

(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
23. Juli 2009 (23.07.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/089941 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 41/04 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/065372

(22) Internationales Anmeldedatum:
12. November 2008 (12.11.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2008 004 705.8 16. Januar 2008 (16.01.2008) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH**
[DE/DE]; Vahrenwalder Strasse 9, 30165 Hannover (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **AUGESKY, Christian**
[AT/AT]; Schrankenberggasse 18-20/2/22, A-1100 Wien
(AT).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **CONTINENTAL AUTOMO-
TIVE GMBH**; Postfach 22 16 39, 80506 München (DE).

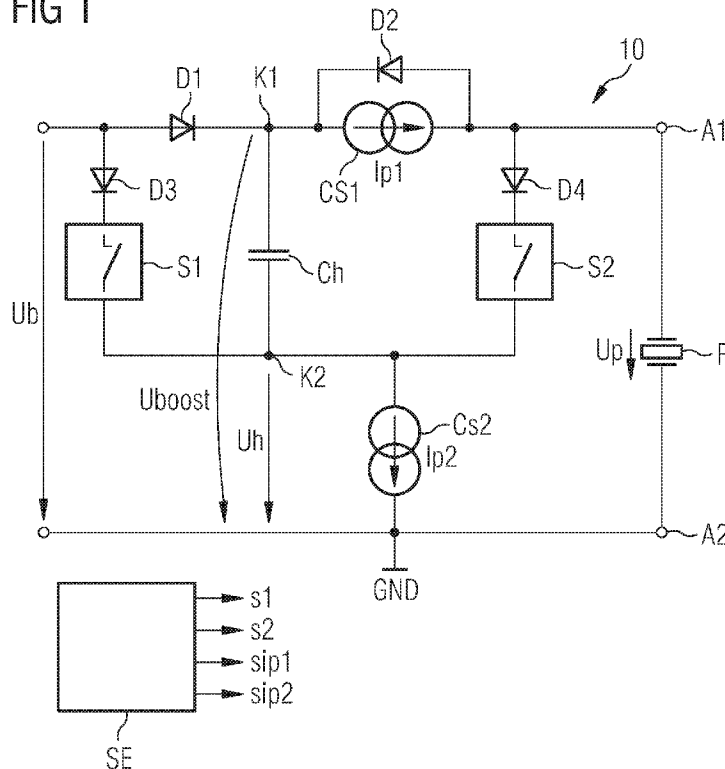
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM,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

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: CIRCUIT ARRANGEMENT AND METHOD FOR CHARGING AND DISCHARGING A CAPACITIVE LOAD

(54) Bezeichnung: SCHALTUNGSANORDNUNG UND VERFAHREN ZUM AUFLADEN UND ENTLADEN EINER KAPA-
ZITIVEN LAST

FIG 1



(57) Abstract: The invention relates to a circuit arrangement (10) and a method for charging and discharging a capacitive load (P), in particular of a piezo actuator for a fuel injection valve of an internal combustion engine, for the purposes of enabling the charging and discharging of the load (P) with a good efficiency and low circuit complexity. The basic idea of the invention involves combining the positive properties of a 'linear final stage', i.e. energization of the load from an adjustable current source (CS), with the high efficiency of a 'switched final stage' (using an inductance as the energy storage means). According to the invention, each of the charging and discharging processes takes place in two temporally successive phases (a, b, and c, d), wherein the load (P) is charged to the desired final voltage during a second charging phase (b) from a series circuit of a voltage source and a capacitor (Ch). The load (P) is partially discharged to the capacitor (Ch) during a first discharging phase (c), wherein advantageously an energy recovery takes place in this capacitor.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/089941 A1



(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, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,

MC, MT, NL, NO, 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:

— mit internationalem Recherchenbericht

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung (10) sowie ein Verfahren zum Aufladen und Entladen einer kapazitiven Last (P), insbesondere eines Piezoaktors für ein Kraftstoff-Einspritzventil einer Brennkraftmaschine, und zielt darauf ab, das Auf- und Entladen der Last (P) mit gutem Wirkungsgrad und geringem schaltungstechnischen Aufwand zu ermöglichen. Die Grundidee der Erfindung besteht darin, die positiven Eigenschaften einer 'linearen Endstufe', d. h. einer Bestromung der Last aus einer einstellbaren Stromquelle (CS), mit dem hohen Wirkungsgrad einer 'geschalteten Endstufe' (unter Nutzung einer Induktivität als Energiespeicher) zu verbinden. Erfindungsgemäß erfolgen die Auflade- und Entladevorgänge jeweils in zwei zeitlich aufeinander folgenden Phasen (a, b bzw. c, d), wobei während einer zweiten Aufladephase (b) die Last (P) aus einer Reihenschaltung einer Spannungsquelle und eines Kondensators (Ch) auf die gewünschte Endspannung aufgeladen wird. Während einer ersten Entladephase (c) wird die Last (P) in den Kondensator (Ch) teilweise entladen, wobei vorteilhaft eine Energierückspeicherung in diesen Kondensator erfolgt.

Beschreibung

Schaltungsanordnung und Verfahren zum Aufladen und Entladen einer kapazitiven Last

5

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung sowie ein Verfahren zum Aufladen und Entladen einer kapazitiven Last, insbesondere eines Piezoaktors für ein Kraftstoff-Einspritzventil einer Brennkraftmaschine.

10

Derartige Schaltungsanordnungen und Verfahren sind beispielsweise aus der DE 199 44 733 A1, der DE 198 14 594 A1 und der DE 199 52 950 A1 bekannt.

15

Insbesondere die in letzter Zeit strenger gewordenen Abgasnormen für Motoren haben in der Kraftfahrzeugindustrie die Entwicklung von Kraftstoffinjektoren mit schnell und verzögerungsfrei ansprechenden Stellgliedern bzw. Aktoren ausgelöst. Bei der praktischen Realisierung derartiger

20

Stellglieder haben sich insbesondere piezoelektrische Elemente (kurz: Piezoaktoren) als vorteilhaft erwiesen.

Derartige Piezoelemente sind üblicherweise als ein Stapel von Piezokeramikscheiben zusammengesetzt, die über eine elektrische Parallelschaltung betrieben werden, um die für

25

einen ausreichenden Hub notwendigen elektrischen Feldstärken erreichen zu können.

