



(10) **DE 11 2018 003 842 B4** 2020.08.13

(12) **Patentschrift**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2018 003 842.4**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2018/024485**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2019/021732**
(86) PCT-Anmeldetag: **28.06.2018**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **31.01.2019**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **09.04.2020**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **13.08.2020**

(51) Int Cl.: **F02D 41/20** (2006.01)
F02D 41/22 (2006.01)
F02D 41/34 (2006.01)
F02M 51/00 (2006.01)
F02M 51/06 (2006.01)
F02M 61/10 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
2017-146905 **28.07.2017** **JP**

(73) Patentinhaber:
DENSO CORPORATION, Kariya-city, Aichi-pref., JP

(74) Vertreter:
**KUHLEN & WACKER Patent- und
Rechtsanwaltsbüro PartG mbB, 85354 Freising,
DE**

(72) Erfinder:
Niwa, Masayuki, Nisshin-city, Aichi-pref., JP;
Saizen, Makoto, Kariya-city, Aichi-pref., JP;
Tanaka, Makoto, Kariya-city, Aichi-pref., JP

(56) Ermittelter Stand der Technik:

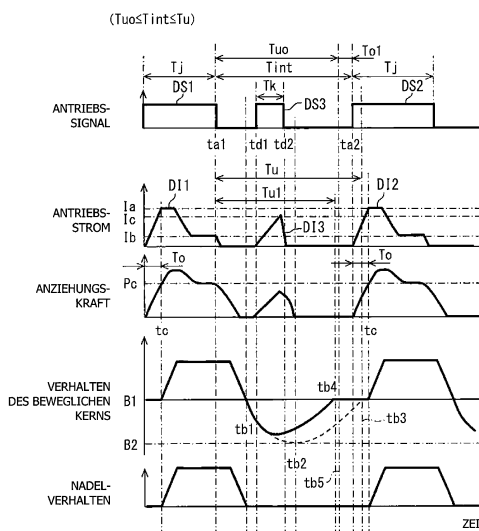
EP	1 990 526	A2
EP	2 492 479	A1
EP	2 508 743	A1
JP	2015- 212 536	A
JP	2013- 124 577	A

(54) Bezeichnung: **Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung und Verfahren zur Steuerung der Kraftstoffeinspritzung**

(57) Hauptanspruch: Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung für ein Kraftstoffeinspritzventil (100), wobei das Kraftstoffeinspritzventil das Folgende enthält:

eine Einspritzöffnung (11) zum Einspritzen von Kraftstoff;
einen Ventilkörper (30), der so konfiguriert ist, dass er sich in einer Ventilöffnungsrichtung bewegt, um die Einspritzöffnung zu öffnen;
einen festen Kern (60), der so konfiguriert ist, dass er bei Erregung einer Spule (70) eine elektromagnetische Anziehungskraft erzeugt;
einen beweglichen Kern (40), der so konfiguriert ist, dass er sich von einer bestimmten Initialposition (B1) in der Ventilöffnungsrichtung relativ zum Ventilkörper bewegt, wenn er von dem festen Kern angezogen wird, um den Ventilkörper in der Ventilöffnungsrichtung zu bewegen; und
ein Ventilkörpervorspannelement (80), das den Ventilkörper in einer Ventilschließrichtung entgegengesetzt zur Ventilöffnungsrichtung vorspannt, wobei der bewegliche Kern so konfiguriert ist, dass er sich nach Ablauf einer Anstiegsperiode (T_o), die zum Anheben der elektromagnetischen Anziehungskraft auf die Erregung erforderlich ist, in die Ventilöffnungsrichtung bewegt, der Ventilkörper so konfiguriert ist, dass er sich in Ventilschließrichtung bewegt, indem eine Vorspannkraft des Ventilkörpervorspannelements ausgeübt wird, um den beweglichen Kern in Ventilschließrichtung zu bewegen, und

der bewegliche Kern so konfiguriert ist, dass er seine Bewegungsrichtung in die Ventilöffnungsrichtung ändert und in einem ...



Beschreibung**QUERVERWEIS AUF EINE
ZUGEHÖRIGE ANMELDUNG**

[0001] Die vorliegende Anmeldung beansprucht die Priorität der japanischen Patentanmeldung Nr. 2017-146905, die am 28. Juli 2017 eingereicht wurde.

TECHNISCHES GEBIET

[0002] Die Offenbarung dieser Anmeldung bezieht sich auf eine Einrichtung zur Steuerung der Kraftstoffeinspritzung und ein Verfahren zur Steuerung der Kraftstoffeinspritzung.

STAND DER TECHNIK

[0003] Ein Kraftstoffeinspritzventil, das zum Einspritzen von Kraftstoff konfiguriert ist, umfasst einen beweglichen Kern und einen Ventilkörper und ermöglicht es dem beweglichen Kern und dem Ventilkörper, sich relativ zueinander zu bewegen. Der bewegliche Kern wird durch die Anwendung einer elektromagnetischen Anziehungskraft, die durch die Erregung einer Spule erzeugt wird, in Bewegung gesetzt. Der Ventilkörper öffnet das Ventil in Verbindung mit der Bewegung des beweglichen Kerns. Zum Beispiel zeigt die PATENTLITERATUR 1 die Konfiguration, bei der selbst dann, wenn sich der Ventilkörper in Ventilschließrichtung bewegt und an der Ventilschließstellung zum Verschließen einer Einspritzöffnung anhält, der bewegliche Kern nicht an einer Initialposition anhält, die einer Ventilschließstellung des Ventilkörpers entspricht, sondern sich in einer Ventilschließrichtung relativ zum Ventilkörper weiter bewegt.

[0004] Die Druckschrift EP 2 492 479 A1 offenbart eine Antriebsvorrichtung für eine elektromagnetische Kraftstoffeinspritzdüse. Die Antriebsvorrichtung ist konfiguriert, um während eines Zeitintervalls zwischen einer früheren Kraftstoffeinspritzung (erste Kraftstoffeinspritzung) und einer späteren Kraftstoffeinspritzung (zweite Kraftstoffeinspritzung) eine elektromagnetische Spule mit einem Zwischenstrom bei einer Spannung, deren Pegel das Ventil nicht öffnet, zu versorgen. Ferner stellt die Antriebsvorrichtung eine Spannungsanwendung zum Zuführen des Zwischenstroms ein, um vor Schließen eines Ventils in der früheren Kraftstoffeinspritzung zu beginnen und vor einer halben Zeitspanne zwischen einem ersten Moment, in dem das Ventil in der früheren Kraftstoffeinspritzung geschlossen wird, und einem zweiten Zeitpunkt, zu dem bei der späteren Kraftstoffeinspritzung eine Zufuhr eines Antriebsstroms zum Öffnen des Ventils eingeleitet wird, zu beenden.

[0005] Die Druckschrift EP 1 990 526 A2 offenbart eine elektromagnetische Kraftstoffeinspritzven-

tilvorrichtung. Eine elektromagnetische Kraftstoffeinspritzventilvorrichtung für einen Verbrennungsmotor ist konfiguriert, um eine Erregung einer elektromagnetischen Spule eines Einspritzventilaktuators für eine Ventilöffnungsbewegung durchzuführen und zusätzlich eine mittelfristige Erregung in einem Zeitintervall zwischen beiden Erregungen, eine zur Ventilöffnung einer vorherigen Kraftstoffeinspritzung und eine Ventilöffnung einer nachfolgenden Kraftstoffeinspritzung. Ein Strom der mittelfristigen Erregung ist kleiner als ein Strom der Erregung für die Ventilöffnungsbewegung und hat die gleiche Richtung wie eine Richtung des Stroms der Erregung für die Ventilöffnungsbewegung.

[0006] Die Druckschrift EP 2 508 743 A1 offenbart eine Antriebsschaltung für ein elektromagnetisches Kraftstoffeinspritzventil. Eine Ansteuerschaltung zum Ansteuern eines elektromagnetischen Kraftstoffeinspritzventils, wobei die Ansteuerschaltung eine Anwendungssequenz einer Ansteuerspannung variiert, die von einer Aufwärtsstromversorgung an ein Kraftstoffeinspritzventil geliefert wird, um die Einspritzung mehrmals in einem einzigen Hub von einem Verbrennungsmotor, zwischen der ersten Einspritzung und der zweiten und nachfolgenden Einspritzungen, durchzuführen und stellt die Anwendungssequenz ein, so dass der Stromverbrauch aus der Aufwärtsstromversorgung in der ersten Einspritzung kleiner wird als der Stromverbrauch in einer der zweiten und nachfolgende Injektionen.

[0007] Weiterer Stand der Technik wird in der Druckschrift JP 2015-212 536 A bezüglich einer Kraftstoffeinspritzsteuervorrichtung und Steuerungsmethode offenbart. In einem Kraftstoffeinspritzventil ist ein Nadelventil zum Öffnen und Schließen eines Einspritzlochs, das durch eine erste Feder auf ein Einspritzloch vorgespannt ist, und ein beweglicher Kern, der wechselseitig relativ zum Nadelventil vorgesehen ist, ist auf das Einspritzloch durch eine zweite Feder vorgespannt. Eine Kraftstoffeinspritzsteuervorrichtung zum Steuern dieses Kraftstoffeinspritzventils liefert beim Durchführen einer Kraftstoffeinspritzung zunächst einer Spule als Vorerregung einen elektrischen Strom, der eine magnetische Anziehungskraft erzeugt, die größer als die Vorspannkraft der zweiten Feder ist und kleiner als die Ventilschließkraft des Nadelventils ist. Anschließend liefert die Kraftstoffeinspritzsteuervorrichtung nach Durchführung der Vorerregung der Spule einen elektrischen Strom, der eine magnetische Anziehungskraft erzeugt, die größer ist als die Ventilschließkraft des Nadelventils. Dadurch wird die Kollisionskraft zwischen dem beweglichen Kern und einem Nadelflansch durch die Vorerregung verringert und daher wird ein Abprallen unterdrückt, wenn das Nadelventil vollständig angehoben ist.

BISHERIGE FACHLITERATUR

PATENTLITERATUR

PATENTLITERATUR 1: JP 2013-124 577 A

PATENTLITERATUR 2: EP 2 492 479 A1

PATENTLITERATUR 3: EP 1 990 526 A2

PATENTLITERATUR 4: EP 2 508 743 A1

PATENTLITERATUR 5: JP 2015-212 536 A

KURZFASSUNG ERFINDUNG

[0008] Der bewegliche Kern kann anstelle der Initialposition zur Ventilschließseite hin positioniert werden, auch wenn der Ventilkörper in der Schließstellung des Ventils stehen bleibt. Dieser Zustand wird als Unterschwingung bzw. als Unterschwingen bezeichnet. Durch die nächste Erregung der Spule entsteht eine elektromagnetische Anziehungskraft, die eine unterschwingende bewegliche Spule anziehen kann. In diesem Fall zieht die elektromagnetische Anziehungskraft die unterschwingende bewegliche Spule zwangsweise in einer Ventilöffnungsrichtung zurück. Der bewegliche Kern darf nicht an der Initialposition stoppen und die Initialposition zur Ventilöffnungsseite hin passieren.

[0009] Die Erfinder stellten fest, dass der bewegliche Kern durch die Initialposition zur Ventilöffnungsseite hin durchläuft, die Bewegung schnell in die Ventilschließrichtung ändert und in Abhängigkeit zu dem Timing bzw. zum Zeitpunkt der Aufwendung bzw. des Einsatzes der elektromagnetischen Anziehungskraft auf den unterschwingenden beweglichen Kern oder der Größe der elektromagnetischen Anziehungskraft in die Initialposition zurückkehrt. Es besteht die Besorgnis der Verursachung einer erratischen Einspritzung, die versehentlich den Kraftstoff zeitweilig einspritzt, wenn der bewegliche Kern versehentlich zeitweilig bzw. temporär zur Seite der Ventilöffnung statt zur Initialposition bewegt wird.

[0010] Eine Aufgabe der vorliegenden Offenbarung ist die Bereitstellung einer Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung und eines Kraftstoffeinspritz-Steuerverfahrens, die es jeweils ermöglichen, das Auftreten einer unregelmäßigen Einspritzung zu verhindern, die den Kraftstoff versehentlich temporär einspritzt.

[0011] Nach einem ersten Aspekt der vorliegenden Offenbarung ist eine Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung für ein Kraftstoffeinspritzventil vorgesehen. Das Kraftstoffeinspritzventil umfasst das Folgende: eine Einspritzöffnung zum Einspritzen von Kraftstoff; einen Ventilkörper, der so konfiguriert ist, dass er sich in einer Ventilöffnungsrichtung bewegt, um das Einspritzloch zu öffnen; einen festen Kern, der so konfiguriert ist, dass er bei Erregung einer

Spule eine elektromagnetische Anziehungskraft erzeugt; einen beweglichen Kern, der so konfiguriert ist, dass er sich von einer bestimmten Initialposition in der Ventilöffnungsrichtung relativ zum Ventilkörper bewegt, wenn er von dem festen Kern angezogen wird, um den Ventilkörper in der Ventilöffnungsrichtung zu bewegen; und ein Ventilkörpervorspannelement, das den Ventilkörper in einer Ventilschließrichtung entgegengesetzt zur Ventilöffnungsrichtung vorspannt. Der bewegliche Kern ist so konfiguriert, dass er sich nach Ablauf einer Anstiegsperiode, die zum Anheben der elektromagnetischen Anziehungskraft auf die Erregung erforderlich ist, in Ventilöffnungsrichtung zu bewegen beginnt. Der Ventilkörper ist so konfiguriert, dass er sich in Ventilschließrichtung bewegt, indem eine Vorspannkraft des Ventilkörpervorspannelements aufgebracht wird, um den beweglichen Kern in Ventilschließrichtung zu bewegen. Der bewegliche Kern ist so konfiguriert, dass er seine Bewegungsrichtung in die Ventilöffnungsrichtung ändert und in einem Unterschwingungszustand in die Initialposition zurückkehrt, in der sich der bewegliche Kern auch in einem Zustand, in dem der Ventilkörper in der Ventilschließrichtung stehen bleibt, in die Ventilschließrichtung weiter bewegt. Eine Rücklaufperiode ist eine geschätzte Periode, die der bewegliche Kern, der sich durch die erste Erregung zur Kraftstoffeinspritzung im Unterschwingungszustand befindet, benötigt, um von der ersten Erregung in die Initialposition zurückzukehren. Ein Einspritzintervall reicht von der ersten Erregung bis zu einer zweiten Erregung, die für eine nächste Kraftstoffeinspritzung vorgesehen ist. Eine zulässige Periode ist eine Periode bzw. Zeitdauer bzw. Zeitspanne, die man erhält, indem man die für die zweite Erregung geschätzte Anstiegsperiode von der Rücklaufperiode subtrahiert. Die Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung umfasst eine zusätzliche Erregungseinheit, die so konfiguriert ist, dass sie eine zusätzliche Erregung zwischen der ersten Erregung und der zweiten Erregung hinzufügt, wenn das Einspritzintervall länger oder gleich der zulässigen Periode und kürzer oder gleich der Rücklaufperiode ist.

[0012] Wenn die elektromagnetische Anziehungskraft im Kraftstoffeinspritzventil auftritt, während der bewegliche Kern in der Initialposition stehen bleibt, wird davon ausgegangen, dass sich der bewegliche Kern nicht in die Ventilöffnungsrichtung bewegt, wenn die elektromagnetische Anziehungskraft nicht ausreicht. Inzwischen haben die Erfinder herausgefunden, dass die elektromagnetische Anziehungskraft den unterschwingenden beweglichen Kern beschleunigt, um leicht eine erratische Kraftstoffeinspritzung zu verursachen, wenn das Einspritzintervall länger oder gleich der zulässigen Periode und kürzer oder gleich der Rücklaufperiode ist. Nach dieser Erkenntnis wird die elektromagnetische Anziehungskraft auf den unterschwingenden beweglichen Kern ausgeübt, der sich aufgrund des Kernboost-Modus

in Ventilöffnungsrichtung bewegt. Anschließend wird der bewegliche Kern im Kernboost-Modus beschleunigt, obwohl die elektromagnetische Anziehungskraft nicht vollständig aktiviert ist. Wenn der beschleunigte bewegliche Kern die Initialposition erreicht, ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass sich der Ventilkörper aufgrund der Antriebskraft des beweglichen Kerns versehentlich mit dem beweglichen Kern in Ventilöffnungsrichtung bewegt. Der bewegliche Kern bewegt sich derweil nicht in die Initialposition, sondern zur Schließseite des Ventils. Die Vorspannkraft des Ventilkörpervorspannelements übersteuert die unzureichend aktivierte elektromagnetische Anziehungskraft. Der bewegliche Kern ändert daher die Bewegung in die Schließrichtung des Ventils, kehrt in die Initialposition zurück und schließt entsprechend den Ventilkörper. Es wird davon ausgegangen, dass auf diese Weise eine fehlerhafte bzw. erratische Kraftstoffeinspritzung erfolgt.

[0013] Gemäß dem oben genannten ersten Aspekt wird die zusätzliche Erregung zwischen der ersten und der zweiten Erregung durchgeführt, wenn das Einspritzintervall länger oder gleich der zulässigen Periode und kürzer oder gleich der Rücklaufperiode ist. In diesem Fall beschleunigt die elektromagnetische Anziehungskraft den beweglichen Kern, um die eigentliche Rücklaufperiode zu verkürzen. Es ist möglich, die tatsächliche Rücklaufperiode kürzer als das Einspritzintervall zu machen. Es ist möglich, die Bedingung zu verhindern, dass eine unregelmäßige Injektion verursacht wird, d.h. das Einspritzintervall ist kürzer oder gleich der Rücklaufperiode. Die Konfiguration ermöglicht es daher, das Auftreten einer unregelmäßigen Injektion zu verhindern.

[0014] Nach einem zweiten Aspekt der vorliegenden Offenbarung ist eine Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung für ein Kraftstoffeinspritzventil bestimmt. Das Kraftstoffeinspritzventil umfasst: eine Einspritzöffnung zum Einspritzen von Kraftstoff; einen Ventilkörper, der so konfiguriert ist, dass er sich in einer Ventilöffnungsrichtung bewegt, um das Einspritzloch zu öffnen; einen festen Kern, der so konfiguriert ist, dass er bei Erregung einer Spule eine elektromagnetische Anziehungskraft erzeugt; einen beweglichen Kern, der so konfiguriert ist, dass er sich von einer bestimmten Initialposition in der Ventilöffnungsrichtung relativ zum Ventilkörper bewegt, wenn er von dem festen Kern angezogen wird, um den Ventilkörper in der Ventilöffnungsrichtung zu bewegen; und ein Ventilkörpervorspannelement, das den Ventilkörper in einer Ventilschließrichtung entgegengesetzt zur Ventilöffnungsrichtung vorspannt. Der bewegliche Kern ist so konfiguriert, dass er sich nach Ablauf einer Anstiegsperiode, die zum Anheben der elektromagnetischen Anziehungskraft auf die Erregung erforderlich ist, in Ventilöffnungsrichtung zu bewegen beginnt. Der Ventilkörper ist so konfiguriert, dass er sich in Ventilschließrichtung bewegt, indem eine Vorspann-

kraft des Ventilkörpervorspannelements aufgebracht wird, um den beweglichen Kern in Ventilschließrichtung zu bewegen. Der bewegliche Kern ist so konfiguriert, dass er seine Bewegungsrichtung in die Ventilöffnungsrichtung ändert und in einem Unterschwingungszustand in die Initialposition zurückkehrt, in der sich der bewegliche Kern auch in einem Zustand, in dem der Ventilkörper in der Ventilschließrichtung stehen bleibt, in die Ventilschließrichtung weiter bewegt. Die Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung umfasst eine zusätzliche Erregungseinheit, die so konfiguriert ist, dass sie eine zusätzliche Erregung zwischen der ersten Erregung und der zweiten Erregung hinzufügt, wenn ein Rücklaufftimings bzw. -zeitpunkt, bei dem der bewegliche Kern im Unterschwingungszustand, der durch eine erste Erregung für die Kraftstoffeinspritzung verursacht wurde, voraussichtlich in die Initialposition zurückkehrt, in der Anstiegsperiode liegt, die für eine zweite Erregung, die für eine nächste Kraftstoffeinspritzung vorgesehen ist, geschätzt wird.

[0015] Die Erfinder fanden heraus, dass als Bedingung für die Verursachung der erratischen Kraftstoffeinspritzung das Rücklaufftimings für die durch die erste Erregung auftretende Unterschwingung in die Anstiegsperiode für die zweite Erregung einbezogen wird. Wenn diese Bedingung erfüllt ist, wird davon ausgegangen, dass die unregelmäßige Kraftstoffeinspritzung nach dem ersten Aspekt ähnlich wie bei der oben genannten Beschreibung auftritt.

[0016] Gemäß dem oben erwähnten zweiten Aspekt wird die zusätzliche Erregung zwischen der ersten Erregung und der zweiten Erregung durchgeführt, wenn das Rücklaufftimings aufgrund der ersten Erregung in die Anstiegsperiode der zweiten Erregung einbezogen wird. In diesem Fall beschleunigt die elektromagnetische Anziehungskraft den beweglichen Kern, so dass das eigentliche Rücklaufftimings früher eintritt. Das tatsächliche Rücklaufftimings kann früher als die Anstiegsperiode für die zweite Erregung erfolgen. Es kann verhindert werden, dass die Bedingung einer erratischen Einspritzung entsteht, d.h. das Rücklaufftimings durch die erste Erregung wird in die Anstiegsperiode der zweiten Erregung eingerechnet. Die Konfiguration ermöglicht es daher, eine erratische Injektion ähnlich wie beim oben genannten ersten Aspekt zu verhindern.

[0017] Nach einem dritten Aspekt der vorliegenden Offenbarung ist eine Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung für ein Kraftstoffeinspritzventil vorgesehen. Das Kraftstoffeinspritzventil umfasst: eine Einspritzöffnung zum Einspritzen von Kraftstoff; einen Ventilkörper, der so konfiguriert ist, dass er sich in einer Ventilöffnungsrichtung bewegt, um das Einspritzloch zu öffnen; einen festen Kern, der so konfiguriert ist, dass er bei Erregung einer Spule eine elektromagnetische Anziehungskraft erzeugt; einen beweglichen Kern, der so konfiguriert ist, dass er sich von

einer bestimmten Initialposition in der Ventilöffnungsrichtung relativ zum Ventilkörper bewegt, wenn er von dem festen Kern angezogen wird, um den Ventilkörper in der Ventilöffnungsrichtung zu bewegen; und ein Ventilkörpervorspannelement, das den Ventilkörper in einer Ventilschließrichtung entgegengesetzt zur Ventilöffnungsrichtung vorspannt. Der bewegliche Kern ist so konfiguriert, dass er sich nach Ablauf einer Anstiegsperiode, die zum Anheben der elektromagnetischen Anziehungskraft auf die Erregung erforderlich ist, in Ventilöffnungsrichtung zu bewegen beginnt. Der Ventilkörper ist so konfiguriert, dass er sich in Ventilschließrichtung bewegt, indem eine Vorspannkraft des Ventilkörpervorspannelements aufgebracht wird, um den beweglichen Kern in Ventilschließrichtung zu bewegen. Der bewegliche Kern ist so konfiguriert, dass er seine Bewegungsrichtung in die Ventilöffnungsrichtung ändert und in einem Unterschwingungszustand in die Initialposition zurückkehrt, in der sich der bewegliche Kern auch in einem Zustand, in dem der Ventilkörper in der Ventilschließrichtung stehen bleibt, in die Ventilschließrichtung weiter bewegt. Eine Rücklaufperiode ist eine geschätzte Periode, die der bewegliche Kern, der sich durch die erste Erregung zur Kraftstoffeinspritzung im Unterschwingungszustand befindet, benötigt, um von der ersten Erregung in die Initialposition zurückzukehren. Ein Einspritzintervall reicht von der ersten Erregung bis zu einer zweiten Erregung, die für eine nächste Kraftstoffeinspritzung vorgesehen ist. Eine zulässige Periode erhält man durch Subtraktion der für die zweite Erregung geschätzten Anstiegsperiode von der Rücklaufperiode. Die Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung umfasst einen sich ändernden Erregungsabschnitt, der so konfiguriert ist, dass er einen Modus der zweiten Erregung ändert, wenn das Einspritzintervall länger oder gleich der zulässigen Periode und kürzer oder gleich der Rücklaufperiode ist, um die für die zweite Erregung geschätzte Anstiegsperiode zu verkürzen als: die Anstiegsperiode in einem Fall, in dem das Einspritzintervall kürzer als die zulässige Periode ist; und die Anstiegsperiode in einem Fall, in dem das Einspritzintervall länger als die Rückkehrperiode ist.

[0018] Nach dem dritten Aspekt bedeutet die Bedingung, eine unregelmäßige Injektion zu verursachen, dass das Einspritzintervall länger oder gleich der zulässigen Periode und kürzer oder gleich der Rücklaufperiode ist. Wenn diese Bedingung erfüllt ist, ist die Anstiegsperiode für die zweite Erregung kürzer als die gleiche, die für den Fall gilt, dass die Bedingung nicht erfüllt ist. Ist die erratische Bedingung erfüllt, verlängert sich die zulässige Periode entsprechend der verkürzten Anstiegsperiode für die zweite Erregung. Wenn die zulässige Periode positiv verlängert wird, ermöglicht die Konfiguration, die Bedingung zu vermeiden, dass das Einspritzintervall länger oder gleich der zulässigen Periode ist, um eine unregelmäßige Injektion zu verursachen. Die Konfigurati-

on ermöglicht es daher, eine erratische Injektion ähnlich wie beim oben genannten ersten Aspekt zu verhindern.

[0019] Eine Verringerung der Anstiegsperiode erhöht den Grad der Erhöhung eines durch die Spule fließenden Stroms aufgrund der zweiten Erregung. Auch wenn die zulässige Periode nicht länger als das Einspritzintervall ist, ermöglicht eine drastische Erhöhung der elektromagnetischen Anziehungskraft, dass sich der bewegliche Kern leicht in Ventilöffnungsrichtung weiter bewegen kann. In diesem Fall kann durch die Konfiguration verhindert werden, dass der bewegliche Kern durch Unterschwingen der Initialposition durchfährt, die Bewegungsrichtung ändert und in die Initialposition zurückkehrt. Die Konfiguration ermöglicht es daher, das Auftreten einer unregelmäßigen Injektion zu verhindern.

