

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
3. Februar 2005 (03.02.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2005/010335 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: F02D 41/20
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/051271
- (22) Internationales Anmeldedatum:
28. Juni 2004 (28.06.2004)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
103 33 358.4 23. Juli 2003 (23.07.2003) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): FREUDENBERG, Hellmut [DE/DE]; Mühlweg 13a, 93080 Grossberg (DE).

HOFFMANN, Christian [DE/DE]; Am Nordheim 5, 93057 Regensburg (DE). WEIGL, Manfred [DE/DE]; Breitenfeldstr. 12, 93161 Viehhausen (DE). WONESCH, Jörg [DE/DE]; Kurt-Schumacher-Str. 16, 93049 Regensburg (DE).

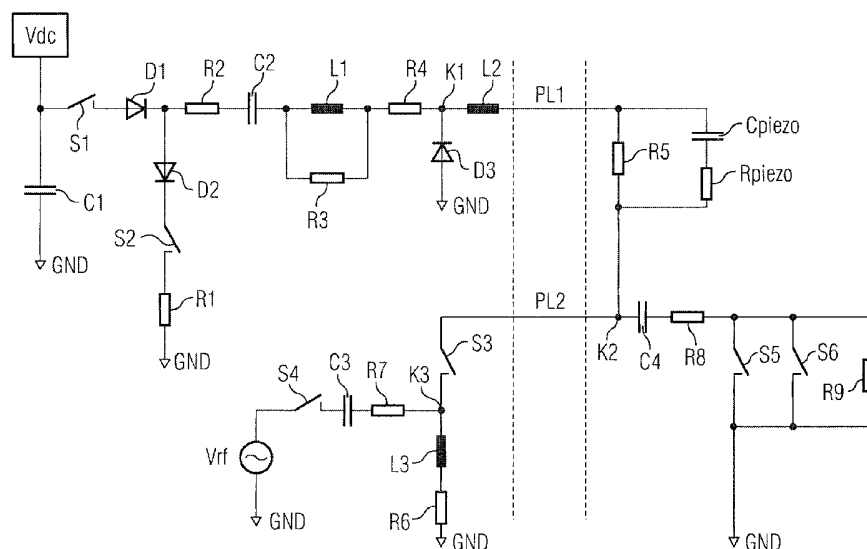
(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: CIRCUIT AND METHOD FOR OPERATING AN INJECTOR ASSEMBLY, AND INJECTOR

(54) Bezeichnung: SCHALTUNGSANORDNUNG UND VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER INJEKTORANORDNUNG SOWIE INJEKTOR



(57) Abstract: The invention relates to the operation of an injector assembly, for injecting fuel into an internal combustion engine of a motor vehicle. The aim of said invention is to improve the operation of an injector assembly, so that time-resolved information on the degree of opening of injector valves can be obtained in a simple manner. The invention is characterized by a particular manner of supplying a measuring voltage, for detecting the switching state of a valve contact switch, wherein one of the lines (PL2), provided for supplying an injector drive voltage, is also used for supplying the measuring voltage. The above is enabled by the use of an alternating voltage (Vrf) which is injected (K3), as the measuring voltage, at the line (PL2) which leads to the injector assembly and extracted (K2), depending on the switching state of the contact switch, in the area of the fuel valve.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2005/010335 A2



(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft den Betrieb einer Injektoranordnung zum Einspritzen von Kraftstoff bei einer Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs. Mit der Erfindung soll der Betrieb einer Injektoranordnung dahingehend verbessert werden, dass in einfacher Weise eine zeitlich aufgelöste Information über den Öffnungsgrad von Injektor-Ventilen gewonnen werden kann. Wesentlich für die Erfindung ist eine besondere Art und Weise der Zuführung einer Messspannung zum Detektieren des Schaltzustands eines Ventil-Kontaktschalters. Hierzu wird eine der zur Zufuhr einer Injektor-Ansteuerspannung vorgesehene Leitung (PL2) zusätzlich zur Zufuhr der Messspannung mitgenutzt. Ermöglicht wird dies durch Verwendung einer Wechselfspannung (Vrf), die als die Messspannung an der zur Injektoranordnung führenden Leitung (PL2) eingekoppelt (K3) wird und abhängig vom Schaltzustand des Kontaktschalters im Bereich des Kraftstoffventils wieder ausgekoppelt (K2) wird.

Beschreibung

Schaltungsanordnung und Verfahren zum Betreiben einer Injektoranordnung sowie Injektor

5

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung und ein Verfahren zum Betreiben einer Injektoranordnung zum Einspritzen von Kraftstoff bei einer Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs. Ferner betrifft die Erfindung einen dazu verwendbaren Injektor.

10

Schaltungsanordnungen zum Betreiben einer Injektoranordnung mit einem oder mehreren Injektoren, die jeweils aus einem elektrisch ansteuerbaren Aktuator und einem mittels des Aktuators betätigbaren Kraftstoffventil gebildet sind, wobei die Schaltungsanordnung dazu ausgebildet ist, wahlweise jedem der Injektoren eine Ansteuerspannung zum Ansteuern des Aktuators über ein Leitungspaar bestehend aus einer ersten Leitung und einer zweiten Leitung zuzuführen, wobei die zweite Leitung

zum mindest während der Ansteuerung des jeweiligen Aktuators mit einer Masse des Kraftfahrzeugs verbunden ist, sind beispielsweise aus der DE 197 33 560 A1 und der DE 101 20 143 A1 bekannt.

20

In der DE 34 45 721 A1 ist ein als Injektor einer Injektoranordnung zum Einspritzen von Kraftstoff geeignetes, elektrisch ansteuerbares Magnetventil beschrieben. Dieses bekannte Magnetventil weist einen von einem Ventilkörper und einem zugeordneten Ventilsitz gebildeten Kontaktschalter auf, dessen

Schaltzustand somit die Stellung des Ventilkörpers relativ zu dem Ventilsitz repräsentiert. Zur Detektion des Schaltzustands dieses Ein-Aus-Schalters wird dem Magnetventil über einen Widerstand eine Messspannung zugeführt und der am Wi-

30

derstand entstehende Spannungsabfall gemessen. Wenn das Ventil geschlossen ist, so fließt ein Strom über den Widerstand und erzeugt einen Spannungsabfall. Wenn dagegen das Ventil geöffnet ist, so wird die elektrische Verbindung zwischen dem Ventilkörper und dem Ventilsitz unterbrochen, so dass der Stromfluss und folglich der Spannungsabfalls am Widerstand null wird.