Beim Ansteuern einer kapazitiven Last wie eines Piezoaktors, der zur Betätigung eines Einspritzventils Verwendung findet,

30

d. h. beim Aufladen und Entladen der kapazitiven Last mittels eines elektrischen Laststromes, werden erhebliche Anforderungen an die Ansteuerelektronik gestellt. Ein mittels eines Piezoaktors betätigtes Einspritzventil wird in

Brennkraftmaschinen zum Einspritzen von Kraftstoff (z. B. Benzin, Diesel etc.) in einen Brennraum eingesetzt. Hierbei werden sehr hohe Anforderungen an ein exaktes und reproduzierbares Öffnen und Schließen des Ventils und damit auch an die Ansteuerelektronik gestellt. So müssen dabei Spannungen im Bereich von bis zu mehreren 100 V und kurzzeitig Lastströme zum Laden und Entladen von mehr als 10 A bereitgestellt werden. Die Ansteuerung erfolgt meist in Bruchteilen von Millisekunden. Gleichzeitig sollte während dieser Ladevorgänge und Entladevorgänge der Strom und die Spannung dem Stellglied möglichst kontrolliert zugeführt werden.

Eine Gemeinsamkeit der oben erwähnten bekannten Schaltungsanordnungen und Verfahren besteht darin, dass mittels geschalteter Speicherinduktivitäten die Energie portionenweise transportiert wird. Damit sind zwar gute Wirkungsgrade erreichbar, allerdings mit sehr großem Bauelementeaufwand. Es treten auch wesentlich höhere kurzzeitige Ströme auf als der Mittelwert des in den Piezoaktor fließenden Stromes. Dies bedingt entsprechend hoch belastbare Bauelemente, beispielsweise Halbleiter-Schaltelemente, Kondensatoren und Induktivitäten. Dies erfordert vergleichsweise große Baugruppen und stellt zudem erhebliche Ansprüche an die Komponenten- als auch Produktionstechnologien. Darüber hinaus bedingt der geschaltete Betrieb der Ansteuerstufen zumeist einen hohen Aufwand für die Filterung/Unterdrückung der dabei entstehenden hochfrequenten Störungen (EMV-Problematik).

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Weg zum Aufladen und Entladen einer kapazitiven Last aufzuzeigen,

3

mittels welchem ein guter Wirkungsgrad bei gleichzeitig geringem schaltungstechnischen Aufwand ermöglicht ist.

Gemäß der Erfindung wird diese Aufgabe durch eine
5 Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 bzw. ein Verfahren nach Anspruch 8 gelöst. Die abhängigen Ansprüche betreffen vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung.

Die erfindungsgemäße Schaltungsanordnung umfasst:

10

- eine Spannungsquelle zur Bereitstellung einer auf eine elektrische Masse bezogenen Versorgungsspannung,

15

- einen zwischen einem ersten Schaltungsknoten und einem zweiten Schaltungsknoten angeordneten Kondensator, wobei der erste Schaltungsknoten über eine Diode mit der Spannungsquelle verbunden ist und der zweite Schaltungsknoten über einen ersten Schalter mit der Spannungsquelle verbindbar ist,

20

- einen vom ersten Schaltungsknoten zu einem der Lastanschlüsse führenden ersten Strompfad und einen vom zweiten Schaltungsknoten zum anderen der Lastanschlüsse führenden zweiten Strompfad,

25

- eine in Reihenschaltung mit der Last angeordnete Stromeinstelleinrichtung, über welche die Last beim Aufladen und Entladen bestromt wird, und welche eine im ersten Strompfad und/oder eine im zweiten Strompfad
30 angeordnete Stromquelle umfasst,

- einen zweiten Schalter, über welchen der erste Strompfad mit dem zweiten Schaltungsknoten verbindbar

ist, und

- eine Steuereinrichtung zur Ansteuerung der Schalter und der Stromeinstelleinrichtung, derart, dass

5

a) während einer ersten Aufladephase beide Schalter geöffnet sind und die Last aus der Versorgungsspannung teilweise aufgeladen wird,

10

b) während einer zweiten Aufladephase der erste Schalter geschlossen und der zweite Schalter geöffnet ist und die Last aus der sich ergebenden Reihenschaltung der Spannungsquelle und des Kondensators weiter aufgeladen wird,

15

c) während einer ersten Entladephase beide Schalter geöffnet sind und die Last in den Kondensator teilweise entladen wird, und

20

d) während einer zweiten Entladephase der erste Schalter geöffnet und der zweite Schalter geschlossen ist und die Last in die elektrische Masse weiter entladen wird.

Die Grundidee der Erfindung besteht darin, die positiven
25 Eigenschaften einer "linearen Endstufe", d. h. einer Bestromung der kapazitiven Last aus einer einstellbaren Stromquelle, mit dem hohen Wirkungsgrad einer "geschalteten Endstufe" (z. B. Nutzung einer Induktivität als Energiespeicher im Zuge einer Umschwingfunktion, bei welcher
30 Energieportionen transportiert werden) zu verbinden.

Wie es aus dem unten noch detailliert beschriebenen Ausführungsbeispiel hervorgeht, ist bei der Erfindung die

Verwendung einer Speicher- bzw. Umschwinginduktivität entbehrlich. Dennoch ist ein hoher Wirkungsgrad erzielbar, insbesondere weil ein während der "ersten Entladephase" fließender Laststrom zur Rückspeisung von elektrischer

5 Energie in den Kondensator genutzt wird. Außerdem können Bauelemente wie der Kondensator und Halbleiter-Schaltelemente mit geringerer Belastbarkeit ausgelegt werden. Dies deshalb, weil eine notwendige maximale Aufladespannung für den Piezoaktor durch eine Spannungswandlung (im Wesentlichen

10 Spannungsverdopplung) mittels des Kondensators erreicht wird.

Bei der Realisierung der erfindungsgemäßen Grundidee ist von wesentlicher Bedeutung, dass jeder Aufladevorgang wie auch jeder Entladevorgang in zwei zeitlich aufeinander folgenden

15 Phasen erfolgt, nämlich einer ersten und zweiten Aufladephase bzw. einer ersten und zweiten Entladephase. Während der zweiten Aufladephase wird die Last aus einer Reihenschaltung der Spannungsquelle und des Kondensators auf die gewünschte Endspannung aufgeladen. Während der ersten Entladephase wird

20 die Last in den Kondensator teilweise entladen, wobei vorteilhaft eine Energierückspeicherung in diesen Kondensator erfolgt.