[0020] Nach einem vierten Aspekt der vorliegenden Offenbarung ist eine Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung für ein Kraftstoffeinspritzventil bestimmt. Das Kraftstoffeinspritzventil umfasst: eine Einspritzöffnung zum Einspritzen von Kraftstoff; einen Ventilkörper, der so konfiguriert ist, dass er sich in einer Ventilöffnungsrichtung bewegt, um das Einspritzloch zu öffnen; einen festen Kern, der so konfiguriert ist, dass er bei Erregung einer Spule eine elektromagnetische Anziehungskraft erzeugt; einen beweglichen Kern, der so konfiguriert ist, dass er sich von einer bestimmten Initialposition in der Ventilöffnungsrichtung relativ zum Ventilkörper bewegt, wenn er von dem festen Kern angezogen wird, um den Ventilkörper in der Ventilöffnungsrichtung zu bewegen; und ein Ventilkörpervorspannelement, das den Ventilkörper in einer Ventilschließrichtung entgegengesetzt zur Ventilöffnungsrichtung vorspannt. Der bewegliche Kern ist so konfiguriert, dass er sich nach Ablauf einer Anstiegsperiode, die zum Anheben der elektromagnetischen Anziehungskraft auf die Erregung erforderlich ist, in Ventilöffnungsrichtung zu bewegen beginnt. Der Ventilkörper ist so konfiguriert, dass er sich in Ventilschließrichtung bewegt, indem eine Vorspannkraft des Ventilkörpervorspannelements aufgebracht wird, um den beweglichen Kern in Ventilschließrichtung zu bewegen. Der bewegliche Kern ist so konfiguriert, dass er seine Bewegungsrichtung in die Ventilöffnungsrichtung ändert und in einem Unterschwingungszustand in die Initialposition zurückkehrt, in der sich der bewegliche Kern auch in einem Zustand, in dem der Ventilkörper in der Ventilschließrichtung stehen bleibt, in die Ventilschließrichtung weiter bewegt. Eine Rücklaufperiode ist eine geschätzte Periode, die der bewegliche Kern, der sich durch die erste Erregung zur Kraftstoffeinspritzung im Unterschwingungszustand befindet, benötigt, um von der ersten Erregung in die Initialposition zurückzukehren. Ein Einspritzintervall reicht von der ersten Erregung bis zu einer zweiten Erregung, die für eine nächste Kraftstoffeinspritzung vorgesehen

hen ist. Eine zulässige Periode erhält man durch Subtraktion der für die zweite Erregung geschätzten Anstiegsperiode von der Rücklaufperiode. Die Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung umfasst einen Vorerregungsabschnitt, der so konfiguriert ist, dass er eine Vorerregung hinzufügt, die zu einem Timing vor der zweiten Erregung beginnt und bis zum Beginn der zweiten Erregung andauert, wenn das Einspritzintervall länger oder gleich der zulässigen Periode ist und kürzer oder gleich der Rücklaufperiode ist.

[0021] Gemäß dem oben erwähnten vierten Aspekt wird die Vorerregung zu einem früheren Timing als die zweite Erregung durchgeführt, wenn das Einspritzintervall länger oder gleich der zulässigen Periode und kürzer oder gleich der Rücklaufperiode ist. In diesem Fall wird durch die Vorerregung die elektromagnetische Anziehungskraft im Timing vor der zweiten Erregung aktiviert. Die Konfiguration ermöglicht somit eine Verkürzung der Periode bis zur zweiten Erregung zur Aktivierung der elektromagnetischen Anziehungskraft. Ähnlich wie der oben erwähnte dritte Aspekt ermöglicht es die Konfiguration, die Bedingung zu vermeiden, dass die zulässige Periode entsprechend der verkürzten Anstiegsperiode für die zweite Erregung verlängert wird und das Einspritzintervall länger oder gleich der zulässigen Periode ist. Die Konfiguration ermöglicht es daher, eine erratische Injektion ähnlich wie beim oben genannten dritten Aspekt zu verhindern.

[0022] Ähnlich wie bei der oben erwähnten dritten Ausführungsform erhöht eine Abnahme der Anstiegsperiode den Grad der Erhöhung eines durch die Spule fließenden Stromes durch die zweite Erregung. Die Konfiguration ermöglicht es daher, eine unregelmäßige Kraftstoffeinspritzung zu verhindern.

[0023] Nach einem fünften Aspekt dieser Offenbarung ist eine Methode zur Steuerung der Kraftstoffeinspritzung für ein Kraftstoffeinspritzventil. Das Kraftstoffeinspritzventil umfasst: eine Einspritzöffnung zum Einspritzen von Kraftstoff; einen Ventilkörper, der so konfiguriert ist, dass er sich in einer Ventilöffnungsrichtung bewegt, um das Einspritzloch zu öffnen; einen festen Kern, der so konfiguriert ist, dass er bei Erregung einer Spule eine elektromagnetische Anziehungskraft erzeugt; einen beweglichen Kern, der so konfiguriert ist, dass er sich von einer bestimmten Initialposition in der Ventilöffnungsrichtung relativ zum Ventilkörper bewegt, wenn er von dem festen Kern angezogen wird, um den Ventilkörper in der Ventilöffnungsrichtung zu bewegen; und ein Ventilkörpervorspannelement, das den Ventilkörper in einer Ventilschließrichtung entgegengesetzt zur Ventilöffnungsrichtung vorspannt. Der bewegliche Kern ist so konfiguriert, dass er sich nach Ablauf einer Anstiegsperiode, die zum Anheben der elektromagnetischen Anziehungskraft auf die Erregung erforderlich ist, in Ventilöffnungsrichtung zu bewegen beginnt.

Der Ventilkörper ist so konfiguriert, dass er sich in Ventilschließrichtung bewegt, indem eine Vorspannkraft des Ventilkörpervorspannelements aufgebracht wird, um den beweglichen Kern in Ventilschließrichtung zu bewegen. Der bewegliche Kern ist so konfiguriert, dass er seine Bewegungsrichtung in die Ventilöffnungsrichtung ändert und in einem Unterschwingungszustand in die Initialposition zurückkehrt, in der sich der bewegliche Kern auch in einem Zustand, in dem der Ventilkörper in der Ventilschließrichtung stehen bleibt, in die Ventilschließrichtung weiter bewegt. Eine Rücklaufperiode ist eine geschätzte Periode, die der bewegliche Kern, der sich durch die erste Erregung zur Kraftstoffeinspritzung im Unterschwingungszustand befindet, benötigt, um von der ersten Erregung in die Initialposition zurückzukehren. Ein Einspritzintervall reicht von der ersten Erregung bis zu einer zweiten Erregung, die für eine nächste Kraftstoffeinspritzung vorgesehen ist. Eine zulässige Periode erhält man durch Subtraktion der für die zweite Erregung geschätzten Anstiegsperiode der elektromagnetischen Anziehungskraft von der Rücklaufperiode. Das Verfahren zur Steuerung der Kraftstoffeinspritzung umfasst das Hinzufügen einer zusätzlichen Erregung zwischen der ersten Erregung und der zweiten Erregung, wenn das Einspritzintervall länger oder gleich der zulässigen Periode und kürzer oder gleich der Rücklaufperiode ist.

[0024] Gemäß dem oben erwähnten fünften Aspekt ermöglicht das Verfahren, eine unregelmäßige Injektion ähnlich wie beim ersten Aspekt zu verhindern.

Figurenliste

[0025] Die oben genannten und andere Objekte, Merkmale und Vorteile der vorliegenden Offenbarung werden aus der folgenden detaillierten Beschreibung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen ersichtlich. In den Zeichnungen:

Fig. 1 ist eine schematische Darstellung eines Verbrennungssystems nach einer ersten Ausführungsform;

Fig. 2 ist ein vertikaler Schnitt, der den schematischen Aufbau eines Kraftstoffeinspritzventils zeigt;

Fig. 3 ist ein Diagramm, das den Zustand der Öffnung des Kraftstoffeinspritzventils zeigt;

Fig. 4 ist ein Diagramm, das den Zustand beim Öffnen des Kraftstoffeinspritzventils zeigt;

Fig. 5 ist ein Diagramm, das den Zustand der vollständigen Öffnung des Kraftstoffeinspritzventils zeigt;

Fig. 6 ist ein Diagramm, das eine überschießende Nadel des Kraftstoffeinspritzventils zeigt;

Fig. 7 ist ein Diagramm, das einen unter-schwingenden beweglichen Kern des Kraftstoff-einspritzventils zeigt;

Fig. 8 ist ein Zeitdiagramm, das ein Verhalten des beweglichen Kerns zeigt, wenn keine erratische Injektion auftritt, weil ein Signalintervall länger als eine Rückkehr-zur-Referenz-Periode ist,

Fig. 9 ist ein Zeitdiagramm, das ein Verhalten des beweglichen Kerns zeigt, wenn keine erratische Injektion auftritt, weil ein Signalintervall kürzer als eine Rückkehr-zur-Referenz-Periode ist,

Fig. 10 ist ein Zeitdiagramm, das ein Verhalten des beweglichen Kerns bei einer erratischen Injektion zeigt;

Fig. 11 ist ein Zeitdiagramm, das ein Verhalten des beweglichen Kerns zeigt, wenn durch eine Zwischenantriebserregung eine unregelmäßige bzw. erratische Einspritzung vermieden wird;

Fig. 12 ist ein Flussdiagramm, das ein Einspritz-Setup-Verfahren zeigt;

Fig. 13 ist ein Zeitdiagramm, das einen Aspekt der Veränderung eines treibenden Stroms nach einer zweiten Ausführungsform zeigt;

Fig. 14 ist ein Flussdiagramm, das ein Einspritz-Setup-Verfahren zeigt;

Fig. 15 ist ein Zeitdiagramm, das einen Aspekt der Veränderung eines anderen Antriebsstroms zeigt;

Fig. 16 ist ein Zeitdiagramm, das einen Aspekt der Veränderung eines treibenden Stroms nach einer dritten Ausführungsform zeigt;

Fig. 17 ist ein Zeitdiagramm, das ein Verhalten des beweglichen Kerns veranschaulicht, wenn die Vorantriebserregung eine erratische Einspritzung eliminiert; und

Fig. 18 ist ein Flussdiagramm, das ein Einspritz-Setup-Verfahren veranschaulicht.

BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0026] Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung werden anhand der beigefügten Zeichnungen näher beschrieben. Für die einander entsprechenden Elemente in den Ausführungsformen können die gleichen Bezugszahlen verwendet werden, um eine doppelte Beschreibung auszulassen. Wenn eine nachfolgende Ausführungsform nur einen Teil der Konfiguration beschreibt, gilt der andere Teil der Konfiguration für den entsprechenden Teil der in der vorhergehenden Ausführungsform beschriebenen Konfiguration. Die Kombinationen der Konfigurationen sind nicht auf die in den Ausführungsformen explizit beschriebenen beschränkt. Die Konfigurationen der Ausführungsformen können teilweise kombiniert werden, auch wenn sie nicht explizit beschrieben sind, außer einer ungül-

tigen Kombination. Die folgende Beschreibung wird eine implizite Kombination der Ausführungsformen und der in den Modifikationen beschriebenen Konfigurationen offenbaren.

Erste Ausführungsform

[0027] Ein in **Fig. 1** dargestellter Injektor **100** ist in einem Verbrennungssystem **110** enthalten. Die Verbrennungsanlage **110** umfasst einen Verbrennungsmotor **111**, ein Ansaugrohr **112** und ein Abgasrohr **113**. Der Verbrennungsmotor **111** stellt einen gezündeten Motor wie einen Ottomotor dar. Das Ansaugrohr **112** führt einer Brennkammer lila des Verbrennungsmotors **111** Ansaugluft zu. Das Auspuffrohr **113** leitet die Abgase aus dem Brennraum **111a** ab.

[0028] Der Verbrennungsmotor **111** besteht aus einem Zylinder **114**, einem Kolben **115**, einem Einlassventil **116**, einem Abgasventil **117**, dem Injektor **100**, einer Zündkerze **122**, einem Ansaugdrucksensor **123**, einem Kurbelwinkelgeber **124** und einem ECU **125** zusätzlich zum Injektor **100**. Der Kolben **115** ist wechselseitig im Zylinder **114** vorgesehen. Die Brennkammer **111a** ist über einen Ansaug- und Abgaskanal mit dem Ansaugrohr **112** und dem Abgasrohr **113** verbunden. Das Einlassventil **116** öffnet und schließt den Ansaugkanal. Das Abgasventil **117** öffnet und schließt den Abgasanschluss. Der Injektor **100** verfügt über ein Kraftstoffeinspritzventil zum Einspritzen von Kraftstoff und spritzt den Kraftstoff direkt in den Brennraum bzw. die Brennkammer **111a** ein. Die Zündkerze **122** zündet ein Luft-Kraftstoff-Gemisch aus der Ansaugluft und dem Kraftstoff in der Brennkammer lila. Der Ansaugdrucksensor **123** wird am Saugrohr **112** befestigt und erfasst den Druck im Saugrohr **112** als Ansaugdruck. Der Kurbelwinkelgeber **124** wird an einer Kurbelwelle befestigt und erfasst einen Kurbelwinkel.

[0029] Die ECU (Engine Control Unit) **124** stellt eine Steuereinheit dar, das den Betrieb des Verbrennungssystems **110** steuert. Der ECU **125** enthält einen Computer, der hauptsächlich aus einem Prozessor **124a**, einer Speichereinheit **124b** und einer Ein-/Ausgabeschnittstelle besteht. Die Speichereinheit **124b** verwendet ein Aufzeichnungsmedium wie z.B. RAM. In der ECU **125** speichert die Speichereinheit **124b** hauptsächlich ein Programm zur Steuerung des Betriebs des Verbrennungssystems **110**. Der Prozessor **124a** führt das Programm aus. Die Steuereinheit **125** ist elektrisch mit verschiedenen Erfassungsteilen wie dem Einlassdrucksensor **123** und dem Kurbelwinkelgeber **124** verbunden. Basierend auf den Erkennungsergebnissen dieser Erkennungsteile führt die ECU **125** die Motorsteuerung durch, wie z.B. die Betriebssteuerung über die Zündkerze **122** und die Winkelsteuerung über eine Drosselklappe. Der Ansaugdrucksensor **123** und die ECU **125** können als Motorsteuergerät bezeichnet werden. Das

Verbrennungssystem **110** kann als Motorsteuerung bezeichnet werden.

[0030] Das Verbrennungssystem **110** umfasst ein Brennstoffversorgungssystem **130**, das den Brennstoff der Brennkammer **110** zuführt. Das Kraftstoffversorgungssystem **130** umfasst neben dem Injektor **100** einen Kraftstofftank **131**, eine Kraftstoffpumpe **132**, eine Kraftstoffförderung **133**, einen Einspritzdrucksensor **134** und eine Steuereinheit **135**. Der Kraftstofftank **131** speichert den Kraftstoff. Die Kraftstoffpumpe **132** versorgt eine Hochdruckpumpe, die den Injektor **100** durch Druckbeaufschlagung mit dem Kraftstoff im Kraftstofftank **131** versorgt. Das Verbrennungssystem **110** umfasst mehrere Injektoren **100**. Die Kraftstoffzufuhr **133** verteilt den Kraftstoff auf die Injektoren **100**. Der Einspritzdrucksensor **134** ist für die Kraftstoffförderung **133** vorgesehen und erfasst einen Einspritzdruck, nämlich den Druck des dem Injektor **100** zugeführten Kraftstoffs.

[0031] Die Steuereinheit **135** steuert den Betrieb des Kraftstoffversorgungssystems **130**. Die Steuereinheit **135** umfasst einen Computer, der hauptsächlich aus einem Prozessor **135a**, einer Speichereinheit **135b** und einer Ein-/Ausgabeschnittstelle besteht. Die Speichereinheit **135b** verwendet ein Aufzeichnungsmedium wie z.B. RAM. In der Steuereinheit **135** ist in der Speichereinheit **135b** hauptsächlich ein Programm zur Steuerung des Injektors **100** gespeichert. Das Prozessor **135a** führt das Programm aus. Die Steuereinheit **135** ist elektrisch mit verschiedenen Erfassungsteilen wie z.B. dem Einspritzdrucksensor **134** verbunden. Auf der Grundlage der Erkennungsergebnisse aus den Erkennungsteilen führt die Steuereinheit **135** die Steuerung der Kraftstoffeinspritzung durch, d.h. die Steuerung des Betriebs des Injektors **100** und der Kraftstoffpumpe **132**. Die Steuereinheit **135** ist vergleichbar mit einer Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung, das als Kraftstoffeinspritzventil die Funktionssteuerung über den Injektor **100** übernimmt. In einem Fahrzeug kann eine SCU (Sensor Control Unit) als Steuereinheit **135** verwendet werden.

[0032] Der Injektor **100**, wie in **Fig. 2** dargestellt, besteht im Wesentlichen aus einem Gehäuse **20**, einem Düsenabschnitt **10**, einem festen bzw. fixierten Kern **60**, einem beweglichen Kern **40**, einer Nadel **30** als Ventilkörper, einer beweglichen Platte **50**, einer ersten Feder **80**, einer zweiten Feder **90** und einer Spule **70**. Im Injektor **100** umfasst ein Antriebsteil zur Bewegung der Nadel **30** den beweglichen Kern **40**, den festen Kern **60**, die Spule **70** und die erste Feder **80**.

[0033] Das Gehäuse **20** umfasst ein erstes Zylinderelement **21**, ein zweites Zylinderelement **22**, ein drittes Zylinderelement **23**, ein Außenumfangselement **25** und ein Harzformteil **26**. Das erste Zylinderelement **21**, das zweite Zylinderelement **22** und das drit-

te Zylinderelement **23** sind annähernd zylindrisch geformt. Das erste Zylinderelement **21**, das zweite Zylinderelement **22** und das dritte Zylinderelement **23** sind in dieser Reihenfolge coaxial angeordnet und miteinander verbunden. Der Außenumfangsteil **25** berührt die Außenumfangsflächen des ersten Zylinderteils **21** und des dritten Zylinderteils **23**. Das erste Zylinderelement **21**, das dritte Zylinderelement **23** und das äußere Umfangselement **25** sind aus einem magnetischen Material wie ferritischem Edelstahl gefertigt. Das zweite Zylinderelement **22** ist aus einem nichtmagnetischen Material wie z.B. austenitischem Edelstahl gefertigt.

[0034] Der Düsenabschnitt **10** ist an einem Rand des ersten Zylinderteils **21** vorgesehen und zu einer Metallscheibe geformt. In der Mitte des Düsenabschnitts **10** wird eine Einspritzöffnung **11** gebildet, um den Düsenabschnitt **10** in Richtung der Plattendicke zu durchstoßen. Ein kreisförmiger Ventilsitz **12** ist auf einer Fläche des Düsenabschnitts **10** ausgebildet, um die Einspritzöffnung **11** zu umgeben. Der Düsenabschnitt **10** wird mit dem ersten Zylinderteil **21** so verbunden, dass eine Seitenwand an einer Innenwand des ersten Zylinderteils **21** anliegt.

[0035] Der feste Kern **60** ist an einer Kante des dritten Zylinderträgers **23** vorgesehen. Der feste Kern **60** besteht aus einem magnetischen Material wie ferritischem Edelstahl und ist annähernd zylindrisch geformt. Der feste Kern **60** ist im Inneren des Gehäuses **20** vorgesehen. Der fixierte Kern **60** und der Düsenabschnitt **10** werden mit dem Gehäuse **20** verschweißt und befestigt.

[0036] Die Nadel **30** ist aus Stahl wie z.B. martensitischem Edelstahl und wird zu einem Stab geformt. Die Nadel **30** ist im Gehäuse **20** in axialer Richtung hin- und hergehend aufgenommen. Die Nadel **30** besteht aus einem Körper **32**, einem Dichtungsabschnitt **31** und einem Flanschabschnitt **33**. Der Körper **32** ist zu einem Stab geformt und erstreckt sich in axialer Richtung. Der Dichtungsabschnitt **31** ist an einer Kante des Körpers **32** zum Düsenabschnitt **10** hin ausgebildet. Der Flanschabschnitt **33** ist an einer Kante des Körpers **32** gegenüber dem Düsenabschnitt **10** ausgebildet. Der Dichtungsabschnitt **31** öffnet oder schließt die Einspritzöffnung **11**, indem er den Dichtungsteil **31** aus dem Ventilsitz **12** (entspannt) oder in Kontakt mit dem Ventilsitz **12** (aufsitzend) kommen lässt. In der folgenden Beschreibung wird die Richtung, in der die Nadel **30** vom Ventilsitz **12** gelöst wird, als Ventilöffnungsrichtung und die Richtung, in der die Nadel **30** bei Bedarf mit dem Ventilsitz **12** in Kontakt kommt, als Ventilschließrichtung bezeichnet. Der Körper **32** ist am Flanschabschnitt **33** zu einem Hohlzylinder geformt und enthält eine Bohrung bzw. ein Loch **34**, die bzw. das zur Verbindung einer Innenwand **321** und einer Außenwand **322** des Körpers **32** ausgebildet ist. Der Flanschabschnitt **33** ist zu einer

Scheibe geformt, die sich zu einer Innenwand **24** des Gehäuses **20** hin ausdehnt.

[0037] Der bewegliche Kern **40** besteht aus einem magnetischen Material wie ferritischem Edelstahl und ist annähernd zylindrisch geformt. Der bewegliche Kern **40** ist im Gehäuse **20** untergebracht, um sich zwischen dem festen Kern **60** und dem Düsenabschnitt **10** hin und her bewegen zu können. In der Mitte des beweglichen Kerns **40** ist eine Durchgangsöffnung **44** gebildet. Eine Innenwand der Durchgangsöffnung **44** im beweglichen Kern **40** kann auf einer Außenwand **322** des Körpers **32** der Nadel **30** gleiten. Eine Außenwand **42** des beweglichen Kerns **40** kann auf der Innenwand **24** des Gehäuses **20** gleiten. Daher kann sich der bewegliche Kern **40** im Gehäuse **20** hin- und herbewegen, während er auf der Nadel **30** und dem Gehäuse **20** gleitet.

[0038] Der bewegliche Kern **40** enthält einen vertieften Behälterteil **45**, der an einer Stirnseite **41** zum festen Kern **60** hin so geformt ist, dass er sich in radialer Richtung von der Innenwand der Durchgangsöffnung **44** nach außen kreisförmig ausdehnt. Der bewegliche Kern **40** enthält einen Eingriffsnutabschnitt **46**, der an der Stirnseite **41** zum festen Kern **60** hin so ausgebildet ist, dass er sich von einem Endteil bzw. abschnitt gegenüber einer Bodenwand **452** des vertieften Behälterteils **45** in radialer Richtung kreisförmig nach außen ausdehnt. Der vertiefte Behälterteil **45** nimmt den Flanschabschnitt **33** der Nadel **30** auf. Der eingreifende bzw. einrastende Nutabschnitt **46** greift in die später zu beschreibende bewegliche Platte **50** ein.

[0039] Die bewegliche Platte **50** besteht aus Metall wie z.B. martensitischem Edelstahl, ist zu einer Scheibe geformt, deren Durchmesser größer ist als der des vertieften Behälterteils **45** und enthält in der Mitte ein Loch **51**. Die bewegliche Platte **50** ist gegenüber dem Düsenabschnitt **10** des beweglichen Kerns **40** vorgesehen, um den Kontakt mit dem beweglichen Kern **40** und dem Flanschabschnitt **33** der Nadel **30** herstellen zu können. Die bewegliche Platte **50** ist so vorgesehen, dass sie in den einrastenden Nutabschnitt **46** eingreifen kann.

[0040] Die Spule **70** ist annähernd zylindrisch geformt und ist so vorgesehen, dass sie die Außenseite des zweiten Zylinderteils **22** und des dritten Zylinderteils **23** in radialer Richtung umschließt. Der Harzformteil **26** wird zwischen dem ersten Zylinderteil **21**, dem zweiten Zylinderteil **22**, dem dritten Zylinderteil **23** und dem äußeren Umfangsteil **25** eingefüllt.

[0041] Die Spule **70** wird mit elektrischer Energie versorgt und erzeugt eine Magnetkraft. Anschließend wird ein Magnetkreis im festen Kern **60**, dem beweglichen Kern **40**, dem ersten Zylinderteil **21**, dem dritten Zylinderteil **23** und dem äußeren Umfangsteil **25** ge-

bildet. Die elektromagnetische Anziehungskraft wirkt auf den beweglichen Kern **40**, so dass der feste Kern **60** den beweglichen Kern **40** anziehen kann. Die Bodenwand **452** des vertieften Behälterteils **45** berührt den Flanschabschnitt **33** der Nadel **30**. Die Nadel **30** bewegt sich mit dem beweglichen Kern **40** zum festen Kern **60** hin, nämlich in Ventilöffnungsrichtung. Dabei wird der Dichtungsabschnitt **31** vom Ventilsitz **12** getrennt, um die Einspritzöffnung **11** zu öffnen. Die Stirnseite **41** berührt den festen Kern **60** und begrenzt die Bewegung des beweglichen Kerns **40** in Öffnungsrichtung des Ventils.

[0042] Die erste Feder **80** legt sich elastisch an die bewegliche Platte **50** an und spannt dadurch den beweglichen Kern **40** und die Nadel **30** in Ventilschließrichtung vor. Die zweite Feder **90** berührt den beweglichen Kern **40**, um eine elastische Kraft aufzubringen und spannt dadurch die bewegliche Platte **50** in Richtung des festen Kerns **60** vor, und zwar in Richtung der Ventilöffnung. Die Vorspannkraft der ersten Feder **80** ist größer als die Vorspannkraft der zweiten Feder **90**. Wenn die Spule **70** nicht mit Strom versorgt wird, schließt die Nadel **30** das Ventil, indem sie den Dichtungsabschnitt **31** mit dem Ventilsitz **12** in Kontakt kommen lässt. Die erste Feder **80** ist vergleichbar mit einem Ventilkörpervorspannelement, das den Ventilkörper vorspannt. Die zweite Feder **90** ist vergleichbar mit einem Kernvorspannteil, das den festen Kern **60** vorspannt.

[0043] Die zweite Feder **90** ist so vorgesehen, dass ein erstes Ende den Boden bzw. die Unterseite eines an einer Stirnfläche **43** an der Einspritzöffnung **11** ausgebildeten Nutabschnitts **431** berührt. Ein zweites Ende der zweiten Feder **90** hat Kontakt mit einer kreisförmigen, abgestuften Fläche **211**, die im Inneren des ersten Zylinderteils **21** des Gehäuses **20** ausgebildet ist. Die zweite Feder **90** übt eine sich in axialer Richtung erstreckende Kraft aus. Die zweite Feder **90** spannt den beweglichen Kern **40** und damit die bewegliche Platte **50** in Richtung des festen Kerns **60** vor. In diesem Fall wird die Position des beweglichen Kerns **40** als Initialposition **B1** bezeichnet. Wenn der bewegliche Kern **40** in der Initialposition **B1** bleibt, verlässt die Stirnfläche **43** des beweglichen Kerns **40** die abgestufte Oberfläche des ersten Zylinderteils **21** in Richtung der der Einspritzöffnung **11** gegenüberliegenden Seite in axialer Richtung. Daher kann sich der bewegliche Kern **40** statt der Initialposition **B1** zur Einspritzöffnung **11** bewegen.

[0044] Wenn die Spule **70** wie in **Fig. 3** dargestellt abgeschaltet wird, ermöglicht die Vorspannkraft der ersten Feder **80** und der zweiten Feder **90** den Kontakt der beweglichen Platte **50** mit der Nadel **30** und dem beweglichen Kern **40**. Konkret berührt eine untere Stirnfläche **53** der beweglichen Platte **50** eine Stirnfläche **331** des Flanschabschnitts **33** der Nadel **30** und eine Bodenwand **461** des Eingriffsnutabschnitts

46 des beweglichen Kerns **40**. In diesem Fall halten der bewegliche Kern **40** und die Nadel **30** den Schließzustand des Ventils aufrecht. Die Stellung der Nadel **30** wird in diesem Fall als Ventilschließstellung **A1** bezeichnet. Es wird davon ausgegangen, dass L1 die Länge des Flanschabschnitts **33** in axialer Richtung und L2 den Abstand zwischen der unteren Stirnfläche **53** der beweglichen Platte **50** und der Bodenwand **452** des vertieften Behälterteils **45** bezeichnet. Anschließend werden der Flanschabschnitt **33**, die bewegliche Platte **50**, der vertiefte Behälterteil **45** und der einrastende Nutabschnitt **46** so geformt, dass die Beziehung $L1 < L2$ erfüllt ist.