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, den Betrieb einer Injektoranordnung zum Einspritzen von Kraftstoff bei einer Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs dahingehend zu verbessern, dass in einfacher Weise eine zeitlich aufgelöste Information über den Ventilöffnungsgrad jedes Ventils der Injektoranordnung gewonnen werden kann.

Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, ein Verfahren nach Anspruch 12 und einen Injektor nach Anspruch 13. Die abhängigen Ansprüche betreffen vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung.

Für die Erfindung wesentlich ist zunächst die Verwendung eines oder mehrerer Injektoren, bei welchen jedes Kraftstoffventil wenigstens einen Kontaktschalter aufweist, dessen Schaltzustand die Stellung eines Ventilkörpers relativ zu einem Ventilsitz repräsentiert, bei einer Schaltungsanordnung bzw. einem Verfahren zum Betreiben der Injektoranordnung zur Kraftstoffeinspritzung bei einer Brennkraftmaschine. Vorteilhaft kann die mittels des Kontaktschalters gewonnene Information über die Stellung des Ventilkörpers und somit des Ventilöffnungsgrades beispielsweise zur präzisen Regelung der einzuspritzenden Kraftstoffmenge genutzt werden. Aufgrund der wachsenden Anforderungen an moderne Brennkraftmaschinen hinsichtlich Kraftstoffverbrauch, Abgasemission, Geräuscent-

wicklung, Leistung etc. hat die Regelung der einzuspritzenden Kraftstoffmenge in der Praxis enorm an Bedeutung gewonnen, da eine Steuerung zu unakzeptabel hohen Einspritzmengenstreuungen führen würde, verursacht durch relativ große Toleranzen bei serienmäßig gefertigten Injektoren. Eine Kompensation dieser Streuungen im Rahmen einer Einspritzregelung setzt jedoch eine ausreichend genaue Erfassung bzw. Ermittlung des zeitlichen Verlaufs der Einspritzung voraus. Geeignete Daten hierfür liefert der im Rahmen der Erfindung verwendete Kontaktschalter. Wenn Kontakte eines solchen Kontaktschalters beispielsweise durch den Ventilkörper und den Ventilsitz des jeweiligen Kraftstoffventils gebildet sind, so lassen sich bereits die Zeitpunkte des Einspritzbeginns (Schalter öffnet) und Einspritzendes (Schalter schließt) bestimmen und folglich der Einspritzverlauf und die Einspritzmenge mehr oder weniger genau rekonstruieren. Die Genauigkeit der Informationen lässt sich hierbei steigern durch Vorsehen einer Mehrzahl von Kontaktschaltern an ein und demselben Kraftstoffventil, beispielsweise eines den Vollöffnungsgrad des Ventils detektierenden zusätzlichen Kontaktschalters.

Wesentlich für die Erfindung ist des weiteren die besondere Art und Weise der Zuführung der Messspannung zum Detektieren des Schaltzustands des Kontaktschalters. Beim Stand der Technik (vgl. z. B. DE 34 45 721 A1) waren zur Zufuhr der Messspannung zusätzlich zu den existierenden Aktuatoransteuerleitungen weitere Leitungen vorgesehen. Selbst wenn ein Kontakt des Kontaktschalters im Bereich der Injektoranordnung mit der Fahrzeugmasse verbunden wird, so ist nach dieser bisherigen Methode jeweils eine weitere Leitung pro Injektor für die Ankopplung der Messspannung notwendig. Bei einer vierzylindrigen Brennkraftmaschine bedeutet dies, dass von einem üblicherweise entfernt von der Injektoranordnung angeordneten

Steuergerät mindestens vier zusätzliche Kabel samt entsprechenden Schnittstellen vorgesehen werden müssen, was einen beträchtlichen Mehraufwand bedeutet. Demgegenüber wird gemäß der Erfindung eine der ohnehin zur Zufuhr der Ansteuerspannung vorgesehene Leitung zusätzlich zur Zufuhr der Messspannung mitgenutzt. Die Detektion des Schaltzustands des Kontaktschalters erfordert daher keinerlei Mehraufwand im Bereich der Leitungsanordnung zwischen beispielsweise einem Steuergerät und der davon entfernt angeordneten Injektoranordnung. Ermöglicht wird dies durch Verwendung einer Wechselspannung, die als die Messspannung von der Schaltungsanordnung an einer zur Injektoranordnung führenden Leitung eingekoppelt wird und abhängig vom Schaltzustand des Kontaktschalters im Bereich des Kraftstoffventils wieder ausgekoppelt wird.

Unabhängig von der Art und Anzahl verwendeter Kontaktschalter zur Detektion einer Ventilstellung ermöglicht die Erfindung diese Ventilstellungsdetektion in kostengünstiger Weise bei Einspritzsystemen, bei welchen bislang zur Vermeidung des zusätzlichen "Verkabelungsaufwands" auf eine Detektion der Ventilstellung und somit eine Regelung des Einspritzvorgangs verzichtet wurde. Beispielsweise "Common Rail"-Dieseleinspritzsysteme für Serienfahrzeuge besitzen bislang in der Regel lediglich eine Steuerung, bei welcher die Daten für die Festlegung der Einspritzrate und Einspritzmenge aus Kennfeldern bezogen werden, die in einem Steuergerät gespeichert sind und auf Erfahrungswerten betreffend die Betriebscharakteristik der eingesetzten Kraftstoffventile beruhen. Mit der Erfindung können die Vorteile derartiger Common-Rail-Systeme beibehalten werden und darüber hinaus eine Regelung des Einspritzvorgangs realisiert werden, so dass insbesondere

besonders kleine Einspritzmengen sehr genau eingestellt bzw. sogar überprüft werden können.

In einer Ausführungsform ist wenigstens ein Teil der zur Erzeugung der Ansteuerspannung eingesetzten Komponenten in einem Steuergerät zusammengefasst, welches dazu vorgesehen ist, im Kraftfahrzeug von der Injektoranordnung entfernt angeordnet zu werden. In diesem Fall lassen sich in dem Steuergerät auch vorteilhaft diejenigen Komponenten integrieren, welche zur Erzeugung und Einkopplung der Mess-Wechselspannung eingesetzt werden. Schließlich können in einem solchen Steuergerät vorteilhaft diejenigen Komponenten untergebracht werden, mittels derer die Messung der Ventilstellung (Schaltzustand des oder der Kontaktschalter) ausgewertet wird. Eine solche Auswertung der Messung erfolgt in einer einfachen Ausführungsform dadurch, dass an irgendeiner Stelle der mit der Messspannung beaufschlagten Leitung die Amplitude der Messspannung gemessen wird. Um durch diese Messung nicht das Ansteuersignal zu beeinflussen, kann an der betreffenden Leitungsstelle die Messspannungsamplitude über einen geeigneten Einkoppelkondensator geführt werden, welcher für ein insbesondere im Wesentlichen als Gleichspannung gebildetes Ansteuersignal keine Beeinträchtigung darstellt.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird die Messspannung bzw. deren Amplitude am Einkoppelpunkt oder einem mit diesem Einkoppelpunkt elektrisch verbundenen Schaltungsknoten gemessen.

In einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Schaltungsanordnung ausgebildet ist als Steuergerät mit einer Leitungsanordnung zum Anschluss einer im Kraftfahrzeug von dem Steuergerät entfernt angeordneten Injektoranordnung, wobei der

Einkoppelpunkt im Bereich des Steuergeräts und der Auskoppelpunkt im Bereich der Injektoranordnung angeordnet ist.

Als Injektoren können insbesondere so genannte Piezo-
5 Injektoren verwendet werden, bei welchen die Funktionsweise des Aktuators auf dem piezoelektrischen Effekt beruht.

Eine einfache Konstruktion des Kontaktschalters ergibt sich
dadurch, dass Kontakte des Kontaktschalters gebildet sind
10 durch den Ventilkörper und den Ventilsitz des jeweiligen Kraftstoffventils. Alternativ oder zusätzlich kann auch ein Kontaktschalter vorgesehen sein, dessen Kontakte gebildet sind durch den Ventilkörper und einen von dem Ventilsitz entfernt angeordneten Ventilkörperanschlag des jeweiligen Kraftstoffventils. Mit einem Kontaktschalter der letzteren Art
15 lassen sich für jeden Einspritzvorgang diejenigen Zeitpunkte detektieren, bei welchen der maximale Ventilöffnungsgrad erreicht wird (Schalter schließt) und sich ausgehend von diesem maximalen Öffnungsgrad wieder beginnt, zu verringern (Schalter öffnet). Letztere Kontaktschalterart ermöglicht im Hinblick auf extrem kurze Ansteuerzeitdauern auch die Detektion dahingehend, ob im Verlauf des Einspritzvorganges der Maximalventilöffnungsgrad überhaupt erreicht wird.

25 Wenn an einem Ventil mehrere Kontaktschalter vorgesehen sind, so können diese im einfachsten Fall in einer Parallel- und/oder Serienanordnung in einem Auskoppelpfad zwischen der zweiten Leitung und der Fahrzeugmasse angeordnet werden, so dass die Auskopplung ein und desselben Messsignals in Abhängigkeit mehrerer Schaltzustände erfolgt. Ein Beispiel hierfür
30 findet sich in dem unten noch beschriebenen Ausführungsbeispiel. Alternativ ist es denkbar, bei mehreren Kontaktschaltern an ein und demselben Ventil eine "Kodierung" der Signal-

auskopplung vorzusehen, die beim Schalten eines bestimmten Kontaktschalters die Identifizierung dieses Kontaktschalters erlaubt. Eine solche Kodierung könnte beispielsweise dadurch realisiert werden, dass die einzelnen Kontaktschalter mit
5 verschiedenen Übergangsimpedanzen (Impedanz zwischen den beiden Schalterkontakten im geschlossenen Zustand des Schalters) vorgesehen werden, sei es konstruktionsbedingt oder durch Anordnung verschiedener Impedanzen (z. B. Widerstände) in Serienschaltung zu den einzelnen Kontaktschaltern. Alternativ
10 oder zusätzlich könnte eine Kodierung dergestalt erfolgen, dass mehrere Messspannungen mit verschiedenen Frequenzen eingekoppelt werden und jeder Kontaktschalter zur Auskopplung einer speziellen dieser Messspannungen angeordnet wird, etwa durch Anordnung jedes Kontaktschalters in einem von mehreren
15 Auskoppelpfaden, die jeweils nur zur Auskopplung einer der Messspannungen ausgebildet sind (Frequenzselektivität).

In einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass für jeden Injektor ein separates Leitungspaar vorgesehen ist. Dies vereinfacht die schaltungstechnische Konstruktion im Bereich der
20 Injektoranordnung und führt vorteilhaft zu einer "Entkopplung" der einzelnen Injektoren sowohl hinsichtlich der Ansteuerung als auch der Detektion der Kontaktschalter-Schaltzustände.

25

Für eine einfache Realisierung der Schaltungsanordnung ist es von Vorteil, wenn in einem Teil der Schaltungsanordnung die Ansteuerspannung an einer Stelle erzeugt wird und für die gegebenenfalls mehreren Injektoren genutzt wird, indem diese
30 Ansteuerspannung wahlweise (selektiv) einem der Injektoren zugeführt wird. Daher ist in einer Ausführungsform der Schaltungsanordnung zum Betreiben einer Injektoranordnung mit mehreren Injektoren vorgesehen, dass für jeden Injektor eine se-

parate zweite Leitung vorgesehen ist und zwischen dem Einkoppelpunkt und dem Auskoppelpunkt der zweiten Leitungen jeweils ein Injektorauswahlschalter angeordnet ist, mittels welchem wahlweise jede der zweiten Leitungen unterbrochen werden

5 kann. Wenngleich die Anordnung derartiger Auswahlschalter im Hinblick auf die Ansteuerung von mehreren Injektoren an sich bekannt ist, so besitzt diese Anordnung der Auswahlschalter jeweils zwischen dem Einkoppelpunkt und dem Auskoppelpunkt im Rahmen der Erfindung den besonderen Vorteil, dass hinsichtlich

10 lich der Detektion der Schaltzustände gewissermaßen automatisch (aufgrund der ohnehin notwendigen Ansteuerungsauswahl) die Messspannung nur von dem Schaltzustand des tatsächlich ausgewählten Injektors abhängen kann. Die nicht ausgewählten Injektoren können somit nicht das Messsignal beeinflussen.

15 Unabhängig von der Gestaltung, bei welcher die Einkopplung und Auskopplung der Messspannung lediglich für Zeitabschnitte aktiv ist, in welchen der betreffende Injektor mittels einer Auswahlschalteranordnung ausgewählt ist, ist es ganz allgemein z. B. zur Verringerung von Korrosionseffekten im Bereich

20 der Schalterkontakte günstig, wenn die Schaltungsanordnung dazu ausgebildet ist, die Messspannung wahlweise in vorbestimmten Zeitabschnitten einzukoppeln, in denen ein Wechsel des Schaltzustands zu erwarten ist. Insbesondere kann die Aktivierung jeder Messung periodisch erfolgen und jeweils zeitgleich mit der periodischen Ansteuerung des Aktuators beginnen.