Insbesondere bei einer Anwendung im Bereich der

25 Automobilelektronik (z. B. zur Ansteuerung eines piezobetätigten Kraftstoff-Einspritzventils) kann die Spannungsquelle, welche die Versorgungsspannung bereitstellt, z. B. durch einen DC/DC-Spannungswandler gebildet sein. Beispielsweise kann damit eine Bordspannung (z. B. 12 V oder

30 24 V) in die Versorgungsspannung der Schaltungsanordnung gewandelt werden. In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Versorgungsspannung beispielsweise größer als 50 V. Die mit der Schaltungsanordnung erzeugte maximale Aufladespannung

für den Piezoaktor kann beispielsweise größer als 150 % der Versorgungsspannung sein und beispielsweise mehr als 100 V betragen.

5 Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform weist die Stromeinstelleinrichtung eine erste Stromquelle zum Aufladen der Last und separat davon eine zweite Stromquelle zum Entladen der Last auf. Eine Separation der Stromquellen für die Auf- und Entladung hat sich insbesondere im Hinblick auf
10 die schaltungstechnische Realisierung bzw. Einstellbarkeit der Stromquellen als vorteilhaft herausgestellt. Außerdem kann damit die im Bereich der Stromeinstellung entstehende Verlustleistung vorteilhaft in zumindest zwei Zweige aufgeteilt werden.

15 Eine Stromquelle im Sinne der vorliegenden Erfindung kann sehr einfach z. B. als Transistor (Feldeffekttransistor oder Bipolartransistor) ausgebildet sein, dessen Steueranschluss (Gate bzw. Basis) mit einem Ansteuersignal zur Festlegung des
20 durch den Transistor fließenden Stromes beaufschlagt wird.

Denkbar ist jedoch auch die Verwendung einer bidirektional betreibbaren Stromquelle, die in einer Richtung zum Aufladen und in der anderen Richtung zum Entladen bei der Einstellung
25 des Laststromes verwendet wird. Eine bidirektionale Stromquelle kann sehr einfach z. B. unter Verwendung von zwei parallel zueinander angeordneten Transistoren realisiert werden.

30 Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist eine zum Aufladen der Last vorgesehene Stromquelle im ersten Strompfad angeordnet und/oder ist eine zum Entladen der Last vorgesehene Stromquelle im zweiten Strompfad angeordnet.

Bevorzugt ist wenigstens einer der Schalter, insbesondere
sämtliche der Schalter, jeweils als Transistor ausgebildet.
Bevorzugt werden die Schalter (z. B. Transistoren) von einer
5 Steuereinrichtung angesteuert, welche auch die
Stromeinstelleinrichtung zur Festlegung des gelieferten
Stromes ansteuert (etwa durch Ausgabe von Steuerspannungen
für die betreffenden Transistoren).

10 Wenn wenigstens einer der Schalter als Transistor ausgebildet
ist, so kommt in Betracht, diesen Transistor nicht nur zum
Schalten zu verwenden, sondern auch als eine Komponente der
Stromeinstelleinrichtung. Mit anderen Worten bildet der
Transistor dann eine ein- und ausschaltbare Stromquelle im
15 Sinne der vorliegenden Erfindung, vereinigt also die Funktion
der Stromeinstellung und des Schaltens in sich.

Als Transistor, der als Schalttransistor oder als
Schalt/Stromeinstell-Transistor ausgebildet sein kann, kann
20 z. B. ein FET, insbesondere MOS-FET vorgesehen sein.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung erfolgt
die Aufladung und/oder die Entladung der Last geregelt.
Beispielsweise kann der momentane Laststrom und/oder die
25 momentan an der Last anliegende Spannung (Lastspannung)
während der Aufladung bzw. Entladung gemessen und mit einem
Sollwert verglichen werden, wobei auf Basis eines
Istwert/Sollwert-Vergleiches die Ansteuersignale für die
Schalter und die Stromquelle(n) erzeugt werden.

30

Durch die erste Aufladephase wird die Last bevorzugt im
Wesentlichen auf die Versorgungsspannung aufgeladen. Durch
die zweite Aufladephase wird die Last bevorzugt im

Wesentlichen auf das Doppelte der Versorgungsspannung aufgeladen. Durch die erste Entladephase wird die Last bevorzugt im Wesentlichen auf die Versorgungsspannung entladen. Durch die zweite Entladephase wird die Last
5 bevorzugt im Wesentlichen vollständig (auf "Null" bzw. elektrische Masse) entladen.

In einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass im ersten Strompfad eine Diode angeordnet ist, über welche der
10 Laststrom während der ersten Entladephase fließt. Parallel zu dieser Entladediode kann eine Stromquelle zum Aufladen der Last (in umgekehrter Stromflussrichtung) vorgesehen sein.

Weitere Dioden können vorteilhaft in Reihenschaltung mit dem
15 ersten Schalter und/oder mit dem zweiten Schalter angeordnet werden.

Die Erfindung kann vorteilhaft unter Verwendung einer einzigen Spannungsquelle (z. B. ein DC/DC-Wandler) realisiert
20 werden, deren gelieferte Versorgungsspannung vorteilhaft aufwärtsgewandelt wird, um bei der Aufladung der Last eine etwa doppelt so große Lastspannung erreichen zu können. Hierfür wird mit dem Kondensator gewissermaßen eine "Hilfsspannungsquelle" zur Spannungsüberhöhung geschaffen,
25 welche in der zweiten Aufladephase der eigentlichen Versorgungsspannung zugeschaltet wird.

Ein zur Erzeugung der Versorgungsspannung eingesetzter DC/DC-Wandler kann auf etwa "halber Spannung" (im Vergleich zur
30 gewünschten Maximalspannung an der Last) arbeiten, was die Anforderungen an die Schaltungskomponenten verringert und insbesondere den Einsatz von Komponenten mit niedrigerer

Maximalspannung ermöglicht. Für niedrigere Spannungen ist ein größeres und somit kostengünstigeres Bauteileangebot nutzbar.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung kann der
5 Kondensator auch als so genannte "Bootstrap"-Spannungsquelle
für Ansteuereinheiten zur Ansteuerung des ersten Schalters
und/oder des zweiten Schalters verwendet werden. Wegen der
(im Vergleich zur maximalen Lastspannung) relativ geringen
Versorgungsspannung können solche Ansteuerungsteile zur
10 Ansteuerung der beiden Schalter mit einfachen Mitteln
versorgt werden (lineare Stabilisierung).