[0045] Es wird angenommen, dass G1 den Abstand zwischen einer unteren Stirnfläche **332** des Flanschabschnitts **33** und der Bodenwand **452** des vertieften Behälterteils **45** in axialer Richtung und G2 den Abstand zwischen der Stirnfläche **41** des beweglichen Kerns **40** und der Stirnfläche des festen Kerns **60** am beweglichen Kern **40** in axialer Richtung bezeichnet. Anschließend werden der Flanschabschnitt **33**, die bewegliche Platte **50**, der vertiefte Behälterteil **45**, der eingreifende Nutabschnitt **46**, der bewegliche Kern **40** und der feste Kern **60** so geformt, dass das Verhältnis $G1 < G2$ und $G1 = L2 - L1$ erfüllt ist.

[0046] Um auf **Fig. 2** zurückzukommen, wird am Ende des dritten Zylinderteils **23** ein etwa zylindrisches Kraftstoffeinführungsrohr **62** eingepresst und verschweißt. Der aus dem Kraftstoffeinführungsrohr **62** zugeführte Kraftstoff fließt durch den festen Kern **60**, die Bohrung **51** der beweglichen Platte **50**, die Innenseite des Körpers **32** der Nadel **30**, die Bohrung **34** der Nadel **30** und zwischen dem ersten Zylinderelement **21** und der Nadel **30**. Wenn die Spule **70** eingeschaltet wird, um die Nadel **30** zu öffnen, strömt der wie oben beschriebene Kraftstoff zwischen dem Dichtungsabschnitt **31** und dem Ventilsitz **12** hindurch und wird dann aus der Einspritzöffnung **11** eingespritzt.

[0047] Die folgende Beschreibung erläutert die Funktionsweise des Injektors **100** anhand der **Fig. 3** bis **Fig. 5**.

[0048] Wenn die Spule **70**, wie in **Fig. 3** dargestellt, ausgeschaltet wird, spannt die erste Feder **80** die bewegliche Platte **50** und damit die Nadel **30** in Ventilschließrichtung vor. Die zweite Feder **90** spannt den beweglichen Kern **40** in Richtung des festen Kerns **60** vor. Die untere Stirnfläche **53** der beweglichen Platte **50** berührt die Stirnfläche **331** des Flanschabschnitts **33** der Nadel **30** und die Bodenwand **461** des Eingriffsnutabschnitts **46** des beweglichen Kerns **40**, wobei der Zustand von $L1 < L2$ und $G1 < G2$ wie oben beschrieben beibehalten wird. Der Dichtungsabschnitt **31** der Nadel **30** sitzt dabei auf dem Ventilsitz **12**, um einen geschlossenen Zustand zu bewirken. Die Einspritzöffnung **11** wird geschlossen.

[0049] Beim Einschalten der Spule **70**, wie in **Fig. 4** dargestellt, wird der bewegliche Kern **40** vom festen Kern **60** angezogen und bewegt sich auf den festen Kern **60** zu. Die bewegliche Platte **50** wird durch den beweglichen Kern **40** gedrückt und bewegt sich gegen die Vorspannkraft der ersten Feder **80** in Richtung der ersten Feder **80**. Der bewegliche Kern **40** wird um die vorgegebene Strecke G1 beschleunigt. Unter Beibehaltung der dem Beschleunigungsweg entsprechenden kinetischen Energie kollidiert der bewegliche Kern **40** mit der unteren Stirnfläche **332** des Flanschabschnitts **33** der Nadel **30**. Verursacht durch die Kollision beginnt sich die Nadel **30** plötzlich in die Ventilöffnungsrichtung zu bewegen. Der Dichtungsabschnitt **31** verlässt den Ventilsitz **12** und spritzt den Kraftstoff aus der Einspritzöffnung **11** ein.

[0050] Der bewegliche Kern **40** kollidiert mit der Nadel **30** und bewegt sich dann weiter, um mit dem festen Kern **60** zu kollidieren, wie in **Fig. 5** dargestellt. Dadurch wird die Bewegung des beweglichen Kerns **40** begrenzt. Der bewegliche Kern **40** drückt die Nadel **30** in Ventilöffnungsrichtung, während der Flanschabschnitt **33** in die Bodenwand **452** eingreift. Die Nadel **30** wird während einer Periode von der Kollision des beweglichen Kerns **40** mit der Nadel **30** bis zur Kollision des beweglichen Kerns **40** mit dem festen Kern **60** gedrückt.

[0051] Der bewegliche Kern **40** bleibt in Bewegung. Währenddessen verlässt die Nadel **30** den beweglichen Kern **40**, wie in **Fig. 6** dargestellt, und bewegt sich durch Trägheit gegen die elastische Kraft der ersten Feder **80** weiter. Die erste Feder **80** wird über die bewegliche Platte **50** gegen die Nadel **30** vorgespannt. Nach dem Zusammendrücken bis zum Anschlag drückt die erste Feder **80** dann die bewegliche Platte **50** und die Nadel **30** in Ventilschließrichtung zurück. Beim Zurückschieben stoppen die bewegliche Platte **50** und die Nadel **30** bei Kontakt mit dem beweglichen Kern **40** entsprechend dem Zustand in **Fig. 4**.

[0052] Wie oben, der bewegliche Kern **40** bewegt sich, um den Kontakt mit dem festen Kern **60** herzustellen, aber die Nadel **30** bewegt sich danach durch Trägheit weiter. Dieses Verhalten wird als Overshoot bzw. Überspringen bezeichnet. Wie in **Fig. 6** dargestellt, ist die Überspringweite L3 vergleichbar mit einem Trennabstand zwischen der Nadel **30** und dem beweglichen Kern **40** in axialer Richtung. Konkret entspricht die Überspringmenge dem Abstand zwischen der unteren Stirnfläche **332** des Flanschabschnitts **33** und der Bodenwand **452** des vertieften Behälterteils **45**.

[0053] Wenn die Spule **70** ausgeschaltet wird, nimmt die elektromagnetische Anziehungskraft ab. Wenn die elektromagnetische Anziehungskraft zu gering wird, um das Ventil weiter zu öffnen, bewegen sich

die bewegliche Platte **50**, der bewegliche Kern **40** und die Nadel **30** in Ventilschließrichtung. Konkret, spannt die erste Feder **80** die bewegliche Platte **50** in Richtung der Nadel **30** vor. Die bewegliche Platte **50** setzt sich dann zusammen mit dem beweglichen Kern in Ventilschließrichtung in Bewegung. Die bewegliche Platte **50** berührt dann der Flanschabschnitt **33** der Nadel **30** und drückt die Nadel **30** in Ventilschließrichtung. Mit anderen Worten: Die elastische Kraft der ersten Feder **80** wird über die bewegliche Platte **50** auf die Nadel **30** übertragen und ermöglicht es der Nadel **30**, mit dem Schließen des Ventils zu beginnen. Die Nadel **30**, die sich in Ventilschließrichtung bewegt, stoppt die Bewegung, wenn der Dichtungsabschnitt **31** den Ventilsitz **12** berührt.

[0054] Die Nadel **30** stoppt die Bewegung und die bewegliche Platte **50** stoppt die Bewegung. Währenddessen verlässt der bewegliche Kern **40** die bewegliche Platte **50**, wie in **Fig. 7** dargestellt, und setzt seine Bewegung in Ventilschließrichtung durch Trägheit gegen die elastische Kraft der zweiten Feder **90** fort. Wenn die zweite Feder **90** zusammengedrückt wird, durchläuft der bewegliche Kern **40** die Initialposition **B1** und erreicht die entfernteste Position **B2**. Wenn die zweite Feder **90** gespannt wird, beginnt sich der bewegliche Kern **40** in Ventilöffnungsrichtung zu bewegen und kehrt in die Initialposition **B1** zurück. Nach der Rückkehr in die Initialposition **B1** aus der entferntesten Position **B2** wird der bewegliche Kern **40** von der beweglichen Platte **50** aufgefangen und stoppt in der Initialposition **B1**, wie in **Fig. 3** dargestellt.

[0055] Die Nadel **30** kehrt in die Ventilschließstellung **A1** zurück und der bewegliche Kern **40** fährt dann in die entfernteste Stellung **B2** statt in die Initialposition **B1**. Dieser Zustand wird als Unterschwingung bezeichnet. Der bewegliche Kern **40** bewegt sich im Unterschwingungszustand von der entferntesten Position **B2** in die Initialposition **B1** in Ventilöffnungsrichtung. Dieser Zustand wird als Kern-Boost bezeichnet. Der bewegliche Kern **40** bewegt sich im Kern-Boost-Zustand durch eine Rückstellkraft der zweiten Feder **90**.

[0056] Wie in **Fig. 7** dargestellt, bewirkt der bewegliche Kern **40** im Unterschwingungszustand einen Trennungsabstand von der Initialposition **B1**. Der Trennungsabstand wird als Unterschwingungsmenge **L4** bezeichnet. Die Unterschwingungsmenge **L4** gibt den Trennabstand zwischen dem beweglichen Kern **40** und der beweglichen Platte **50** in axialer Richtung an. Konkret entspricht die Unterschwingungsmenge **L4** dem Trennabstand in axialer Richtung zwischen der Stirnseite **41** des beweglichen Kerns **40** am festen Kern **60** und der Stirnseite der beweglichen Platte **50** am festen Kern **60**. Während die Unterschwingungsmenge **L4** zunimmt, bewegt sich der bewegliche Kern **40** aus der Initialposition **B1**

weg und die zweite Feder **90** wird aufgrund der Trägheit des beweglichen Kerns **40** zusammengedrückt. Während die Unterschwingungsmenge **L4** abnimmt, nähert sich der bewegliche Kern **40** der Initialposition **B1** und die zweite Feder **90** wird aufgrund ihrer Federkraft gedehnt.

[0057] Wie oben, bewegt sich die bewegliche Platte **50** mit dem beweglichen Kern **40** in axialer Richtung mit. Das Timing des Beginns der Bewegung der beweglichen Platte **50** ist gleich dem Timing des Beginns der Bewegung des beweglichen Kerns **40**, unabhängig davon, ob das Ventil geschlossen oder geöffnet ist. Das Timing des Beginns der Bewegung der Nadel **30** liegt jedoch später als Das Timing des Beginns der Bewegung des beweglichen Kerns **40**, unabhängig davon, ob das Ventil geschlossen oder geöffnet ist. Die Beschreibung der Funktionsweise des Injektors **100** ignoriert jedoch einen Unterschied zwischen den Timings für den Beginn der Bewegung der Nadel **30** und des beweglichen Kerns **40** und nimmt an, dass die Nadel **30** gleichzeitig mit dem beweglichen Kern **40** in Bewegung kommt. Dies ist nach einer Konfiguration möglich, bei der der Flanschabschnitt **33** der Nadel **30** vom beweglichen Kern **40** gefangen wird, wenn die bewegliche Platte **50** nicht vorhanden ist, die erste Feder **80** die Nadel **30** direkt vorspannt und der bewegliche Kern **40** in der Initialposition bleibt.

[0058] Die bewegliche Platte **50** ist unabhängig vom beweglichen Kern **40** konfiguriert und bietet ein bewegliches Element, das sich mit dem beweglichen Kern **40** bewegt. Die bewegliche Platte **50** wird durch den beweglichen Kern **40** in die Ventilöffnungsrichtung und durch die erste Feder **80** in die Ventilschließrichtung gedrückt. Wird die bewegliche Platte **50** durch die erste Feder **80** in Bewegung gesetzt, fungiert sie als Ventil-Schließkraft-Übertragungsglied, das die elastische Kraft der ersten Feder **80** auf die Nadel **30** überträgt.

[0059] Die Steuereinheit **135** gibt ein Antriebssignal als elektrisches Signal an den Injektor **100** aus und ermöglicht so dem Injektor **100** die Einspritzung des Kraftstoffs. Der Injektor **100** erregt die Spule **70** entsprechend dem Antriebssignal. In diesem Fall fließt ein dem Antriebssignal entsprechender Antriebsstrom durch die Spule **70**. Die Steuereinheit **135** ermöglicht dem Injektor **100** eine mehrstufige Einspritzung, d.h. mehr als eine Einspritzung pro Verbrennungszyklus. Das Antriebssignal kann als Antriebsrichtungs- oder Einspritzrichtungs-signal bezeichnet werden.

[0060] Die nachfolgende Beschreibung erläutert anhand der **Fig. 8** bis **Fig. 11** das Verhalten des beweglichen Kerns **40** bei der mehrstufigen Injektion. In der folgenden Beschreibung wird der Übergang des Antriebssignals auf einen High-Pegel als EIN be-

zeichnet. Der Übergang des Antriebssignals auf einen niedrigen Pegel wird als OFF bezeichnet. Ein vorheriges Antriebssignal wird als erstes Antriebssignal **DS1** bezeichnet. Ein vorhandenes Antriebssignal wird als zweites Antriebssignal **DS2** bezeichnet. In den **Fig. 8** bis **Fig. 11** schaltet das erste Antriebssignal **DS1** im Takt **ta1** aus und das zweite Signal **C2** im Takt **ta2** ein. Eine Periode zwischen dem ersten Antriebssignal **DS1** und dem zweiten Antriebssignal **DS2** wird als Signalintervall **Tint** bezeichnet. Das Signalintervall **Tint** entspricht einer Periode vom AUS-Timing **ta1** des ersten Antriebssignals **DS1** bis zum EIN-Timing **ta2** des zweiten Antriebssignals **DS2**. Eine Periode, in der die Antriebssignale **DS1** und **DS2** eingeschaltet bleiben, wird als Antriebsdirektivperiode **Tj** bezeichnet. Das erste Antriebssignal **DS1** und das zweite Antriebssignal **DS2** können die gleiche Länge der Antriebsdirektivperiode **Tj** verwenden oder nicht. Das Signalintervall **Tint** ist vergleichbar mit einem Einspritzintervall.

[0061] Die Erregung zum Fließen eines dem Antriebssignal entsprechenden Antriebsstroms umfasst die erste Antriebserregung **DI1** und die zweite Antriebserregung **DI2**. Bei der ersten Antriebserregung **DI1** fließt ein Antriebsstrom, der dem ersten Antriebssignal **DS1** entspricht. Bei der zweiten Antriebserregung **DI2** fließt ein Antriebsstrom, der dem zweiten Antriebssignal **DS2** entspricht. Der Antriebsstrom gemäß der Antriebserregung **DI1** oder **DI2** erhöht sich allmählich bis zum ersten Antriebswert **Ia**, basierend auf dem EIN-Zustand des Antriebssignals **DS1** oder **DS2**, und wird für eine bestimmte Periode, basierend auf dem ersten Antriebswert **Ia**, gehalten. Der Antriebsstrom sinkt bis zum zweiten Antriebswert **Ib**, der kleiner als der erste Antriebswert **Ia** ist, und wird für eine bestimmte Periode auf der Grundlage des zweiten Antriebswerts **Ib** gehalten. Anschließend sinkt der Antriebsstrom in Abhängigkeit vom AUS-Zustand des Antriebssignals **DS1** oder **DS2** allmählich ab und erreicht Null. Die Antriebssignale **DS1** und **DS2** enthalten Informationen, die den Antriebsstrom auf den ersten Antriebswert **Ia** und den zweiten Antriebswert **Ib** entsprechend den Antriebserregungen **DI1** und **DI2** ändern. Die Erstantriebserregung des Antriebs **DI1** ist vergleichbar mit einer ersten Erregung. Die Zweitantriebserregung **DI2** ist vergleichbar mit einer zweiten Erregung.

[0062] Die elektromagnetische Anziehungskraft, die durch die Antriebserregung **DI1** oder **DI2** verursacht wird, nimmt mit zunehmender Erregung des Umrichters **DI1** oder **DI2** allmählich zu und steigt auf den Bewegungsfreigabewert **Pc**. Der bewegliche Kern **40** beginnt sich in Ventilöffnungsrichtung zu bewegen, wenn die elektromagnetische Anziehungskraft den Bewegungsfreigabewert **Pc** erreicht. Die Nadel **30** öffnet dabei das Ventil und beginnt mit der Einspritzung des Kraftstoffs. Der Bewegungsfreigabewert **Pc** wird so eingestellt, dass die Vorspannkraft der ers-

ten Feder **80** übersteuert werden kann. Das Anstiegs-Timing **tc** bezeichnet das Timing, an dem die elektromagnetische Anziehungskraft den Bewegungsfreigabewert **Pc** erreicht. Anstiegsperiode **To** bezeichnet eine Periode, die während des Zeitablaufs zum Einschalten des Antriebssignals **DS1** oder **DS2** benötigt wird, sowie die Zeit, in der die elektromagnetische Anziehungskraft den Bewegungsfreigabewert **Pc** erreicht. Wie in **Fig. 8** dargestellt, gilt z.B. die Anstiegsperiode **To** für das zweite Antriebssignal **DS2** vom EIN-Timing **ta2** bis zum Anstiegs-Timing **tc**. In der vorliegenden Ausführungsform werden die Antriebssignale **DS1** und **DS2** und die Antriebserregungen **DI1** und **DI2** so konfiguriert, dass für die Antriebssignale **DS1** und **DS2** die gleiche Anstiegsperiode **To** verwendet wird.

[0063] Hinsichtlich des Verhaltens des beweglichen Kerns und der Nadel in den **Fig. 8** bis **Fig. 11** stellt die vertikale Achse den Bewegungsbetrag der beweglichen Hülse **40** und der Nadel **30** dar. Eine Erhöhung des Bewegungsbetrages stellt die Bewegung in Ventilöffnungsrichtung dar. Eine Verringerung des Bewegungsbetrages stellt die Bewegung in Ventilschließrichtung dar.

[0064] Wenn das Antriebssignal **DS1** oder **DS2** ausschaltet, beginnen sich der bewegliche Kern **40** und die Nadel **30** entsprechend in Ventilschließrichtung zu bewegen und der bewegliche Kern **40** unterschwingt. In **Fig. 8** durchläuft der unterschwingende bewegliche Kern **40** die Initialposition **B1** in Ventilschließrichtung zum Timing **tb1** und erreicht die entfernteste Stellung **B2** zum Timing **tb2**. Der bewegliche Kern **40** bewegt sich danach in Ventilöffnungsrichtung und kehrt zum Timing **tb3** in die Initialposition **B1** zurück. Das Timing bzw. Das Timing **tb3** wird als Rückkehr-zur-Referenz-Timing **tb3** bezeichnet. Sollwertrücklaufzeit **Tu** bezeichnet eine Periode vom AUS-Timing **ta1** bis zum Sollwertrücklaufzeit **tb3** für das erste Antriebssignal **DS1**. Der entfernteste Timing **tb2** bezeichnet das Timing, an dem der bewegliche Kern **40** die entfernteste Position **B2** erreicht. Das Starttiming **tb1** bezeichnet das Timing, an dem der bewegliche Kern **40** zu unterschwingen beginnt. Die Periode vom Starttiming **tb1** bis zum Rückkehr-zur-Referenz-Timing **tb3** entspricht einer Unterschwingungszeit, in der der bewegliche Kern **40** Mal unterschwingt.

[0065] Wie in **Fig. 8** dargestellt, erfolgt das Rückkehr-zur-Referenz-Timing **tb3** früher als die Anstiegsperiode **To** für die elektromagnetische Anziehungskraft in Bezug auf das zweite Antriebssignal **DS2**. In diesem Fall wird die elektromagnetische Anziehungskraft nicht auf den unterschwingenden beweglichen Kern **40** ausgeübt. Das Rücklauf-zur-Referenz-Timing **tb3** erfolgt früher als das EIN-Timing **ta2** des zweiten Antriebssignals **DS2**. Daher ist das

Signalintervall T_{int} länger als die Rücklauf-zur-Referenz-Periode T_u .

[0066] Die Rückkehr-zur-Referenz-Periode T_u beinhaltet die Periode T_{o1} , die die gleiche Länge wie die Anstiegsperiode T_o hat. Die Rückkehr-zur-Referenz-Periode T_u beinhaltet ein spezifisches Timing $tb5$ zwischen dem am weitesten entfernten Timing $tb2$ und dem Rückkehr-zur-Referenz-Timing $tb3$. Die spezifische Periode T_{o1} entspricht dem Zeitraum zwischen dem spezifischen Timing $tb5$ und dem Rückkehr-zur-Referenz-Timing $tb3$. Die Rückkehr-zur-Referenz-Periode T_u umfasst die zulässigen Periode T_{uo} , die um eine bestimmten Periode T_{o1} kürzer ist als die Rückkehr-zur-Referenz-Periode T_u . Die zulässige Periode T_{uo} entspricht der Periode zwischen dem AUS-Timing $ta1$ des ersten Antriebssignals $DS1$ und dem spezifischen Timing $tb5$ und ist kürzer als die Rückkehr zur Sollwertperiode T_u .

[0067] Die Speichereinheit **135b** speichert Informationen aus der Vergangenheit oder Experimentinformationen, wodurch es möglich ist, das Rückkehr-zur-Referenz-Timing $tb3$ oder die Rückkehr-zur-Referenz-Periode T_u in Bezug auf die durch die erste Antriebserregung **DI1** verursachte Unterschwingung abzuschätzen. Es ist auch möglich, die Anstiegsperiode T_o der elektromagnetischen Anziehungskraft durch die zweite Antriebserregung **DI2** abzuschätzen. Das Rückkehr-zur-Referenz-Timing $tb3$ kann auch als geschätztes Rückkehrtiming bzw. Rücklauftiming beschrieben werden. Die Rückkehr-zur-Referenz-Periode T_u oder die Anstiegsperiode T_o kann auch als geschätzte Rücklaufperiode oder als geschätzte Anstiegsperiode beschrieben werden.

[0068] Wie in **Fig. 9** dargestellt, wird die elektromagnetische Anziehungskraft während der geschätzten zulässigen Periode T_{uo} auf den unterschwingenden beweglichen Kern **40** ausgeübt, wenn die geschätzte Rückkehr zur Referenzzeit $tb3$ später als die Anstiegsperiode T_o für das zweite Antriebssignal **DS2** auftritt. Das Rückkehr-zur-Referenz-Timing $tb3$ erfolgt später als das EIN-Timing $ta2$ des zweiten Antriebssignals **DS2**. Daher ist das Signalintervall T_{int} kürzer als die Rückkehr-zur-Referenz-Periode T_u . Das Signalintervall T_{int} ist kürzer als die zulässige Periode T_{uo} .

[0069] Wenn das Rückkehr-zur-Referenz-Timing $tb3$ später als die Anstiegsperiode T_o eintritt, wird der bewegliche Kern **40** während der zulässigen Periode T_{uo} zwangsweise in die Initialposition **B1** zurückgezogen, wodurch die Unterschwingzeit verkürzt wird. In diesem Fall kehrt der bewegliche Kern **40** in die Initialposition **B1** zurück, und zwar zum Rückkehr-zum-Kern-Timing $tb4$ früher als zum Rückkehr-zur-Referenz-Timing $tb3$. Daher benötigt der bewegliche Kern **40** eine Rückkehr-zum-Kern-Periode T_{u1} , die kürzer als die Rückkehr-zur-Referenz-Periode T_u

ist, um vom AUS-Timing $ta1$ des ersten Antriebssignals **DS1** in die Initialposition **B1** zurückzukehren. Die Rückkehr-zum-Kern-Periode T_{u1} ist vergleichbar mit einer zusätzlichen Rücklaufperiode. Das Rückkehr-zum-Kern-Timing $tb4$ ist vergleichbar mit einem zusätzlichen Rücklauftiming.

[0070] Der bewegliche Kern **40** kehrt nicht durch das Anstiegs-Timing t_c in die Initialposition **B1** zurück, auch wenn die Unterschwingungszeit während der zulässigen Periode T_{uo} verkürzt wird. Das Rückkehr-zum-Kern-Timing $tb4$ erfolgt später als das Anstiegs-Timing t_c . Mit anderen Worten, die elektromagnetische Anziehungskraft steigt mindestens bis zum Bewegungsfreigabewert P_c bei der Rückkehr-zum-Kern-Timing $tb4$, wenn der bewegliche Kern **40** in die Initialposition **B1** zurückkehrt. Der bewegliche Kern **40** fährt in die Initialposition **B1** zurück und kollidiert mit der Nadel **30**. Die elektromagnetische Anziehungskraft, die größer oder gleich dem Bewegungsfreigabewert P_c ist, erlaubt es dem beweglichen Kern **40** zusammen mit der Nadel **30**, durch die Initialposition **B1** zu gehen und sich zur Seite der Ventilöffnung zu bewegen, wodurch die Nadel **30** gezwungen wird, das Ventil zu öffnen.

[0071] Die Kernverzögerungsperiode T_z bezeichnet eine Periode, die ein Rückkehr-zum-Kern-Timing $tb4$ später als das Anstiegs-Timing t_c beinhaltet. Anschließend fährt der bewegliche Kern **40** nach einer Verzögerung der Kernverzögerungsperiode T_z aus der Initialposition **B1** in Ventilöffnungsrichtung. Unter der Annahme, dass die Antriebsdirektivperiode T_j konstant ist, nimmt die aus der Einspritzöffnung **11** eingespritzte Kraftstoffmenge im Verhältnis zur Kernverzögerungsperiode T_z im Vergleich zu einem Fall der Eliminierung der Kernverzögerungsperiode T_z ab.

[0072] Wie in **Fig. 10** dargestellt, wird, wenn das Rückkehr-zur-Referenz-Timing $tb3$ in die Anstiegsperiode T_o für das zweite Antriebssignal **DS2** einbezogen wird, die elektromagnetische Anziehungskraft auf den unterschwingenden beweglichen Kern **40** ähnlich wie im Fall, dass das Rücklauf-Timing $tb3$ in die Anstiegsperiode T_o einbezogen wird. Auch in diesem Fall erfolgt das Rückkehr-zur-Referenz-Timing $tb3$ später als das EIN-Timing $ta2$ des zweiten Antriebssignals **DS2**. Daher ist das Signalintervall T_{int} kürzer oder gleich der Rückkehr-zur-Referenz-Periode T_u . Inzwischen ist das Signalintervall T_{int} länger oder gleich der zulässigen Periode T_{uo} . Das Zusammenspiel von $T_{uo} \leq T_{int} \leq T_u$ ist erfüllt.

[0073] Wenn das Rückkehr-zur-Referenz-Timing $tb3$ in die Anstiegsperiode T_o einbezogen wird, wird der bewegliche Kern **40** während der spezifischen Periode T_{o1} zwangsweise in die Initialposition **B1** zurückgezogen, wodurch sich die Unterschwingzeit verkürzt. In diesem Fall kehrt der bewegliche Kern **40** in

die Initialposition **B1** zurück, und zwar zum Rückkehr-zum-Kern-Timing **tb4** früher als zum Rückkehr-zur-Referenz-Timing **tb3**, ähnlich wie im Fall, dass das Rückkehr-zur-Referenz-Timing **tb3** später als die Anstiegsperiode **To** erfolgt (siehe **Fig. 9**). Dadurch ist die Rückkehr-zum-Kern-Periode **Tu1** kürzer als die Rückkehr-zur-Referenz-Periode **Tu**.

[0074] Die Unterschwingungsdauer wird während der spezifischen Periode **To1** verkürzt, weil die elektromagnetische Anziehungskraft im Kern-Boost-Zustand auf den beweglichen Kern **40** ausgeübt wird, um den beweglichen Kern **40** zu beschleunigen. Die elektromagnetische Anziehungskraft, die während einer bestimmten Periode **To1** auf den beweglichen Kern **40** ausgeübt wird, unterschreitet jedoch den Bewegungsfreigabewert **Pc** und ist zu klein, um den beweglichen Kern **40** in der Initialposition **B1** in Bewegung zu setzen. Der beschleunigte bewegliche Kern **40** kehrt in die Initialposition **B1** zurück, kollidiert mit der Nadel **30** und durchfährt mit der Nadel **30** zeitweise die Initialposition **B1** und bewegt sich zur Ventilöffnungsseite. Wenn sich die durch den Aufprall verursachte Stoßkraft jedoch abschwächt, bewegt sich der bewegliche Kern **40** wieder zur Ventilschließseite und kehrt in die Initialposition **B1** zurück.

