figuren 2a, 2b und 2c zeigen für eine Mess-Ansteuerung eines Kraftstoffinjektors mit einer modifizierten Verstärkungsphase und einer modifizierten Haltephase den zeitlichen Verlauf (a) der
35 entsprechenden Ansteuerspannung 200 und des resultierenden Ansteuerstroms 220 und (b) der resultierenden Einspritzrate 240. Der Zeitpunkt des Ankeranschlags ist mit der mit dem Bezugszeichen 260 versehenen gestrichelten Linie illustriert.

Wie aus einem Vergleich zwischen den Figuren 2b und 1b ersichtlich, wird bei der im Vergleich zu der Serien-Ansteuerung modifizierten Mess-Ansteuerung ein geringerer Maximalstrom 222 gewählt, so dass die Verstärkungsphase 202 etwas früher abgebrochen wird. Im Vergleich zu dem Maximalstrom 122, welcher bei der Serien-Ansteuerung ca. 12 A beträgt, liegt der Maximalstrom 222 der Mess-Ansteuerung lediglich bei ca. 10 A. Ferner wird zum Zeitpunkt des Endes der Verstärkungsphase 202 bei ca. 0,35 ms aktiv ein kurzer negativer Spannungspuls 204 an die Spule angelegt, um den Spulenstrom (hier ca. 10 A) zügig auf ein niedrigeres Niveau zu ziehen. Nach Umsetzung dieser beiden Maßnahmen (a) der Wahl eines etwas kleineren Maximalstroms 222 und (b) dem aktiven Herunterziehen des Stromes durch den kurzen negativen Spannungspuls 204 kann nachfolgend, d.h. in einem Zeitfenster von ca. 0,35 ms bis 0,75 ms, in dem der Ankeranschlag erwartet wird, auf eine Spannungstaktung verzichtet werden. Als Folge erhält man ein ungetaktetes Spannungsplateau 206 sowie ein Stromplateau 226 mit einem im Vergleich zu dem in Figur 1b dargestellten Stromverlauf 120 wesentlich glatteren Stromverlauf. Wie nachfolgend noch genauer beschrieben wird, kann somit bei "ruhigen Messbedingungen" durch eine genaue Analyse des Stromplateaus 226 der Zeitpunkt, zu dem der Anker des Kraftstoffinjektors seinen mechanischen Anschlag erreicht, ermittelt werden.

25

Es wird darauf hingewiesen, dass gemäß dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel das Stromplateau 226 den Beginn eines exponentiellen Anstiegs in dem Ansteuerstrom 220 darstellt, welcher Anstieg in bekannter Weise durch die Induktivität der Spule, an welche eine konstante Spannung angelegt ist, verursacht wird. Durch die geschickte Wahl eines geeigneten (reduzierten) Wertes für den Maximalstrom 222 sowie insbesondere durch die Verwendung des negativer Spannungspulses 204 wird jedoch erreicht, dass dieser Anstieg in dem Zeitfenster von ca. 0,35 ms bis ca. 0,75 ms noch so flach ist, dass der Strom in diesem Zeitfenster in guter Näherung als zeitlich konstant angesehen werden kann.

35

Der Vollständigkeit halber wird an dieser Stelle noch kurz auf weitere Charakteristika der in den Figuren 2a und 2b dargestellten elektrischen Mess-Ansteuerung des Kraftstoffinjektors eingegangen: Bei einem Zeitpunkt von ca. 0,75 ms endet die
5 elektrische Ansteuerung des Kraftstoffinjektors. In gleicher Weise wie bei der Serien-Ansteuerung führt das Abschalten der Ansteuerspannung 200 an der Spule des Kraftstoffinjektors zu einer negativen Selbstinduktionsspannung und danach zu einem exponentiellen Anstieg der Ansteuerspannung auf den Wert Null.
10 Bei dem Zeitpunkt von ca. 0,75 ms fällt der Spulenstrom 220 auf Null ab. Aus Figur 2c ist ersichtlich, dass nach einer gewissen zeitlichen Verzögerung (vgl. oben beschriebene Schließtoleranz) der Anker des Kraftstoffinjektors bei ca. 1 ms beginnt zu schließen.