Zusammenfassend kann mit der vorliegenden Erfindung eine
schaltungstechnisch einfache, kompakte und verlustarme
15 Realisierung der Auf- und Entladung einer kapazitiven Last
bereitgestellt werden. Wesentlich ist die Verwendung von zwei
verschiedenen Spannungen, von denen eine als
Versorgungsspannung bereitgestellt wird und die andere durch
einen Kondensator bereitgestellt wird und gewissermaßen als
20 Hilfsspannung bei jeweils in zwei Phasen ablaufenden
Ladevorgängen bzw. Entladevorgängen fungiert. Eine Verwendung
von "linearen Stromquellen" ermöglicht vorteilhaft nahezu
beliebige Auflade- bzw. Entladekurvenformen.

25 Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen mit Bezug auf die beigefügten Zeichnungen weiter beschrieben. Es stellen dar:

Fig. 1 eine Schaltungsanordnung zur Ansteuerung eines
30 Piezoaktors,

Fig. 2 den zeitlichen Verlauf einiger Größen im Betrieb
der Schaltungsanordnung von Fig. 1, und

Fig. 3 eine Endstufe zur Ansteuerung mehrerer
Piezoaktoren unter Verwendung der
Schaltungsanordnung von Fig. 1.

5

Fig. 1 zeigt eine Schaltungsanordnung 10 zur Ansteuerung
eines Piezoaktors P eines Kraftstoff-Einspritzventils einer
Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs. Die Ansteuerung
erfolgt durch Aufladen und Entladen des eine kapazitive Last
10 darstellenden Piezoaktors P.

Die Schaltungsanordnung 10 umfasst eine Spannungsquelle zur
Bereitstellung einer auf eine elektrische Masse GND bezogenen
Versorgungsspannung U_b . Im dargestellten Ausführungsbeispiel
15 beträgt U_b z. B. etwa 100 V.

Zwischen einem ersten Schaltungsknoten K1 und einem zweiten
Schaltungsknoten K2 ist ein Kondensator Ch angeordnet, wobei
der erste Schaltungsknoten K1 über eine Diode D1 mit der
20 Spannungsquelle verbunden ist und der zweite Schaltungsknoten
K2 über einen ersten Schalter S1 mit der Spannungsquelle
verbindbar ist. Die Diode D1 ist hierbei so gepolt, dass ein
Strom von der Spannungsquelle zum Schaltungsknoten K1 fließen
kann.

25

Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist außerdem eine
Diode D3 in Reihenschaltung zu dem ersten Schalter S1
angeordnet.

30 Zu Ausgangsanschlüssen A1 und A2 der Schaltungsanordnung 10,
die mit den beiden Lastanschlüssen des Piezoaktors P
verbunden sind, führt ausgehend vom Schaltungsknoten K1 ein

11

erster Strompfad bzw. ausgehend vom Schaltungsknoten K2 ein zweiter Strompfad.

Der erste Strompfad wird von einer ersten Stromquelle CS1 und
5 der zweite Strompfad von einer zweiten Stromquelle CS2
gebildet. Parallel zur ersten Stromquelle CS1, mittels
welcher ein Stromfluss vom Schaltungsknoten K1 zum
Ausgangsanschluss A1 eingestellt werden kann, ist eine Diode
D2 mit entgegengesetzter Flusspolung angeordnet. Mit der
10 zweiten Stromquelle CS2 kann ein Stromfluss vom
Schaltungsknoten K2 zum Ausgangsanschluss A2 eingestellt
werden, der mit der elektrischen Masse GND verbunden ist.

Die beiden Stromquellen CS1 und CS2 bilden eine in
15 Reihenschaltung mit dem Piezoaktor P angeordnete
Stromeinstelleinrichtung, über welche der Piezoaktor beim
Aufladen und Entladen bestromt wird. Im dargestellten
Ausführungsbeispiel umfasst diese Stromeinstelleinrichtung
die erste Stromquelle CS1 im ersten Strompfad und die zweite
20 Stromquelle CS2 im zweiten Strompfad.

Ferner umfasst die Schaltungsanordnung 10 einen zweiten
Schalter S2 (mit einer Diode D4 in Reihenschaltung dazu),
über welchen der erste Strompfad (zwischen der ersten
25 Stromquelle CS1 und dem Ausgangsanschluss A1) mit dem zweiten
Schaltungsknoten K2 verbindbar ist.

Die Schaltvorgänge im Betrieb der Schaltungsanordnung 10
werden unten noch detailliert beschrieben und werden durch
30 eine Steuereinrichtung SE bewirkt, welche hierfür
Steuersignale s1 (für den Schalter S1) und s2 (für den
Schalter S2) erzeugt und ausgibt.

12

Wenngleich dies der Einfachheit halber in der Figur nicht dargestellt ist, so sind die Schalter S1 und S2 bei diesem Ausführungsbeispiel durch Schalttransistoren (z. B. FETs) gebildet, deren Steueranschlüsse (z. B. Gates) mit dem Ansteuersignal s1 bzw. s2 versorgt werden.

Die Stromquellen CS1 und CS2 sind im dargestellten Ausführungsbeispiel ebenfalls jeweils als ein Transistor ausgebildet, dessen Steueranschluss mit einem Ansteuersignal sip1 bzw. sip2 beaufschlagt wird, welches ebenfalls von der Steuereinrichtung SE erzeugt wird. Anders als die Ansteuersignale s1 und s2 wird mit den Ansteuersignalen sip1 und sip2 kein Einschalten und Ausschalten der betreffenden Transistoren bewirkt, sondern jeweils ein bestimmter Laststrom Ip1 bzw. Ip2 beim Aufladen und Entladen im ersten bzw. zweiten Strompfad eingestellt.

Nachfolgend wird unter Heranziehung auch der Fig. 2 die Ansteuerung des Piezoaktors P mittels der Schaltungsanordnung 10 beschrieben.

Fig. 2 zeigt am Beispiel eines Ansteuerzyklus (eine Aufladung und eine nachfolgende Entladung) die Verläufe verschiedener Größen im Betrieb der Schaltungsanordnung 10 in Abhängigkeit von der Zeit t.

Im oberen Teil von Fig. 2 sind die Verläufe einer ersten Knotenspannung Uboost (zwischen K1 und GND), einer zweiten Knotenspannung Uh (zwischen K2 und GND) und der Last- bzw. Piezospannung Up eingezeichnet. Im unteren Teil von Fig. 2 ist der Verlauf des Laststromes Ip dargestellt, der beim Aufladen des Piezoaktors P vom Strom Ip1 und beim Entladen des Piezoaktors P vom Strom Ip2 gebildet wird.