[0075] Die zeitweilige Bewegung des beweglichen Kerns **40** zur Ventilöffnungsseite anstelle der Initialposition **B1** wird als erratische Bewegung bezeichnet. Wenn der bewegliche Kern **40** die sprunghafte Bewegung verursacht, kommt es zur sprunghaften Einspritzung, d.h. die Nadel **30** öffnet auch vorübergehend das Ventil, um versehentlich den Kraftstoff einzuspritzen. Die Erfinder fanden heraus, dass, wenn das Rückkehr-zur-Referenz-Timing **tb3** in der Anstiegsperiode **To** enthalten ist, die erratische Bewegung des beweglichen Kerns **40** oder die erratische Einspritzung des Kraftstoffs wahrscheinlich zwischen der Kraftstoffeinspritzung auf der Grundlage des ersten Antriebssignals **DS1** und der Kraftstoffeinspritzung auf der Grundlage des zweiten Antriebssignals **DS2** auftreten wird.

[0076] Nach der vorliegenden Ausführungsform gibt die Steuereinheit **135** das Zwischenantriebssignal **DS3** als Antriebssignal während der zulässigen Periode **Tuo** aus, wenn die bestimmte Periode **To1** das EIN-Timing **ta2** des zweiten Antriebssignals **DS2** einschließt. Wie in **Fig. 11** dargestellt, schaltet das Zwischenantriebssignal **DS3** zum Timing **td1** ein und zum Timing **td2** während des Signalintervalls **Tint** aus. Die Zwischendirektivperiode **Tk** bezeichnet eine Periode bzw. Periode, während der das Zwischenantriebssignal **DS3** eingeschaltet bleibt. Die Zwischendirektivperiode **Tk** liegt zwischen dem Starttiming **tb1** und dem entferntesten Timing **tb2** des Unterschwingungszustands. In diesem Fall schaltet das Zwischenantriebssignal **DS3** ein, nachdem der bewegliche Kern **40** mit dem Unterschwingen beginnt.

Das Zwischenantriebssignal **DS3** schaltet ab, bevor der bewegliche Kern **40** die entfernteste Position **B2** erreicht.

[0077] Die Spule **70** wird durch die Zwischenantriebserregung **DI3** entsprechend dem Zwischenantriebssignal **DS3** mit elektrischem Strom beaufschlagt. Wenn das Zwischenantriebssignal **DS3** auf ON schaltet, steigt der Strom aufgrund der Zwischenantriebserregung **DI3** allmählich bis zum dritten Antriebswert **Ic** an. Nach Erreichen des dritten Antriebswertes **Ic** sinkt der Strom allmählich auf Null. Der dritte Antriebswert **Ic** wird so eingestellt, dass er zwischen dem ersten Antriebswert **Ia** und dem zweiten Antriebswert **Ib** liegt. Das Zwischenantriebssignal **DS3** enthält Informationen, die einen Antriebsstrom basierend auf der Zwischenantriebserregung **DI3** auf den dritten Antriebswert **Ic** ändern. Die Zwischenantriebserregung **DI3** ist vergleichbar mit der zusätzlichen Erregung. Die Zwischenantriebserregung **DI3** kann für eine bestimmte Periode auf der Basis des dritten Antriebswertes **Ic** gehalten werden oder nach Erreichen des dritten Antriebswertes **Ic** allmählich abnehmen.

[0078] Die elektromagnetische Anziehungskraft, die durch die Zwischenantriebserregung **DI3** erzeugt wird, nimmt mit zunehmender Zwischenantriebserregung **DI3** allmählich zu und mit abnehmender Zwischenantriebserregung **DI3** allmählich ab. Diese elektromagnetische Anziehungskraft erreicht nicht den Bewegungsfreigabewert **Pc** im Gegensatz zur elektromagnetischen Anziehungskraft, die durch die Erregung des Antriebs **DI1** oder **DI2** erzeugt wird. Wenn die elektromagnetische Anziehungskraft kleiner als der Bewegungsfreigabewert **Pc** auf den unterschwingenden beweglichen Kern **40** aufgebracht wird, wird der bewegliche Kern **40** zwangsweise in die Initialposition **B1** zurückgezogen, um die Unterschwingperiode bzw. -zeit zu verkürzen. In diesem Fall kehrt der bewegliche Kern **40** in die Initialposition **B1** mit dem Rückkehr-zum-Kern-Timing **tb4** früher als das Referenzrückkehrtiming **tb3** zurück, ähnlich wie wenn die Zwischenantriebserregung **DI3** nicht zur Verfügung steht (siehe **Fig. 10**). Die Rückkehr-zum-Kern-Periode **Tu1** ist kürzer als die Rücklauf-zur-Referenz-Periode **Tu**.

[0079] Die Zwischendirektivperiode **Tk** und der dritte Antriebswert **Ic** sind für die Zwischenantriebserregung **DI3** so konfiguriert, dass das Rückkehr-zum-Kern-Timing **tb4** früher als die spezifische Periode **To1** erfolgt. In diesem Fall wird die elektromagnetische Anziehungskraft nicht auf den unterschwingenden beweglichen Kern **40** ausgeübt, ähnlich wie der Fall, bei dem das Rückkehr-zur-Referenz-Timing **tb3** früher als die Anstiegsperiode **To** für die elektromagnetische Anziehungskraft bezüglich des zweiten Antriebssignals **DS2** erfolgt (siehe **Fig. 8**). Es ist möglich, die elektromagnetische Anziehungskraft daran

zu hindern, erratische Bewegungen auf dem beweglichen Kern **40** zu verursachen. In diesem Fall beinhaltet die zulässige Periode T_{uo} das Rückkehr-zum-Kern-Timing **tb4**. Die Rückkehr-zum-Kern-Periode **Tu1** ist kürzer als die zulässige Periode T_{uo} .

[0080] Das Einspritz-Setup-Verfahren führt einen Einspritz-Setup-Prozess bzw. ein entsprechendes Verfahren durch, der einen Einspritzmodus für die Einspritzung des Kraftstoffs aus dem Injektor **100** festlegt. Dieses Verfahren wird anhand eines Flussdiagramms in **Fig. 12** beschrieben. Die Steuereinheit **135** führt die Steuerung der Kraftstoffeinspritzung über den Injektor **100** durch, indem es den Betrieb des Injektors **100** auf der Grundlage des durch das Einspritz-Setup-Verfahren konfigurierten Einspritzmodus steuert. Das Flussdiagramm in **Fig. 12** zeigt auch eine Methode zur Steuerung der Kraftstoffeinspritzung.

[0081] Im Schritt **S101** der **Fig. 12** wird im Verfahren ermittelt, ob ein Kraftstoffeinspritzmodus pro Verbrennungszyklus eingestellt werden soll. Ist der Einspritzmodus eingestellt, geht das Verfahren zum Schritt **S102** über und nimmt einen Betriebszustand des Verbrennungsmotors **111** an. Die Informationen, die zur Anzeige des Betriebszustandes des Verbrennungsmotors **111** erfasst werden, umfassen einen Einlassdruck, der auf der Grundlage eines Erfassungssignals des Einlassdrucksensors **123** erfasst wird, oder eine Motordrehzahl, die auf der Grundlage eines Erfassungssignals des Kurbelwellenwinkelsensors **124** erfasst wird.

[0082] Im Schritt **S103** stellt das Verfahren den Kraftstoffeinspritzmodus ein. Die Speichereinheit **135b** speichert Informationen über den Einspritzmodus. Der einzustellende Einspritzmodus umfasst die Einspritzmenge Q , die Antriebsdirektivperiode T_j , die Zeit für den Start der Einspritzung SOI , die Zeit für das Stoppen der Einspritzung EOI , den Einspritzdruck P_f und die Einspritzanzahl N_{inj} . Die Einspritzmenge Q gibt die Gesamtmenge des eingespritzten Kraftstoffs pro Verbrennungszyklus an. Die Antriebsdirektivperiode T_j gibt eine Periode an, um das Antriebssignal wie oben beschrieben aus EIN zu halten. Die Zeit bis zum Start der Einspritzung SOI liefert das Timing für den Start der ersten Kraftstoffeinspritzung pro Verbrennungszyklus. Die Zeit bis zum Stopp der Einspritzung EOI gibt das Timing an, zu dem die letzte Kraftstoffeinspritzung pro Verbrennungszyklus gestoppt wird. Der Einspritzdruck P_f liefert einen Druck des vom Injektor **100** eingespritzten Kraftstoffs. Einspritzanzahl N_{inj} liefert die Anzahl der Kraftstoffeinspritzungen pro Verbrennungszyklus.

[0083] Wenn der Einspritzmodus die Einspritzanzahl N_{inj} auf das Doppelte oder mehr eingestellt ist, werden das Signalintervall T_{int} und die Antriebsdirektivperiode T_j wie oben beschrieben eingestellt. Die An-

triebswerte I_a und I_b für den Antriebsstrom werden ebenfalls eingestellt.

[0084] Im Schritt **S104** wird im Verfahren ermittelt, ob die Injektionszahl N_{inj} doppelt oder mehr anzeigt. Wenn die Einspritzzahl N_{inj} einmal anzeigt, wird das Einspritz-Setup-Verfahren direkt beendet. Wenn die Injektionszahl N_{inj} doppelt oder mehr anzeigt, identifiziert das Verfahren die mehrstufige Injektion und fährt mit Schritt **S105** fort. Wird Einspritzanzahl N_{inj} auf 1 gesetzt, wird das Einspritz-Setup-Verfahren direkt beendet. Im Schritt **S105** setzt das Verfahren den Zähler i auf „1“, um eine Vielzahl von Einspritzungen individuell zu identifizieren.

[0085] In den Schritten **S106** bis **S114** führt das Verfahren einen Aktualisierungsprozess durch, der für jede der Kraftstoffeinspritzungen der mehrstufigen Einspritzung den Setup-Inhalt bezüglich eines Antriebsstroms aktualisiert. Das Aktualisierungsverfahren aktualisiert den Setup-Inhalt des Antriebsstroms für die i -te Kraftstoffeinspritzung entsprechend dem Zähler i . Das Aktualisierungsverfahren setzt nämlich die Injektion entsprechend dem i -ten Schuss. Im Schritt **S106** wird bei des Aktualisierungsverfahren festgestellt, ob der Zähler i größer als „1“ ist. Wenn der Zähler i nicht größer als „1“ ist, wird das Aktualisierungsverfahren bei der ersten Kraftstoffeinspritzung in der mehrstufigen Einspritzung nicht durchgeführt. Das Verfahren geht weiter zu Schritt **S111** über. Dies bedeutet, dass die erste Kraftstoffeinspritzung den bereits im Schritt **S103** eingestellten Setup-Inhalt für den Antriebsstrom verwendet.

[0086] Im Schritt **S111** wird im Verfahren ermittelt, ob der Zähler i den Injektionszähler N_{inj} erreicht. Erreicht der Zähler i die Einspritzzahl N_{inj} , geht das Verfahren davon aus, dass der Aktualisierungsprozess für alle Kraftstoffeinspritzungen der mehrstufigen Einspritzung durchgeführt wird. Anschließend wird der Einspritz-Setup-Verfahren beendet. Erreicht der Zähler i nicht den Injektionszähler N_{inj} , geht das Verfahren zum Schritt **S113** über und erhöht den Zähler i um 1. Anschließend kehrt das Verfahren zu Schritt **S106** zurück. Das Verfahren in Schritt **S106** bis **S113** wird so lange wiederholt, bis der Zähler i die Injektionszahl N_{inj} erreicht.

[0087] Ist der Zähler i im Schritt **S106** größer als 1, geht das Verfahren davon aus, dass der Aktualisierungsprozess auf die zweite Kraftstoffeinspritzung oder später in der mehrstufigen Einspritzung ausgerichtet ist. Anschließend geht das Verfahren zum Schritt **S107** über. Im Schritt **S107** wird im Verfahren ermittelt, ob das Signalintervall T_{int} größer oder gleich der zulässigen Periode T_{uo} ist. Dabei bezeichnet die erste Antriebserregung **DI1** die auf das vorherigen Verfahren der mehrstufigen Einspritzung gerichtete Erregung bezüglich der Kraftstoffeinspritzung. Die zweite Antriebserregung **DI2** bezeichnet

den elektrischen Strom, der die Einspritzung des Kraftstoffs betrifft und auf das aktuelle Verfahren gerichtet ist. Das Verfahren erfasst die Antriebswerte I_a und I_b , die Antriebsdirektivperiode T_j , das Signalintervall T_{int} und die Anstiegsperiode T_o als Parameter für die Antriebserregungen **DI1** und **DI2**. Das Verfahren verwendet diese Parameter, um die zulässige Periode T_{uo} als Schätzwert zu berechnen. Das Verfahren erfasst auch die Anstiegsperiode T_o als Schätzwert aufgrund der zweiten Antriebserregung **DI2**.

[0088] Im Schritt **S108** werden ähnlich wie im Schritt **S107** im Verfahren Parameter verwendet, um die Return-to-Referenz-Periode T_u als Schätzwert zu berechnen. Das Verfahren bestimmt, ob das Signalintervall T_{int} kürzer oder gleich der Rückkehr-zur-Referenz-Periode T_u ist. Wenn die Bestimmungen in den Schritten **S107** und **S108** bestätigt werden, geht das Verfahren davon aus, dass die Beziehung von $T_{uo} \leq T_{int} \leq T_u$ als Bedingung erfüllt ist, um leicht eine erratische Injektion zu verursachen, wie in **Fig. 10** dargestellt. Anschließend geht das Verfahren zum Schritt **S109** über.

[0089] In den Schritten **S107** und **S108** wird im Verfahren auch ermittelt, ob das Rückkehr-zur-Referenz-Timing **tb3** in der Anstiegsperiode T_o aufgrund der zweiten Antriebserregung **DI2** enthalten ist. Wenn die Anstiegsperiode T_o das Rückkehr-zur-Referenz-Timing **tb3** beinhaltet, geht das Verfahren zu Schritt **S109** über.

[0090] Im Schritt **S109** fügt das Verfahren die Zwischenantriebserregung **DI3** zwischen der ersten Antriebserregung **DI1** und der zweiten Antriebserregung **DI2** hinzu. Das Verfahren stellt das Timing und die Erregung der Zwischenantriebserregung des Antriebs **DI3** und des dritten Antriebswertes I_c so ein, dass die Rückkehr-zum-Kern-Timing **tb4** früher als die spezifische Periode T_{o1} erfolgt. Das Verfahren setzt nämlich eine Wellenform des Antriebsstroms aufgrund der Zwischenantriebserregung **DI3**. Um die Wellenform des Antriebsstroms zu liefern, stellt das Verfahren außerdem hauptsächlich das EIN-Timing **td1**, das AUS-Timing **td2** und die Zwischendirektivperiode T_k für das Zwischenantriebssignal **DS3** ein.

[0091] Im Schritt **S110** erlaubt das Verfahren dem Speicher **135b**, Informationen über den Antriebsstrom entsprechend der i-ten Kraftstoffeinspritzung zu speichern. Die Informationen umfassen hauptsächlich die Wellenform des Antriebsstroms aufgrund der zweiten Antriebserregung **DI2** und die Wellenform des Antriebsstroms aufgrund der Zwischenantriebserregung **DI3**.

[0092] Wenn das Verfahren in Schritt **S108** feststellt, dass das Signalintervall T_{int} nicht kürzer oder gleich als die Rückkehr-zur-Referenz-Periode T_u ist, geht das Verfahren davon aus, dass die Beziehung von T_u

$< T_{int}$ als Bedingung erfüllt ist, um kaum oder so gut wie gar nicht mehr eine erratische Injektion zu verursachen, wie in **Fig. 8** dargestellt. Anschließend geht das Verfahren zum Schritt **S113** über und verhindert die Zugabe der Zwischenantriebserregung **DI3**. Damit wird zuverlässig vermieden, dass die elektromagnetische Anziehungskraft die Rückkehr-zur-Referenz-Periode T_u auf die Rückkehr-zum-Kern-Periode T_{u1} verkürzt und das Signalintervall T_{int} länger oder gleich der zulässigen Periode T_{uo} und kürzer oder gleich der Rückkehr-zum-Kern-Periode T_{u1} ist. Anschließend fährt das Verfahren mit Schritt **S110** fort und ermöglicht der Speichereinheit **135b** die Speicherung der Informationen über den Antriebsstrom, wie z.B. die Antriebsstromkurve bzw. -wellenform aufgrund der zweiten Antriebserregung **DI2**.

[0093] Wenn das Verfahren in Schritt **S107** feststellt, dass das Signalintervall T_{int} nicht länger oder gleich der zulässigen Periode T_{uo} ist, geht das Verfahren davon aus, dass die Beziehung von $T_{int} < T_{uo}$ als Bedingung erfüllt ist, um kaum eine erratische Injektion zu verursachen, wie in **Fig. 9** dargestellt. Anschließend geht das Verfahren zu Schritt **S112** über. Wenn $T_{int} < T_{uo}$ wie oben beschrieben erfüllt ist, verkürzt sich die Zeit, während der die zweite Antriebserregung **DI2** durch die Spule **70** fließt, um die Kernverzögerungsperiode T_z und die zweite Antriebserregung **DI2** wird wahrscheinlich versehentlich die Kraftstoffeinspritzmenge verringern. In Schritt **S112** aktualisiert das Verfahren die Antriebsdirektivperiode T_j für das zweite Antriebssignal **DS2**, um die Erregungsperiode für die zweite Antriebserregung **DI2** zu korrigieren. Zum Beispiel wird die Antriebsdirektivperiode T_j so eingestellt, dass sich die Periode, während der die zweite Antriebserregung **DI2** durch die Spule **70** fließt, um die Kernverzögerungsperiode T_z verlängert.

[0094] Im Schritt **S113** sperrt das Verfahren die Zugabe der Zwischenantriebserregung **DI3**. In Schritt **S110** ermöglicht das Verfahren der Speichereinheit **135b** die Speicherung der Informationen über den Antriebsstrom, wie z.B. die Wellenform des Antriebsstroms aufgrund der aktualisierten zweiten Antriebserregung **DI2**.

[0095] Die Steuereinheit **135** enthält eine Funktion zur Durchführung der Schritte des Einspritz-Setup-Verfahrens. Die Funktion zur Durchführung des Verfahrens in Schritt **S109** ist vergleichbar mit einer zusätzlichen Erregungseinheit.

[0096] Nach der vorliegenden Ausführungsform wird die Zwischenantriebserregung **DI3** durchgeführt, wenn das Signalintervall T_{int} länger oder gleich der zulässigen Periode T_{uo} und kürzer oder gleich der Rückkehr-zur-Referenz-Periode T_u ist. In diesem Fall beschleunigt die elektromagnetische Anziehungskraft den beweglichen Kern **40** im Kern-Boost-

Zustand zwangsweise, wodurch es möglich ist, das Rückkehr-zum-Kern-Timing **tb4** früher als das spezifische Timing **tb5** zu bewirken. Beim Rückkehr-zum-Kern-Timing **tb4** kehrt der bewegliche Kern **40** in die Initialposition zurück. Man kann verhindern, dass die Bedingung einer unregelmäßigen Injektion entsteht, nämlich dass das Signalintervall Tint länger als die Rückkehr-zum-Kern-Periode **Tu1** und das Signalintervall Tint entsprechend kürzer oder gleich der Rückkehr-zur-Referenz-Periode **Tu** ist. Es ist daher möglich, eine unregelmäßige bzw. erratische Einspritzung bzw. Injektion zu verhindern.

[0097] Eine erratische Injektion erfolgt unter der Bedingung, dass das Signalintervall Tint länger oder gleich der zulässigen Periode **Tuo** und kürzer oder gleich der Rückkehr-zur-Referenz-Periode **Tu** ist. Diese Bedingung bedeutet auch, dass das Rückkehr-zur-Referenz-Timing **tb3** aufgrund der ersten Antriebserregung **DI1** in die Anstiegsperiode **To** für die zweite Antriebserregung **DI2** einbezogen wird. Wenn die Zwischenantriebserregung **DI3** durchgeführt wird, erfolgt das Rückkehr-zum-Kern-Timing **tb4** früher als die Anstiegsperiode **To** für die zweite Antriebserregung **DI2**. Die Zwischenantriebserregung **DI3** verhindert, dass der Zustand einer erratischen Einspritzung entsteht, die auch davon abhängt, ob das Rückkehr-zum-Kern-Timing **tb4** früher als die Anstiegsperiode **To** eintritt.

[0098] Nach der vorliegenden Ausführungsform wird die Zwischenantriebserregung **DI3** nicht durchgeführt, wenn das Signalintervall Tint länger als die Rückkehr-zur-Referenz-Periode **Tu** ist. Wenn das Signalintervall Tint länger als die Rückkehr-zur-Referenz-Periode **Tu** ist, verkürzt die Zwischenantriebserregung **DI3**, falls sie durchgeführt wird, die Rückkehr-zur-Referenz-Periode **Tu** auf die Rückkehr-zum-Kern-Periode **Tu1**. Die Bedingung, eine erratische Injektion zu verursachen, ist wahrscheinlich erfüllt. Es ist wahrscheinlich, dass es die Bedingung erfüllt, dass das Signalintervall Tint länger oder gleich der zulässigen Periode **Tuo** und kürzer oder gleich der Rückkehr-zum-Kern-Periode **Tu1** ist. Wenn das Signalintervall Tint länger als die Rückkehr-zur-Referenz-Periode **Tu** ist, beschleunigt die Hemmung der Zwischenantriebserregung **DI3** den beweglichen Kern **40** aufgrund der elektromagnetischen Anziehungskraft. Der Zustand, eine unregelmäßige Injektion zu verursachen, kann zuverlässig vermieden werden.

[0099] Nach der vorliegenden Ausführungsform wird die Zwischenantriebserregung **DI3** nicht durchgeführt, wenn das Signalintervall Tint kürzer als die zulässige Periode **Tuo** ist. Die Bedingung der Verursachung einer erratischen Injektion ist nicht anwendbar, wenn das Signalintervall Tint kürzer als die zulässige Periode **Tuo** ist, ohne Rücksicht auf den Grad der Kürze. In diesem Fall verschwendet die Zwischenan-

triebserregung **DI3**, falls sie durchgeführt wird, den Strom. Die Vermeidung der Zwischenantriebserregung der Antriebsenergie **DI3** kann die Energie sparen, wenn das Signalintervall Tint kürzer als die zulässige Periode **Tuo** ist.

[0100] Wenn die Bedingung der Verursachung einer erratischen Einspritzung erfüllt ist, konfiguriert die vorliegende Ausführungsform den Inhalt der Zwischenantriebserregung **DI3** so, dass das Rückkehr-zum-Kern-Timing **tb4** früher als die spezifische Periode **To1** erfolgt. Es kann vermieden werden, dass das Signalintervall Tint nicht kürzer als die zulässige Periode **Tuo** wird, obwohl die Zwischenantriebserregung **DI3** hinzugefügt wird. Es ist möglich, eine erratische Injektion zuverlässiger zu verhindern.

[0101] Der Zustand des Rückkehr-zum-Kern-Timings **tb4**, das früher als die spezifische Periode **To1** auftritt, bedeutet, dass das Rückkehr-zum-Kern-Timing **tb4** früher als die Anstiegsperiode **To** aufgrund der Erregung des zweiten Antriebs **DI2** auftritt. Wenn die Zwischenantriebserregung **DI3** so ausgeführt wird, dass das Rückkehr-zum-Kern-Timing **tb4** früher als die Anstiegsperiode **To** erfolgt, ermöglicht die Konfiguration zu verhindern, dass eine erratische Einspritzung verursacht wird, die auch davon abhängt, ob das Rückkehr-zum-Kern-Timing **tb4** früher als die Anstiegsperiode **To** erfolgt.

[0102] Nach der vorliegenden Ausführungsform beginnt die Zwischenantriebserregung **DI3** zu dem Timing, bevor der unterschwingende bewegliche Kern **40** die entfernteste Position **B2** erreicht. Die elektromagnetische Anziehungskraft wird auf den beweglichen Kern **40** zu einem früheren Timing als das entfernteste Timing **tb2** ausgeübt, wodurch der Übergang in den Zustand erleichtert wird, dass die Rückkehr-zum-Kern-Periode **Tu1** kürzer als das Signalintervall Tint macht. Daher ermöglicht die Konfiguration die einfache Vermeidung der erratischen Bedingung, dass das Signalintervall Tint kürzer oder gleich der Rückkehr-zum-Kern-Periode **Tu1** ist. Im Gegensatz zu der vorliegenden Ausführungsform ist es sehr unwahrscheinlich, dass, wenn die Zwischenantriebserregung **DI3** zu einem Timing beginnt, der später als das entfernteste Timing **tb2** liegt, die Rückkehr-zum-Kern-Periode **Tu1** kürzer als das Signalintervall Tint ist, selbst wenn die elektromagnetische Anziehungskraft den beweglichen Kern **40** im Zustand der Kernumschließung beschleunigt.

[0103] Nach der vorliegenden Ausführungsform beginnt die Zwischenantriebserregung **DI3** nach dem Unterschwingen des beweglichen Kerns **40**. Es kann vermieden werden, dass die elektromagnetische Anziehungskraft auf den beweglichen Kern **40** ausgeübt wird, während die Nadel **30** das Ventil schließt. Wenn die elektromagnetische Anziehungskraft auf den beweglichen Kern **40** zu einem früheren Timing

als dem Starttiming **tb1** für das Unterschwingen aufgebracht wird, wird die elektromagnetische Anziehungskraft wahrscheinlich verhindern, dass die Bewegung des beweglichen Kerns **40** synchron mit dem Schließvorgang des Ventils der Nadel **30** in die Initialposition **B1** zurückkehrt. In diesem Fall stoppt der bewegliche Kern **40** die Bewegung in Ventilschließrichtung oder verringert die Bewegungsgeschwindigkeit. Die Folge ist, dass der Ventilschließvorgang der Nadel **30** gestoppt oder die Zeit für den Ventilschließvorgang leicht verlängert wird. In der Zwischenzeit führt die vorliegende Ausführungsform die Zwischenantriebserregung **DI3** zu einem Timing aus, der den Ventilschließvorgang der Nadel **30** nicht behindert. Die Konfiguration ermöglicht es daher, den Ventilschließvorgang der Nadel **30** basierend auf der ersten Antriebserregung **DI1** angemessen durchzuführen und gleichzeitig das Auftreten einer unregelmäßigen Kraftstoffeinspritzung aufgrund der zweiten Antriebserregung **DI2** zu verhindern.

Zweite Ausführungsform

[0104] Die erste Ausführungsform vermeidet die Bedingung, eine erratische Einspritzung zu verursachen, indem sie die Zwischenantriebserregung **DI3** hinzufügt. In der Zwischenzeit vermeidet eine zweite Ausführungsform den Zustand, eine erratische Injektion zu verursachen, indem sie die Anstiegsperiode **To** der elektromagnetischen Anziehungskraft aufgrund der zweiten Antriebserregung **DI2** verkürzt.

[0105] Die Steuereinheit **135** kann zwischen normaler Erregung **Dla** und verkürzter Erregung **Dlb** wählen. Bei normaler Erregung verkürzt **Dla** die Anstiegsperiode **To** nicht. Die verkürzte Erregung **Dlb** verkürzt die Anstiegsperiode **To**. Ein Stromgradient bezeichnet den Grad des Anstiegs bzw. des Gradienten des Antriebsstroms, der mit dem Beginn der zweiten Antriebserregung **DI2** zunimmt. Der verkürzte Gradient **Sb** stellt den aktuellen Gradienten bezüglich der verkürzten Erregung **Dlb** dar. Der Normalgradient **Sa** stellt den aktuellen Gradienten in Bezug auf die Normalerregung **Dla** dar. Der verkürzte Gradient **Sb** ist größer als der normale Gradient **Sa**.