15

Figur 3a zeigt einen Vergleich zwischen dem in Figur 2b dargestellten Ansteuerstrom, welcher nunmehr mit dem Bezugszeichen 320 gekennzeichnet ist, und einem Ansteuerstrom 320R, welcher sich bei Verwendung der gleichen Ansteuerspannung im
20 Falle eines hydraulisch blockierten Kraftstoffinjektors einstellt. Figur 3b zeigt in einem vergrößerten Maßstab die Differenz zwischen den beiden in Figur 3a dargestellten Ansteuerströmen 320 und 320R.

25 Aus der in Vergleich zu Figur 2b vergrößerten Darstellung in Figur 3a ergibt sich, dass der Ankeranschlag zu einem Zeitpunkt auftritt, an dem der Ansteuerstrom 320 ein - wenn auch flaches - lokales Minimum 321 aufweist. Infolge der stabilen elektrischen Messbedingungen, die mit der vorstehend beschriebenen
30 Mess-Ansteuerung zumindest innerhalb des Zeitfensters zwischen ca. 0,35 ms und 0,75 ms geschaffen wurden, ist jedoch die Messkurve 320 des Ansteuerstroms so genau, dass dieses Minimum 321 tatsächlich mit ausreichend hoher Zuverlässigkeit detektiert werden kann.

35

Um die Detektionszuverlässigkeit weiter zu erhöhen, kann die Messkurve 320 des Ansteuerstroms mit dem oben erwähnten Referenz-Ansteuerstrom 320R verglichen werden, welcher charakteris-

tisch ist für einen elektrisch mit der Ansteuerspannung 200 beaufschlagten, jedoch mechanisch geklemmten Anker. Gemäß dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel besteht das Vergleichen aus einer einfachen Differenzbildung, dessen Ergebnis in Figur 5 3b dargestellt ist. Die entsprechende Kurve 320D stellt also die Differenz zwischen dem Ansteuerstrom 320 und dem Referenz-Ansteuerstrom 320R dar. Dabei ist klar ersichtlich, dass der Zeitpunkt des Ankeranschlags 360 nunmehr durch ein wesentlich deutlicher ausgeprägtes Minimum 321D charakterisiert ist. Der 10 Zeitpunkt des Ankeranschlags 360 kann somit genauer und insbesondere mit größerer Zuverlässigkeit ermittelt werden.

Es wird darauf hingewiesen, dass während des Betriebs einer Brennkraftmaschine eine zwischenzeitliche mechanische Klemmung 15 des Kraftstoffinjektors, beispielsweise durch das Anlegen eines überhöhten Kraftstoffdrucks, typischerweise nicht möglich ist. Allerdings kann der Referenz-Ansteuerstrom 320R, welcher für einen bestimmten Typ von Kraftstoffinjektor oder sogar für einen individuellen Kraftstoffinjektor charakteristisch sein kann, 20 z.B. in einem Teststand ermittelt und dann in einer Motorsteuerung eines Kraftfahrzeugs hinterlegt sein. Sofern dann während des Betriebs des Kraftfahrzeugs die hier beschriebene Mess-Ansteuerung durchgeführt wird, dann kann dieser Referenz-Ansteuerstrom 320R aus einem Speicher der Motorsteuerung 25 abgerufen werden und für eine zuverlässige Bestimmung des tatsächlichen Ankeranschlags 360 verwendet werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Aktuators mit (a) einer Spule und (b) einem verschiebbar gelagerten Anker, welcher von einem von der Spule erzeugten Magnetfeld angetrieben wird, in einem Mess-Betriebsmodus zum Ermitteln eines Zeitpunkts (260, 360), zu dem der Anker nach einer Aktivierung des Aktuators seine Anschlagposition erreicht, das Verfahren aufweisend

Beaufschlagen der Spule mit einem Ansteuer-Spannungssignal (200), welches derart dimensioniert ist, dass der zu erwartende Zeitpunkt (260, 360) des Anschlags des Ankers in ein Zeitfenster (206) fällt, in dem an die Spule eine zeitlich konstante Spannung angelegt wird,