Die Aufladung des Piezoaktors P erfolgt während einer Zeitspanne, die sich aus einer ersten Aufladephase "a" und einer sich unmittelbar daran anschließenden zweiten
5 Aufladephase "b" zusammensetzt.

Die Entladung des Piezoaktors P erfolgt während einer Zeitspanne, die sich aus einer ersten Entladephase "c" und einer zweiten Entladephase "d" zusammensetzt.
10

Die in Fig. 2 außerdem eingezeichneten Phasen S1on und S2on bezeichnen diejenigen Zeitspannen, in denen die Schaltelemente S1 bzw. S2 eingeschaltet sind.

15 Im dargestellten Ausführungsbeispiel soll der dargestellte, insgesamt trapezförmige Verlauf der Piezospannung U_p bewerkstelligt werden. Die einzelnen Phasen lassen sich wie folgt beschreiben:

20 Während der ersten Aufladephase "a" sind beide Schalter S1, S2 geöffnet und der Piezoaktor P wird aus der Versorgungsspannung U_b teilweise aufgeladen. Dabei steigt die Piezospannung U_p kontinuierlich an. Der konkrete Verlauf ist durch entsprechende Ansteuerung der Stromquelle CS1
25 einstellbar. Am Ende dieser Phase ist die Piezospannung U_p auf die Versorgungsspannung U_b abzüglich einer für die Funktion der Stromquelle CS1 notwendigen Mindestspannung (ΔU_{ip}) angestiegen.

30 Während der zweiten Aufladephase "b" ist der erste Schalter S1 geschlossen und der zweite Schalter S2 geöffnet und der Piezoaktor P wird aus der sich ergebenden Reihenschaltung der Spannungsquelle und des Kondensators Ch weiter aufgeladen.

14

Das Schließen von S1 hebt nämlich das Spannungsniveau am Eingang der Stromquelle CS1 mittels des auf die Versorgungsspannung U_b aufgeladenen Kondensators Ch auf etwa das Doppelte der Versorgungsspannung U_b . Der konkrete Verlauf der weiter ansteigenden Piezospannung U_p bzw. des in den Piezoaktor fließenden Laststromes wird wieder durch die entsprechende Ansteuerung der Stromquelle CS1 festgelegt.

Während der ersten Entladephase "c" sind beide Schalter S1, S2 geöffnet und der Piezoaktor P wird teilweise in den Kondensator Ch entladen. Diese teilweise Entladung erfolgt über die Diode D2 im ersten Strompfad und über die zweite Stromquelle CS2 im zweiten Strompfad. Dabei wird Energie aus dem Piezoaktor P in den Kondensator Ch zurückgeliefert. Der konkrete Verlauf der Piezospannung U_p bzw. des Laststromes I_{p2} wird durch die entsprechende Ansteuerung der Stromquelle CS2 festgelegt. Diese teilweise Entladung kann solange fortgesetzt werden, bis die Knotenspannung U_h auf die für die Funktion der Stromquelle CS2 notwendige Mindestspannung (ΔU_{ip}) gesunken ist oder die Piezospannung U_p auf das Niveau der Versorgungsspannung U_b gesunken ist.

Während der zweiten Entladephase "d" ist der erste Schalter S1 geöffnet und der zweite Schalter S2 geschlossen und wird der Piezoaktor P in die elektrische Masse GND weiter entladen. In dieser Phase ist der Piezoaktor P über die Diode D4, den Schalter S2 und die Stromquelle CS2 mit elektrischer Masse GND verbunden. Dies ermöglicht eine vollständige Entladung des Piezoaktors P. Am Ende (Zeitspanne T_n) dieser zweiten Entladephase wird auch das zuvor im Kondensator Ch entstandene "Ladungsdefizit" (Lade/Entlade-Wirkungsgrad in der Praxis ungleich 1) wieder ergänzt, wodurch (bei unverändertem Strom I_{p2}) die Steilheit des

15

Piezoentladestromes abgeflacht wird. Ist dieser Abflachungseffekt nicht erwünscht, so kann dies durch eine entsprechende Erhöhung des Entladestromes in dieser Schlussphase kompensiert werden.

5

Durch die beim Übergang von der ersten Ladephase zur zweiten Ladephase erfindungsgemäß vorgesehene Umschaltung der an der Stromquelle CS1 liegenden Spannung (von U_b auf U_b zuzüglich der Kondensatorspannung) ergibt sich für den Ladevorgang der Vorteil einer deutlich reduzierten Verlustleistung in der Stromquelle CS1. Eine entsprechende Wirkungsgradverbesserung ergibt sich auch für den Entladevorgang. Damit kann insgesamt ein Wirkungsgrad erzielt werden, der vergleichbar mit dem Wirkungsgrad bekannter Endstufenkonzepte ist.

15

Ein noch wesentlicherer Vorteil der beschriebenen Schaltungsanordnung bzw. des damit bewerkstelligten Ansteuerverfahrens liegt im Kostenbereich. Es lassen sich nämlich deutliche Einsparungen bei teuren Induktivitäten, Kondensatoren und Leistungshalbleitern erzielen. Insbesondere kann auf Grund der mittels der Schaltungsanordnung realisierten Spannungsüberhöhung bzw. Spannungsverdopplung ein DC/DC-Wandler, welcher die Versorgungsspannung U_b bereitstellt, auf etwa "halber Spannung" (im Vergleich zur gewünschten Maximalspannung am Piezoaktor) arbeiten, was die Verwendung kostengünstigerer Schaltungskomponenten (einschließlich derjenigen des DC/DC-Wandlers) gestattet. Viele Komponenten der Schaltungsanordnung müssen nur auf etwas mehr als die Versorgungsspannung U_b und nicht auf die volle maximale Piezospaltung U_p ausgelegt werden. Außerdem stellt die Schaltungsanordnung geringere Bauraumanforderungen und besitzt eine hohe Robustheit, was insbesondere bei so

30

16

genannter "Vorort-Elektronik" (z. B. im Motorraum eines Kraftfahrzeuges) von großer Bedeutung ist.

Eine Anordnung für mehrere kapazitive Lasten, beispielsweise mehrere piezobetätigte Kraftstoff-Einspritzventile bei einem Kraftfahrzeug, lässt sich in einfacher Weise z. B. durch masseseitige "Auswahlschalter" realisieren. Eine solche Schaltungsanordnung bzw. Endstufe zur Ansteuerung einer Mehrzahl von Piezoaktoren ist in Fig. 3 dargestellt.