[0106] Der aktuelle Gradient wird als Verhältnis von ΔI_p zu Δt_p ausgedrückt, wobei ΔI_p die Änderungsgröße bezeichnet, bis der Antriebsstrom den Maximalwert erreicht und Δt_p die erforderliche Periode, bis der Antriebsstrom den Maximalwert erreicht, bezeichnet. In **Fig. 13** zeigen die Normalerregung **Dla** und die verkürzte Erregung **Dlb** die gleiche Änderungsmenge an ΔI_p . Die verkürzte Erregung **Dlb** zeigt eine kürzere erforderliche Periode Δt_p als die normale Einschaltdauer **Dla** an. Es wird angenommen, dass die erforderliche Periode Δt_p für die normale Erregung **Dla** als normale erforderliche Periode Δt_{p1} und die erforderliche Periode Δt_p für die verkürzte Erregung **Dlb** als verkürzte erforderliche Periode Δt_{p2} be-

schrieben wird. Anschließend ist die verkürzte erforderliche Periode Δt_{p2} kürzer als die normale erforderliche Periode Δt_{p1} . Die Beziehung, ausgedrückt als $\Delta I_p / \Delta t_{p2} > \Delta I_p / \Delta t_{p1}$, ist zufriedenstellend. Bei normaler Erregung **Dla** und verkürzter Erregung **Dlb** wird der erste Antriebswert **Ia** als maximaler Wert des Antriebsstroms verwendet. Die Änderungsmenge bzw. -größe ΔI_p entspricht dem ersten Antriebswert **Ia**.

[0107] Wie in **Fig. 13** dargestellt, erlaubt die normale Erregung **Dla** der elektromagnetischen Anziehungskraft, den Bewegungsfreigabewert **Pc** bei normalem Anstiegs-Timing **tc1** zu erreichen. Eine für die Reichweite erforderliche Periode wird als normale Anstiegsperiode **Toa** bezeichnet. In der Zwischenzeit erlaubt die verkürzte Erregung **Dlb** der elektromagnetischen Anziehungskraft, den Bewegungsfreigabewert **Pc** mit verkürztem Anstiegs-Timing **tc2** früher als das normale Anstiegs-Timing **tc1** zu erreichen. Eine für die Reichweite erforderliche Periode wird als verkürzte Anstiegsperiode **Tob** bezeichnet. In diesem Fall ist die verkürzte Anstiegsperiode **Tob** kürzer als die normale Anstiegsperiode **Toa**.

[0108] In **Fig. 13** erlaubt die normale Erregung **Dla**, dass der Antriebsstrom den ersten Antriebswert **Ia** zu einem Timing erreicht, der zufällig mit dem normalen Anstiegs-Timing **tc1** zusammenfällt. Allerdings können sich diese Timings voneinander unterscheiden. In ähnlicher Weise ermöglicht die verkürzte Erregung **Dlb**, dass der Antriebsstrom den ersten Antriebswert **Ia** zu einem Timing erreicht, der zufällig mit dem verkürzten Anstiegs-Timing **tc2** zusammenfällt. Allerdings können sich diese Timings voneinander unterscheiden.

[0109] Im Injektor **100** verkürzt eine Erhöhung der an die Spule **70** angelegten Spannung die Anstiegsperiode **To**. Die Steuereinheit **135** wählt die an die Spule **70** angelegte Spannung aus, um die normale Erregung **Dla** und die verkürzte Erregung **Dlb** zu wählen. Das Antriebssignal enthält die Information über die an der Spule **70** anliegende Spannung.

[0110] Hinsichtlich der zweiten Antriebserregung **DI2** wird erwartet, dass der unterschwingende bzw. unterschwingende bewegliche Kern **40** in die Initialposition **B1** mit dem Rückkehr-zur-Referenz-Timing **tb3** zurückkehrt, der zur normalen Anstiegsperiode **Toa** und nicht zur verkürzten Anstiegsperiode **Tob** gehören soll. In Bezug auf die normale Erregung **Dla**, umfasst die normale Anstiegsperiode **Toa** das Rückkehr-zur-Referenz-Timing **tb3**, was zur Validierung des Zustandes von $T_{uo} \leq T_{int} \leq T_u$ führt, um eine erratische Injektion zu verursachen. In Bezug auf die verkürzte Erregung **Dlb**, beinhaltet die verkürzte Anstiegsperiode **Tob** nicht das Rückkehr-zur-Referenz-Timing **tb3**, was zur Ungültigkeit des Zustandes der $T_{uo} \leq T_{int} \leq T_u$ führt, und was wiederum eine erratische Injektion bzw. Einspritzung verursacht.

Die Wahl der verkürzten Erregung D1b anstelle der normalen Erregung D1a als zweite Antriebserregung **D12** verkürzt die Anstiegsperiode **To**, wodurch der Zustand von $T_{uo} \leq T_{int} \leq T_u$ vermieden werden kann, um eine erratische Einspritzung zu verursachen.

[0111] Die Steuereinheit **135** führt ein Einspritz-Setup-Verfahren ähnlich wie bei der ersten Ausführungsform aus. Die vorliegende Ausführungsform führt jedoch die Schritte **S201** und **S202** statt der Schritte **S109** und **S113** in der ersten Ausführungsform aus.

[0112] Wenn das Verfahren in den Schritten **S107** und **S108** die Gültigkeit der Bedingung von $T_{uo} \leq T_{int} \leq T_u$ bestimmt, um eine erratische Injektion zu verursachen, geht das Verfahren gemäß einem Flussdiagramm in **Fig. 14** in den Schritt **S201** über. Im Schritt **S201** wählt das Verfahren die verkürzte Erregung D1b als zweite Antriebserregung **D12** aus, um den verkürzten Gradienten Sb einzustellen. Das Verfahren stellt nämlich die Wellenform des Antriebsstroms aufgrund der zweiten Antriebserregung **D12** ein. In diesem Fall kann die Wahl eines verkürzten Gradienten Sb anstelle der normalen Steigung Sa die Möglichkeit verringern, das Rückkehr-zur-Referenz-Timing **tb3** in die verkürzte Anstiegsperiode Tob einzubeziehen. Die Funktion zur Durchführung des Verfahrens in Schritt **S201** ist vergleichbar mit einem wechselnden Erregungsanteil.

[0113] Nach **S201** geht das Verfahren zu Schritt **S110** über und erlaubt der Speichereinheit **135b** die Speicherung von Informationen über die Wellenform des Antriebsstroms aufgrund der zweiten Antriebserregung **D12** entsprechend der i-ten Kraftstoffeinspritzung. Die Informationen beinhalten hauptsächlich den verkürzten Gradienten Sb des Antriebsstroms aufgrund der verkürzten Erregung D1b.

[0114] Wenn der Zustand von $T_{uo} \leq T_{int} \leq T_u$, um eine unregelmäßige Injektion zu verursachen, ist ungültig. Anschließend geht das Verfahren zum Schritt **S202** über. Im Schritt **S202** wählt das Verfahren die normale Erregung D1a als zweite Antriebserregung **D12** aus, um den Normalgradienten Sa einzustellen. Vergleicht man die Auswahl der normalen Erregung D1a mit der Auswahl der verkürzten Erregung D1b, so erhöht die Auswahl der verkürzten Erregung D1b leicht die Leistungsaufnahme, hauptsächlich weil die an die Spule **70** angelegte Spannung ansteigt. Daher kann die Wahl der normalen Erregung D1a Energie sparen, wenn die Bedingung der Verursachung einer erratischen Injektion ungültig ist.

[0115] Nach **S202** geht das Verfahren auch zu Schritt **S110** über und erlaubt der Speichereinheit **135b** die Speicherung von Informationen über die Wellenform des Antriebsstroms aufgrund der zweiten Antriebserregung **D12** entsprechend der i-ten Kraftstoffeinspritzung. Diesmal beinhalten die Informatio-

nen hauptsächlich den normalen Gradienten Sa des Antriebsstroms aufgrund der normalen Erregung D1a.

[0116] Nach der vorliegenden Ausführungsform ist die verkürzte Anstiegsperiode Tob kürzer als die normale Anstiegsperiode Toa, wenn die verkürzte Erregung D1b als zweite Antriebserregung **D12** gewählt wird. Der Stromgradient aufgrund der zweiten Antriebserregung **D12** ist nämlich größer als der Stromgradient aufgrund der ersten Antriebserregung **D11**. Daher ermöglicht die Konfiguration, die Möglichkeit zu verringern, das Rückkehr zur-Reference-Timing **tb3** in die verkürzte Anstiegsperiode Tob einzubeziehen. Die Auswahl der verkürzten Anstiegsperiode Tob verkürzt die Anstiegsperiode **To** und verlängert die zulässige Periode Tuo. Es ist leicht zu vermeiden, dass die Bedingung einer erratischen Injektion, nämlich, Signalintervall Tint ist länger oder gleich der zulässigen Periode Tuo. Wenn die Bedingung, eine erratische Einspritzung zu verursachen, ungültig ist, wird die normale Erregung D1a als zweite Antriebserregung **D12** gewählt, wodurch Energie gespart werden kann.

[0117] Der verkürzte Gradient Sb ist größer als der normale Gradient Sa. Daher ist eine Steigerungsrate der elektromagnetischen Anziehungskraft, die durch verkürzte Erregung D1b auftritt, größer als eine Steigerungsrate der elektromagnetischen Anziehungskraft, die durch normale Erregung D1a auftritt. Auch wenn die verkürzte Anstiegsperiode Tob nicht mit dem Rückkehr-zur-Referenz-Timing **tb3** versehen ist, steigt die elektromagnetische Anziehungskraft vor und nach der Rücklaufperiode **tb3** drastisch an und kann den beweglichen Kern **40** in Ventilöffnungsrichtung gegen die Vorspannkraft der ersten Feder **80** bewegen. Der bewegliche Kern **40** unterliegt kaum der erratischen Bewegung, die bewirkt, dass der bewegliche Kern **40** im Kern-Boost-Zustand die Initialposition **B1** in Ventilöffnungsrichtung durchläuft, sich durch die Vorspannkraft der ersten Feder **80** in Ventilschließrichtung bewegt und in die Initialposition **B1** zurückkehrt. Die Konfiguration ermöglicht es nämlich, eine unregelmäßige Einspritzung des Kraftstoffs zu verhindern.

[0118] **Fig. 15** zeigt eine Konfiguration, bei der der verkürzte Gradient Sb größer als der normale Gradient Sa ist. Nach dieser Konfiguration gilt für die normale Erregung D1a der gleiche erforderliche Periode Δt_p und für die verkürzte Erregung D1b und die verkürzte Erregung D1b zeigt eine größere Änderungsmenge ΔI_p an als die der normalen Speisung D1a. Bei dieser Konfiguration wird die Änderungsmenge ΔI_p der normalen Erregung D1a als normale Änderungsmenge ΔI_{p1} und die Änderungsmenge ΔI_p der verkürzten Erregung D1b als verkürzte Änderungsmenge ΔI_{p2} beschrieben. Anschließend ist die verkürzte Änderungsmenge ΔI_{p2} größer als die normale Änderungsmenge ΔI_{p1} . Auch in diesem Fall ist die Be-

ziehung, ausgedrückt als $\Delta p/\Delta t_2 > \Delta p/\Delta t_1$, erfüllt. Die verkürzte Anstiegsperiode T_{ob} ist kürzer als die normale Anstiegsperiode T_{oa} . Die Wahl der verkürzten Erregung D_{lb} als zweite Antriebserregung **D12** ermöglicht es, den Zustand der Verursachung einer erratischen Einspritzung zu vermeiden. In **Fig. 15** entspricht der erste Antriebswert der normalen Erregung D_{la} der normalen Änderungsgröße Δp_1 und der erste Antriebswert der verkürzten Erregung D_{lb} der verkürzten Änderungsgröße Δp_2 .

[0119] Die normale Erregung D_{la} und die verkürzte Erregung D_{lb} können unterschiedliche erforderliche Perioden Δt_p verwenden oder die Menge Δp nur unter der Bedingung ändern, dass der verkürzte Gradient S_b größer als der normale Gradient S_a ist.

Dritte Ausführungsform

[0120] Die oben erwähnte erste Ausführungsform vermeidet den Zustand, eine erratische Einspritzung zu verursachen, indem sie die Zwischenantriebserregung **D13** hinzufügt. Eine dritte Ausführungsform vermeidet jedoch den Zustand, eine erratische Einspritzung zu verursachen, indem sie eine Vorantriebserregung anstelle der Zwischenantriebserregung **D13** hinzufügt. Wie in **Fig. 16** dargestellt, beginnt die Vorantriebserregung **D14** mit dem Vortiming te_1 vor dem Beginn der zweiten Antriebserregung **D12**. Die zweite Antriebserregung **D12** startet kontinuierlich ohne Unterbrechung der Vorantriebserregung **D14**. In diesem Fall wechselt die Vorantriebserregung **D14** auf die zweite Antriebserregung **D12** im EIN-Timing ta_2 für das zweite Antriebssignal **DS2**.

[0121] Der Antriebsstrom aufgrund der Vorantriebserregung **D14** steigt allmählich von Null an und erreicht den Maximalwert im EIN-Timing ta_2 für das zweite Antriebssignal **DS2**. Wenn dieser Maximalwert als vierter Antriebswert I_d beschrieben wird, ist der vierte Antriebswert I_d kleiner als der zweite Antriebswert I_b . Die Vorantriebserregung **D14** ist vergleichbar mit einer Vorerregung. Die Vorantriebserregung **D14** kann als Vorladung bezeichnet werden.

[0122] Wenn die Vorantriebserregung **D14** durchgeführt wird, erreicht der Antriebsstrom den ersten Antriebswert I_a zu einem frühen Timing, im Vergleich zu einem Fall, in dem die Vorantriebserregung **D14** nicht durchgeführt wird, weil der Antriebsstrom bereits den vierten Antriebswert I_d zum EIN-Timing ta_2 für das zweite Antriebssignal **DS2** erreicht. Ähnlich wie bei der zweiten Ausführungsform wird angenommen, dass der aktuelle Gradient, die Änderungsmenge Δp und die erforderliche Periode Δt_p verwendet werden. Wenn die Vorantriebserregung **D14** nicht durchgeführt wird, bezeichnet der Gradient ohne Vorantriebserregung S_c das Verhältnis der erforderlichen Periode ohne Vorantriebserregung Δt_{p3} zur Änderung der Menge Δp . Wenn die Vorantriebserre-

gung **D14** durchgeführt wird, bezeichnet der Gradient mit der Vorantriebserregung S_d das Verhältnis der erforderlichen Periode mit der Vorantriebserregung Δt_{p4} zur Änderung der Menge Δp und ist größer als der Gradient ohne Vorantriebserregung S_c . Nämlich ist die erforderliche Periode mit der Vorantriebserregung Δt_{p4} kürzer als die erforderliche Periode ohne Vorantriebserregung Δt_{p3} .

[0123] Wenn die Vorantriebserregung **D14** nicht verfügbar ist, erreicht die elektromagnetische Anziehungskraft den Bewegungsfreigabewert P_c zum Timing tc_3 . Wenn die Vorantriebserregung **D14** verfügbar ist, erreicht die elektromagnetische Anziehungskraft den Bewegungsfreigabewert P_c zum Timing tc_4 früher als zum Timing tc_3 . Wenn die Vorantriebserregung **D14** verfügbar ist, ist die Vorantriebszeit To_2 , die erforderlich ist, damit die elektromagnetische Anziehungskraft den Bewegungsfreigabewert P_c erreicht, kürzer als die Anstiegsperiode To , die für den Fall gilt, dass die Vorantriebserregung **D14** nicht verfügbar ist. Wenn die Vorantriebserregung **D14** zur Verfügung steht, zeigen sowohl der Antriebsstrom als auch die elektromagnetische Anziehungskraft unmittelbar nach dem Einschalten des zweiten Antriebssignals **DS2** besonders hohe Anstiegsraten an. Danach gehen die Steigerungsraten leicht zurück.

[0124] Es wird davon ausgegangen, dass die Bedingung von $T_{uo} \leq T_{int} \leq T_u$ zu Verursachung einer erratischen Injektion gültig ist, weil die Anstiegsperiode To als Referenz das Rückkehr-zur-Referenz-Timing tb_3 enthält. In diesem Fall, wie in **Fig. 17** dargestellt, schaltet das Vorantriebssignal **DS4** auf AN, um die Vorantriebserregung **D14** durchzuführen. Das Vorantriebssignal **DS4** schaltet während einer Periode zwischen dem spezifischen Timing tb_5 und dem EIN-Timing ta_2 für das zweite Steuersignal **DS2** ein und folgt, ohne auszuschalten, direkt auf das zweite Steuersignal **DS2**. Das Vorantriebssignal **DS4** enthält hauptsächlich Informationen über den Maximalwert des Antriebsstroms aufgrund der Vorantriebserregung **D14**.

[0125] Wenn der Zustand von $T_{uo} \leq T_{int} \leq T_u$, um eine erratische Einspritzung zu verursachen, wie in **Fig. 17** dargestellt, gültig ist, führt die vorliegende Ausführungsform die Vorantriebserregung **D14** durch, um die Anstiegsperiode To_2 für die zweite Antriebserregung **D12** zu verkürzen. In diesem Fall erhöht die elektromagnetische Anziehungskraft die Steigerungsrate wie oben beschrieben. Der bewegliche Kern **40** verursacht kaum eine erratische Bewegung aufgrund der elektromagnetischen Anziehungskraft, die vor und nach dem Rückkehr-zum-Kern-Timing tb_4 drastisch erhöht ist, auch wenn die Kernrückkehrzeit tb_4 in der Vorantriebsperiode To_2 enthalten ist. Der bewegliche Kern **40** wird im Kern-Boost-Zustand durch die elektromagnetische Anziehungskraft beschleunigt und durchläuft die Initialposition **B1**. An-

schließlich wirkt die elektromagnetische Anziehungskraft gegen die erste Feder **80**. Der bewegliche Kern **40** bewegt sich daher in Öffnungsrichtung des Ventils weiter, ohne in die Initialposition **B1** zurückzukehren.

[0126] Die Steuereinheit **135** führt ein Einspritz-Setup-Verfahren ähnlich wie bei der ersten Ausführungsform aus. Die vorliegende Ausführungsform führt jedoch die Schritte **S301** und **S302** statt der Schritte **S109** und **S113** in der ersten Ausführungsform aus.

[0127] Wenn das Verfahren in den Schritten **S107** und **S108** die Gültigkeit der Bedingung von $T_{uo} \leq T_{int} \leq T_u$ bestimmt, um eine erratische Injektion zu verursachen, geht das Verfahren gemäß einem Flussdiagramm in **Fig. 18** in den Schritt **S301** über. Im Schritt **S301** fügt das Verfahren die Vorantriebserregung **DI4** vor der zweiten Antriebserregung **DI2** hinzu. Das Verfahren stellt hauptsächlich den Vortiming und den vierten Antriebswert I_d für die Vorantriebserregung **DI4** ein, um zu verhindern, dass die elektromagnetische Anziehungskraft zum Timing früher als das EIN-Timing **ta2** für das zweite Antriebssignal **DS2** auftritt. Das Verfahren setzt nämlich eine Antriebsstromkurve bzw. -wellenform aufgrund der Vorantriebserregung **DI4**. Die Funktion zur Durchführung des Vorgangs bzw. Verfahrens in Schritt **S301** ist vergleichbar mit einem Vorerregungsabschnitt.

[0128] Nach **S301** geht das Verfahren zu Schritt **S110** über und erlaubt der Speichereinheit **135b** die Speicherung von Informationen über die Wellenform des Antriebsstroms aufgrund der zweiten Antriebserregung **DI2** entsprechend der i-ten Kraftstoffeinspritzung. Die Angaben beinhalten hauptsächlich den Gradienten mit der Vorantriebserregung **Sd**.

[0129] Wenn der Zustand von $T_{uo} \leq T_{int} \leq T_u$, der eine fehlerhafte Einspritzung verursacht, ungültig ist, fährt das Verfahren mit Schritt **S302** fort und verhindert die Einstellung der Vorantriebserregung **DI4**. Die Hinzufügung der Vorantriebserregung **DI4** erhöht die Leistungsaufnahme im Vergleich zum Fall der Nicht-Hinzufügung der Vorantriebserregung **DI4**. Daher kann die Hemmung der Einstellung der Vorantriebserregung **DI4** Energie sparen.

[0130] Nach **S302** geht das Verfahren auch zu Schritt **S110** über und ermöglicht der Speichereinheit **135b** die Speicherung von Informationen über die Wellenform des Antriebsstroms aufgrund der zweiten Antriebserregung **DI2** entsprechend der i-ten Kraftstoffeinspritzung. Die Angaben beinhalten hauptsächlich den Gradienten ohne Vorantriebserregung **Sc**.

[0131] Wenn die Vorantriebserregung **DI4** vor der zweiten Antriebserregung **DI2** hinzugefügt wird, erhöht die vorliegende Ausführungsform die Steigerungsrate der elektromagnetischen Anziehungskraft

durch die zweite Antriebserregung **DI2**. Der bewegliche Kern **40** verursacht kaum eine unregelmäßige Bewegung. In diesem Fall verkürzt die Hinzufügung der Vorantriebserregung **DI4** die Anstiegsperiode **To** auf die Voranstiegszeit **To2**, wodurch die Möglichkeit der Einbeziehung des Rückkehr-zum-Kern-Timings **tb4** in die Voranstiegszeit **To2** verringert werden kann. Die Konfiguration ermöglicht es daher, eine unregelmäßige Kraftstoffeinspritzung zu verhindern.

Andere Ausführungsformen

[0132] Es wurden zwar bestimmte Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung beschrieben, doch sollte die Offenbarung nicht ausschließlich im Sinne der oben genannten Ausführungsformen verstanden werden, sondern kann auf verschiedene Ausführungsformen und Kombinationen innerhalb des Geistes und des Umfangs der Offenbarung anwendbar sein.

[0133] Als erste Modifikation dürfen die Rückkehr-zur-Referenz-Periode T_u und die zulässige Periode T_{uo} nicht vom AUS-Timing **ta1** des ersten Antriebssignals **DS1** beginnen. Beispielsweise können die Rückkehr-zur-Referenz-Periode T_u und die zulässige Periode T_{uo} vom Starttiming **tb1** für das Unterschwingen oder vom Timing, an dem der Antriebsstrom aufgrund des ersten Antriebssignals **DS1** auf Null geht, beginnen. Die Rückkehr-zur-Referenz-Periode T_u und die zulässige Periode T_{uo} müssen nur vom gleichen Timing früher als das spezifische Timing **tb5** beginnen.

[0134] Als zweite Modifikation kann die Anstiegsperiode **To** für die elektromagnetische Anziehungskraft je nach erster Antriebserregung **DI1** und zweiter Antriebserregung **DI2** unterschiedlich sein. Selbst in diesem Fall ist das Rückkehr-zur-Referenz-Timing **tb3** oder das Rückkehr-zum-Kern-Timing **tb4** in der Anstiegsperiode **To** für die elektromagnetische Anziehungskraft aufgrund der zweiten Antriebserregung **DI2** enthalten, wodurch der Zustand von $T_{uo} \leq T_{int} \leq T_u$ zur Verursachung einer erratischen Injektion validiert wird.

[0135] Die oben genannten Ausführungsformen nutzen eine Rückstellkraft der streckenden zweiten Feder **90**, um den unterschwimmenden beweglichen Kern **40** mit dem Kernverstärkungsbetrieb in Richtung Initialposition **B1** zu versorgen. Eine dritte Modifikation kann jedoch den Kern-Boostbetrieb durch die Nutzung einer Rückstellkraft der zusammengedrückten zweiten Feder **90** ermöglichen. Die zweite Feder **90** kann ausgeschlossen werden. Auch in diesem Fall kann z.B. der bewegliche Kern **40** an der abgestuften Fläche **211** des Gehäuses **20** abprallen, um den Kernschub in Richtung Initialposition **B1** zu bewirken.

[0136] Nach der ersten Ausführungsform ist der dritte Antriebswert **Ic** aufgrund der Zwischenantriebserregung **DI3** kleiner als der erste Antriebswert **Ia** und größer als der zweite Antriebswert **Ib**. Als vierte Modifikation kann der dritte Antriebswert **Ic** größer als der erste Antriebswert **Ia** oder kleiner als der zweite Antriebswert **Ib** sein. Der dritte Antriebswert **Ic** muss nur in der Lage sein, den Zustand von $T_{uo} \leq$ zu vermeiden. $T_{int} \leq T_u$, um eine unregelmäßige Einspritzung durch Hinzufügen einer Zwischenantriebserregung **DI3** zu verursachen.

[0137] Nach der ersten Ausführungsform ist die elektromagnetische Anziehungskraft durch die Zwischenantriebserregung des Antriebs **DI3** mit einem Maximalwert eingestellt, der kleiner als der Bewegungsfreigabewert **Pc** ist. Als fünfte Modifikation kann der Maximalwert größer als der Bewegungsfreigabewert **Pc** sein. Auch in diesem Fall muss nur der Maximalwert für die elektromagnetische Anziehungskraft durch die Zwischenantriebserregung **DI3** vorgesehen werden, um den Zustand von $T_{uo} \leq T_{int} \leq T_u$ zu vermeiden, um eine unregelmäßige Einspritzung zu verursachen.

[0138] Nach der ersten Ausführungsform endet die Zwischendirektivperiode **Tk** für die Zwischenantriebserregung **DI3** zu einem früheren Timing als das entfernteste Timing **tb2**. Als sechste Modifikation kann die Zwischendirektivperiode **Tk** nach dem entferntesten Timing **tb2** gesetzt werden. Auch in diesem Fall muss nur Das Timing oder die Länge der Zwischendirektivperiode **Tk** angegeben werden, um den Zustand von $T_{uo} \leq T_{int} \leq T_u$ zu vermeiden, um eine unregelmäßige Einspritzung durch Hinzufügen der Zwischenantriebserregung **DI3** zu verursachen.

[0139] Eine siebte Modifikation kann eine Zwischenantriebserregung **DI3** hinzufügen, auch wenn die Bedingung, eine erratische Einspritzung zu verursachen, gemäß der ersten Ausführungsform ungültig ist. Zum Beispiel kann das Signalintervall **Tint** länger als die Rückkehr-zur-Referenz-Periode **Tu** sein oder das Signalintervall **Tint** kann kürzer als die zulässige Periode **Tuo** sein. In einem solchen Fall kann die Zwischenantriebserregung **DI3** zwischen der ersten Antriebserregung **DI1** und der zweiten Antriebserregung **DI2** hinzugefügt werden.

[0140] Als achte Modifikation kann der Stromgradient aufgrund der zweiten Antriebserregung **DI2** größer sein als der Stromgradient aufgrund der ersten Laufwerkserregung **DI1**, wenn die Bedingung von $T_{uo} \leq T_{int} \leq T_u$, eine erratische Injektion zu verursachen, gemäß der zweiten Ausführungsform gültig ist. Zum Beispiel wird der Stromgradient aufgrund der aktuellen Antriebserregung größer gemacht als der Stromgradient aufgrund der vorherigen Antriebserregung und dann wird der Stromgradient aufgrund der nächsten Antriebserregung größer gemacht als

die aktuelle Antriebserregung. Diese Konfiguration erhöht allmählich den aktuellen Gradienten, indem die Antriebserregung wiederholt für die Kraftstoffeinspritzung aktiviert wird. Daher kann eine Erhöhung der Anzahl der Antriebserregungen für die Kraftstoffeinspritzung ein Auftreten der erratischen Einspritzung zuverlässig unterdrücken.