Damit das Messergebnis nicht nennenswert durch die Ansteuerung des betreffenden Injektors beeinflusst wird, sollte die

30 Frequenz der Messspannung nicht zu gering gewählt sein. In einer Ausführungsform ist daher vorgesehen, dass die Frequenz der Messspannung mindestens das Zehnfache der im Betrieb der

Injektoranordnung für jeden Injektor zu erwartenden Maximalansteuerfrequenz ist. Für den hier interessierenden Anwendungsbereich ist es bevorzugt, wenn die Frequenz der Messspannung mindestens 10 KHz, insbesondere mindestens 100 KHz beträgt. Bevorzugt besitzt die Messspannung einen im Wesentlichen sinusförmigen Verlauf.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels mit Bezug auf die beigefügten Zeichnungen weiter beschrieben. Es stellen dar:

- Fig. 1 ein teilweises Ersatzschaltbild eines Einspritzsystems an einer Brennkraftmaschine,
- 15 Fig. 2 eine schematische Schnittdarstellung eines in dem Einspritzsystem verwendeten Kraftstoffventils, und
- Fig. 3 zwei Darstellungen, die den zeitlichen Verlauf der Ventilstellung (Fig. 3 oben) und einer zugeordneten Messsignalamplitude (Fig. 3 unten) zeigen.

Fig. 1 zeigt ein Ersatzschaltbild von wesentlichen Komponenten einer Schaltungsanordnung zum Betreiben einer Injektoranordnung zum Einspritzen von Kraftstoff bei einer Brennkraftmaschine. Wenngleich diese Brennkraftmaschine mehrere Zylinder mit jeweils einem oder mehreren Injektoren pro Zylinder aufweisen kann, so ist der Klarheit der Darstellung halber das Schaltbild lediglich im Hinblick auf den Betrieb eines dieser Injektoren ausgeführt.

Dieser Injektor weist einen Piezoaktuator auf, der in Fig. 1 rechts oben durch dessen Kapazität C_{piezo} und dessen Serienwiderstand R_{piezo} dargestellt ist. Der parallel dazu geschaltete Widerstand R_5 ist an dem Piezoelement bereits vor dessen Einbau in den Injektor angeordnet und schützt den Piezokristall vor einer Beschädigung durch eine etwaige elektrostatische Aufladung bei der Montage. In an sich bekannter Weise kann durch Laden und Entladen des Piezoelements ein zur Betätigung eines Kraftstoffventils geeignetes Ausdehnen und Zusammenziehen des Piezokristalls angesteuert werden. Diese Ansteuerung erfolgt durch Zufuhr einer Ansteuerspannung über ein Leitungspaar bestehend aus einer ersten Leitung PL1 und einer zweiten Leitung PL2.

Dieses Leitungspaar PL1, PL2 verbindet in einem Kraftfahrzeug die in einem Steuergerät zusammengefassten Komponenten (Fig. 1 links) mit dem betreffenden Injektor (Fig. 1 rechts), wobei während der Ansteuerung des dargestellten Piezoaktuators die zweite Leitung PL2 innerhalb des Steuergeräts über einen Schalter S3 und weiter über eine Spule L3 (eingezeichnet mit deren Serienwiderstand R_6) mit einem Masseanschluss GND des Kraftfahrzeugs verbunden wird. Auch für die weiteren, nicht dargestellten Injektoren ist jeweils eine zweite Leitung bzw. Masseleitung vorgesehen, in welcher ein dem Schalter S3 entsprechender Auswahlwechsler angeordnet ist, mittels welchem die Leitung wahlweise unterbrochen werden kann. Somit ermöglicht die Auswahlwechsleranordnung eine wahlweise Zufuhr der Ansteuerspannung zu jedem der Injektoren.

Was die erste Leitung PL1 ("high side") anbelangt, so könnte diese Leitung für alle angeschlossenen Injektoren genutzt werden. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist jedoch vorgesehen, dass für jeden Injektor ein separates Leitungs-

paar, also auch eine separate erste Leitung, vorgesehen ist. Die in Fig. 1 nicht dargestellten, zu den nicht dargestellten Injektoren führenden ersten Leitungen zweigen innerhalb des Steuergeräts von einem Schaltungsknoten K1 ab und führen jeweils über eine einer in Fig. 1 ersichtlichen Spule L2 entsprechenden Spule zu dem jeweiligen Injektor. Die übrigen Injektoren besitzen denselben Aufbau wie der in Fig. 1 rechts beispielhaft dargestellte Injektor.

10 Mittels des in Fig. 1 links oben dargestellten Schaltungsteils wird der Piezoaktuator Cpiezo über die Leitung PL1 geladen (Aktivierung) und entladen (Deaktivierung). Die Zeitpunkte für die Aktivierung und Deaktivierung von jedem Injektor werden in an sich bekannter Weise durch einen Motorsteuerungsteil des Steuergeräts festgelegt. Auf Grundlage dieser festgelegten Ansteuerungszeitpunkte werden ein Ladeschalter S1 und ein Entladeschalter S2 geeignet angesteuert, um in an sich bekannter Weise eine so genannte Umschwingendstufe zur Erzeugung des auf die Leitung PL1 zu gebenden Ansteuerstroms
15 eine solche Schaltungsanordnung ist beispielsweise in der DE 197 23 932 A1 offenbart zu betreiben. Vereinfacht ausgedrückt wird die in einem Speicherkondensator C1 gespeicherte elektrische Energie periodisch, nämlich zu den gewünschten Ansteuerzeitpunkten, über einen Umladekondensator C2, eine
25 Umschwingspule L1 und weiter über die Leitung PL1 zu der Kapazität Cpiezo übertragen. Bei der Deaktivierung des Aktuators (Entladung von Cpiezo) schwingt die im Piezoelement gespeicherte elektrische Energie wieder zurück und lädt den Umladekondensator C2 wieder auf. Mit Vdc ist in Fig. 1 eine
30 Gleichspannungsquelle (z. B. DC/DC-Wandler) bezeichnet, welche zum Ausgleich von ohmschen Verlusten bei diesen Umschwingvorgängen vorgesehen ist.