10

Fig. 3 zeigt eine Endstufe 100 umfassend eine Schaltungsanordnung 10', die beispielsweise identisch zu der oben beschriebenen Schaltungsanordnung 10 ausgebildet sein kann und dementsprechend zwei Ausgangsanschlüsse A1 (versorgungsseitig) und A2 (masseseitig) aufweist.

15

Wie aus der Figur ersichtlich, ist der Ausgangsanschluss A1 mit jeweils einem der beiden Lastanschlüsse sämtlicher Piezoaktoren P1, P2, ... verbunden, wohingegen der jeweils andere Lastanschluss dieser Piezoaktoren über einen jeweils zugeordneten Auswahlschalter (Transistoren T1, T2, ...) mit dem Ausgangsanschluss A2 verbunden ist. In diesem Verbindungspfad (zwischen A2 und den Auswahlschaltern) ist außerdem noch ein Strommesswiderstand Rs angeordnet, mittels welchem der momentane Laststrom des jeweils ausgewählten Piezoaktors gemessen werden kann. In an sich bekannter Weise wird hierfür der Spannungsabfall am Messwiderstand Rs gemessen, wofür die Schaltungsanordnung 10' mit einem Eingangsanschluss E1 versehen ist, über welchen der gemessene Spannungsabfall der entsprechenden Steuereinrichtung innerhalb der Schaltungsanordnung 10' zur Auswertung bzw. Berücksichtigung bei der Ansteuerung zugeführt wird. Der zu messende Spannungsabfall ist mit Uirs bezeichnet.

20

25

30

Die Schaltungsanordnung 10' lässt sich somit vorteilhaft auch zum Aufladen und Entladen einer Mehrzahl von Piezoaktoren verwenden. Ansteuersignale für das Schalten der
5 Auswahlschalter T1, T2, ... können ebenfalls von der betreffenden Steuereinrichtung erzeugt und ausgegeben werden (nicht dargestellt).

Bemerkenswert ist, dass bei der Endstufe 100 die
10 Auswahlschalter T1, T2, ... vorteilhaft auch die Funktion einer Stromeinstellung übernehmen können, wie Sie in Fig. 1 beispielsweise durch die Stromquelle CS1 realisiert ist. Damit kann z. B. eine der Stromquelle CS1 entsprechende gemeinsame Stromquelle des Schaltungsteils 10' ersetzt werden
15 oder eine bei einer solchen Stromeinstellung auftretende Verlustleistung besser verteilt werden.

Patentansprüche

1. Schaltungsanordnung zum Aufladen und Entladen einer kapazitiven Last (P), insbesondere eines Piezoaktors für ein Kraftstoff-Einspritzventil einer Brennkraftmaschine, umfassend
- eine Spannungsquelle zur Bereitstellung einer auf eine elektrische Masse (GND) bezogenen Versorgungsspannung (Ub),
 - einen zwischen einem ersten Schaltungsknoten (K1) und einem zweiten Schaltungsknoten (K2) angeordneten Kondensator (Ch), wobei der erste Schaltungsknoten (K1) über eine Diode (D1) mit der Spannungsquelle verbunden ist und der zweite Schaltungsknoten (K2) über einen ersten Schalter (S1) mit der Spannungsquelle verbindbar ist,
 - einen vom ersten Schaltungsknoten (K1) zu einem der Lastanschlüsse führenden ersten Strompfad und einen vom zweiten Schaltungsknoten (K2) zum anderen der Lastanschlüsse führenden zweiten Strompfad,
 - eine in Reihenschaltung mit der Last (P) angeordnete Stromeinstelleinrichtung (CS1, CS2), über welche die Last beim Aufladen und Entladen bestromt wird, und welche eine im ersten Strompfad und/oder eine im zweiten Strompfad angeordnete Stromquelle umfasst,
 - einen zweiten Schalter (S2), über welchen der erste Strompfad mit dem zweiten Schaltungsknoten (K2) verbindbar ist, und

- eine Steuereinrichtung (SE) zur Ansteuerung der Schalter (S1, S2)) und der Stromeinstelleinrichtung (CS1, CS2), derart, dass

5

a) während einer ersten Aufladephase (a) beide Schalter (S1, S2) geöffnet sind und die Last aus der Versorgungsspannung (Ub) teilweise aufgeladen wird,

10

b) während einer zweiten Aufladephase (b) der erste Schalter (S1) geschlossen und der zweite Schalter (S2) geöffnet ist und die Last (P) aus der sich ergebenden Reihenschaltung der Spannungsquelle und des Kondensators (Ch) weiter aufgeladen wird,

15

c) während einer ersten Entladephase (c) beide Schalter (S1, S2) geöffnet sind und die Last (P) in den Kondensator (Ch) teilweise entladen wird, und

20

d) während einer zweiten Entladephase (d) der erste Schalter (S1) geöffnet und der zweite Schalter (S2) geschlossen ist und die Last (P) in die elektrische Masse (GND) weiter entladen wird.

25

2. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, wobei die Stromeinstelleinrichtung (CS1, CS2) eine erste Stromquelle (CS1) zum Aufladen der Last (P) und separat davon eine zweite Stromquelle (CS2) zum Entladen der Last (P) aufweist.

30

3. Schaltungsanordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei eine zum Aufladen der Last (P) vorgesehene Stromquelle (CS1) im ersten Strompfad

angeordnet ist.

4. Schaltungsanordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei eine zum Entladen der Last (P) vorgesehene Stromquelle (CS2) im zweiten Strompfad angeordnet ist.
5. Schaltungsanordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei wenigstens einer der Schalter (S1, S2), insbesondere sämtliche Schalter, jeweils als Transistor ausgebildet sind.
6. Schaltungsanordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Aufladung und/oder die Entladung der Last (P) geregelt erfolgt.
7. Schaltungsanordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei im ersten Strompfad eine Diode (D2) angeordnet ist, über welche der Laststrom (I_p) während der ersten Entladephase (c) fließt.
8. Verfahren zum Aufladen und Entladen einer kapazitiven Last (P), insbesondere eines Piezoaktors für ein Kraftstoff-Einspritzventil einer Brennkraftmaschine, umfassend
 - Bereitstellung einer auf eine elektrische Masse (GND) bezogenen Versorgungsspannung (U_b) mittels einer Spannungsquelle, und
 - Einstellung eines Laststromes (I_p), der beim Aufladen und Entladen durch die Last (P) fließt, in wenigstens einem von zwei zur Last führenden Strompfaden,

wobei die Aufladung und Entladung derart erfolgt, dass

5 a) während einer ersten Aufladephase (a) eine Nachladung
eines Kondensators (Ch) und eine teilweise Aufladung der
Last (P) jeweils aus der Versorgungsspannung (Ub)
erfolgt,