[0141] Die dritte Ausführungsform setzt den vierten Antriebswert **Id** aufgrund der Vorantriebserregung **DI4** kleiner als den zweiten Antriebswert **Ib**. Als neunte Modifikation kann jedoch der vierte Antriebswert **Id** größer als der zweite Antriebswert **Ib** sein. Der vierte Antriebswert **Id** ist größer als der erste Antriebswert **Ia** oder der dritte Antriebswert **Ic**. Der vierte Antriebswert **Id** wird günstig so eingestellt, dass die elektromagnetische Anziehungskraft zum Timing des zweiten Antriebssignals **DS2** nicht zu groß wird, bevor Das Starttiming **tb1** erreicht ist.

[0142] Als zehnte Modifikation kann das Vortiming **te1** für den Beginn der Vorantriebserregung **DI4** gemäß der dritten Ausführungsform früher sein als das spezifische Timing **tb5**. Auch in diesem Fall wird der vierte Antriebswert **Id** günstig so eingestellt, dass die elektromagnetische Anziehungskraft zum Timing des zweiten Antriebssignals **DS2** nicht zu groß wird, bevor Das Starttiming **tb1** erreicht ist.

[0143] Die Steuereinheit **135** führt nach den oben genannten Ausführungsformen das Einspritz-Setup-Verfahren durch. Als elfte Modifikation kann die ECU **125** das Einspritz-Setup-Verfahren durchführen. In diesem Fall ist die ECU **125** vergleichbar mit einer Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung. Die Steuereinheit **135** kann einige der Funktionen zur Durchführung des Einspritz-Setup-Verfahrens enthalten. Die ECU **125** kann die übrigen Funktionen enthalten. In diesem Fall erfüllen die Steuereinheit **135** und die Steuereinheit **125** die Funktion als Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung in Verbindung mit mehreren Rechenwerken. Verschiedene Programme können in einem nicht vorübergehenden, greifbaren Speichermedium wie z.B. Flash-Speicher oder einer für jedes Rechenwerk vorgesehenen Festplatte gespeichert werden.

[0144] Als zwölfte Modifikation kann die Steuereinheit **125** die das Steuereinheit **135** eine eigene elektrische Schaltung mit mindestens einem integrierten Schaltkreis oder mit einer passiven Einrichtung enthalten. Wenn die Steuereinheit **135** mehrere dedizierte Stromkreisabschnitte enthält, enthält die zusätzliche Erregungseinheit als Funktion zur Durchführung des Verfahrens in Schritt **S109** beispielsweise mindestens einen dedizierten Stromkreisabschnitt.

[0145] Die vorliegende Offenbarung wurde mit Bezug auf die Ausführungsformen beschrieben, beschränkt sich aber nicht auf die Ausführungsformen

und Strukturen. Die vorliegende Offenbarung umfasst verschiedene Änderungsbeispiele und Modifikationen in angemessenem Umfang. Darüber hinaus umfasst die Kategorie oder der Umfang der Idee der vorliegenden Offenbarung verschiedene Kombinationen oder Formen und darüber hinaus die anderen Kombinationen oder Formen, die nur ein Element oder mehr oder weniger in der ersteren enthalten.

Patentansprüche

1. Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung für ein Kraftstoffeinspritzventil (100), wobei das Kraftstoffeinspritzventil das Folgende enthält:
eine Einspritzöffnung (11) zum Einspritzen von Kraftstoff;
einen Ventilkörper (30), der so konfiguriert ist, dass er sich in einer Ventilöffnungsrichtung bewegt, um die Einspritzöffnung zu öffnen;
einen festen Kern (60), der so konfiguriert ist, dass er bei Erregung einer Spule (70) eine elektromagnetische Anziehungskraft erzeugt;
einen beweglichen Kern (40), der so konfiguriert ist, dass er sich von einer bestimmten Initialposition (B1) in der Ventilöffnungsrichtung relativ zum Ventilkörper bewegt, wenn er von dem festen Kern angezogen wird, um den Ventilkörper in der Ventilöffnungsrichtung zu bewegen; und
ein Ventilkörpervorspannelement (80), das den Ventilkörper in einer Ventilschließrichtung entgegengesetzt zur Ventilöffnungsrichtung vorspannt, wobei der bewegliche Kern so konfiguriert ist, dass er sich nach Ablauf einer Anstiegsperiode (T_o), die zum Anheben der elektromagnetischen Anziehungskraft auf die Erregung erforderlich ist, in die Ventilöffnungsrichtung bewegt,
der Ventilkörper so konfiguriert ist, dass er sich in Ventilschließrichtung bewegt, indem eine Vorspannkraft des Ventilkörpervorspannelements ausgeübt wird, um den beweglichen Kern in Ventilschließrichtung zu bewegen, und
der bewegliche Kern so konfiguriert ist, dass er seine Bewegungsrichtung in die Ventilöffnungsrichtung ändert und in einem Unterschwingungszustand, in dem der bewegliche Kern seine Bewegung in der Ventilschließrichtung auch in einem Zustand fortsetzt, in dem der sich in der Ventilschließrichtung bewegendes Ventilkörper anhält, in die Initialposition zurückkehrt, wobei
eine Rücklaufperiode (T_u) eine geschätzte Periode ist, die der bewegliche Kern, der sich durch die erste Erregung (DI1) für die Kraftstoffeinspritzung im Unterschwingungszustand befindet, benötigt, um von der ersten Erregung in die Initialposition zurückzukehren, ein Einspritzintervall (T_{int}) von der ersten Erregung bis zu einer zweiten Erregung (DI2) reicht, die für eine nächste Kraftstoffeinspritzung vorgesehen ist, und
eine zulässige Periode (T_{uo}) eine Periode ist, die durch Subtraktion der für die zweite Erregung ge-

schätzten Anstiegsperiode von der Rücklaufperiode erhalten wird,
wobei die Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung das Folgende umfasst:
eine zusätzliche Erregungseinheit (S109), die so konfiguriert ist, dass sie eine zusätzliche Erregung (DI3) zwischen der ersten und der zweiten Erregung hinzufügt, wenn das Einspritzintervall länger oder gleich der zulässigen Periode und kürzer oder gleich der Rücklaufperiode ist, wobei
die zusätzliche Erregungseinheit die zusätzliche Erregung nicht durchführt, wenn das Einspritzintervall länger als die Rücklaufperiode ist.

2. Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung nach Anspruch 1, wobei die zusätzliche Erregungseinheit die zusätzliche Erregung nicht durchführt, wenn das Einspritzintervall kürzer als die zulässige Periode ist.

3. Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung für ein Kraftstoffeinspritzventil (100), wobei das Kraftstoffeinspritzventil das Folgende enthält:
eine Einspritzöffnung (11) zum Einspritzen von Kraftstoff;
einen Ventilkörper (30), der so konfiguriert ist, dass er sich in einer Ventilöffnungsrichtung bewegt, um die Einspritzöffnung zu öffnen;
einen festen Kern (60), der so konfiguriert ist, dass er bei Erregung einer Spule (70) eine elektromagnetische Anziehungskraft erzeugt;
einen beweglichen Kern (40), der so konfiguriert ist, dass er sich von einer bestimmten Initialposition (B1) in der Ventilöffnungsrichtung relativ zum Ventilkörper bewegt, wenn er von dem festen Kern angezogen wird, um den Ventilkörper in der Ventilöffnungsrichtung zu bewegen; und
ein Ventilkörpervorspannelement (80), das den Ventilkörper in einer Ventilschließrichtung entgegengesetzt zur Ventilöffnungsrichtung vorspannt, wobei der bewegliche Kern so konfiguriert ist, dass er sich nach Ablauf einer Anstiegsperiode (T_o), die zum Anheben der elektromagnetischen Anziehungskraft auf die Erregung erforderlich ist, in die Ventilöffnungsrichtung bewegt,
der Ventilkörper so konfiguriert ist, dass er sich in Ventilschließrichtung bewegt, indem eine Vorspannkraft des Ventilkörpervorspannelements ausgeübt wird, um den beweglichen Kern in Ventilschließrichtung zu bewegen, und
der bewegliche Kern so konfiguriert ist, dass er seine Bewegungsrichtung in die Ventilöffnungsrichtung ändert und in einem Unterschwingungszustand, in dem der bewegliche Kern seine Bewegung in der Ventilschließrichtung auch in einem Zustand fortsetzt, in dem der sich in der Ventilschließrichtung bewegendes Ventilkörper anhält, in die Initialposition zurückkehrt, wobei
eine Rücklaufperiode (T_u) eine geschätzte Periode ist, die der bewegliche Kern, der sich durch die erste Erregung (DI1) für die Kraftstoffeinspritzung im Unter-

schwingungszustand befindet, benötigt, um von der ersten Erregung in die Initialposition zurückzukehren, ein Einspritzintervall (T_{int}) von der ersten Erregung bis zu einer zweiten Erregung (DI_2) reicht, die für eine nächste Kraftstoffeinspritzung vorgesehen ist, und eine zulässige Periode (T_{uo}) eine Periode ist, die durch Subtraktion der für die zweite Erregung geschätzten Anstiegsperiode von der Rücklaufperiode erhalten wird,

wobei die Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung das Folgende umfasst:

eine zusätzliche Erregungseinheit (S_{109}), die so konfiguriert ist, dass sie eine zusätzliche Erregung (DI_3) zwischen der ersten und der zweiten Erregung hinzufügt, wenn das Einspritzintervall länger oder gleich der zulässigen Periode und kürzer oder gleich der Rücklaufperiode ist; und wobei

die zusätzliche Erregungseinheit die zusätzliche Erregung nicht durchführt, wenn das Einspritzintervall kürzer als die zulässige Periode ist.

4. Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei eine Rückkehr-zur-Referenz-Periode (T_u) die Rücklaufperiode im Unterschwingungszustand ist, die durch die erste Erregung ohne Hinzufügen der zusätzlichen Erregung verursacht wurde, eine zusätzliche Rücklaufperiode (T_{u1}) die durch die Addition der zusätzlichen Erregung verkürzte Rücklaufperiode ist, und die zusätzliche Erregungseinheit so konfiguriert ist, dass die zusätzliche Rücklaufperiode kürzer als das Einspritzintervall ist.

5. Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die zusätzliche Erregungseinheit so konfiguriert ist, dass die zusätzliche Erregung zu einem Timing später als ein Starttiming (tb_1) beginnt, bei dem der durch die erste Erregung verursachte Unterschwingungszustand beginnt.

6. Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung für ein Kraftstoffeinspritzventil (100), wobei das Kraftstoffeinspritzventil das Folgende enthält: eine Einspritzöffnung (11) zum Einspritzen von Kraftstoff;

einen Ventilkörper (30), der so konfiguriert ist, dass er sich in einer Ventilöffnungsrichtung bewegt, um die Einspritzöffnung zu öffnen;

einen festen Kern (60), der so konfiguriert ist, dass er bei Erregung einer Spule (70) eine elektromagnetische Anziehungskraft erzeugt;

einen beweglichen Kern (40), der so konfiguriert ist, dass er sich von einer bestimmten Initialposition (B_1) in der Ventilöffnungsrichtung relativ zum Ventilkörper bewegt, wenn er von dem festen Kern angezogen wird, um den Ventilkörper in der Ventilöffnungsrichtung zu bewegen; und

ein Ventilkörpervorspannelement (80), das den Ventilkörper in einer Ventilschließrichtung entgegengesetzt zur Ventilöffnungsrichtung vorspannt, wobei der bewegliche Kern so konfiguriert ist, dass er sich nach Ablauf einer Anstiegsperiode (T_o), die zum Anheben der elektromagnetischen Anziehungskraft auf die Erregung erforderlich ist, in die Ventilöffnungsrichtung bewegt,

der Ventilkörper so konfiguriert ist, dass er sich in Ventilschließrichtung bewegt, indem eine Vorspannkraft des Ventilkörpervorspannelements ausgeübt wird, um den beweglichen Kern in Ventilschließrichtung zu bewegen, und

der bewegliche Kern so konfiguriert ist, dass er seine Bewegungsrichtung in die Ventilöffnungsrichtung ändert und in einem Unterschwingungszustand, in dem der bewegliche Kern seine Bewegung in der Ventilschließrichtung auch in einem Zustand fortsetzt, in dem der sich in der Ventilschließrichtung bewegend Ventilkörper anhält, in die Initialposition zurückkehrt, wobei

eine Rücklaufperiode (T_u) eine geschätzte Periode ist, die der bewegliche Kern, der sich durch die erste Erregung (DI_1) für die Kraftstoffeinspritzung im Unterschwingungszustand befindet, benötigt, um von der ersten Erregung in die Initialposition zurückzukehren, ein Einspritzintervall (T_{int}) von der ersten Erregung bis zu einer zweiten Erregung (DI_2) reicht, die für eine nächste Kraftstoffeinspritzung vorgesehen ist, und eine zulässige Periode (T_{uo}) eine Periode ist, die durch Subtraktion der für die zweite Erregung geschätzten Anstiegsperiode von der Rücklaufperiode erhalten wird,

wobei die Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung das Folgende umfasst:

eine zusätzliche Erregungseinheit (S_{109}), die so konfiguriert ist, dass sie eine zusätzliche Erregung (DI_3) zwischen der ersten und der zweiten Erregung hinzufügt, wenn das Einspritzintervall länger oder gleich der zulässigen Periode und kürzer oder gleich der Rücklaufperiode ist, wobei

die zusätzliche Erregungseinheit so konfiguriert ist, dass die zusätzliche Erregung zu einem Timing später als ein Starttiming (tb_1) beginnt, bei dem der durch die erste Erregung verursachte Unterschwingungszustand beginnt.

7. Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung für ein Kraftstoffeinspritzventil (100), wobei das Kraftstoffeinspritzventil das Folgende enthält:

eine Einspritzöffnung (11) zum Einspritzen von Kraftstoff;

einen Ventilkörper (30), der so konfiguriert ist, dass er sich in einer Ventilöffnungsrichtung bewegt, um die Einspritzöffnung zu öffnen;

einen festen Kern (60), der so konfiguriert ist, dass er bei Erregung einer Spule (70) eine elektromagnetische Anziehungskraft erzeugt;

einen beweglichen Kern (40), der so konfiguriert ist, dass er sich von einer bestimmten Initialposition (B_1)

in der Ventilöffnungsrichtung relativ zum Ventilkörper bewegt, wenn er von dem festen Kern angezogen wird, um den Ventilkörper in der Ventilöffnungsrichtung zu bewegen; und

ein Ventilkörpervorspannelement (80), das den Ventilkörper in einer Ventilschließrichtung entgegengesetzt zur Ventilöffnungsrichtung vorspannt, wobei der bewegliche Kern so konfiguriert ist, dass er sich nach Ablauf einer Anstiegsperiode (T_o), die zum Anheben der elektromagnetischen Anziehungskraft auf die Erregung erforderlich ist, in Ventilöffnungsrichtung zu bewegen beginnt,

der Ventilkörper so konfiguriert ist, dass er sich in Ventilschließrichtung bewegt, indem eine Vorspannkraft des Ventilkörpervorspannelements ausgeübt wird, um den beweglichen Kern in Ventilschließrichtung zu bewegen, und

der bewegliche Kern so konfiguriert ist, dass er seine Bewegungsrichtung in die Ventilöffnungsrichtung ändert und in einem Unterschwingungszustand in die Initialposition zurückkehrt, in der sich der bewegliche Kern auch in einem Zustand, in dem der sich in Ventilschließrichtung bewegend Ventilkörper anhält, weiter in die Ventilschließrichtung bewegt,

wobei die Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung das Folgende umfasst:

eine zusätzliche Erregungseinheit (S109), die so konfiguriert ist, dass sie eine zusätzliche Erregung (DI3) zwischen der ersten Erregung und der zweiten Erregung hinzufügt, wenn ein Rücklauftiming (tb3), bei dem geschätzt wird, dass der bewegliche Kern in dem durch eine erste Erregung (DI1) für die Kraftstoffeinspritzung verursachten Unterschwingungszustand in die Initialposition zurückkehrt, sich in der für eine zweite Erregung (DI2), die für eine nächste Kraftstoffeinspritzung vorgesehen ist, geschätzten Anstiegsperiode befindet; wobei

die zusätzliche Erregungseinheit so konfiguriert ist, dass die zusätzliche Erregung zu einem Timing später als ein Starttiming (tb1) beginnt, bei dem der durch die erste Erregung verursachte Unterschwingungszustand beginnt.

8. Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung nach Anspruch 7, wobei

ein Rückkehr-zur-Referenz-Timing (tb3) das Rücklauftiming im Unterschwingungszustand ist, der durch die erste Erregung ohne Hinzufügen der zusätzlichen Erregung verursacht wird,

ein zusätzliches Rücklauftiming (tb4) das Rücklauftiming ist, das durch Addition der zusätzlichen Erregung früher eintritt, und

die zusätzliche Erregungseinheit so konfiguriert ist, dass die zusätzliche Erregung so durchgeführt wird, dass das zusätzliche Rücklauftiming früher als die Anstiegsperiode der elektromagnetischen Anziehungskraft durch die zweite Erregung erfolgt.

9. Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die zusätzliche Er-

regungseinheit so konfiguriert ist, dass die zusätzliche Erregung zu einem Timing früher als ein am weitesten entferntes Timing (tb2) beginnt, an dem der bewegliche Kern im Unterschwingungszustand am weitesten von der Initialposition entfernt ist.

10. Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung für ein Kraftstoffeinspritzventil (100), wobei das Kraftstoffeinspritzventil das Folgende enthält:

eine Einspritzöffnung (11) zum Einspritzen von Kraftstoff;

einen Ventilkörper (30), der so konfiguriert ist, dass er sich in einer Ventilöffnungsrichtung bewegt, um die Einspritzöffnung zu öffnen;

einen festen Kern (60), der so konfiguriert ist, dass er bei Erregung einer Spule (70) eine elektromagnetische Anziehungskraft erzeugt;

einen beweglichen Kern (40), der so konfiguriert ist, dass er sich von einer bestimmten Initialposition (B1) in der Ventilöffnungsrichtung relativ zum Ventilkörper bewegt, wenn er von dem festen Kern angezogen wird, um den Ventilkörper in der Ventilöffnungsrichtung zu bewegen; und

ein Ventilkörpervorspannelement (80), das den Ventilkörper in einer Ventilschließrichtung entgegengesetzt zur Ventilöffnungsrichtung vorspannt, wobei der bewegliche Kern so konfiguriert ist, dass er sich nach Ablauf einer Anstiegsperiode (T_o), die zum Anheben der elektromagnetischen Anziehungskraft auf die Erregung erforderlich ist, in Ventilöffnungsrichtung zu bewegen beginnt,

der Ventilkörper so konfiguriert ist, dass er sich in Ventilschließrichtung bewegt, indem eine Vorspannkraft des Ventilkörpervorspannelements ausgeübt wird, um den beweglichen Kern in Ventilschließrichtung zu bewegen, und

der bewegliche Kern so konfiguriert ist, dass er seine Bewegungsrichtung in die Ventilöffnungsrichtung ändert und in einem Unterschwingungszustand, in dem der bewegliche Kern seine Bewegung in der Ventilschließrichtung auch in einem Zustand fortsetzt, in dem der sich in der Ventilschließrichtung bewegend Ventilkörper anhält, in die Initialposition zurückkehrt, wobei

eine Rücklaufperiode (T_u) eine geschätzte Periode ist, die der bewegliche Kern, der sich durch die erste Erregung (DI1) für die Kraftstoffeinspritzung im Unterschwingungszustand befindet, benötigt, um von der ersten Erregung in die Initialposition zurückzukehren, ein Einspritzintervall (T_{int}) von der ersten Erregung bis zu einer zweiten Erregung (DI2) reicht, die für eine nächste Kraftstoffeinspritzung vorgesehen ist, und eine zulässige Periode (T_{uo}) man durch Subtraktion der für die zweite Erregung geschätzten Anstiegsperiode von der Rücklaufperiode erhält,

wobei die Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung das Folgende umfasst:

einen ändernden Erregungsabschnitt (S201), der so konfiguriert ist, dass er einen Modus der zweiten Erregung ändert, wenn das Einspritzintervall länger

oder gleich der zulässigen Periode und kürzer oder gleich der Rücklaufperiode ist, und um die Anstiegsperiode (T_{o1}), die für die zweite Erregung als kürzer eingeschätzt wird, kürzer als:

die Anstiegsperiode in einem Fall, in dem das Einspritzintervall kürzer als die zulässige Periode ist, und die Anstiegsperiode, wenn das Einspritzintervall länger als die Rücklaufperiode ist, einzustellen.

11. Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung für ein Kraftstoffeinspritzventil (100), wobei das Kraftstoffeinspritzventil das Folgende enthält:

eine Einspritzöffnung (11) zum Einspritzen von Kraftstoff;

einen Ventilkörper (30), der so konfiguriert ist, dass er sich in einer Ventilöffnungsrichtung bewegt, um die Einspritzöffnung zu öffnen;

einen festen Kern (60), der so konfiguriert ist, dass er bei Erregung einer Spule (70) eine elektromagnetische Anziehungskraft erzeugt;

einen beweglichen Kern (40), der so konfiguriert ist, dass er sich von einer bestimmten Initialposition (B1) in der Ventilöffnungsrichtung relativ zum Ventilkörper bewegt, wenn er von dem festen Kern angezogen wird, um den Ventilkörper in der Ventilöffnungsrichtung zu bewegen; und

ein Ventilkörpervorspannelement (80), das den Ventilkörper in einer Ventilschließrichtung entgegengesetzt zur Ventilöffnungsrichtung vorspannt, wobei der bewegliche Kern so konfiguriert ist, dass er sich nach Ablauf einer Anstiegsperiode (T_o), die zum Anheben der elektromagnetischen Anziehungskraft auf die Erregung erforderlich ist, in Ventilöffnungsrichtung zu bewegen beginnt,

der Ventilkörper so konfiguriert ist, dass er sich in Ventilschließrichtung bewegt, indem eine Vorspannkraft des Ventilkörpervorspannelements aufgebracht wird, um den beweglichen Kern in Ventilschließrichtung zu bewegen,

der bewegliche Kern so konfiguriert ist, dass er seine Bewegungsrichtung in die Ventilöffnungsrichtung ändert und in einem Unterschwingungszustand, in dem der bewegliche Kern seine Bewegung in der Ventilschließrichtung auch in einem Zustand fortsetzt, in dem der sich in der Ventilschließrichtung bewegendende Ventilkörper anhält, in die Initialposition zurückkehrt, wobei

eine Rücklaufperiode (T_u) eine geschätzte Periode ist, die der bewegliche Kern, der sich durch die erste Erregung (DI1) für die Kraftstoffeinspritzung im Unterschwingungszustand befindet, benötigt, um von der ersten Erregung in die Initialposition zurückzukehren, ein Einspritzintervall (T_{int}) von der ersten Erregung bis zu einer zweiten Erregung (DI2), die für eine nächste Kraftstoffeinspritzung vorgesehen ist reicht, und

eine zulässige Periode (T_{uo}) man durch Subtraktion der für die zweite Erregung geschätzten Anstiegsperiode von der Rücklaufperiode erhält,

wobei die Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung das Folgende umfasst:

einen Vorerregungsabschnitt (S301), der so konfiguriert ist, dass er eine Vorerregung (DI4) hinzufügt, die zu einem Timing vor der zweiten Erregung beginnt und bis zum Beginn der zweiten Erregung andauert, wenn das Einspritzintervall länger oder gleich der zulässigen Periode ist und kürzer oder gleich der Rücklaufperiode ist.