Das mittels des Piezoaktuators betätigbare Kraftstoffventil besitzt zwei Kontaktschalter S5, S6, deren Schaltzustände repräsentativ für die Stellung eines Ventilkörpers relativ zu einem Ventilsitz des Kraftstoffventils sind. Diese in Fig. 1 rechts eingezeichneten Schalter S5, S6 sind als Ventilsitzschalter (S5) und als Ventilanschlagschalter (S6) ausgebildet, d. h. der Schalter S5 ist nur geschlossen, wenn der Ventilkörper auf dem Ventilsitz aufliegt (Kraftstoffventil geschlossen), und der Schalter S6 ist nur geschlossen, wenn der Ventilkörper vom Ventilsitz abgehoben ist und gegen einen dessen Öffnungsbewegung begrenzenden Anschlag anliegt (Kraftstoffventil voll geöffnet). Der in Fig. 1 parallel zu dieser Kontaktschalteranordnung S5, S6 eingezeichnete Widerstand R9 modelliert den in der Praxis nicht ganz zu vernachlässigenden Isolationswiderstand.

Die Kontaktschalteranordnung S5, S6 dient dazu, eine von dem Steuergerät auf die zweite Leitung PL2 eingekoppelte Wechselspannung in Abhängigkeit von den Schaltzuständen der Kontaktschalter S5, S6 auszukoppeln. Zu diesem Zweck ist im Verlauf der Leitung PL2 im Bereich des Injektors ein "Auskoppelpunkt" K2 vorgesehen, von welchem ein Auskoppelpfad zur Fahrzeugmasse GND hin verläuft, dessen Impedanz abhängig von den Schaltzuständen ist. Im dargestellten Beispiel besteht der Auskoppelpfad aus einer Serienschaltung eines Auskoppelkondensators C4, eines einen realen Serienwiderstand modellierenden Widerstands R8 sowie der bereits erwähnten Kontaktschalteranordnung S5, S6, R9.

Das zur Detektion der Schaltzustände verwendete Messsignal (Wechselspannung) wird im Verlauf der zweiten Leitung PL2 im Bereich des Steuergeräts an einem Schaltungsknoten K3 eingekoppelt. Zu diesem Zweck ist zwischen der Fahrzeugmasse GND

und diesem Einkoppelpunkt K3 eine Serienschaltung bestehend aus einer Wechselspannungsquelle V_{rf} , eines Messsignalaktivierungsschalters S4, eines Einkoppelkondensators C3 und eines ohmschen Anteil der Impedanz des Kondensators C3 modellierenden Widerstands R7 angeordnet. Die Wechselspannungsquelle V_{rf} liefert eine hochfrequente (z. B. 1 MHz), sinusförmige Wechselspannung mit einer geeignet gewählten Amplitude, die bei geschlossenem Schalter S4 über den Einkoppelkondensator C3 zum Einkoppelpunkt K3 und somit auf die Leitung PL2 gelangt. Die oben bereits erwähnte Spule L3 (mit einem ohmschen Anteil R6) dient dazu, einen Wechselstrom-Kurzschluss des eingekoppelten Messsignals auf Masse zu verhindern bzw. an dieser Stelle einen Ableitungspfad relativ hoher Impedanz für das eingespeiste Messsignal zu realisieren. Die Spule L3 ist hierbei geeignet zu dimensionieren, so dass das eingekoppelte Wechselspannungssignal die ebenfalls über die Leitung PL2 realisierte Ansteuerung des Piezoaktuator nicht nachteilig beeinflusst. Bei angesteuertem Piezoaktor läuft die wechselförmige Messsignalspannung gewissermaßen entgegen der Ansteuerstromrichtung über die Leitung PL2 und wird im Bereich des Injektors über den Auskoppelkondensator C4 wieder mehr oder weniger (abhängig von den Schaltzuständen der Kontaktschalter S5, S6) zur Fahrzeugmasse GND hin ausgekoppelt.

25

Da das Injektorgehäuse aufgrund des Einbaus in der Brennkraftmaschine üblicherweise ohnehin elektrisch mit der Fahrzeugmasse verbunden wird, können die Kontaktschalter S5, S6 vorteilhaft in einfacher Weise dadurch realisiert werden, dass der Ventilkörper, z. B. eine Ventилnadel, elektrisch kontaktiert wird und über den Auskoppelkondensator C4 mit der ohnehin zum Injektor führenden Ansteuerleitung PL2 verbunden wird. Der Ventilkörper bildet somit die in Fig. 1 oberen An-

30

14

schlüsse der Schalter S5, S6. Die unteren Schalteranschlüsse werden dann von dem Ventilsitz und einem vom Ventilsitz entfernt angeordneten Anschlag gebildet, die wie erwähnt naturgemäß bereits mit der Fahrzeugmasse GND verbunden sind.

5

Fig. 2 zeigt schematisch in einer Schnittansicht einige Teile eines mit der Schaltungsanordnung von Fig. 1 betriebenen Kraftstoffventils 10, nämlich eine Ventilmadel 12, einen Ventilsitz 14, gegen welchen ein unteres Ende der Ventilmadel 12 bei geschlossenem Ventil anliegt, sowie einen Anschlagring 16, gegen den ein oberer Umfangsrandabschnitt der Ventilmadel 12 bei Vollöffnung des Ventils anschlägt.

Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist das Ventil 10 normalerweise (ohne Aktivierung des Piezoaktuators) geschlossen aufgrund einer Differenz von Kraftstoffdruckkräften, die einerseits im Bereich der Ventilmadelspitze und andererseits im Bereich eines oberen Ventilmadelendes auf die Ventilmadel 12 einwirken. Wird der Piezoaktor angesteuert, so wird (beispielsweise durch Öffnung einer Kraftstoffrücklaufpassage innerhalb des Injektors) der Druck im Bereich des oberen Ventilmadelendes reduziert, wodurch der Druck an der Spitze der Ventilmadel 12 das Übergewicht erhält, so dass die Ventilmadel 12 aus dem Ventilsitz 14 nach oben bewegt wird. Abweichend vom dargestellten Ausführungsbeispiel sind selbstverständlich auch andere Ausführungen möglich, bei denen der Aktuator zum Schließen des Ventils aktiviert wird, wohingegen die Öffnung des Ventils passiv erfolgt (z. B. vom Kraftstoffdruck getrieben).

30

Bei dem in Fig. 2 dargestellten Ventil 10 sind der Ventilsitz 14 und der Anschlagring 16 über das nicht dargestellte Injektorgehäuse mit der Fahrzeugmasse verbunden, wohingegen die

Ventilnadel 12 in an sich bekannter Weise davon isoliert im Injektorgehäuse geführt ist und beispielsweise über eine Stösselanordnung elektrisch kontaktiert ist, die sich durch eine zentrale Durchgangsöffnung 18 des Anschlagrings 16 hin-
5 durch erstreckt. Diese elektrische Kontaktierung der Ventilnadel 12 führt über den Auskoppelkondensator C4 (Fig. 1) an den masseseitigen Steueranschluss des Piezoaktuators. Die Anpassung des im Rahmen der Erfindung zu verwendenden Injektors gegenüber einem herkömmlichen Injektor besteht im Wesentli-
10 chen lediglich darin, den Ventilkörper über einen geeigneten Impedanzpfad, enthaltend wenigstens einen Kondensator, mit dem masseseitigen Anschluss des Ventilaktuators zu verbinden.