10 b) während einer zweiten Aufladephase (b) eine weitere
Aufladung der Last (P) aus einer Reihenschaltung der
Spannungsquelle und des Kondensators (Ch) erfolgt, wobei
im Kondensator (Ch) gespeicherte Energie teilweise zur
Last (P) übertragen wird,

15 c) während einer ersten Entladephase (c) eine teilweise
Entladung der Last (P) in den Kondensator (Ch) erfolgt,
so dass Energie von der Last (P) in den Kondensator (Ch)
rückgespeist wird, und

20 d) während einer zweiten Entladephase (d) eine weitere
Entladung der Last (P) in die elektrische Masse (GND)
erfolgt.

FIG 1

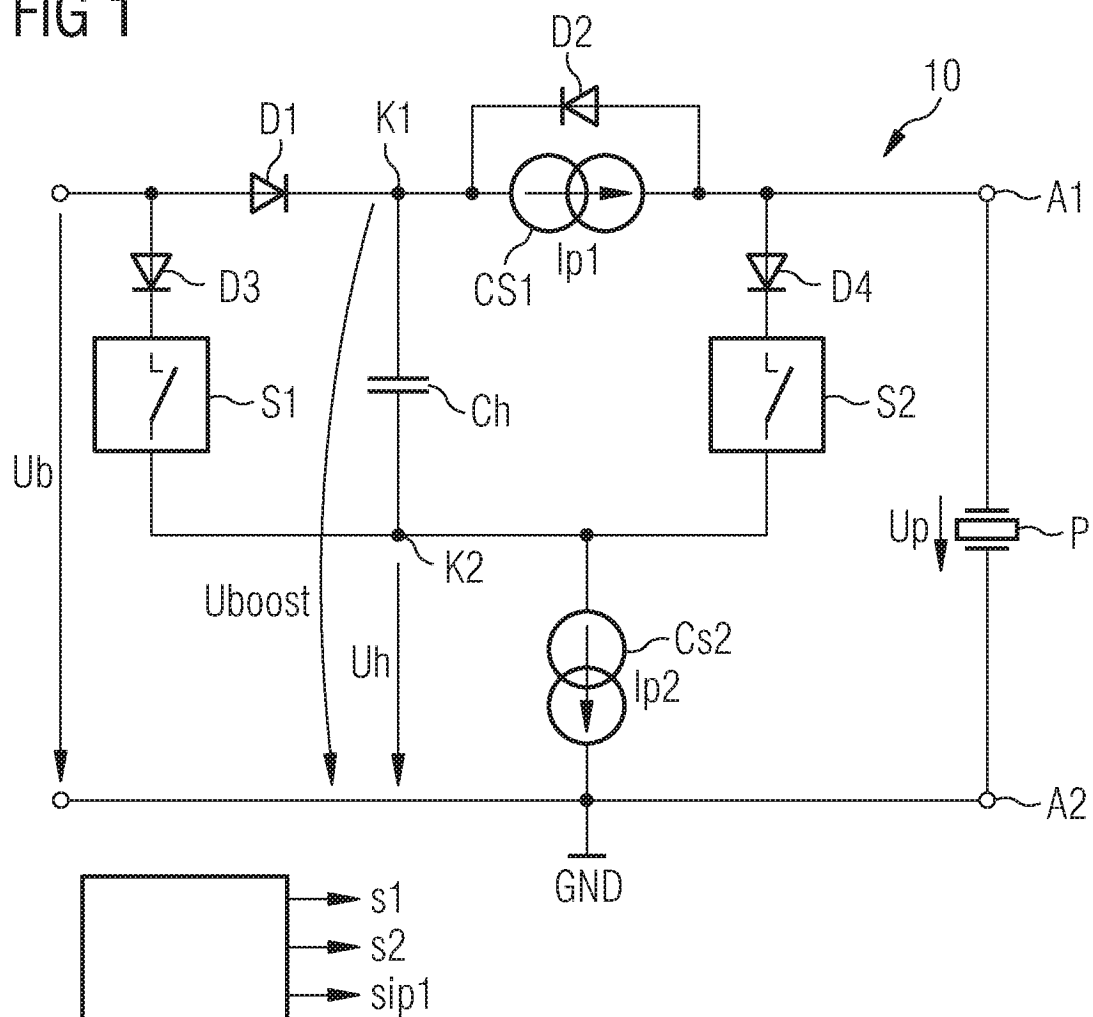


FIG 2

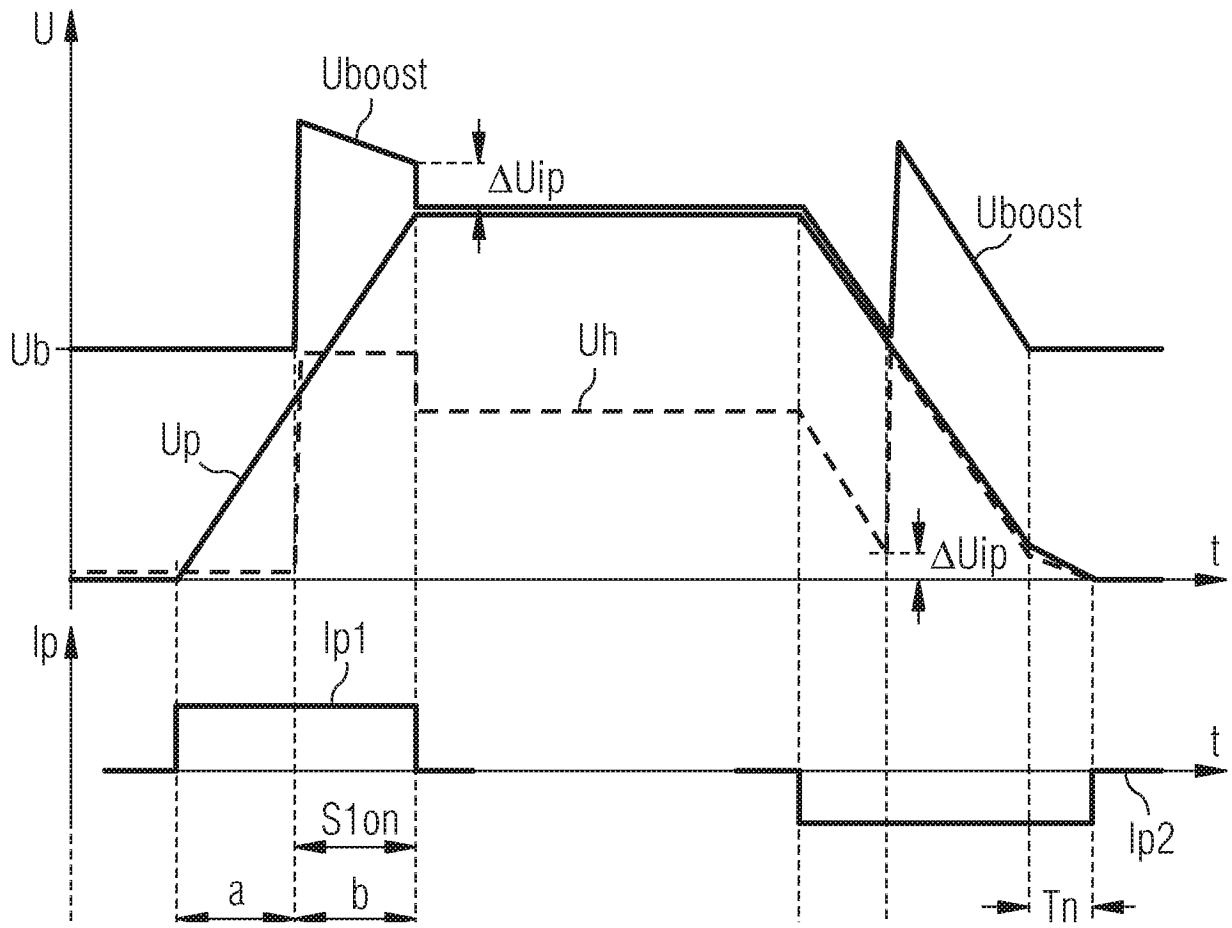
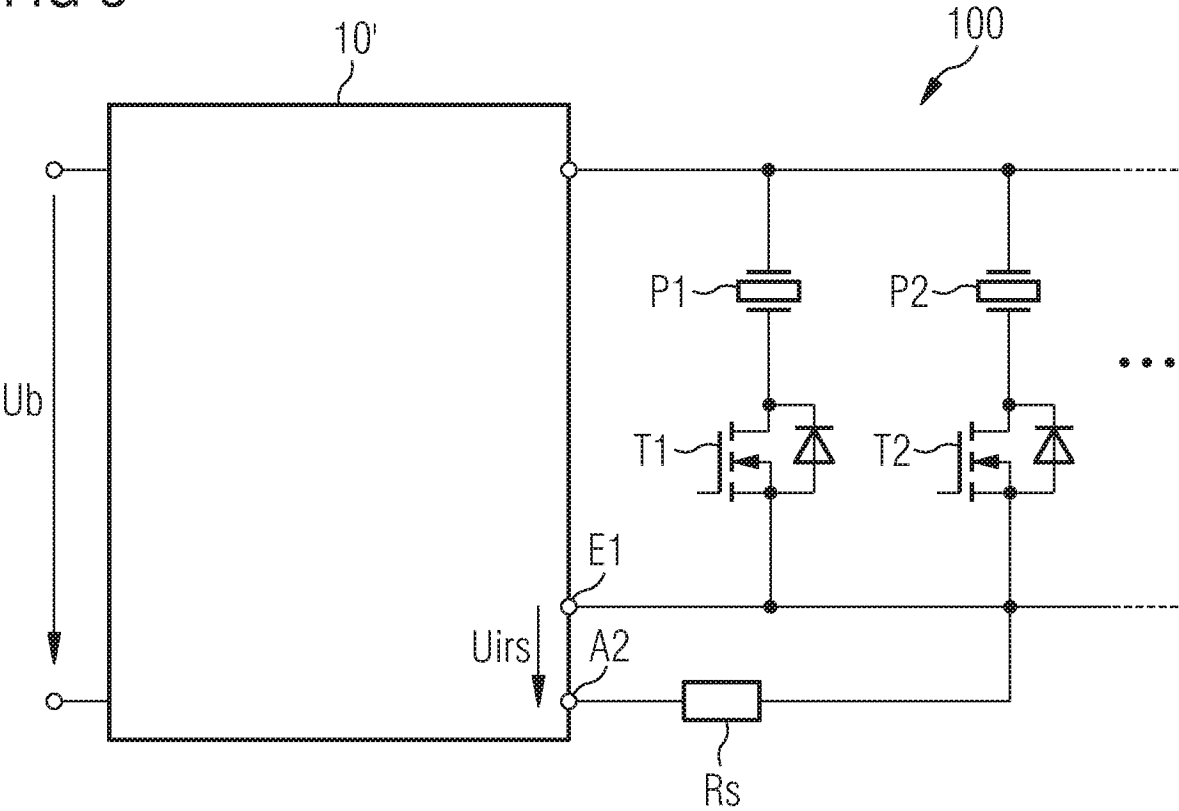


FIG 3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2008/065372

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. H01L41/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F02D H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 198 58 250 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 21 June 2000 (2000-06-21)	1-8
A	US 5 057 734 A (TSUZUKI NAOYUKI [JP] ET AL) 15 October 1991 (1991-10-15)	1-8

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *Z* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

2 April 2009

Date of mailing of the international search report

20/04/2009

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Koskinen, Timo

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2008/065372

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 19858250	A1	21-06-2000	NONE
US 5057734	A	15-10-1991	DE 68921047 D1 23-03-1995
			DE 68921047 T2 14-06-1995
			EP 0371469 A2 06-06-1990

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2008/065372

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. H01L41/04

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

F02D H01L

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

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

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 198 58 250 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 21. Juni 2000 (2000-06-21)	1-8
A	US 5 057 734 A (TSUZUKI NAOYUKI [JP] ET AL) 15. Oktober 1991 (1991-10-15)	1-8



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

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

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

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

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

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

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

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

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

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

2. April 2009

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

20/04/2009

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Koskinen, Timo

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2008/065372

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19858250	A1	21-06-2000	KEINE
US 5057734	A	15-10-1991	DE 68921047 D1 23-03-1995
			DE 68921047 T2 14-06-1995
			EP 0371469 A2 06-06-1990