Es folgen 18 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

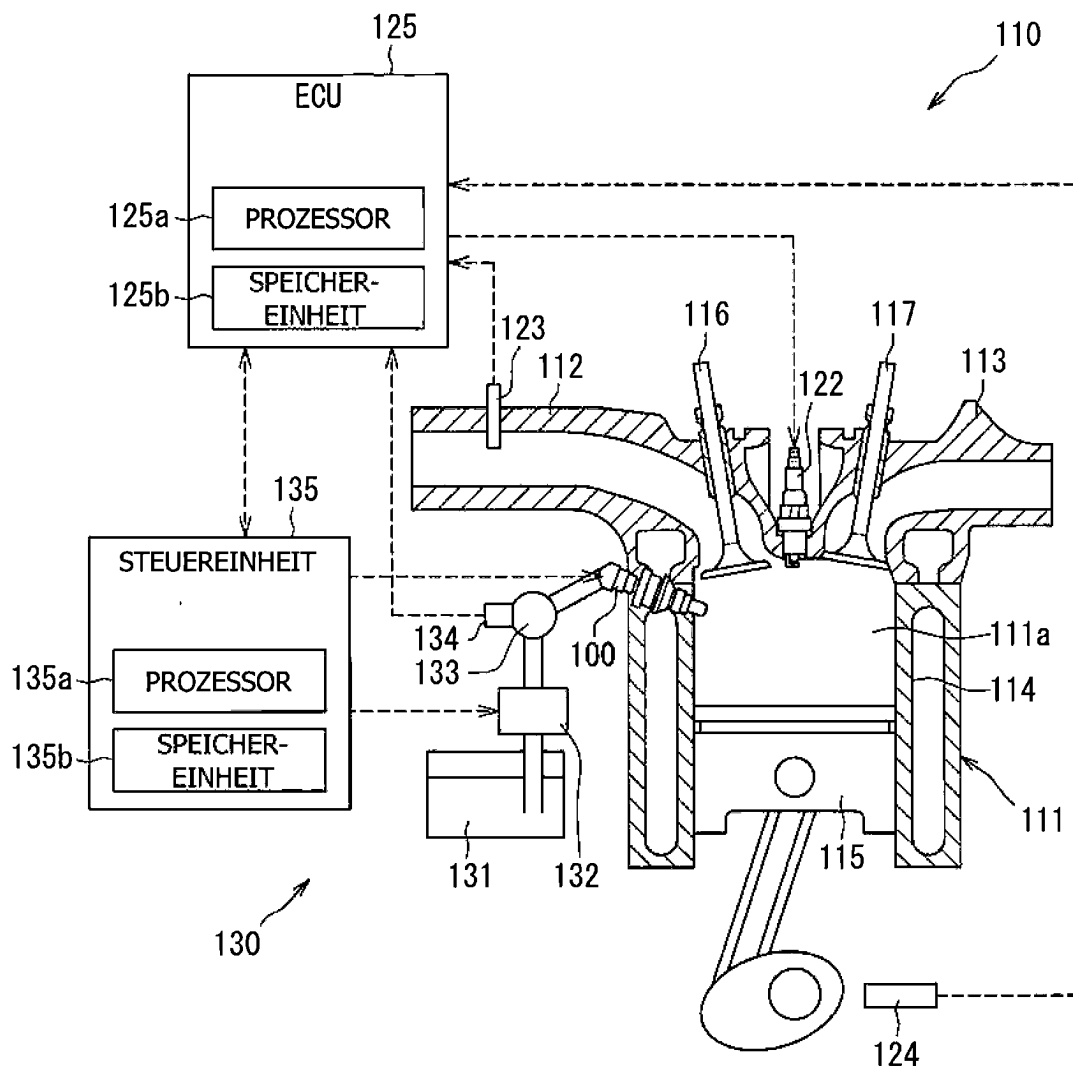


FIG. 2

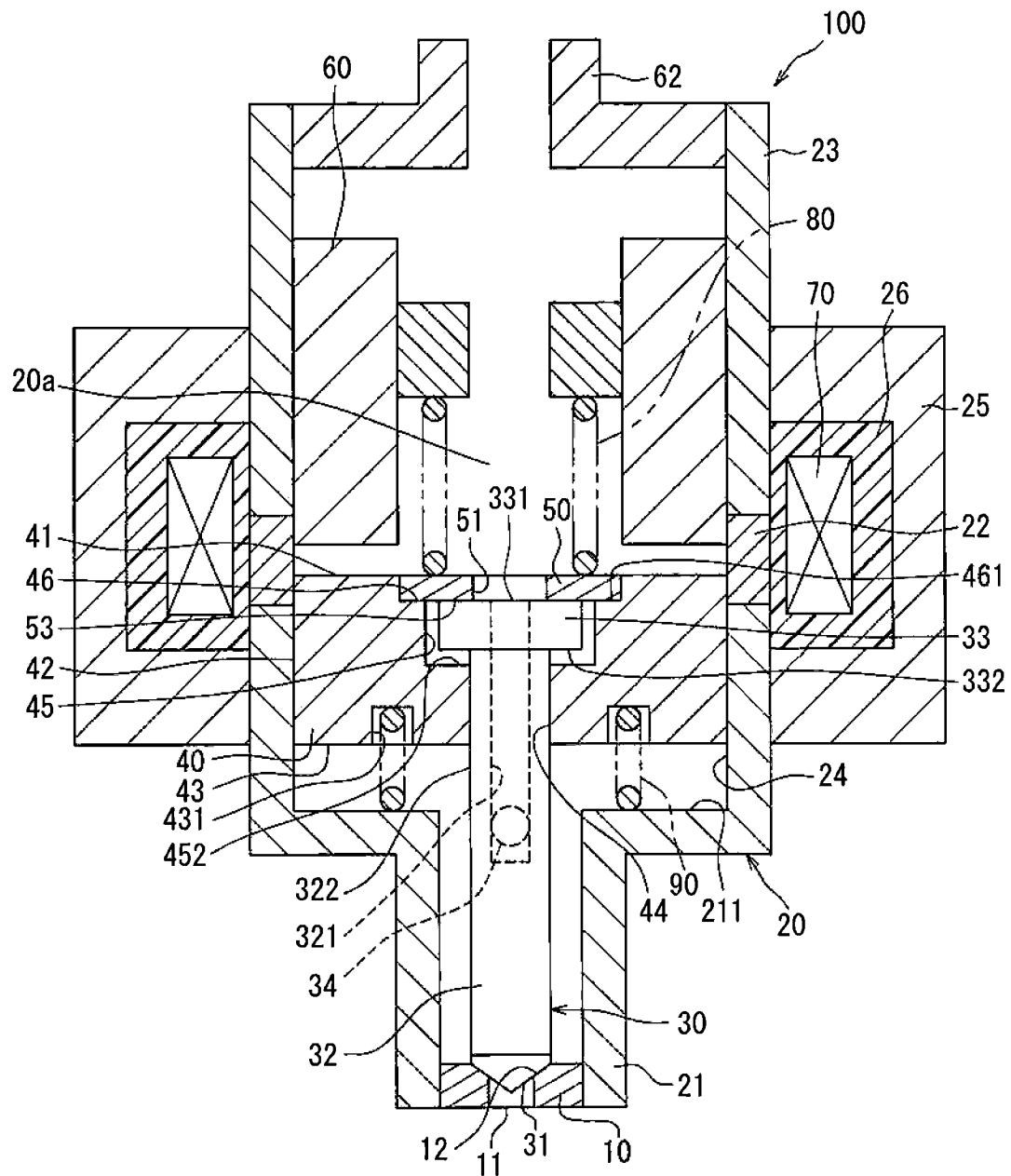


FIG. 3

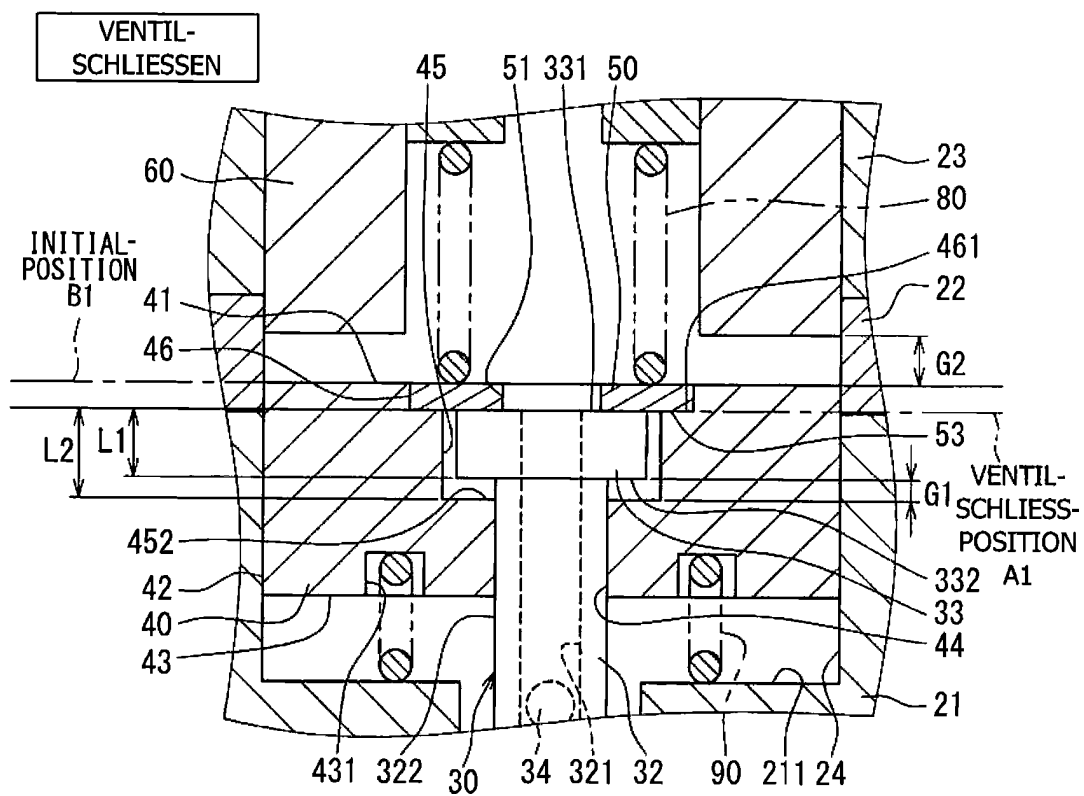


FIG. 4

VORGANG DES VENTILÖFFNENS

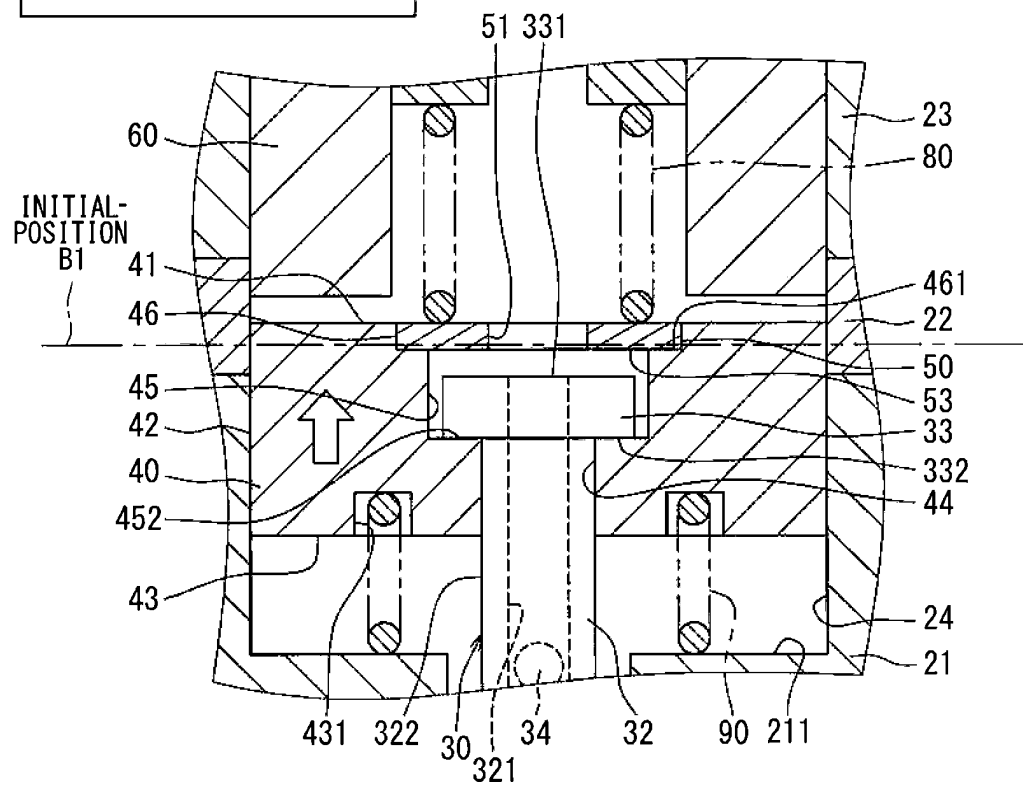


FIG. 5

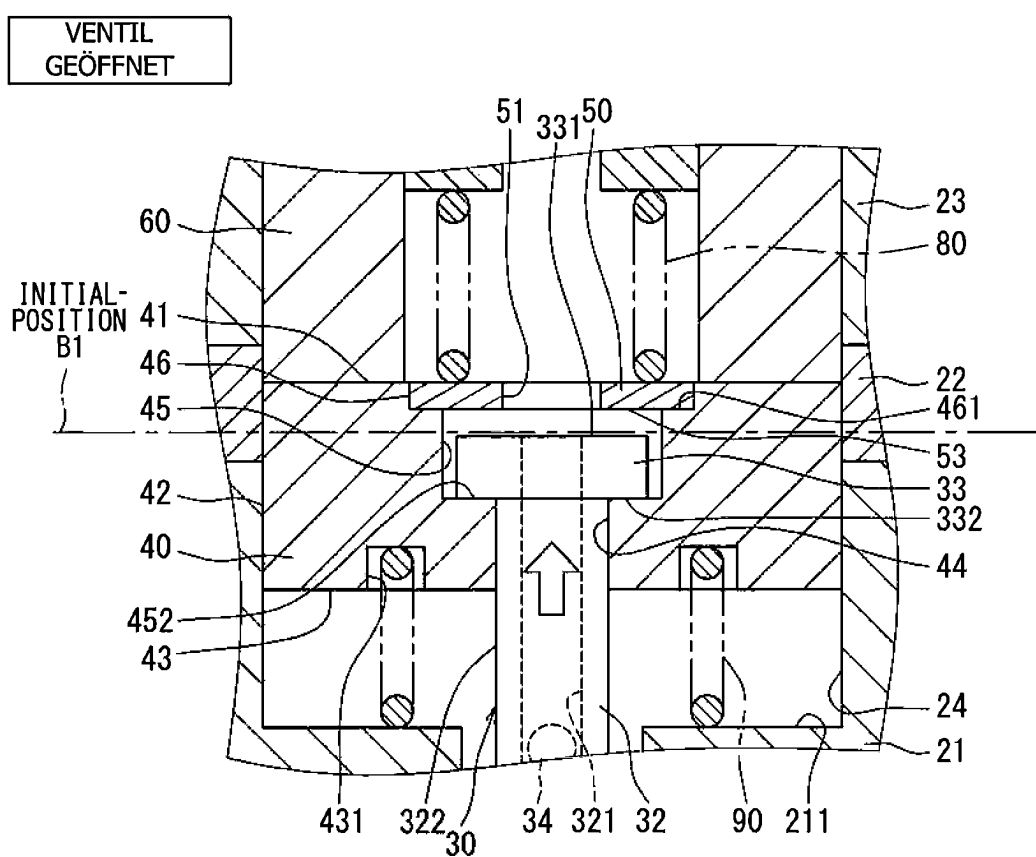


FIG. 6

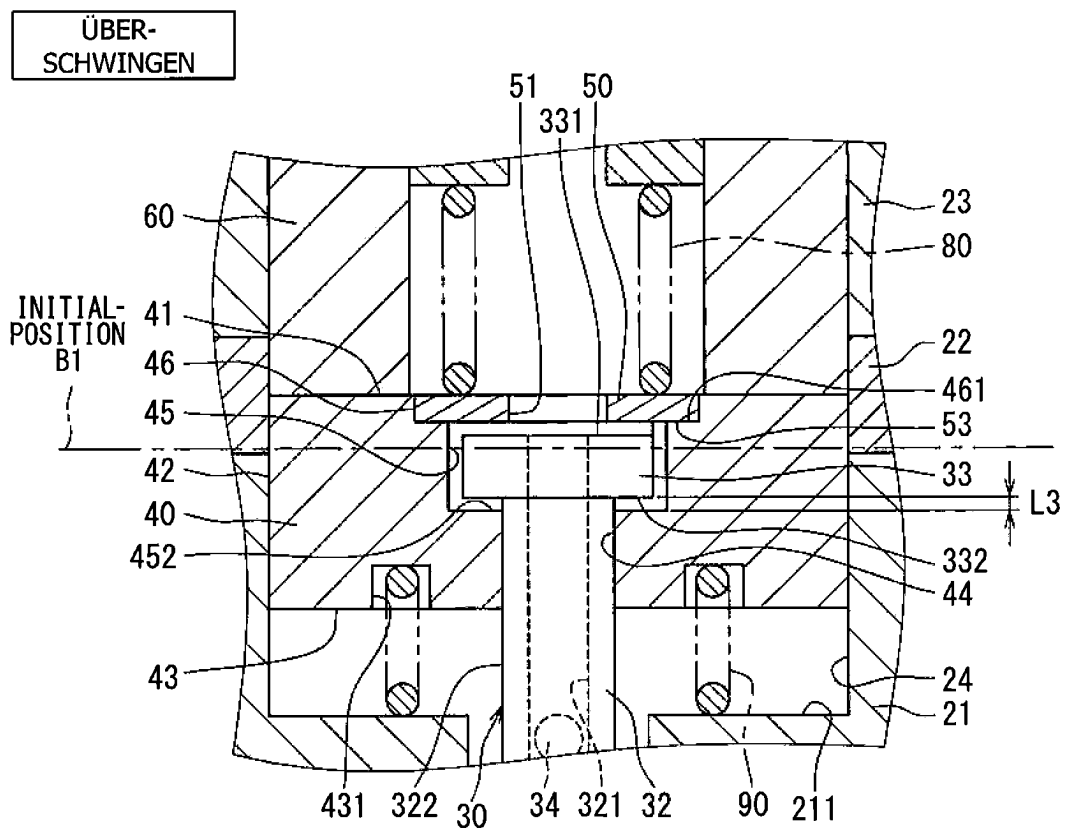


FIG. 7

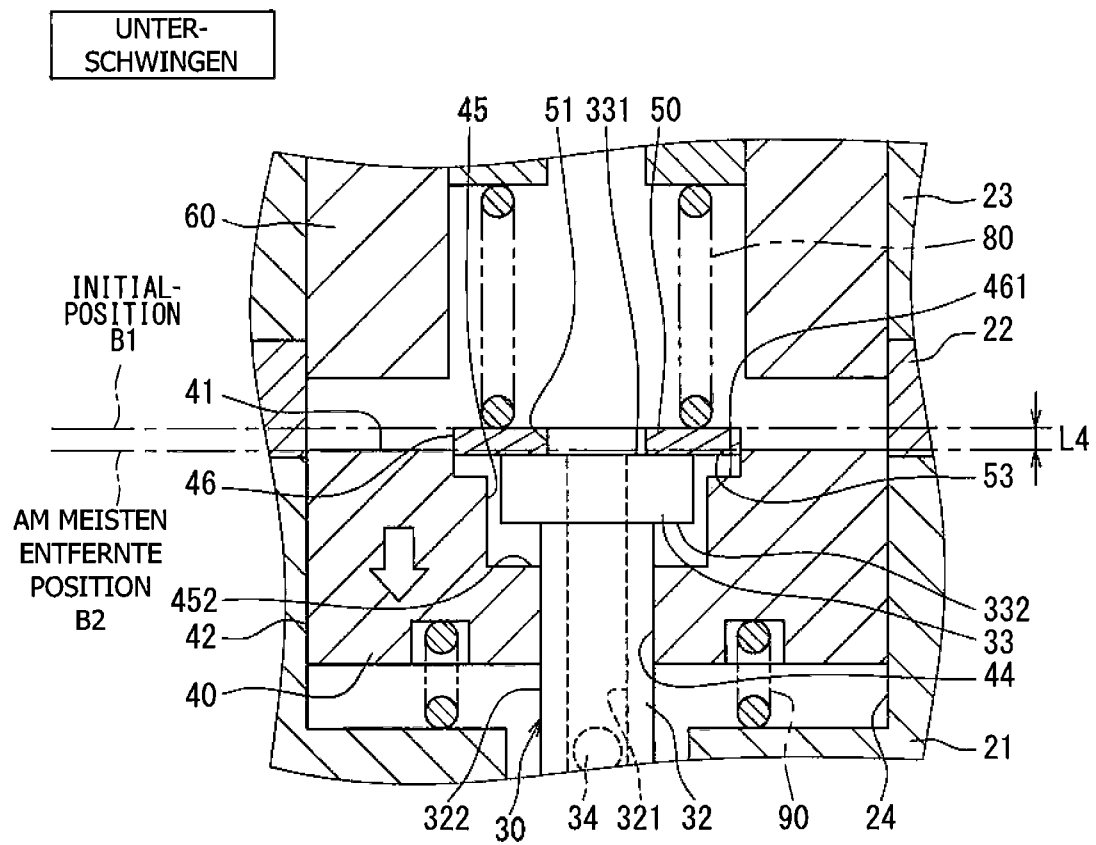


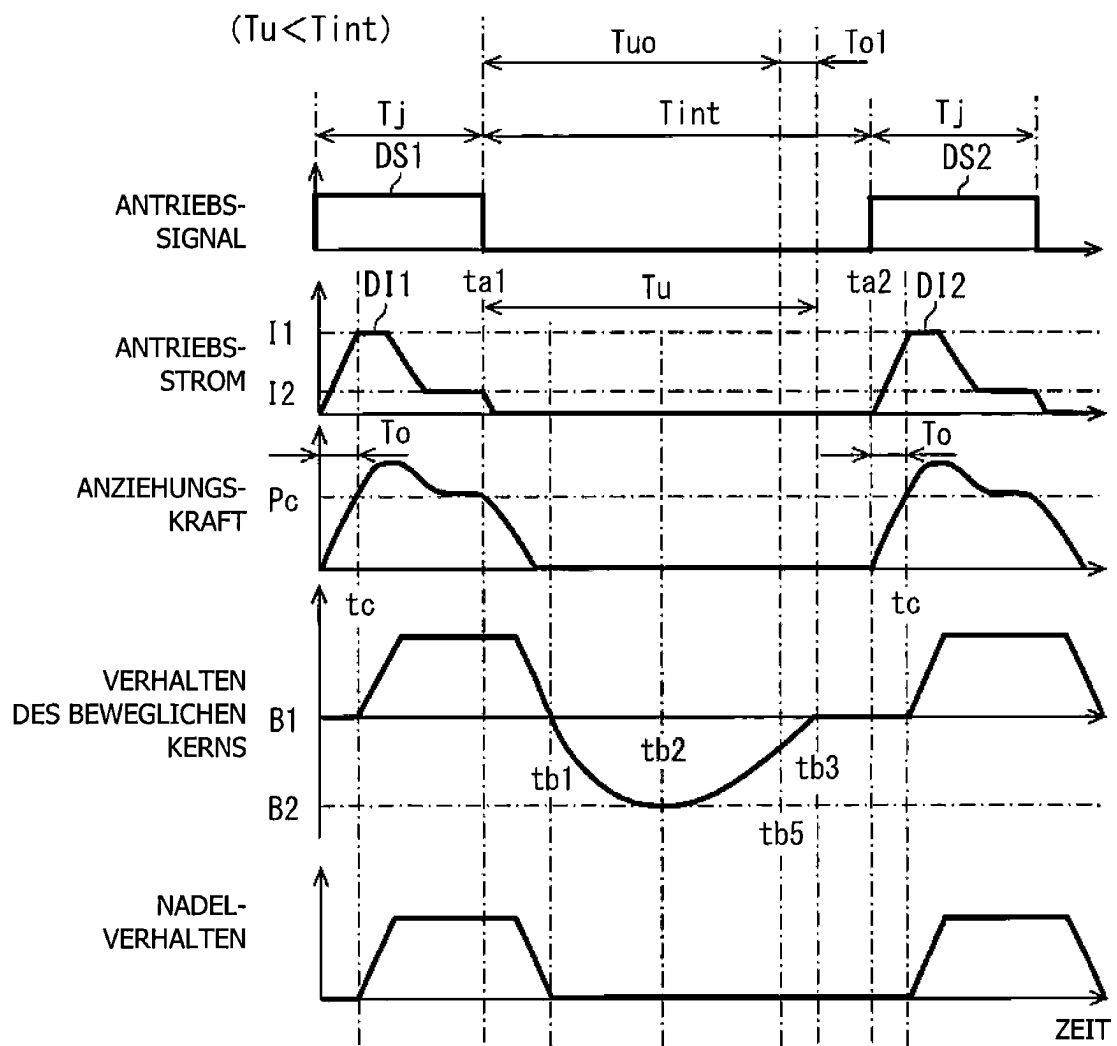
FIG. 8

FIG. 9