Fig. 3 zeigt auf einer gemeinsamen Zeitachse (Zeit t) einen
15 typischen Verlauf des Verstellwegs s (Fig. 3 oben) der Ventilnadel 12 für einen Einspritzvorgang sowie die dabei an dem Schaltungsknoten K3 zu messende Amplitude A (Fig. 3 unten) des eingekoppelten Wechselspannung-Messsignals.

20 Zu einem Zeitpunkt t_1 , welcher von der im Steuergerät befindlichen Motorsteuerung kurz vor der Aktivierung des Aktuators liegend festgelegt wird, wird der Messspannungaktivierungsschalter S4 geschlossen und somit die Messspannung auf die Masseleitung PL2 eingekoppelt. Das Kraftstoffventil 10 ist
25 hierbei noch geschlossen ($s=0$), so dass der Ventilsitzschalter S5 geschlossen ist. Über den Schalter S5 wird somit das Messsignal im Bereich des Injektors wieder stark ausgekoppelt, so dass die am Knoten K3 gemessene Signalamplitude A einen relativ kleinen Wert annimmt. Hierbei ist der Auswahl-
30 schalter S3 bereits geschlossen.

Nun wird, zu einem Zeitpunkt t_2 , der Piezoaktuator über das Ansteuerleitungspaar PL1, PL2 aktiviert, um die Öffnungsbewe-

gung der Ventilnadel 12 einzuleiten. Daraufhin hebt die Vent
tilnadel 12 vom Ventilsitz 14 ab, so dass der Schalter S5
öffnet. Dies führt zu einem sprunghaften Anstieg der Signal-
amplitude A. Die Erfassung dieses sprunghaften Anstiegs ges-
tattet die genaue Bestimmung desjenigen Zeitpunkts (etwa t_2),
5 zu welchem das Ventil 10 öffnet.

Zu einem Zeitpunkt t_3 gelangt das Ventil 10 in dessen Maxi-
malöffnungsstellung (s maximal), d. h. das obere Ende der
10 Ventilnadel 12 schlägt an dem Anschlagring 16 an. Dies bedeu-
tet, dass der Anschlagschalter S6 nun geschlossen wird und
die Signalamplitude A wieder sprunghaft auf einen relativ
kleinen Wert sinkt. Abhängig von den Eigenschaften der Kon-
taktschalteranordnung, insbesondere der ohmschen Übergangswi-
15 derstände der Kontaktschalter S5, S6, kann dieser Wert von
dem Wert der Amplitude A während des Intervalls von t_1 bis t_2
abweichen.

Zu einem Zeitpunkt t_4 wird der Piezoaktuator deaktiviert, um
20 den Ventilschließvorgang einzuleiten. Daraufhin öffnet der
Schalter S6 wieder, so dass die Amplitude A nochmals auf ei-
nen relativ großen Wert ansteigt.

Zu einem Zeitpunkt t_5 gelangt die Spitze der Ventilnadel 12
25 wieder in Kontakt mit dem Ventilsitz 14, so dass der Schalter
S5 schließt und die Amplitude A wieder auf einen relativ
kleinen Wert absinkt.

Die Auswertung des zeitlichen Verlaufs der Signalamplitude A
30 gestattet somit die Bestimmung einer Mehrzahl von Zeitpunkten
(t_2 , t_3 , t_4 und t_5), aus welchen sich der Verlauf der Ventil-
körperbewegung sehr gut rekonstruieren lässt. Demzufolge kön-
nen sehr genaue Aussagen über den zeitlichen Verlauf der Ein-

spritzrate sowie der Einspritzmenge gemacht werden, welche im Rahmen der Motorsteuerung zur Optimierung von Betriebseigenschaften der Brennkraftmaschine herangezogen werden können.

- 5 Um die Messspannung nicht unnötig lange einzukoppeln bzw. deren nachteilige Wirkung auf die Kontaktschalter S5, S6 zu begrenzen, wird schließlich zu einem Zeitpunkt t_6 der Schalter S4 wieder geöffnet. Die Festlegung dieses Zeitpunkts t_6 kann beispielsweise basierend auf der Erfassung des Zeitpunkts t_5
10 erfolgen, insbesondere kurz nach diesem Zeitpunkt T_5 liegend festgelegt werden.

- Das beschriebene Ausführungsbeispiel realisiert eine einfache und kostengünstige Art zur Detektion der Ventilmadelstellung.
15 Insbesondere ist am Injektor kein weiterer Anschluss zur Messsignalankopplung erforderlich. Es kann eine aufwändige und kostenintensive Anpassung der Verkabelung zwischen einem Steuergerät und der Injektoranordnung vermieden werden. Die Verwendung einer Wechselspannung als Messsignal minimiert
20 hierbei die Gefahr einer elektrolytischen Korrosion an den Kontaktstellen des Ventilkörpers. Durch eine genügend hohe Messsignalfrequenz kann zudem die Forderung nach einer ausreichend kurzen Antwortzeit der Detektion erfüllt werden. Durch die Verwendung des Ventilkörpers und Abschnitten eines
25 Injektorgehäuses als Kontaktschalter ist die Konstruktion des Injektors sehr einfach. Insbesondere sind keine besonderen, zusätzlichen Bauteile nötig, welche die Dichtheit des Ventil nachteilig beeinflussen könnten.

- 30 In relativ einfacher Weise können aus den gewonnenen Informationen betreffend Einspritzbeginn, Einspritzverlauf und Einspritzende der Einspritzverlauf und die Gesamteinspritzmenge bestimmt werden. Eine bevorzugte Anwendung der Erfindung

liegt im Bereich von Dieseleinspritzsystemen mit Piezo-
Injektoren. Die Erfindung erlaubt den Aufbau einer Regelung
von Einspritzzeitpunkten und Einspritzmengen und eignet sich
insbesondere auch für Einspritzsysteme, bei welchen unter be-
5 stimmten Betriebsbedingungen sehr kleine Einspritzmengen vor-
gesehen werden sollen.