Erfassen des zeitlichen Verlaufs (220) der Stärke des Stroms, welcher innerhalb des Zeitfensters (206) durch die Spule fließt, und

Ermitteln des Zeitpunkts (260, 360), zu dem der Anker seine Anschlagposition erreicht, basierend auf einer Auswertung des erfassten zeitlichen Verlaufs (220) der Stärke des Stromes.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem das Ansteuer-Spannungssignal (200) hinsichtlich seiner Signalhöhe und/oder seines zeitlichen Verlaufs derart dimensioniert ist, dass der zu erwartende Zeitpunkt (260, 360) des Anschlags des Ankers in das Zeitfenster (206) fällt.

3. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 2, bei dem das Ansteuer-Spannungssignal (200) eine Verstärkungsphase (202) und eine Haltephase (206) aufweist, wobei

- während der Verstärkungsphase (202) eine Verstärkungsspannung an die Spule angelegt wird und

- während der Haltephase (206) eine Haltespannung an die Spule angelegt wird, wobei die Verstärkungsspannung größer ist als die Haltespannung.

4. Verfahren gemäß Anspruch 3, bei dem die Verstärkungsphase (202) abgebrochen wird, sobald der Strom durch die Spule einen Maximalstrom (222, 322) erreicht, wobei der

Maximalstrom (222, 322) derart gewählt ist, dass der zu erwartende Zeitpunkt (260, 360) des Anschlags des Ankers in das Zeitfenster (206) fällt.

5 5. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 3 bis 4, bei dem die Verstärkungsphase (202) mittels eines Spannungspuls (204) mit im Vergleich zu der Verstärkungsspannung umgekehrter Polarität abgebrochen wird und nach dem Ende des Spannungspulses (204) die Haltephase (206) folgt.

10

6. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem der Zeitpunkt (260, 360), zu dem der Anker seine Anschlagposition erreicht, durch einen Extremwert (321), insbesondere durch ein Minimum (321), der innerhalb des Zeitfensters (206) erfassten Stärke des Stroms durch die Spule bestimmt ist.

15

7. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, ferner aufweisend
Vergleichen des erfassten zeitlichen Verlaufs der Stärke des Stroms mit einem Referenzstromverlauf (320R), wobei
20 das Ermitteln des Zeitpunkts (260, 360), zu dem der Anker seine Anschlagposition erreicht, auf einer Auswertung des Vergleichs des erfassten zeitlichen Verlaufs (220) der Stärke des Stroms mit dem Referenzstromverlauf (320R) basiert.

20

25 8. Verfahren zum Betreiben eines Aktuators mit (a) einer Spule und (b) einem verschiebbar gelagerten Anker, welcher von einem von der Spule erzeugten Magnetfeld angetrieben wird, das Verfahren aufweisend

Betreiben des Aktuators in einem Serien-Betriebsmodus,
30 wobei die Spule mit einem Serien-Ansteuer-Spannungssignal (100) beaufschlagt wird, welches zum Zwecke einer Stromregelung zumindest zeitweise eine getaktete Spannung (105) aufweist, und

Betreiben des Aktuators in einem Mess-Betriebsmodus zum Ermitteln eines Zeitpunkts (260, 360), zu dem der Anker nach einer
35 Aktivierung des Aktuators seine Anschlagposition erreicht, wobei das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 durchgeführt wird.

9. Verfahren gemäß Anspruch 8, bei dem

das Serien-Ansteuer-Spannungssignal eine Serien-Verstärkungsphase (102) und eine Serien-Haltephase (105, 110) aufweist, wobei
- während der Serien-Verstärkungsphase (102) eine
Serien-Verstärkungsspannung an die Spule angelegt wird und
5 - während der Serien-Haltephase (105, 110) eine
Serien-Haltespannung an die Spule angelegt wird, wobei die
Serien-Verstärkungsspannung größer ist als die
Serien-Haltespannung.