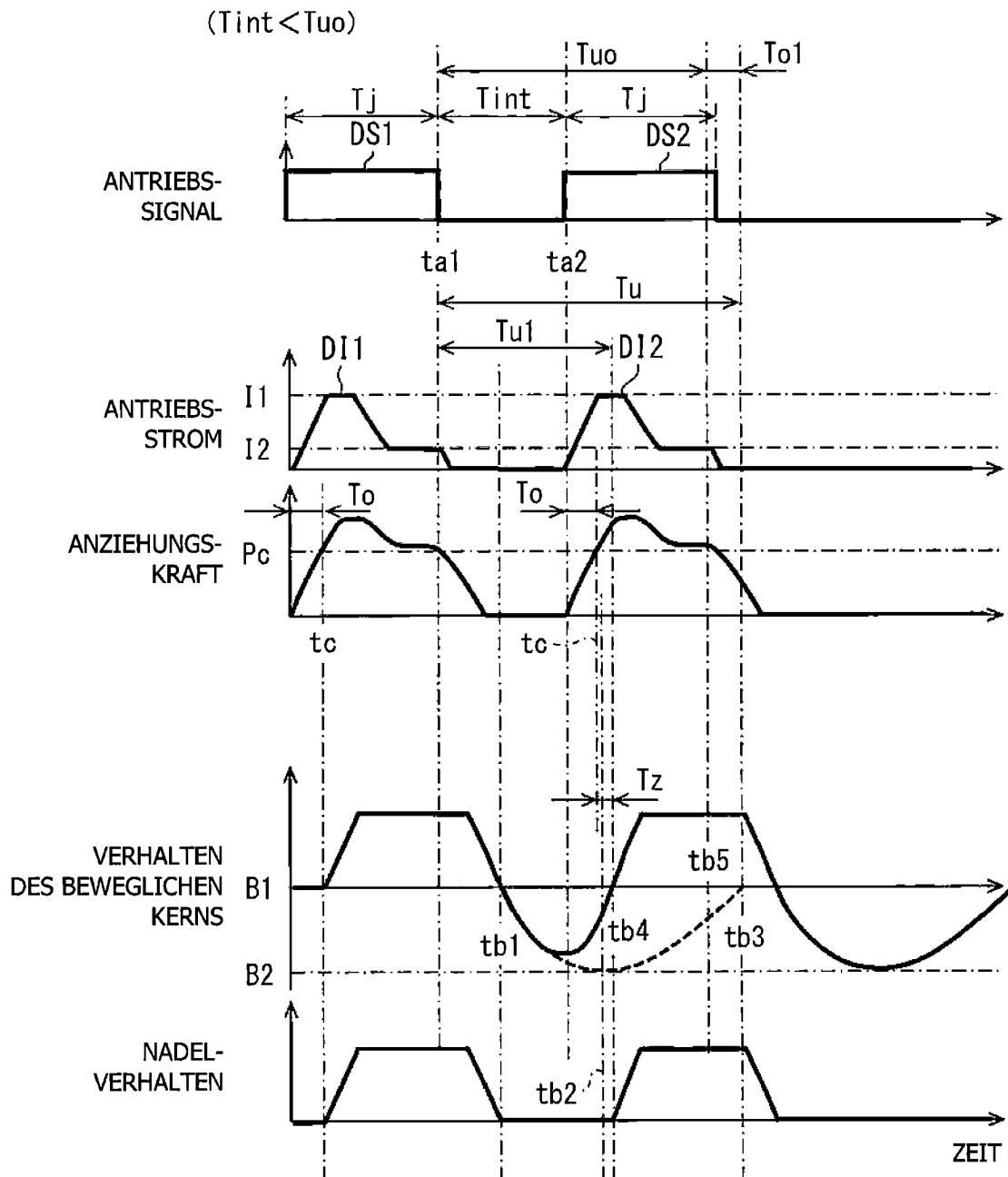


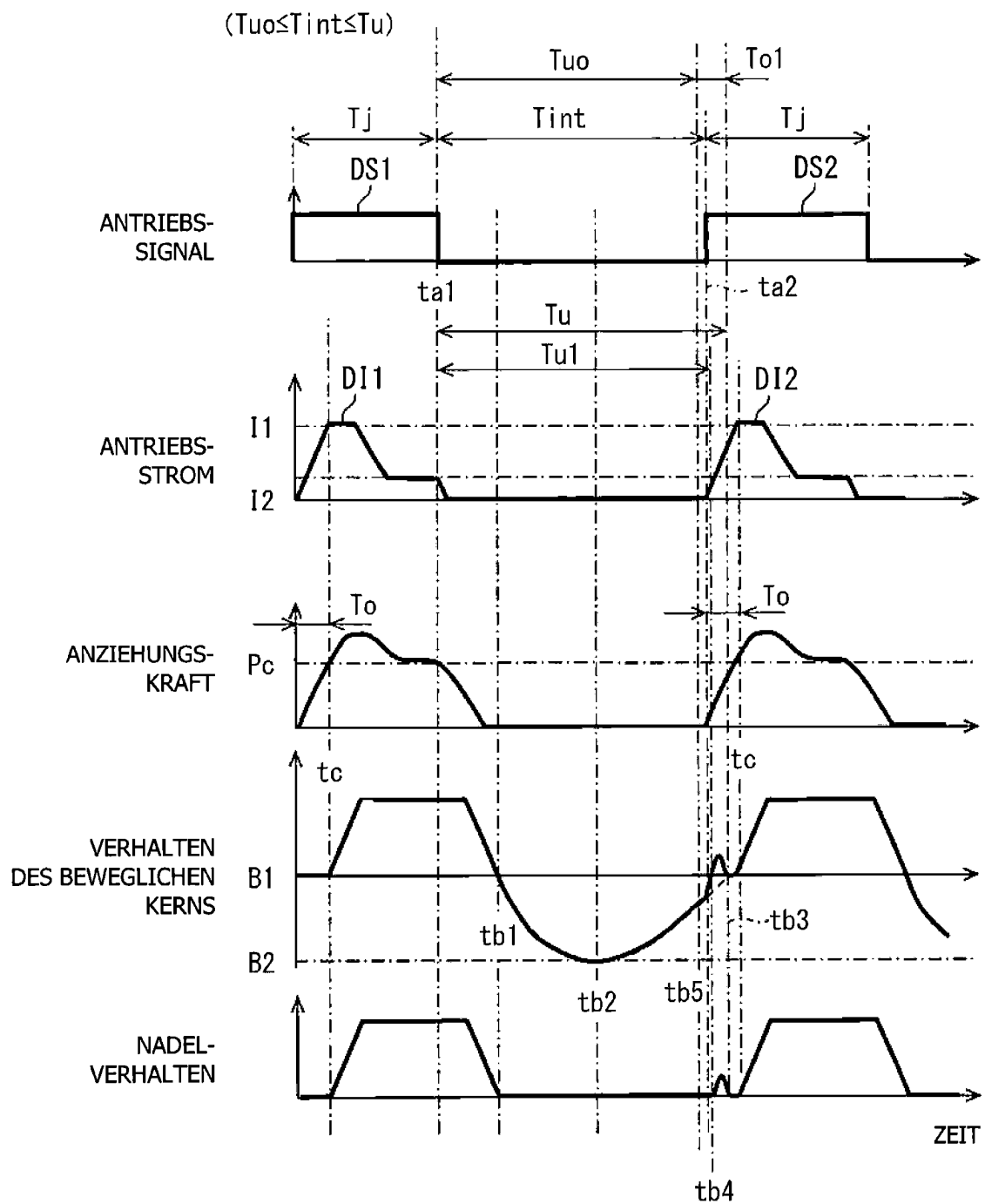
FIG. 10

FIG. 11

$(T_{uo} \leq T_{int} \leq T_u)$

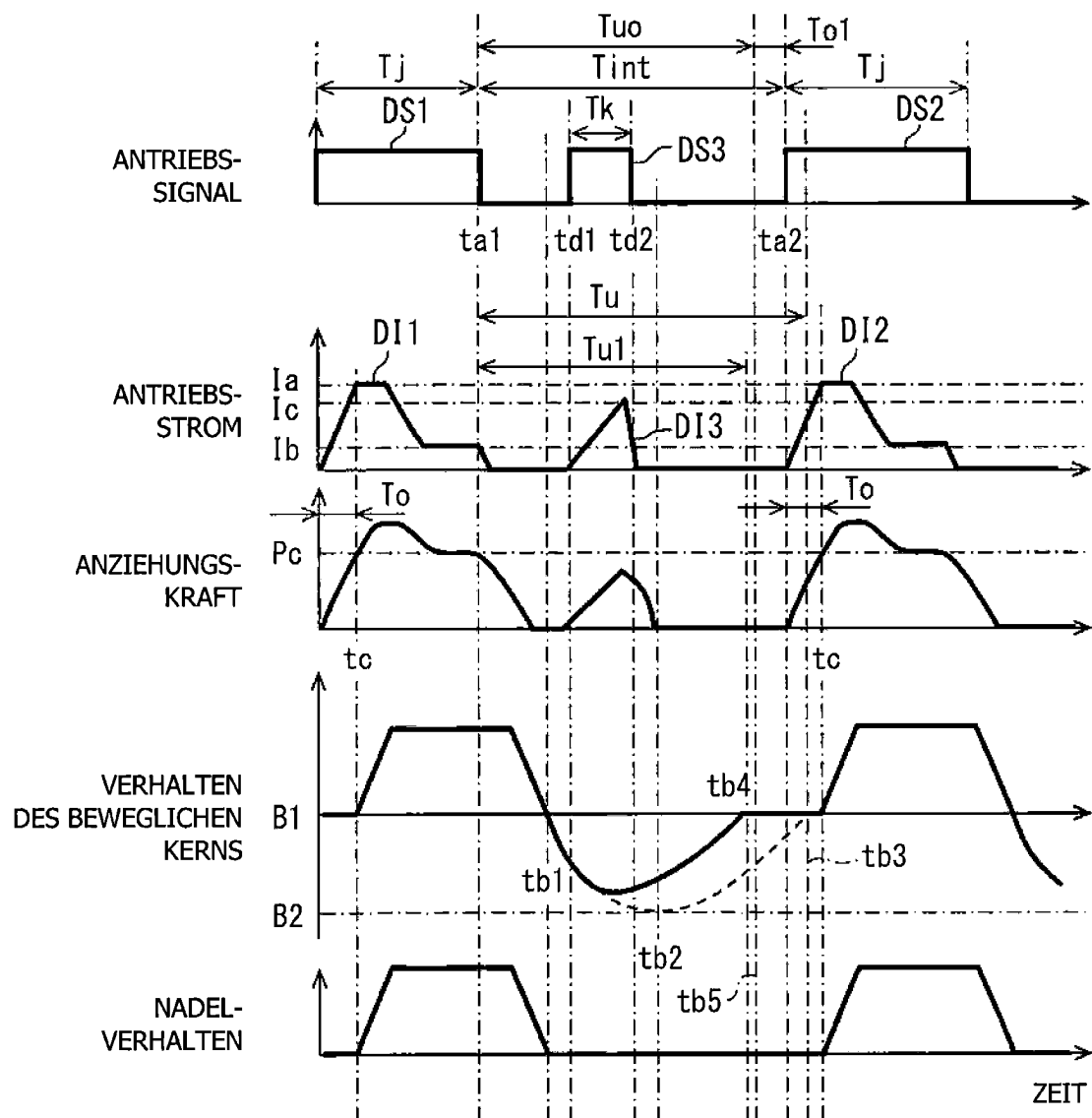


FIG. 12

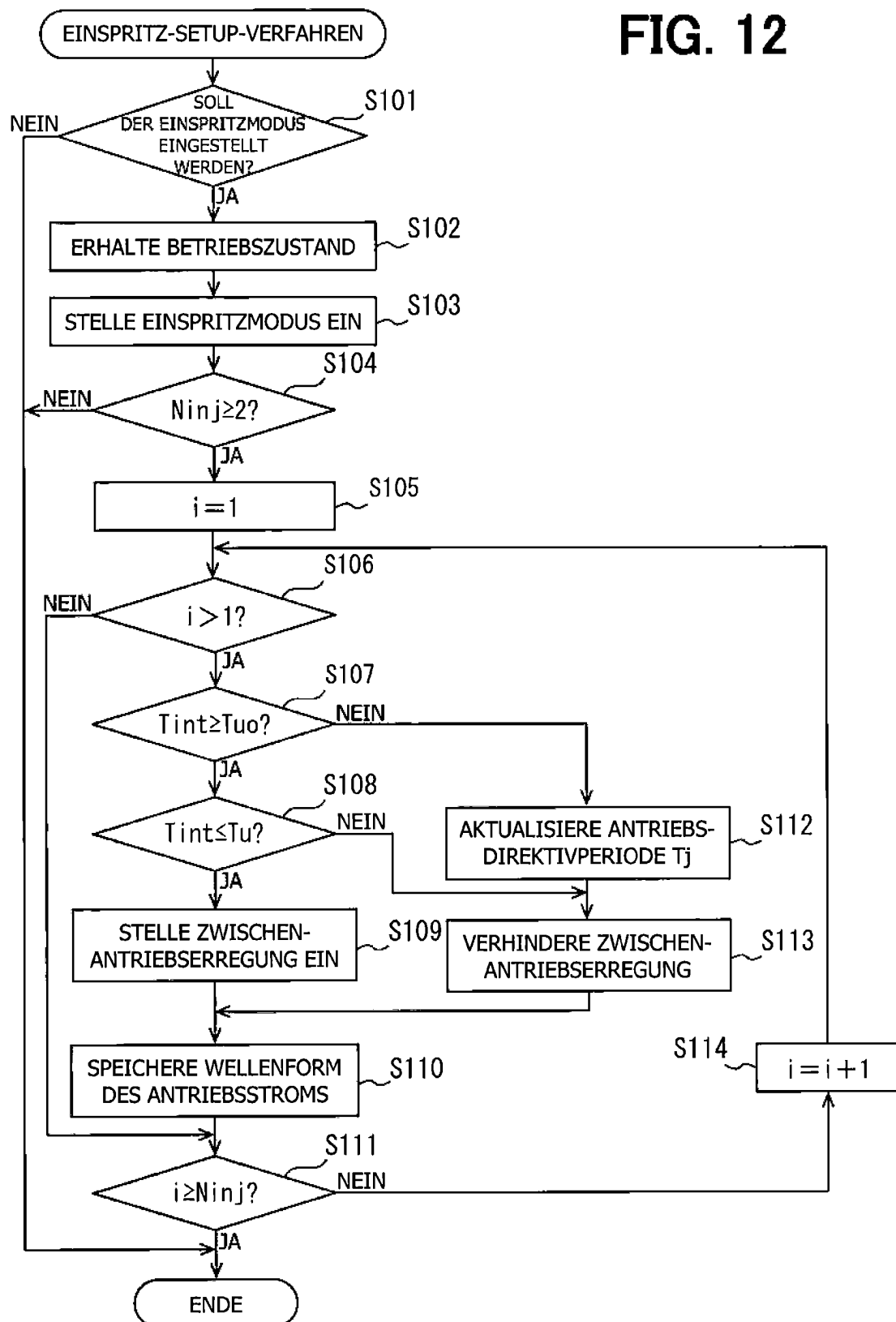


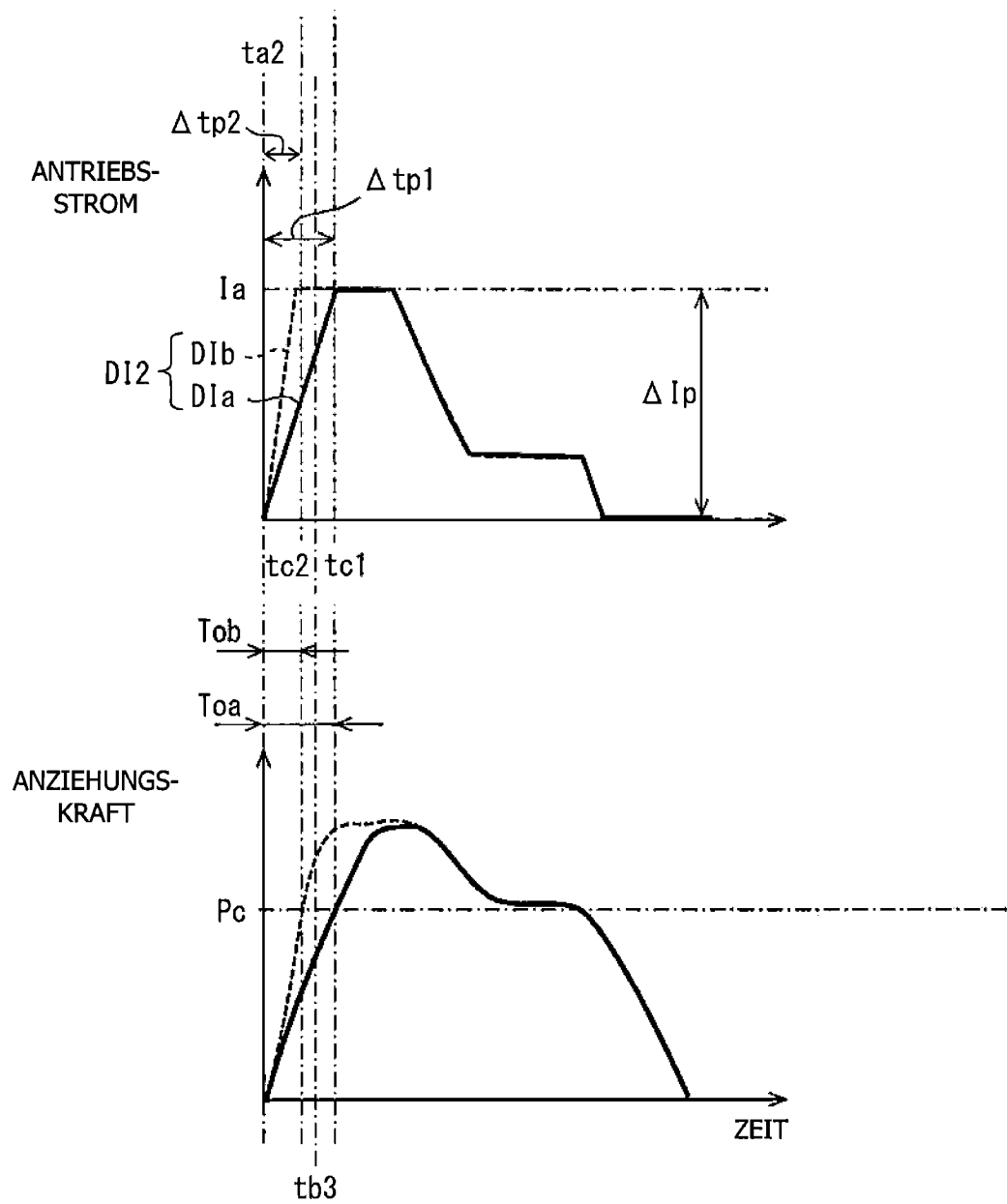
FIG. 13

FIG. 14

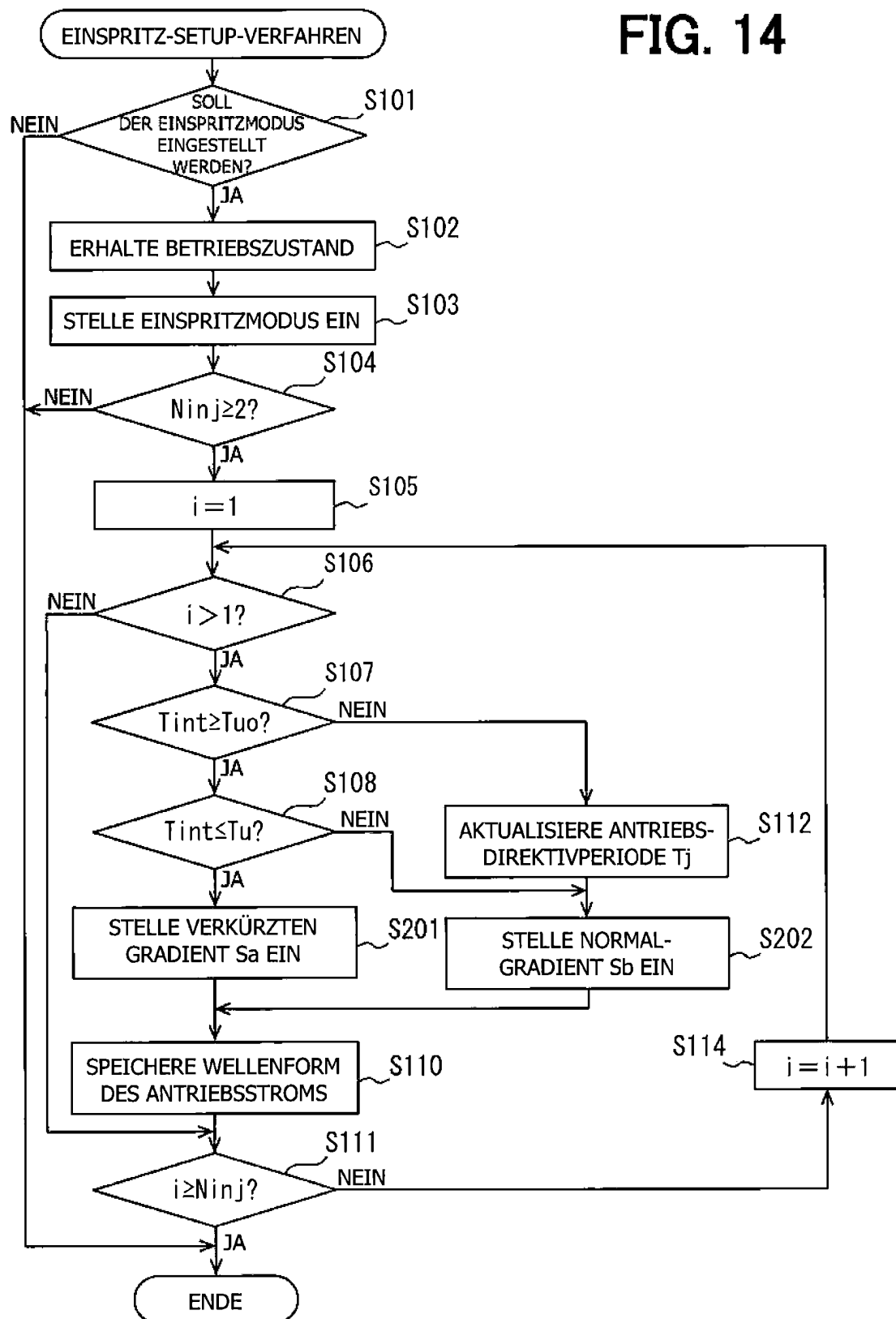


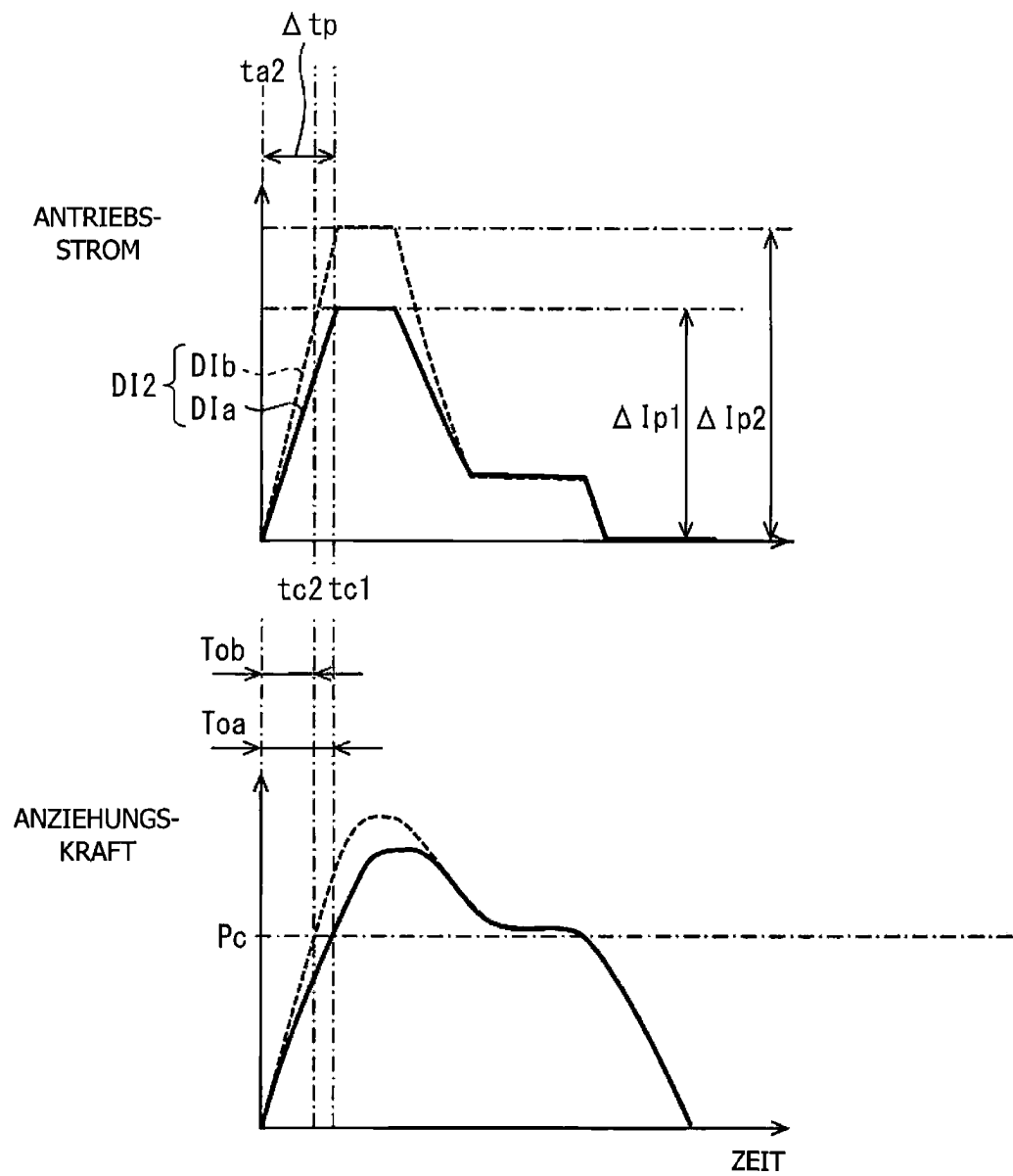
FIG. 15

FIG. 16

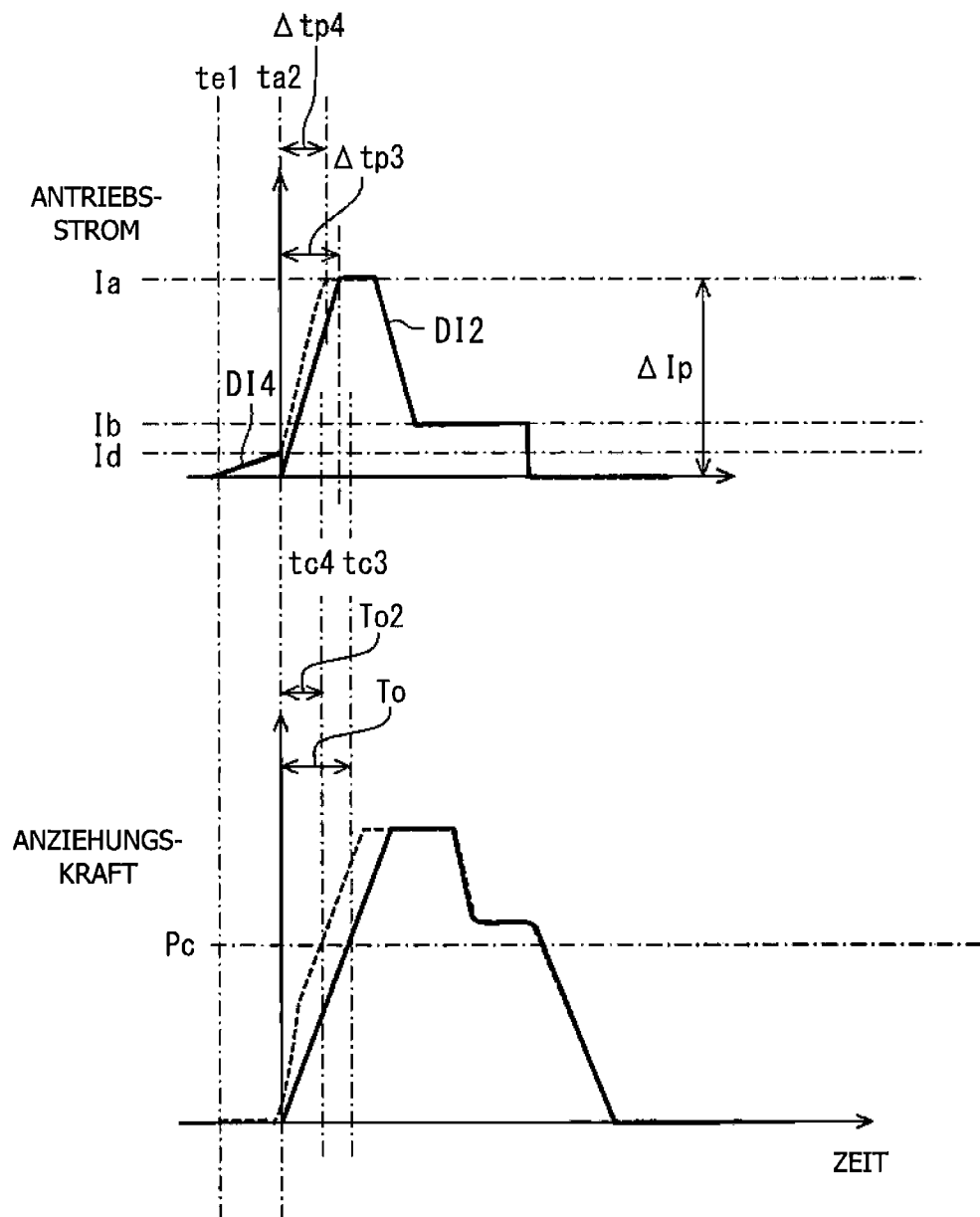


FIG. 17

$$(T_{uo} \leq T_{int} \leq T_u)$$

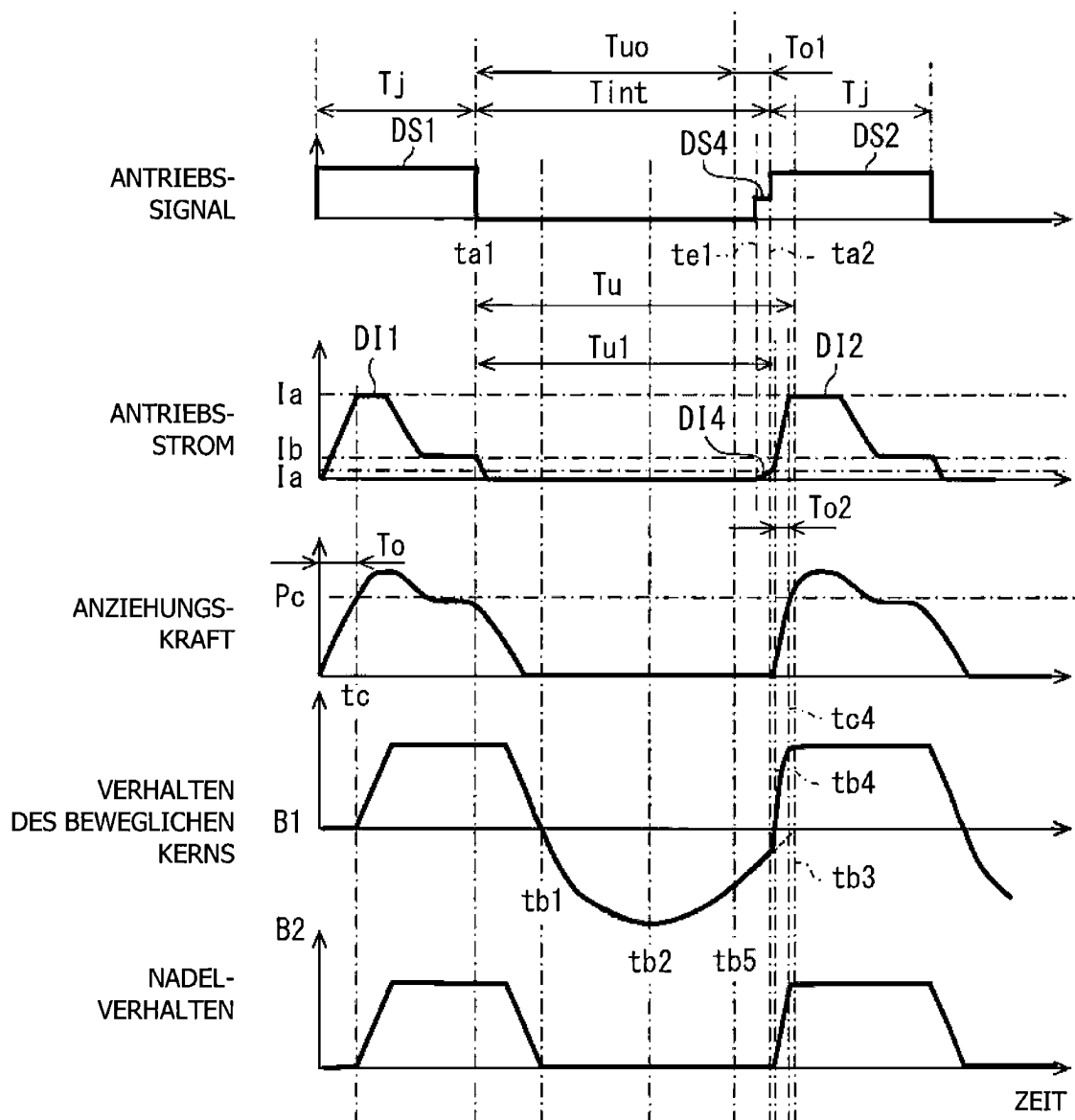


FIG. 18