Patentansprüche

1. Schaltungsanordnung zum Betreiben einer Injektoranordnung zum Einspritzen von Kraftstoff bei einer Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs,

wobei die Injektoranordnung einen oder mehrere Injektoren aufweist, die jeweils aus einem elektrisch ansteuerbaren Aktuator (Cpiezo, Rpiezo) und einem mittels des Aktuators betätigbaren Kraftstoffventil (10) gebildet sind, wobei jedes Kraftstoffventil (10) wenigstens einen Kontaktschalter (S5, S6) aufweist, dessen Schaltzustand die Stellung eines Ventilkörpers (12) relativ zu einem Ventilsitz (14) repräsentiert,

wobei die Schaltungsanordnung dazu ausgebildet ist, wahlweise jedem der Injektoren eine Ansteuerspannung zum Ansteuern des Aktuators (Cpiezo, Rpiezo) über ein Leitungspaar bestehend aus einer ersten Leitung (PL1) und einer zweiten Leitung (PL2) zuzuführen, wobei die zweite Leitung zumindest während der Ansteuerung des jeweiligen Aktuators mit einer Masse (GND) des Kraftfahrzeugs verbunden ist,

wobei die Schaltungsanordnung dazu ausgebildet ist, wahlweise jedem der Injektoren eine Messspannung zum Detektieren des Schaltzustands des Kontaktschalters (S5, S6) zuzuführen,

wobei in der zweiten Leitung (PL2) eine Spule (L3) mit einem masseseitigen Spulenanschluss und einem injektorseitigen Spulenanschluss (K3) angeordnet ist,

wobei eine Wechselspannungsquelle (Vrf) in Serienschaltung mit einem Einkoppelkondensator (C3) zwischen der Kraftfahrzeugmasse (GND) und dem injektorseitigen Spulenanschluss (K3) angeordnet ist, um eine als die Messspannung dienende Wechselspannung an einem durch den injektorseitigen Spulenanschluss gebildeten Einkoppelpunkt auf die zweite Leitung (PL2) einzukoppeln, und

wobei ein Auskoppelkondensator (C4) in Serienschaltung mit dem Kontaktschalter (S5, S6) zwischen dem injektorseitigen Ende (K2) der zweiten Leitung (PL2) und der Kraftfahrzeugmasse (GND) angeordnet ist, um die Wechselspannung an einem durch das injektorseitige Ende (K2) der zweiten Leitung (PL2) gebildeten Auskoppelpunkt von der zweiten Leitung in Abhängigkeit von dem Schaltzustand des Kontaktschalters (S5, S6) auszukoppeln.

2. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, ausgebildet als Steuergerät mit einer Leitungsanordnung (PL1, PL2) zum Anschluss einer im Kraftfahrzeug von dem Steuergerät entfernt angeordneten Injektoranordnung, wobei der Einkoppelpunkt (K3) im Bereich des Steuergeräts und der Auskoppelpunkt (K2) im Bereich der Injektoranordnung angeordnet ist.
3. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Injektoren als Piezoinjektoren ausgebildet sind.
4. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, 2 oder 3, wobei Kontakte des Kontaktschalters (S5) gebildet sind durch den Ventilkörper (12) und den Ventilsitz (14) des jeweiligen Kraftstoffventils (10).

5. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei Kontakte des Kontaktschalters (S6) gebildet sind durch den Ventilkörper (12) und einen von dem Ventilsitz (14) entfernt angeordneten Ventilkörperanschlag (16) des jeweiligen Kraftstoffventils (10).
- 5
6. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei für jeden Injektor ein separates Leitungspaar (PL1, PL2) vorgesehen ist.
- 10
7. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, zum Betreiben einer Injektoranordnung mit mehreren Injektoren, wobei für jeden Injektor eine separate zweite Leitung (PL2) vorgesehen ist und zwischen dem Einkoppelpunkt (K3) und dem Auskoppelpunkt (K2) der zweiten Leitungen (PL2) jeweils ein Injektorauswahlschalter (S3) angeordnet ist, mittels welchem wahlweise jede der zweiten Leitungen (PL2) unterbrochen werden kann.
- 15
8. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, ausgebildet zur wahlweisen Einkopplung der Wechselspannung in vorbestimmten Zeitabschnitten (t_1 bis t_6), in denen ein Wechsel (t_2 , t_3 , t_4 , t_5) des Schaltzustands zu erwarten ist.
- 20
9. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Frequenz der Wechselspannung mindestens das Zehnfache der im Betrieb der Injektoranordnung für jeden Injektor zu erwartenden Maximalansteuerfrequenz ist.
- 25
10. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei die Frequenz der Wechselspannung mindestens 10 KHz, insbesondere mindestens 100 KHz beträgt.
- 30

11. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei die Wechselspannung im Wesentlichen sinusförmig ist.

5

12. Verfahren zum Betreiben einer Injektoranordnung zum Einspritzen von Kraftstoff bei einer Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs,

10 wobei die Injektoranordnung einen oder mehrere Injektoren aufweist, die jeweils aus einem elektrisch ansteuerbaren Aktuator (Cpiezo, Rpiezo) und einem mittels des Aktuators betätigbaren Kraftstoffventil (10) gebildet sind, wobei jedes Kraftstoffventil (10) wenigstens einen Kontakt-

15 schalter (S5, S6) aufweist, dessen Schaltzustand die Stellung eines Ventilkörpers (12) relativ zu einem Ventilsitz (14) repräsentiert,

wobei wahlweise jedem der Injektoren eine Ansteuerspannung zum Ansteuern des Aktuators (Cpiezo, Rpiezo) über

20 ein Leitungspaar bestehend aus einer ersten Leitung (PL1) und einer zweiten Leitung (PL2) zugeführt wird, wobei die zweite Leitung zumindest während der Ansteuerung des jeweiligen Aktuators mit einer Masse (GND) des Kraftfahr-

25 zeugs verbunden ist,

wobei jedem der Injektoren eine Messspannung zum Detektieren des Schaltzustands des Kontaktschalters zugeführt wird,

30

wobei die Zufuhr der Ansteuerspannung über eine in der zweiten Leitung (PL2) angeordnete Spule (L3) mit einem masseseitigen Spulenanschluss und einem injektorseitigen

Spulenanschluss (K3) erfolgt,

wobei eine als die Messspannung dienende Wechselspannung an einem durch den injektorseitigen Spulenanschluss (K3) gebildeten Einkoppelpunkt auf die zweite Leitung (PL2) eingekoppelt wird unter Verwendung einer Wechselspannungsquelle (Vrf), die in Serienschaltung mit einem Einkoppelkondensator (C3) zwischen der Fahrzeugmasse (GND) und dem injektorseitigen Spulenanschluss (K3) angeordnet ist, und

wobei die Wechselspannung an einem durch das injektorseitige Ende (K2) der zweiten Leitung (PL2) gebildeten Auskoppelpunkt von der zweiten Leitung in Abhängigkeit von dem Schaltzustand des Kontaktschalters (S5, S6) ausgekoppelt wird über einen Auskoppelkondensator (C4), der in Serienschaltung mit dem Kontaktschalter (S5, S6) zwischen dem injektorseitigen Ende (C4) der zweiten Leitung (PL2) und der Fahrzeugmasse (GND) angeordnet ist.