10 10. Verfahren gemäß Anspruch 9, bei dem
die Serien-Verstärkungsphase (102) abgebrochen wird, sobald der
Strom durch die Spule einen Serien-Maximalstrom (122) erreicht,
wobei ein Maximalstrom (222, 322) zum Abbrechen einer
Verstärkungsphase (202) des Ansteuer-Spannungssignals (200)
15 kleiner ist als der Serien-Maximalstrom (122).

11. Vorrichtung zum Ermitteln eines Zeitpunkts (260, 360), zu dem
ein verschiebbar gelagerter Anker eines eine Spule aufweisenden
Aktuators nach einer Aktivierung des Aktuators eine Anschlagpo-
20 sition erreicht, die Vorrichtung aufweisend
eine Einrichtung zum Beaufschlagen der Spule mit einem
Ansteuer-Spannungssignal (200), welches derart dimensioniert
ist, dass der zu erwartende Zeitpunkt (260, 360) des Anschlags
des Ankers in ein Zeitfenster (206) fällt, in dem an die Spule
25 eine zeitlich konstante Spannung angelegt wird, und
eine Einheit
(a) zum Erfassen des zeitlichen Verlaufs (220) der Stärke des
Stroms, welcher innerhalb des Zeitfensters durch die Spule
fließt, und
30 (b) zum Ermitteln des Zeitpunkts (260, 360), zu dem der Anker
seine Anschlagposition erreicht, basierend auf einer Auswertung
des erfassten zeitlichen Verlaufs (220) der Stärke des Stromes.

12. Computerprogramm zum Ermitteln eines Zeitpunkts (260, 360),
35 zu dem ein verschiebbar gelagerter Anker eines eine Spule
aufweisenden Aktuators nach einer Aktivierung des Aktuators eine
Anschlagposition erreicht, wobei das Computerprogramm, wenn es

von einem Prozessor ausgeführt wird, zum Steuern des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7 eingerichtet ist.

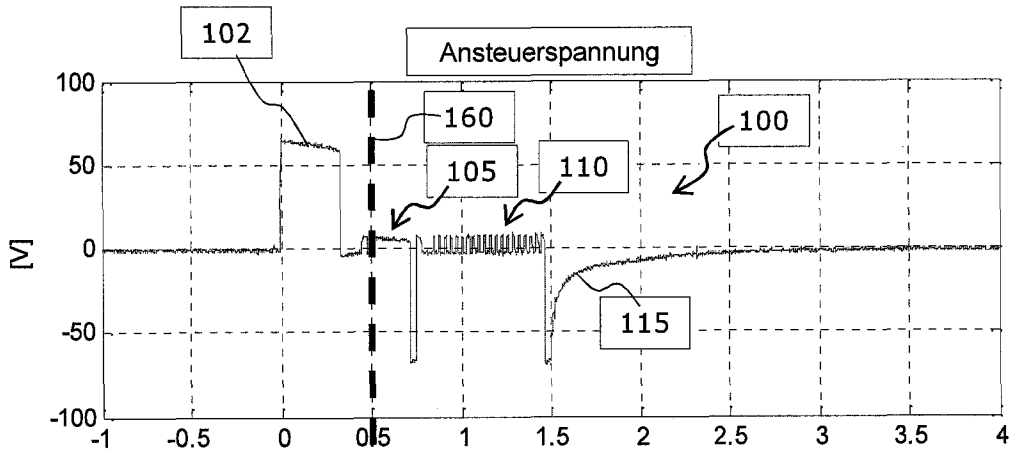


Fig. 1a

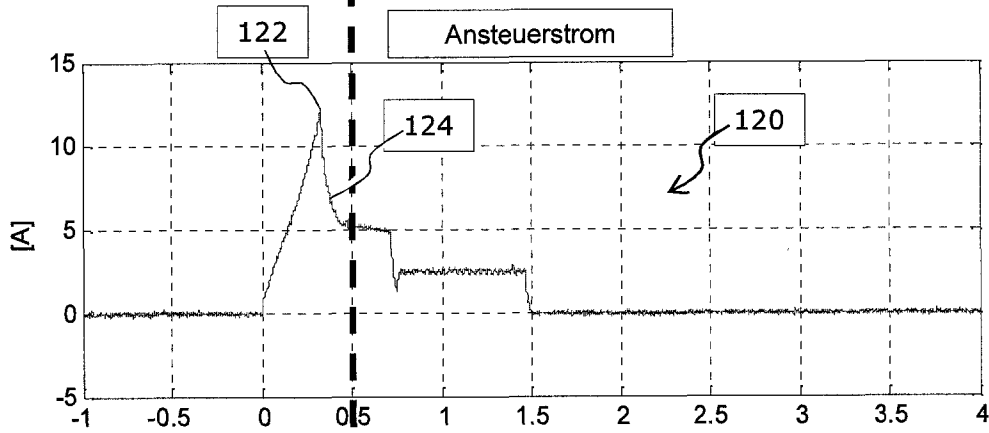


Fig. 1b

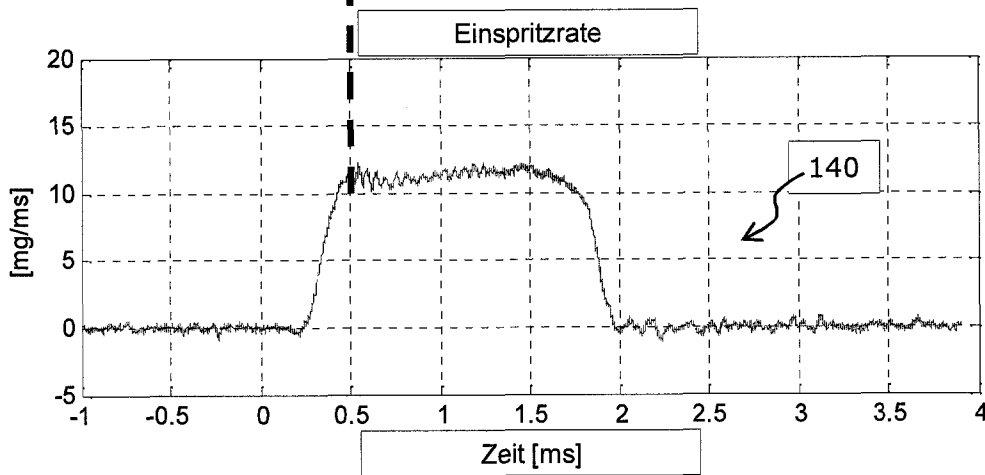


Fig. 1c

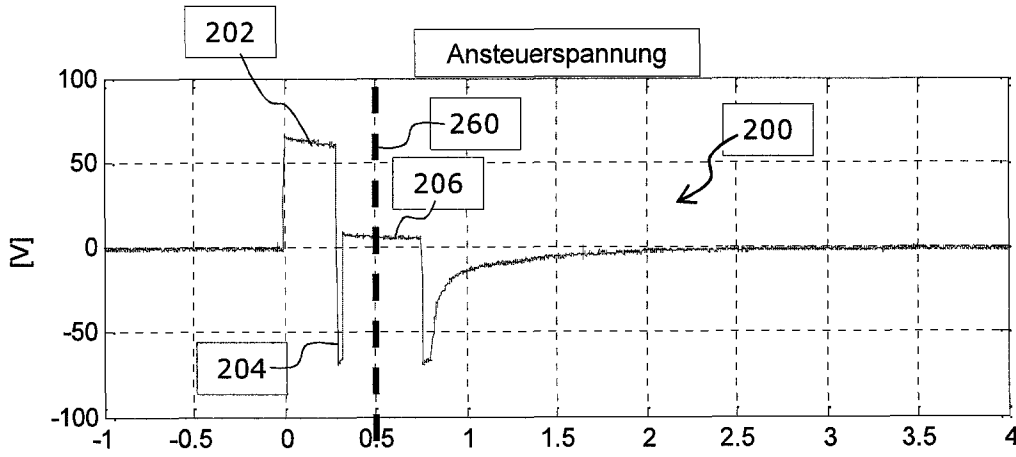


Fig. 2a

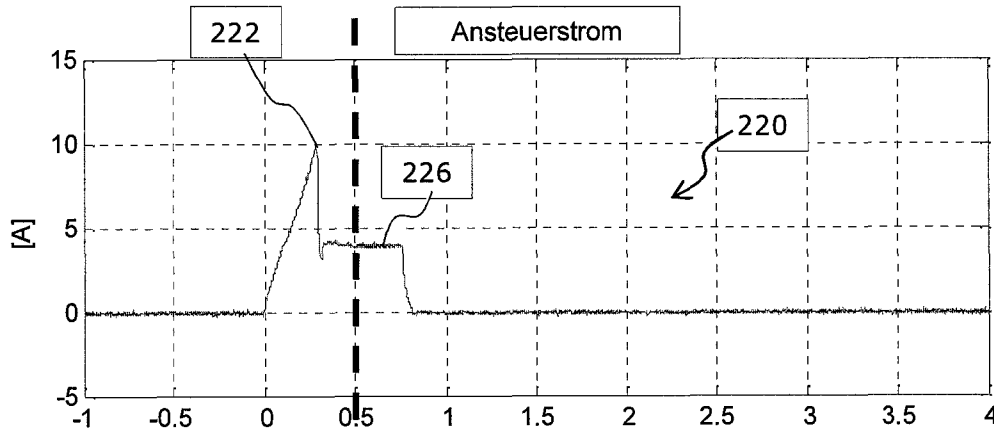


Fig. 2b

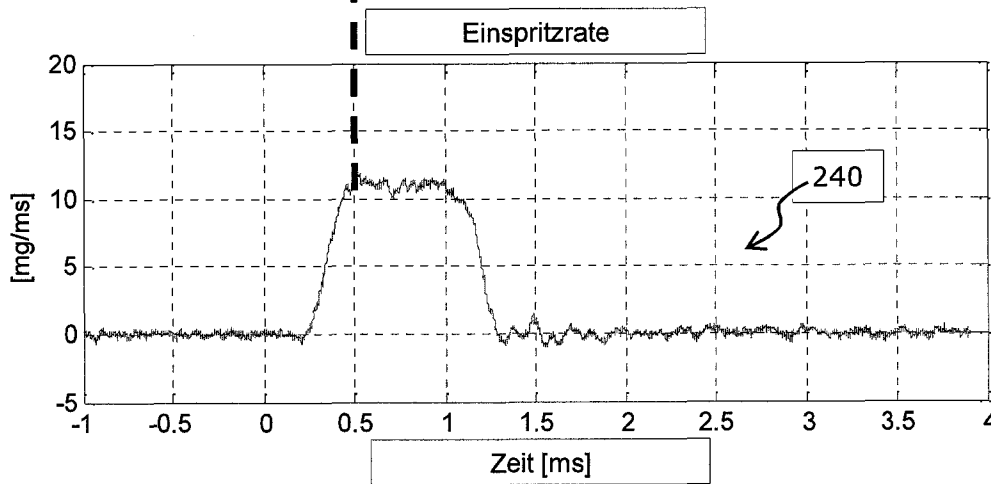


Fig. 2c

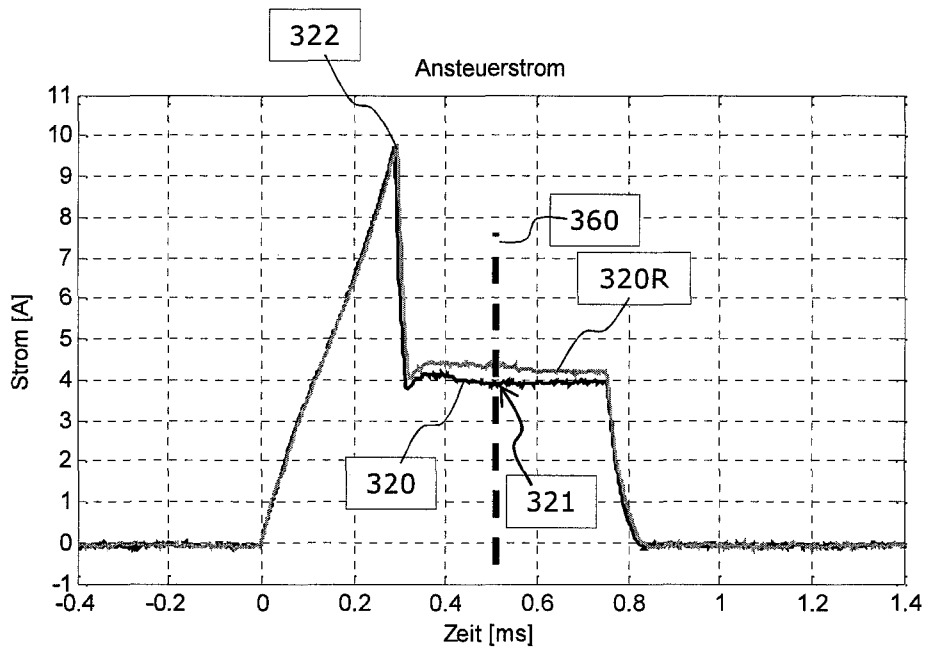


Fig. 3a

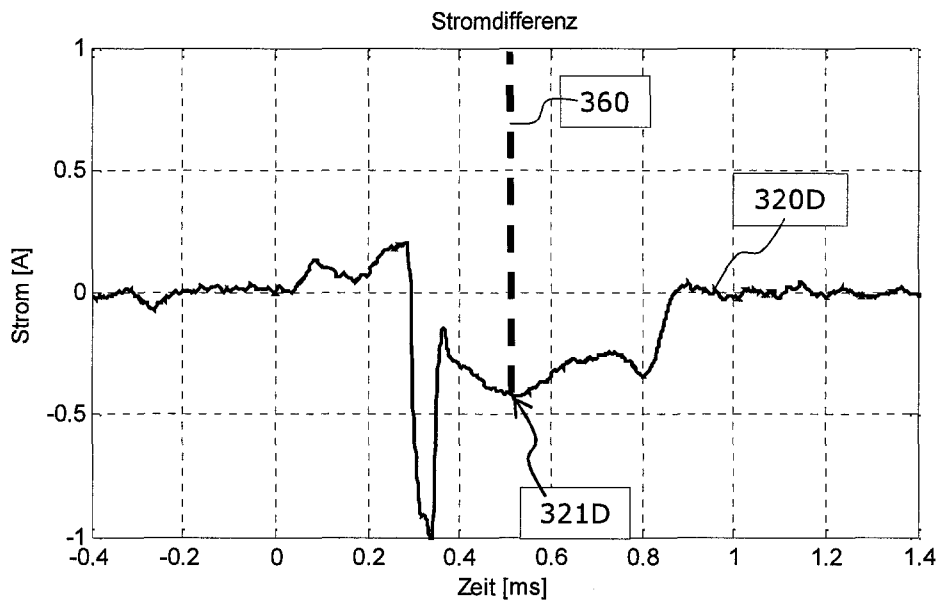


Fig. 3b

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/054366

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. H01F7/18 F02D41/20 ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) F02D H01F		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 005 051 A2 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 31 May 2000 (2000-05-31)	1-4,6, 8-12
Y	the whole document	5,7
X	DE 10 2007 031552 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 8 January 2009 (2009-01-08) abstract paragraph [0003] - paragraph [0007] paragraph [0014] - paragraph [0024] claims 1,2,4	1-4,6, 8-10
Y	DE 10 2008 041528 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 4 March 2010 (2010-03-04) abstract paragraph [0019] - paragraph [0023]; figure 2	5
	----- -/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents :		
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention	
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone	
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art	
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
Date of the actual completion of the international search 31 May 2012	Date of mailing of the international search report 11/06/2012	
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Warneck, Nicolas	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/054366