20

13. Injektor zum Einspritzen von Kraftstoff bei einer Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs,

wobei der Injektor aus einem elektrisch ansteuerbaren Aktuator und einem mittels des Aktuators betätigbaren Kraftstoffventil (10) gebildet ist, wobei das Kraftstoffventil wenigstens einen Kontaktschalter (S5, S6) aufweist, dessen Schaltzustand die Stellung eines Ventilkörpers (12) relativ zu einem Ventilsitz (14) repräsentiert,

30

wobei der Injektor ein Anschlusspaar zur Zufuhr einer Ansteuerspannung zum Ansteuern des Aktuators aufweist,

24

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s

der Kontaktschalter (S5, S6) einerseits mit einem Masse-
anschluss des Injektors und andererseits über einen Kon-
5 densator (C4) mit einem der beiden Ansteueranschlüsse des
Injektors elektrisch verbunden ist, um die Auskopplung
einer an diesem Anschluss anliegenden Wechselspannung in
Abhängigkeit von dem Schaltzustand des Kontaktschalters
(S5, S6) zu ermöglichen.

10

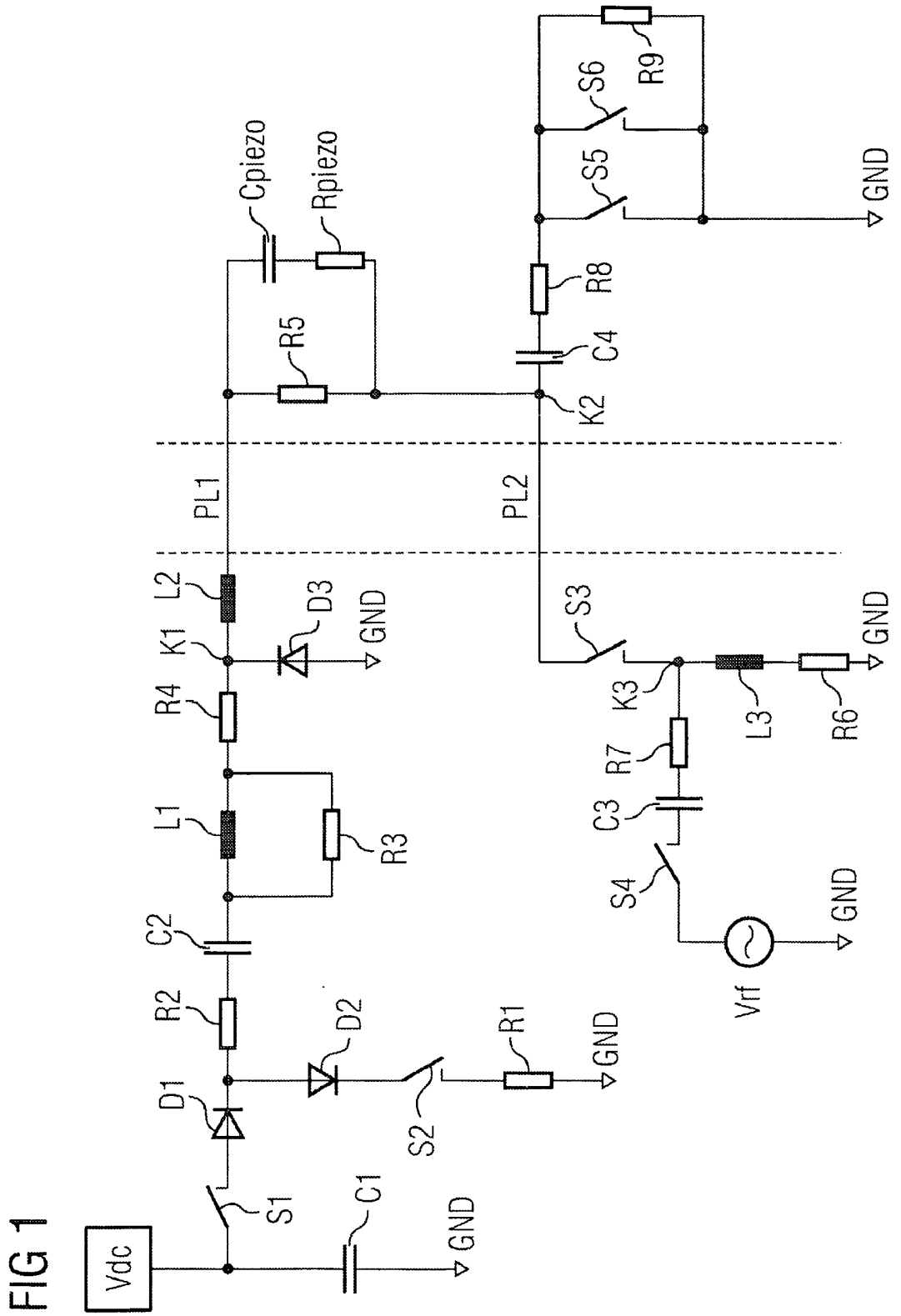


FIG 1

FIG 2

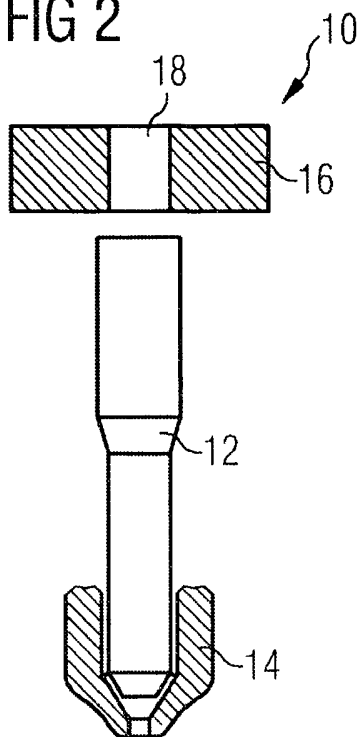


FIG 3