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 10 2009 032521 A1 (CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH [DE]) 13 January 2011 (2011-01-13) abstract paragraph [0028] - paragraph [0036] figures 1,5-9	7
A	----- GB 2 293 244 A (MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH [DE]) 20 March 1996 (1996-03-20) abstract page 6, line 24 - page 8, line 29; figure 1	1-12
A	----- DE 10 2007 020969 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 6 November 2008 (2008-11-06) abstract paragraph [0027] - paragraph [0030]; claim 1; figure 1 -----	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2012/054366

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
EP 1005051	A2	31-05-2000	DE 19854305 A1	31-05-2000
			EP 1005051 A2	31-05-2000
			ES 2281153 T3	16-09-2007
			JP 2000164425 A	16-06-2000
			US 2001048087 A1	06-12-2001
DE 102007031552	A1	08-01-2009	CN 101688624 A	31-03-2010
			DE 102007031552 A1	08-01-2009
			EP 2174046 A1	14-04-2010
			JP 4829379 B2	07-12-2011
			JP 2010532448 A	07-10-2010
			WO 2009007185 A1	15-01-2009
DE 102008041528	A1	04-03-2010	DE 102008041528 A1	04-03-2010
			WO 2010023104 A1	04-03-2010
DE 102009032521	A1	13-01-2011	DE 102009032521 A1	13-01-2011
			US 2012116702 A1	10-05-2012
			WO 2011003704 A1	13-01-2011
GB 2293244	A	20-03-1996	DE 4433209 A1	21-03-1996
			FR 2724760 A1	22-03-1996
			GB 2293244 A	20-03-1996
			US 5650909 A	22-07-1997
DE 102007020969	A1	06-11-2008	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/054366

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. H01F7/18 F02D41/20
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 F02D H01F

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 005 051 A2 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 31. Mai 2000 (2000-05-31)	1-4,6, 8-12
Y	das ganze Dokument	5,7
X	DE 10 2007 031552 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 8. Januar 2009 (2009-01-08) Zusammenfassung Absatz [0003] - Absatz [0007] Absatz [0014] - Absatz [0024] Ansprüche 1,2,4	1-4,6, 8-10
Y	DE 10 2008 041528 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 4. März 2010 (2010-03-04) Zusammenfassung Absatz [0019] - Absatz [0023]; Abbildung 2	5
	-/-	

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
31. Mai 2012	11/06/2012

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Warneck, Nicolas
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 10 2009 032521 A1 (CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH [DE]) 13. Januar 2011 (2011-01-13) Zusammenfassung Absatz [0028] - Absatz [0036] Abbildungen 1,5-9	7
A	----- GB 2 293 244 A (MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH [DE]) 20. März 1996 (1996-03-20) Zusammenfassung Seite 6, Zeile 24 - Seite 8, Zeile 29; Abbildung 1	1-12
A	----- DE 10 2007 020969 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 6. November 2008 (2008-11-06) Zusammenfassung Absatz [0027] - Absatz [0030]; Anspruch 1; Abbildung 1 -----	1-12

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/054366

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung	
EP 1005051	A2	31-05-2000	DE 19854305 A1	31-05-2000
			EP 1005051 A2	31-05-2000
			ES 2281153 T3	16-09-2007
			JP 2000164425 A	16-06-2000
			US 2001048087 A1	06-12-2001

DE 102007031552	A1	08-01-2009	CN 101688624 A	31-03-2010
			DE 102007031552 A1	08-01-2009
			EP 2174046 A1	14-04-2010
			JP 4829379 B2	07-12-2011
			JP 2010532448 A	07-10-2010
			WO 2009007185 A1	15-01-2009

DE 102008041528	A1	04-03-2010	DE 102008041528 A1	04-03-2010
			WO 2010023104 A1	04-03-2010

DE 102009032521	A1	13-01-2011	DE 102009032521 A1	13-01-2011
			US 2012116702 A1	10-05-2012
			WO 2011003704 A1	13-01-2011

GB 2293244	A	20-03-1996	DE 4433209 A1	21-03-1996
			FR 2724760 A1	22-03-1996
			GB 2293244 A	20-03-1996
			US 5650909 A	22-07-1997

DE 102007020969	A1	06-11-2008	KEINE	
